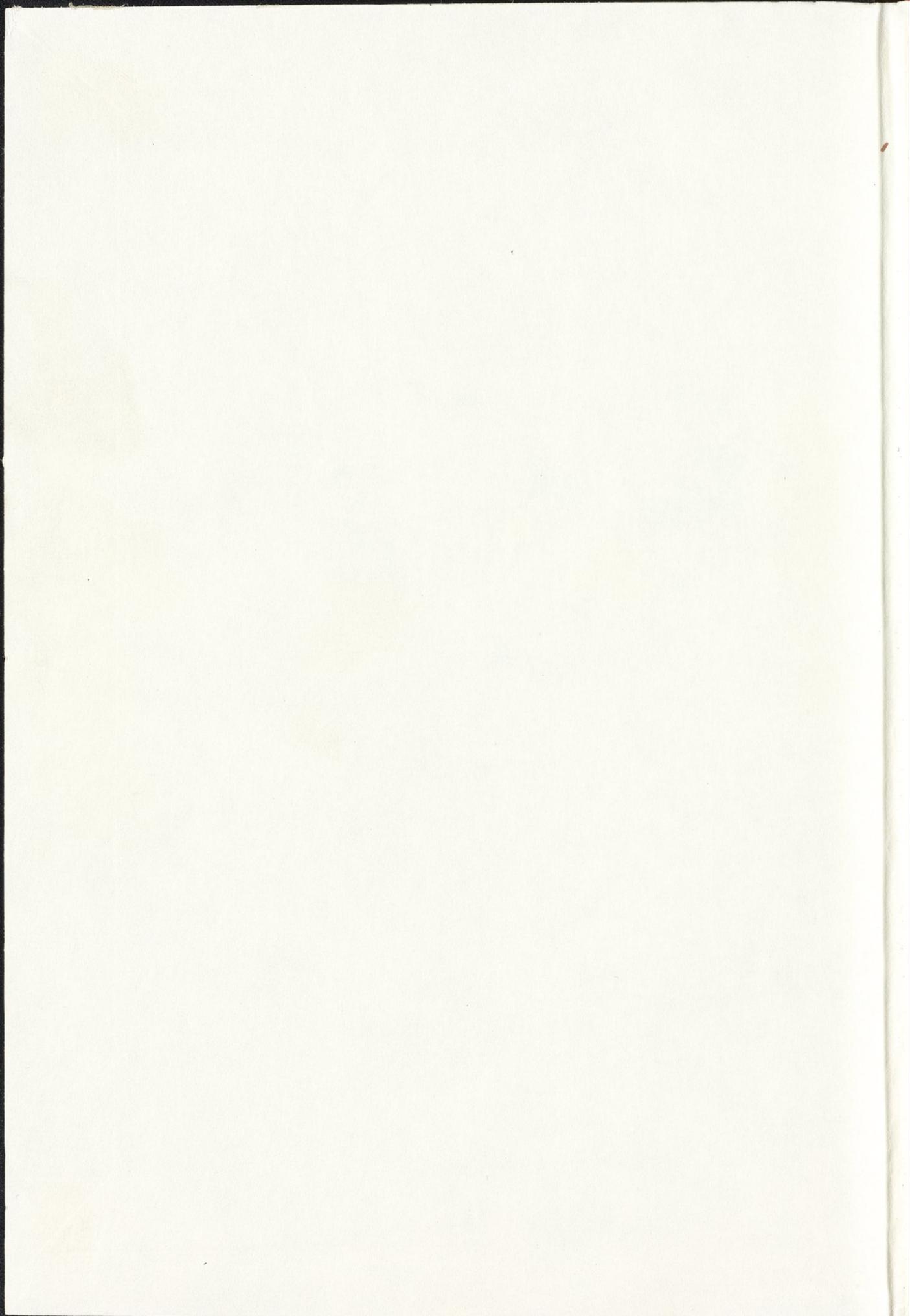


COLUMBIA UNIVERSITY LIBRARIES



0038979977



21

311



جامعة فؤاد الأول — كلية الهندسة

المؤلف رقم ٣

الحسن بن الهيثم

بحوثه وكشوفه البصريّة

تأليف

صطفى نضيف بك

أستاذ الطبيعة بكلية الهندسة

المجلد الثاني  
١٣٦٢ هـ - ١٩٤٣ م

مطبعة الاعتماد بمصر

١٩٤٣

893.7195  
Ib 59

v. 2

COLUMBIA  
UNIVERSITY  
LIBRARY

## مقدمة الجزء الثاني

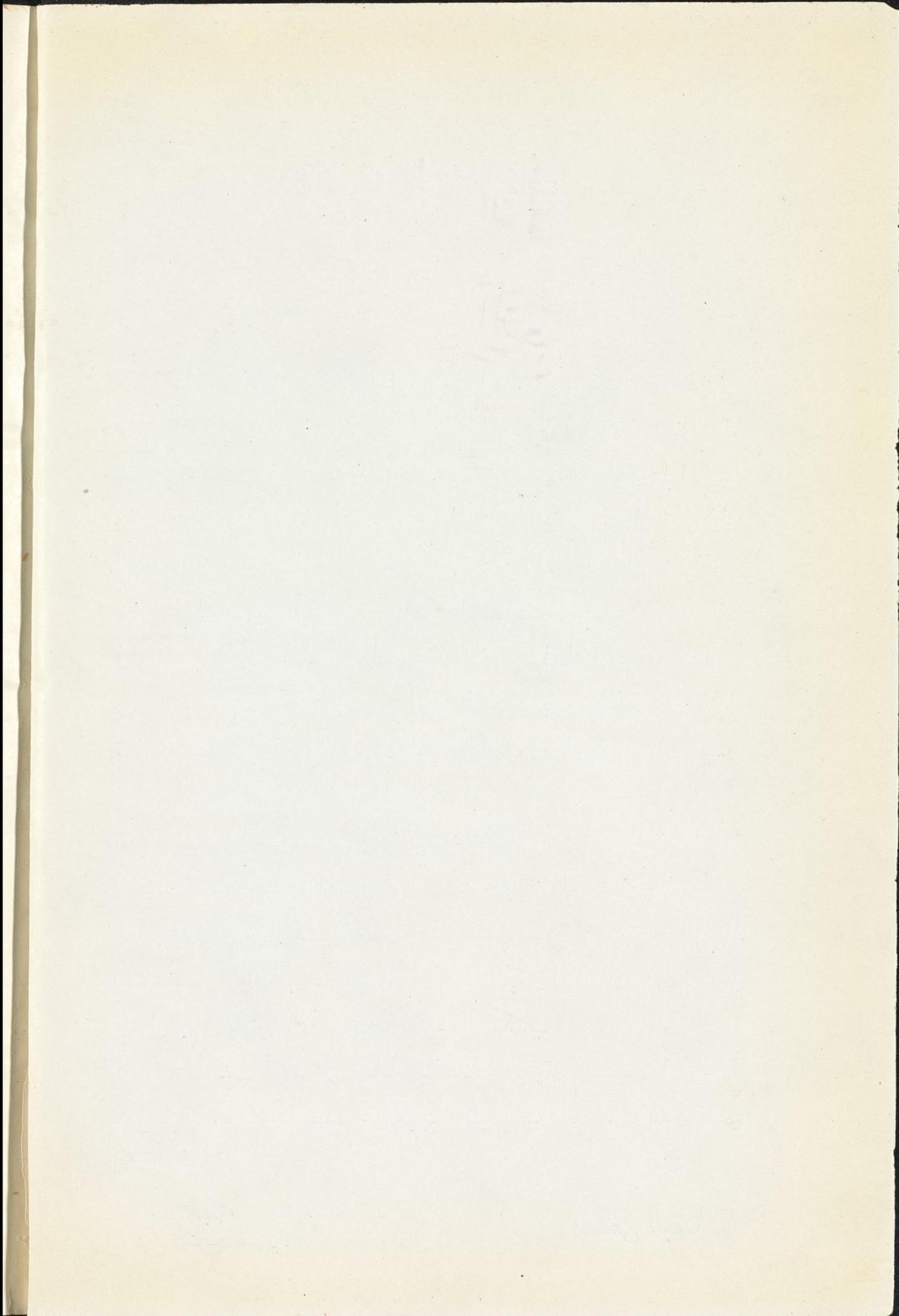
# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله . وبعد فقد كان للظروف الحاضرة وللظروف أخرى طرأت في أثناء الطبع ، أثرها في تأخر صدور هذا الجزء من الكتاب ، وفي صدوره أخيراً على هذه الصفة التي صدر عليها . وإني لا يسعني في هذا المقام إلا أن أنوّه بما أسدى إليّ من المساعدة في إبان إعداده للطبع وفي أثناء طبعه . وإن الوفاء لذكرى المغفور له الأستاذ الهامى الكردانى ليقضى بأن أبدأ بذكره والثناء عليه لمعاونته لى قبيل وفاته الفجائية في إعداد بعض أشكال الباب الخامس ولما أبداه بتلك المناسبة من الملاحظات . وإني أشكر الأستاذ محمد غريب عبد الجليل المدرس بقسم الطبيعة بالكلية على تطوعه بمساعدتي في الإشراف على طبع هذا الجزء ومراجعة مسودات الطبع واستدراك ما وقع من الأخطاء المطبعية . وأشكر الأستاذ حسين زكى المدرس بقسم الطبيعة على مساعدته في إعداد بعض الأشكال . كما أنى أذكر مع الشكر الأستاذ الدكتور محمد رضا مدور مدير مرصد حلوان والدكتور ابراهيم حلى عبد الرحمن مدرس الفلك بكلية العلوم والأستاذ الدكتور نجيب باخوم الأستاذ المساعد بقسم الرياضة بهذه الكلية لما أبدوه من العناية في المناسبات التي استطلعت فيها آراءهم في بعض ما ورد في هذا الجزء من الكتاب .

أما ما كنت أجده من أعضاء هيئة التدريس بقسم الطبيعة بهذه الكلية وموظفيه جميعاً من الاستعداد عن طيب خاطر لإسداء أية معاونة فله في نفسى أحمد الأثر .

مصطفى نظيف

قسم الطبيعة — كلية الهندسة  
سبتمبر سنة ١٩٤٣



## محتويات الجزء الثاني

مقدمة الجزء الثاني ..... ١ صحيفة

### الباب الخامس

في

مسألة ابن الهيثم والبحوث الهندسية المتعلقة بها

### الفصل الأول

في

المقدمات الهندسية

صفحة	فقرة
٤٨٧	١٣٢ — مسألة ابن الهيثم ولحظة تاريخية عنها
٤٩٢	١٣٣ — مقدمات ابن الهيثم
٤٩٧	١٣٤ — العملية الهندسية الأولى
٥٠٢	١٣٥ — بيان وتعليق على العملية الأولى
٥٠٥	١٣٦ — العملية الهندسية الثانية
٥٠٨	١٣٧ — بيان وتعليق على العملية الثانية
٥١٠	١٣٨ — العملية الهندسية الثالثة
٥١٣	١٣٩ — بيان وتعليق على العملية الثالثة
٥١٥	١٤٠ — العملية الهندسية الرابعة
٥٢١	١٤١ — بيان وتعليق على العملية الرابعة

### الفصل الثاني

في

تعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الكرية

٥٢٨	١٤٢ — الفكرة الأساسية مجمل
٥٢٩	١٤٣ — طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطه الانعكاس عن الكرية المحدبة
٥٣٣	١٤٤ — طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس أو نقاطه عن الكرية المقعرة

فقرة	١٤٥	تطبيق طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الكرية على
صفحة	٥٣٥	جميع الحالات الخاصة .. .. .

### الفصل الثالث

في

تعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الأسطوانية

١٤٦	—	منهاج ابن الهيثم في معالجة الموضوع .. .. .
١٤٧	—	تفصيل الحالات الخاصة .. .. .
١٤٨	—	الطريقة العامة لتعيين نقطة الانعكاس ( أو نقاطه ) عن المرآة الأسطوانية
١٤٩	—	تحديد النهاية العظمى لعدد نقاط الانعكاس .. .. .

### الفصل الرابع

في

تعيين نقطة الانعكاس عن المرآة المخروطية

١٥٠	—	منهاج ابن الهيثم في معالجة الموضوع .. .. .
١٥١	—	تفصيل الحالات الخاصة .. .. .
١٥٢	—	الحالة العامة وأوضاعها الستة .. .. .
١٥٣	—	الوضع الأول : النقطتان وضعهما من قاعدة المخروط فيما دون المستوى
١٥٤	—	المرآة برأسه عموداً على سهمه .. .. .
١٥٤	—	الوضع الثاني : النقطتان في المستوى المرآة برأس المخروط عموداً على سهمه
١٥٥	—	الوضع الثالث : النقطتان وضعهما من قاعدة المخروط فيما بلى المستوى
١٥٦	—	المرآة برأسه عموداً على سهمه .. .. .
١٥٦	—	الوضع الرابع : إحدى النقطتين في المستوى المرآة برأس المخروط عموداً
١٥٧	—	على سهمه والأخرى فيما دونه من القاعدة .. .. .
١٥٧	—	الوضع الخامس : إحدى النقطتين في المستوى المرآة برأس المخروط عموداً
١٥٧	—	على سهمه والأخرى فيما يليه من القاعدة .. .. .
١٥٨	—	الوضع السادس : النقطتان عن جنبي المستوى المرآة برأس المخروط
١٥٧	—	عموداً على سهمه .. .. .
١٥٩	—	تعيين عدد نقاط الانعكاس عن المرآة المخروطية .. .. .
١٦٠	—	برهان ابن الهيثم في حالة المخروطية المقعرة .. .. .
١٦١	—	بيان وتعليق على برهان ابن الهيثم في حالة المخروطية المقعرة .. .. .



- فقرة  
 ١٧٧ — مقدمات ابن الهيثم لبحوثه عن أشكال الخيالات التي ترى في الكرية المحدبة ٦٣٦ صحيفة  
 ١٧٨ — بحوث ابن الهيثم عن أشكال خيالات الكرية المحدبة ... .. ٦٤٣  
 ١٧٩ — بحوث ابن الهيثم عن أشكال الخيالات إذا كان المبصر قوسا من دائرة مركزها مركز المرآة ... .. ٦٤٣  
 ١٨٠ — تعليق على طريقة ابن الهيثم في بحوثه عن أشكال الخيال المقوس . ... ٦٤٦  
 ١٨١ — بحوث ابن الهيثم عن شكل خيال المبصر المستقيم الذي يعترض المرآة الكرية المحدبة ولا يلقى أمتداده أو يماس سطحها ... .. ٦٤٩  
 ١٨٢ — بحوث ابن الهيثم عن شكل خيال المبصر المستقيم الذي يعترض المرآة الكرية المحدبة ويلقى إمتداده سطحها أو يماسه ... .. ٦٥١  
 ١٨٣ — نبذة عامة عن بحوث ابن الهيثم عن أشكال خيالات الكرية المحدبة . ٦٥٦  
 ١٨٤ — بحوث ابن الهيثم عن عظم الخيالات التقديرية التي ترى في المرآة الكرية المقعرة . ... .. ٦٥٨  
 ١٨٥ — بحوث ابن الهيثم عن عظم الخيالات الحقيقية التي ترى في المرايا الكرية المقعرة ... .. ٦٦٣  
 ١٨٦ — تعليق على بحوث ابن الهيثم عن خيالات الكرية المقعرة .. ... ٦٦٧  
 ١٨٧ — كيف يرى الإنسان صورة وجهه مصغرة منكوسة في مرآة كرية مقعرة ٦٧٠  
 ١٨٨ — بحوث ابن الهيثم عن أشكال خيالات المبصرات الممتدة على سمت أحد أقطار المرآة الكرية المقعرة ... .. ٦٧٢  
 ١٨٩ — بحوث ابن الهيثم عن أشكال خيالات المبصرات المتعرضة لأحد أقطار المرآة الكرية المقعرة . ... .. ٦٧٥  
 ١٩٠ — كلمة عامة .. ... .. ٦٨١

## الباب السابع

في

أحكام الانعطاف وما يتعلق بالانعطاف عند السطوح المستوية

### الفصل الأول

في

أحكام الانعطاف

- ١٩١ — أحكام الكيف في الانعطاف ... .. ٦٨٢  
 ١٩٢ — آلة الانعطاف التي أعتبر بها ابن الهيثم . ... .. ٦٨٥  
 ١٩٣ — بيان كيفية الانعطاف عند نفوذ الضوء من الهواء إلى الماء ... .. ٦٩٠

صفحة	فقرة
٦٩٣	١٩٤ — الاستدلال على عدم انعطاف الضوء الواقع عمودا على السطح ... ..
٦٩٧	١٩٥ — بيان كيفية الانعطاف في كل من الوسطين الهواء والزجاج والماء والزجاج
٧٠٣	١٩٦ — الناحية الكمية من بحوث ابن الهيثم العملية عن الانعطاف ... ..
٧٠٣	١٩٧ — البحوث الكمية المتعلقة بالانعطاف عند نفوذ الضوء من الهواء إلى الماء
	١٩٨ — البحوث الكمية المتعلقة بالانعطاف عند السطح المستوي لكل من الوسطين
٧٠٤	الهواء والزجاج والزجاج والماء ... ..
	١٩٩ — البحوث الكمية المتعلقة بالانعطاف عند السطح المنحني لكل من الوسطين
٧٠٦	الهواء والزجاج والزجاج والماء ... ..
٧٠٩	٢٠٠ — أحكام السك الثمانية في الانعطاف ... ..
٧١١	٢٠١ — مناقشة أحكام السك الثمانية ... ..
٧٢١	٢٠٢ — قاعدة قبول العكس ... ..

## الفصل الثاني

في

خيال النقطة المبصرة الذي يرى بالانعطاف

٧٢٣	٢٠٣ — شرح ابن الهيثم كيفية إدراك صور المبصرات بالانعطاف ... ..
٧٢٧	٢٠٤ — الخيال المرئي بالانعطاف ... ..
٧٢٩	٢٠٥ — القاعدة التي طبقها ابن الهيثم لتعيين موضع خيال النقطة المبصرة ... ..
٧٣٥	٢٠٦ — قصور قاعدة ابن الهيثم لتعيين موضع خيال النقطة ... ..
	٢٠٧ — غموض رأى ابن الهيثم في موضع خيال النقطة إذا كان البصر على سمت
٧٣٧	العمود الواقع منها على السطح ... ..
٧٣٩	٢٠٨ — حكم ابن الهيثم في خيال النقطة المدرك بالانعطاف عند السطح المستوي ... ..

## الفصل الثالث

في

خيالات المبصرات المدركة بالانعطاف عند السطح المستوي

٧٤٤	٢٠٩ — مجمل بحوث ابن الهيثم عن أغلاط البصر التي من أجل الانعطاف ... ..
	٢١٠ — الفكرة الأساسية في بحوث ابن الهيثم عن خيالات المبصرات التي ترى
٧٤٥	بالانعطاف عند السطح المستوي ... ..
٧٤٦	٢١١ — خيال المبصر المستقيم والبصر في الوضع الأول ... ..
٧٥٢	٢١٢ — خيال المبصر المستقيم والبصر في الوضع الثاني ... ..
	٢١٣ — الاستدلال بالاعتبار على أن المبصر الذي يدرك بالانعطاف من الماء إلى
٧٦٠	الهواء يدرك أعظم ... ..

## الباب الثامن

في

الانعطاف عند السطوح الكرية وما يترتب على الانعطاف من الظواهر الجوية

### الفصل الأول

في

الانعطاف عند السطوح الكرية بوجه عام

- ٢١٤ — مجمل بحوث ابن الهيثم عن الانعطاف عند السطوح الكرية ... .. ٧٦٢
- ٢١٥ — التمهيد الهندسى لبحوث الانعطاف عند السطوح الكرية . ... .. ٧٦٣
- ٢١٦ — الانعطاف من الأغاظ إلى الألف إذا كان تحذب السطح مما يلي مصدر الضوء ... .. ٧٦٦
- ٢١٧ — الانعطاف من الأغاظ إلى الألف إذا كان تقع السطح مما يلي مصدر الضوء ... .. ٧٧١
- ٢١٨ — الانعطاف من الألف إلى الأغاظ عند السطوح الكرية . ... .. ٧٧٧
- ٢١٩ — المعانى التى يستنبطها ابن الهيثم من بحوثه المذكورة ووجه الخطأ فيها ... ٧٧٩
- ٢٢٠ — إصلاح ابن الهيثم بعض أخطائه وإشارته فى المناظر إلى ظاهرة الزيغ الكرى ٧٨٢
- ٢٢١ — مقالة ابن الهيثم فى الكرة المحرقة . ... .. ٧٩٠
- ٢٢٢ — بيان كيفية تجمع الأشعة المتوازية بعد نفوذها من كرة من الزجاج ... ٧٩١
- ٢٢٣ — بيان الزيغ الكرى الذى يحدث عند نفوذ الأشعة المتوازية من كرة من الزجاج . ... .. ٧٩٣
- ٢٢٤ — تعيين مواضع نقاط الانعطاف الثوانى ... .. ٧٩٩
- ٢٢٥ — محاولة ابن الهيثم تعيين البعد البؤرى لكرة من الزجاج ... .. ٨٠٢
- ٢٢٦ — بيان وتعليق على مقالة ابن الهيثم فى الكرة المحرقة . ... .. ٨٠٨

### الفصل الثانى

في

الخيالات التى ترى بالانعطاف عند السطوح الكرية

- ٢٢٧ — اجتناب ابن الهيثم التوسع فى دراسة خيالات المبصرات التى ترى بالانعطاف عند السطوح الكرية ... .. ٨١٠
- ٢٢٨ — خيال المبصر الموجود فى مشف أغاظ من الهواء محذب سطحه الكرى مما يلي البصر ... .. ٨١٢
- ٢٢٩ — خيال المبصر الموجود من وراء كرة مشفة من مادة أغاظ من الهواء . ٨١٧

## الفصل الثالث

في

بحوث ابن الهيثم عن الظواهر الجوية المترتبة على انعطاف الضوء

- ٢٣٠ — بجل ما عني ابن الهيثم ببحثه عن الظواهر الجوية التي تنجم عن انعطاف الضوء ٨٢٣  
 ٢٣١ — ذات الحلق . . . . . ٨٢٤  
 ٢٣٢ — الاعتبار بذات الحلق للاستدلال على الانعطاف في الطبقة الهوائية . . . ٨٢٧  
 ٢٣٣ — الاعتبار بالقمر للاستدلال على الانعطاف في الطبقة الهوائية . . . ٨٣٢  
 ٢٣٤ — مذهب ابن الهيثم في تدرج الهواء من حيث اللطافة . . . . . ٨٣٦  
 ٢٣٥ — تغير مواضع الكواكب في السماء من جراء الانعطاف . . . . . ٨٣٧  
 ٢٣٦ — بحوث ابن الهيثم عن أثر الانعطاف في أبعاد الكواكب ومقاديرها . . . ٨٣٨  
 ٢٣٧ — أثر الانعطاف إذا كان الخط المبصر عند السميت . . . . . ٨٣٩  
 ٢٣٨ — أثر الانعطاف إذا كان الخط المبصر قريبا من الأفق وموازيا له . . . ٨٤١  
 ٢٣٩ — أثر الانعطاف إذا كان الخط المبصر ممتدا في مستوى سميت واحد . . . ٨٤٣  
 ٢٤٠ — شك على بعض أقوال ابن الهيثم عن أثر الانعطاف في أبعاد الكواكب  
 ومقاديرها . . . . . ٨٤٥  
 ٢٤١ — رأى ابن الهيثم في تأثير الأبخرة الغليظة في إدراك العظم . . . . . ٨٤٧

## تذييل

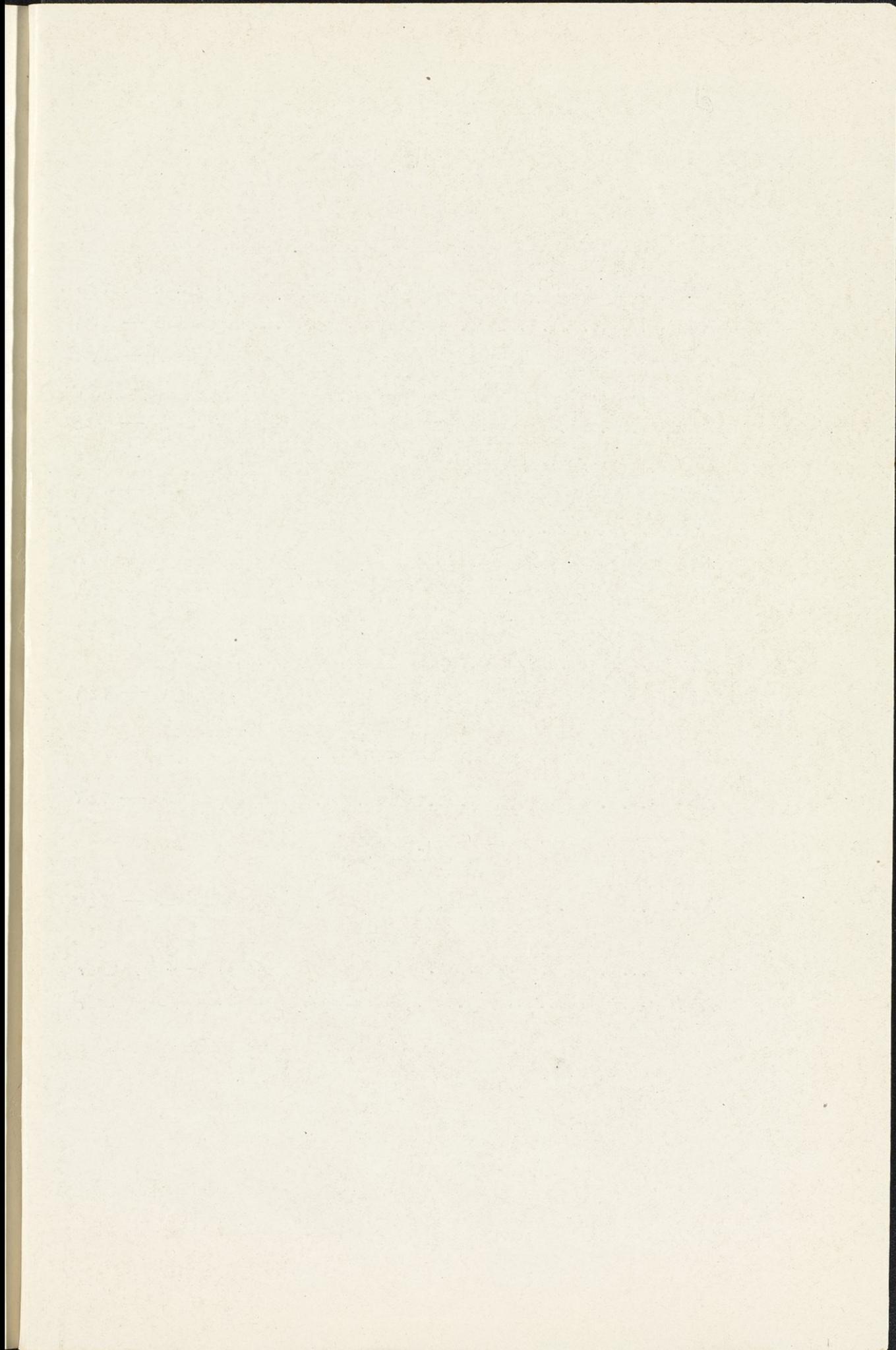
- ٢٤٢ — ذات الشعبين . . . . . ٨٥٠

## خاتمة الكتاب

- ٢٤٣ — كلمة الختام . . . . . ٨٥٣

\* \* \*

- ٨٥٧ . . . . . فهرس هجائي بأسماء الأعلام  
 ٨٦٢ . . . . . فهرس هجائي بالاصطلاحات والموضوعات



# البيانات الهندسية

في

مسألة ابن الهيثم والبحوث الهندسية المتعلقة بها

## الفصل الأول

في

المقدمات الهندسية

١٣٢ - مسألة ابن الهيثم ولوحة تاريخية عنها

إذا فرضت نقطتان حيثما اتفق أمام سطح عاكس، فكيف تُعيَّن على هذا السطح نقطة بحيث يكون الواصل منها إلى إحدى النقطتين المفروضتين بمثابة شعاع ساقط، والواصل منها إلى الأخرى بمثابة شعاع منعكس؟ هذه المسألة عرفت عند أهل أوربا ولا تزال تعرف إلى وقتنا الحاضر « بمسألة الحسن » وكما سبق أن ذكرنا تسمى النقطة المراد تعيينها على السطح العاكس « نقطة الانعكاس » .

والمسألة سهلة بسيطة إذا كان السطح العاكس مستوياً<sup>(١)</sup>. لأنه إذا أخرج من إحدى النقطتين المفروضتين عمود على السطح كان المستوى الذي يقع فيه هذا العمود والنقطة الثانية هو مستوى الانعكاس. فإذا مد هذا العمود على

(١) ورد شرح ابن الهيثم لهذه الحالة في و (١٧٢) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر

استقامته إلى نقطة ، بحيث يكون بعدها عن النقطة التي يليق عليها هذا العمود السطح العاكس كبعد النقطة الأولى عنها ، ثم وصلت تلك النقطة إلى النقطة الثانية المفروضة ، كانت النقطة التي يليق عليها هذا الواصل السطح العاكس هي نقطة الانعكاس المطلوب تعيينها . والبرهان على ذلك يسير . والمسألة أيضاً سهلة بسيطة إذا كان السطح العاكس كروياً أو أسطوانياً أو مخروطياً في حالات خاصة معينة . ففي حالتى السطح الأسطوانى أو المخروطى إذا كانت النقطتان المفروضتان وسهم الأسطوانية أو سهم المخروطية في مستوى واحد ، كان هذا المستوى هو مستوى الانعكاس وكان الفصل المشترك بينه وبين السطح العاكس خطأ مستقيماً ، وآل الانعكاس إلى ما يشبه الانعكاس عن السطح المستوى . كذلك فإنه من السهل تعيين نقطة الانعكاس عن السطح الكرى المحدب إذا كانت النقطتان المفروضتان على بعد واحد من مركز الكرة السطح . ومن السهل أيضاً تعيين نقطة الانعكاس أو بوجه عام نقاطه عن السطح الكرى المقعر إذا كانت النقطتان على قطر واحد من أقطار الكرة أو إذا لم تكونا على قطر واحد كانتا على بعد واحد من مركز الكرة . وبحوث ابن الهيثم التي بينها فيما سبق<sup>(١)</sup> تتضمن طرق تعيين نقطة الانعكاس عن السطح الكرى المقعر في مثل هذه الأحوال الخاصة .

ولكن تزول عن المسألة هذه السيمة من السهولة في أحوال السطوح غير المستوية ، إذا فرضت النقطتان حيثما اتفق في مقابلة جزء منها . وابن الهيثم لم يودع كتابه المناظر حلولاً للمسألة في مثل الأحوال الخاصة المذكورة فحسب بل تناول أيضاً بحثها من الناحية العامة ، وأورد لها حلاً عاماً لكل نوع من أنواع المرايا الكرية والأسطوانية والمخروطية المحدبة منها والمقعرة .

وقد عني بعض العلماء بتاريخ نشوء هذا البحث من قبل أن يتناوله ابن الهيثم وعن مبلغ ما يصح نسبته إلى ابن الهيثم من الفضل في ابتكار الحلول التي أوردتها ، وما يصح نسبته إلى المتقدمين من العلماء<sup>(٢)</sup> . فهو موضوع البحث عن نقطة

(١) الفصل الرابع من الباب الرابع من الجزء الأول من هذا الكتاب .

(٢) Die Alhazensche Spiegel-Aufgabe (1893) : Von P. Bode .

الانعكاس وإن لم يرد البتة في مناظر أوقليدس فقد ورد في كتاب المناظر المنسوب إلى بطليموس . غير أن ما جاء منه في هذا الكتاب وإن أريد منه أن يتناول المرآة الكرية فلم يتجاوز ما يتعلق بالكرية المحدبة يبان أن تعاكس النقطتين عنها لا يكون إلا من نقطة واحدة . أما فيما يختص بالكرية المقعرة فقد تناول البحث بضع حالات خاصة نذكرها فيما يلي :

(أولاً) الحالة التي تكون فيها النقطتان المتعاكستان على قطر واحد من أقطار المرآة . وروعي فيها وضعان أحدهما الوضع الذي تكون فيه النقطتان على بعد واحد من المركز، والثاني الوضع الذي تكون فيه النقطتان على بعدين مختلفين من المركز .

(ثانياً) الحالة التي لا تكون فيها النقطتان على قطر واحد من أقطار المرآة وإنما تكونان فيها على بعدين متساويين من المركز . وقد قسم البحث عنها قسمين روعي في أحدهما أن يكون المستقيم الواصل بين النقطتين المتعاكستين واقعاً بين مركز المرآة والجزء العاكس من سطحها وهو القسم الذي يقابل من بحوث ابن الهيثم الانعكاس من قوس القطاع الأول . وفيه تخرج الدائرة المحيطة بالمثلث المسكون من مركز المرآة ومن النقطتين المتعاكستين ، فإن قطعت الدائرة محيط دائرة الفصل على نقطتين ، كانت نقطتا التقاطع نقطتي انعكاس ، وكانت أيضاً النقطة التي يلقي عليها العمود المنصف للمستقيم الواصل بين النقطتين محيط دائرة الفصل ، نقطة انعكاس أيضاً . فيكون نقاط الانعكاس ثلاثاً . أما إذا لم تقطع الدائرة المحيطة بالمثلث المذكور محيط دائرة الفصل ، كانت نقطة الانعكاس واحدة وهي النقطة التي يلقي عليها العمود المنصف للمستقيم الواصل بين النقطتين محيط دائرة الفصل .

وقد حاول بطليموس في هذا المقام أن يبرهن على إمكان تعاكس النقطتين المختلفتي البعد عن المركز من ثلاث نقاط . ولكن كانت غاية ما استطاعه أن يعين القوس التي لا يردى فرض الانعكاس من نقطة منها إلى خلف ، أي التي يسمح أن تتعاكس النقطتان من نقطة منها . أما كيفية تعيين نقطة الانعكاس بالذات أو إثبات إمكان الانعكاس من ثلاث نقاط فلم يستطع شيئاً منهما .

أما القسم الثاني من البحث فقد روعي فيه أن يكون الخط الواصل بين النقطتين المتعاكستين فيما يلي مركز المرآة من الجزء العاكس من سطحها، وهو يقابل من بحوث ابن الهيثم الانعكاس من قوس القطاع المقابل . وفي هذا الصدد بين بطليموس فيما يختص بالنقطتين المختلفتي البعد من المركز إمكان تعاكسهما من نقطة من تلك القوس .

تلك هي بالتفصيل الأحوال التي ذكرت في مناظر بطليموس . أما المرايا الأسطوانية والمخروطية فلم يتجاوز ما ورد عنهما غير بضع كلمات اكتفى فيها بذكر تلسم المرايا (١) .

ويتضح من هذا أن بطليموس وإن كان قد سبق ابن الهيثم إلى ذكر بعض الأمور المتعلقة بنقطة الانعكاس عن المرايا الكرية المقعرة فإنه لم يحسن منها إلا معالجة حالتين خاصتين . إحداهما حالة النقطتين اللتين على قطر واحد من أقطار المرآة، والثانية حالة النقطتين اللتين ليستا على قطر واحد إذا كانتا على بعد واحد من المركز .

وابن الهيثم قد ضمن بحوثه جميع هذه الأمور التي سبقه إليها بطليموس . ولكنه لم يقف عندها بل تناول أيضاً بيان ما عجز عنه بطليموس فيما يتعلق بالنقطتين المختلفتي البعد عن المركز . ثم ابتكر الحلول العامة لتعيين نقطة الانعكاس في أحوال المرايا الكرية والأسطوانية والمخروطية المحدبة منها والمقعرة . فالمسألة بصورتها العامة بقيت مجهولة إلى أن تناولها ابن الهيثم وابتكر لها الحلول التي أوردها في كتابه المناظر مما سنبينه ونشره فيما بعد . فهي كما يرى «بودا» (٢) حقيقة بأن تنسب إلى ابن الهيثم وتعرف باسمه دون سواه من العلماء السابقين . وبحوث ابن الهيثم في هذا الموضوع قد بلغت الذروة . وهي في نظرنا آية بيّنة لما أوتيته هذا الرجل من المواهب الرياضية الممتازة والعقل الناضج والنظر البعيد الثاقب، وما كان له من سعة الحيلة والكفاية في علم الهندسية . غير أن هذه البحوث كاد الدهر يطويها في زوايا النسيان . فالمسألة

(١) رسالة «بودا» التي أشرنا إليها فيما سبق وهي التي اعتمدنا عليها في هذه البيانات .

(٢) انظر رسالته المشار إليها آنفاً .

وإن ظلت تحمل إلى وقتنا الحاضر اسم «الحسن» فقد تناول دراستها كثيرون من أساطين علماء الغرب من بعد عصر النهضة، وتفطنوا في عرض بعض نواحيها لا سيما ما يتعلق منها بالانعكاس عن سطح المرآة الكرية المقعرة. وعالجوا هذه النواحي بما استنبط بعد ابن الهيثم من أساليب الهندسة التحليلية. فشغلوا بما كتبه «بارو»<sup>(١)</sup> وما ذكره في محاضراته عنها، وما قدمه «كرستيان هويجنز»<sup>(٢)</sup> العالم الطبيعي المشهور من بعض الحلول للناحية المذكورة منها، وبما تبادلته «سلوس» و«هويجنز»<sup>(٣)</sup> من الرسائل بشأنها، وبما كتبه عنها غير هؤلاء من التابعين الذين نهجوا على أساليبهم مما لا يسمح المقام هنا بذكرهم أو بشرح أعمالهم<sup>(٤)</sup>، شغلوا بكل ذلك عن ابن الهيثم نفسه مبتكر هذه المسألة وعن الحلول التي وضعها وكان أول من ابتكرها. حتى آل ذلك إلى أن تناول هذه المسائل بالبحث والدراسة من علماء الجزء الأخير من القرن التاسع عشر من لم يسبق له علم<sup>(٥)</sup> بأن المسألة قد ابتكرها العالم العربي القديم في مستهل القرن الحادي عشر.

واتتابت بحوث ابن الهيثم عن هذه المسألة وحلوله التي ابتكرها شكوك. وقد أشرنا إلى بعضها فيما سبق<sup>(١)</sup>. ولا نغالي إذا قلنا إن الحلول التي وضعها وتفصيلات البراهين الهندسية التي ساقها في بحوثه ليست معروفة بجلاء ووضوح. وربما كان السبب في ذلك هو الاعتماد على الترجمة اللاتينية لكتاب المناظر وتعليقات «قتلو» على أعمال ابن الهيثم. وكل ذلك غير خلو من الأغلط خطأ. ولعل ذلك أيضاً هو السبب في قرح بعض السابقين في بعض

(١) Barrow أستاذ الرياضة الذي تتلمذ عليه «نيوتن» في كبردج.

(٢) Christian Huygens (١٦٢٩ - ١٦٩٥).

(٣) A Problem of Alhazen solved: Hugen and Sluse by M. Huygens and M. Slusius. Philosophic Trans. Vol 11 1672-83.

(٤) يوجد مرجع واف للبحوث التي دارت حول مسألة ابن الهيثم في رسالة «H. Baker» المشورة في (The American Journal of Mathematics 1881) وكذلك في رسالة «بودا» المذكورة.

(٥) مثل «Eberhard» في رسالة له نشرت سنة ١٨٧٧. وقد أشار إلى ذلك «بودا»

(٦) فقرة (١٢٦) من الجزء الأول من هذا الكتاب.

البراهين الهندسية التي أوردها ابن الهيثم ، « فبارو » يقول عن الحل الذي أورده ابن الهيثم لايجاد نقطة الانعكاس عن سطح الكرية المقعرة إنه « مطول تطويلا شنيعاً »<sup>(١)</sup> و « بودا »<sup>(٢)</sup> يصف بعض براهين ابن الهيثم بالتعقيد ويقول عن برهانه على تعيين نقطة الانعكاس عن سطح المرآة الأسطوانية المحدبة إنه يشق على الفهم ويعزى ذلك إلى الأخطاء المطبعية في النسخة اللاتينية من ناحية ، وإلى عدم صحة الشكل الوارد فيها من ناحية أخرى . وهو وإن كان قد أورد طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الكرية المحدبة وعن الأسطوانية المحدبة وعن المخروطية المحدبة ، فانه أوردها بإيجاز وأوجز في الوقت نفسه المقدمات الهندسية التي بنى عليها ابن الهيثم بحوثه في كل هذه الأمور ، ولم يورد براهين ابن الهيثم عليها .

وفي نظرنا أن المسألة على الرغم من صعوبتها وتعقدها فقد أحسن ابن الهيثم معالجة النواحي التي تناولها منها . فهو قد تناول دراسة الموضوع على أساس منطقي سليم . فعنى أولاً بوضع بضع نظريات أو بالأحرى عمليات هندسية هي في ذاتها على جانب ليس بالقليل من التعقد وبعد المنال . ذكرها وبين كيفية اجرائها ، ووضع لها البراهين المضبوطة . وذلك كله على أساس هندسي لا عيب فيه . ثم اتخذ هذه العمليات الهندسية مقدمات إلى الحلول التي أرادها لتعيين نقطة الانعكاس . وساق لتلك الحلول بعد ذلك براهينها الهندسية . فبحوثه في هذا الأمر يجب أن تراعى كوحدة واحدة تتكون من قسمين أحدهما المقدمات الهندسية والثاني الحلول العامة المبينة على تلك المقدمات . وعلى هذه الصفة يمكن تقدير القيمة الحقيقية لتلك البحوث .

ونبدأ فيما يلي بعرض تلك المقدمات والتعليق عليها بشيء من التفصيل .

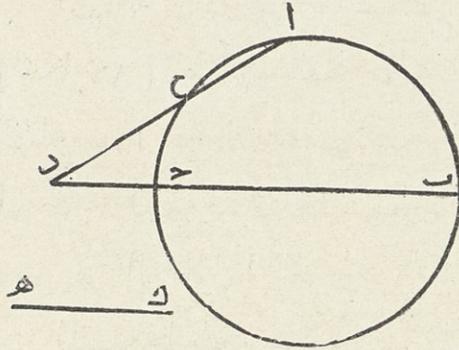
### ١٣٣ - مقدمات ابن الهيثم

والمقدمات التي عنى ابن الهيثم بوضعها والبرهان عليها ست مقدمات هي

(١) « Horribly prolix Solution » : أنظر رسالة « Baker » التي أشرنا إليها .

(٢) في رسالته التي ذكرناها آنفاً .

بحسب ترتيب ورودها في كتابه المناظر وبالصيغة التي صاغها فيها بألفاظه كما يأتي :



(شكل ١٤)

المقدمة الأولى - « اذا كانت

دائرة ا ب > (شكل ١٤) معلومة ،

وفيهما قطر > ب ، وقد أخرج > ب

في جهة > ، وخط ك ه مفروض ،

ونقطة ا مفروضة على محيط الدائرة ،

ونريد أن نخرج من نقطة ا خطاً مثل

ا ح د حتى يكون الذي يقع منه فيما

بين القطر والدائرة النظير لخط ح د ، مساوياً لخط ك ه . » (١)

المقدمة الثانية - « وأيضاً فلتكن دائرة عليها ا ب > ، وفيها قطر ب > ،

وعلى محيطها نقطة ا ، وخط ( م ر ح ) (٢) مفروض ، ونريد أن نخرج من

نقطة ا خطاً ( يقطع ) (٣) قطر ب > ، وينتهي

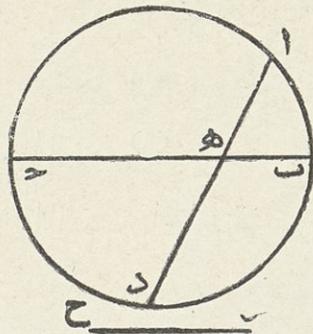
إلى الدائرة ، فيكون ما يقع منه فيما بين الدائرة

والقطر مثل خط م ر ح » (٤)

أى أنه يراد إخراج خط مثل ا ه د

(شكل ١٥) يقطع القطر ب > على ه والمحيط

على د بحيث يكون ه د مساوياً م ر ح .



(شكل ١٥)

المقدمة الثالثة - « وأيضاً (فليكن مثلث ا ب > قائم الزاوية) (٥) ، زاوية ب

منه قائمه ، ونقطة د مفروضة على خط ب > ، ونسبة ه د إلى - معلومة ، ونريد

(١) هذه المقدمة والبرهان عليها في الورقات (٢٠٢ - ٢٠٦) من مخطوط المقالة

الخامسة من المناظر .

(٢) في الأصل « ب ح » وهو لاشك خطأ من الناسخ .

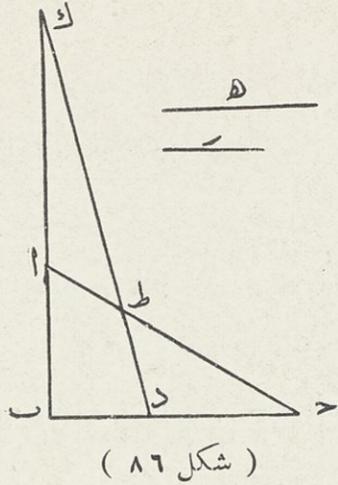
(٣) في الأصل « يخرج » .

(٤) هذه المقدمة والبرهان عليها في الورقات (٢٠٦ - ٢٠٨) من مخطوط المقالة

الخامسة من المناظر .

(٥) الوارد في الأصل « فليكن ا ب > قابل الزاوية » .

أن نخرج من نقطة د خطأً مثل خط د ط ك ، حتى تكون نسبة ك ط إلى ( ط > ) (١) كنسبة ه إلى ر (٢)»



أى أنه يراد اخراج المستقيم د ط ك (شكل ٨٦) قاطعاً وتر القائمة على ط وامتداد الضلع ب ا على ك بحيث تكون نسبة ك ط إلى ط > كنسبة طول أحد الخطين المفروضين وهو ه إلى طول الآخر وهو ر .

المقدمة الرابعة - « وأيضاً فليكن دائرة

ا ب مفروضة ومركزها > ، ونقطتا د ، ه

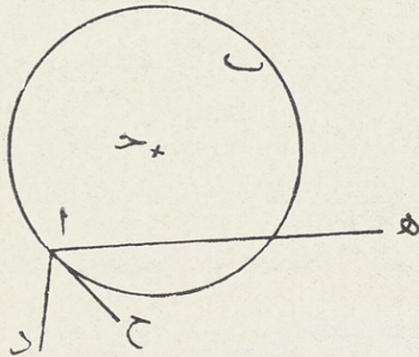
مفروضتان . ونريد أن نخرج من نقطتي ( ه ، د ) (٣) خطين مثل خطي ه ا ، د ا حتى إذا أخرجنا خطأً مماساً

للدائرة مثل خط ا ح ، ( قسم ) (٤)

زاوية ه ا د ( بنصفين ) (٥)»

وشكل (٨٧) يوضح المقصود من

هذه المقدمة (٦) .



المقدمة الخامسة - « وأيضاً

فليكن دائرة ا ب مفروضة ومركزها

> ، وفيها قطر ( كذا ) مفروض وهو > ب ، ونقطة ه مفروضة خارج الدائرة ، ونريد أن نخرج من نقطة ه خطأً مثل خط د م ر ( بحيث

(١) الوارد في الأصل « ط » .

(٢) هذه المقدمة والبرهان عليها في و (٢٠٩) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٣) لم يرد ما بين القوسين في الأصل .

(٤) الوارد في الأصل « فنسبة » وهو خطأً من الناسخ .

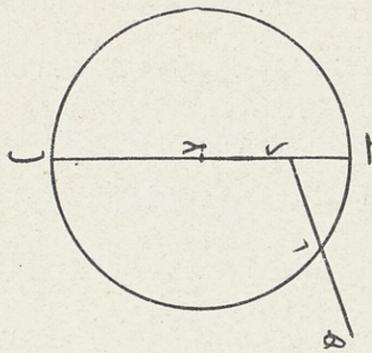
(٥) الوارد في الأصل « ببعضين » .

(٦) هذه المقدمة والبرهان عليها في الورقات (٢٠٩ مكررة - ٢١١) من مخطوط

المقالة الخامسة من المناظر .

يكون د م مثل م ح (١) .»

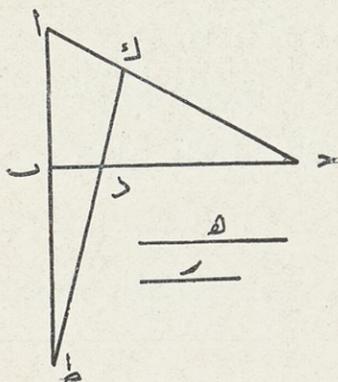
أى أن الخط المراد اخراجه يلتقي محيط الدائرة على د والقطر المفروض على م بحيث يكون د م مساوياً م ح كما هو مبين بشكل (٨٨) (٢) .



( شكل ٨٨ )

المقدمة السادسة - ( وأيضاً فليكن مثلث ا ب ح ( قائم الزاوية ، زاوية ) (٣) ب منه قائمة ، وقد أخرج ا ب في جهة ب ، ونقطة د مفروضة على خط ( ب ح ) (٤) ونسبة ه الى ر معلومة .

ونريد أن نخرج من نقطة د خطاً مثل خط ط د ك حتى تكون نسبة ط ك إلى ك ح كنسبة ه الى ر (٥) .»



( شكل ٨٩ )

أى أن الخط المراد اخراجه يلتقي الوتر ا ح ( شكل ٨٩ ) على نقطة ك وامتداد الضلع ا ب على ط بحيث تكون نسبة ط ك : ك ح هي النسبة المعلومة .

تلك هي المقدمات الست .

وقد أورد ابن الهيثم حلاً لكل واحدة من هذه المقدمات على حدها

(١) الوارد في الأصل « مثل و ح » .

(٢) هذه المقدمة والبرهان عليها في الورقتين ( ٢١١ ، ٢١٢ ) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٣) الوارد في الأصل « قائماً لدائرة فزاوية » .

(٤) الوارد في الأصل « د ح » .

(٥) هذه المقدمة والبرهان عليها في ورقتي ( ٢١٣ ، ٢١٤ ) من مخطوط الفاتح رقم (٣٢١٥) . والمصور الذى بين أيدينا لايشمل ورقة ٢١٣ منه وقد أتمنا هذا النقص من مخطوط أيا صوفيارقم (٢٤٤٨) حيث وردت هذه المقدمة مع البرهان عليها في ورقة ٤٣٣ منه واستعنا في ذلك أيضاً بتنقيح الفارسى .

وبرهن على ذلك ببرهان هندسي صحيح يفي بالغرض المطلوب .  
ومن الواضح أن المقدمتين الأولى والثانية متشابهتان بل هما في الحقيقة  
صورتان لعملية هندسية واحدة . وكذلك فإن المقدمتين الثالثة والسادسة متشابهتان  
وهما أيضاً صورتان لعملية هندسية واحدة . ولما كانت الفكرة الأساسية التي  
توخاها ابن الهيثم نفسه في وضع حل المقدمتين الأولى والثانية والبرهان عليهما  
واحدة ، وكذلك في وضع حل المقدمتين الثالثة والسادسة ، وجدنا من الأنسب  
منعاً للتكرار أن ندج المقدمتين الأولى والثانية معاً ونعرضهما بعنوان « العملية  
الهندسية الأولى » وندج المقدمتين الثالثة والسادسة معاً ونعرضهما بعنوان  
« العملية الهندسية الثانية » ونجعل من مقدمات ابن الهيثم الست أربع عمليات  
هندسية تشملها جميعاً .

وقد التزمنا في إيراد هذه العمليات الهندسية فيما يلي ألا نحيد عن النهج  
الذي سلكه ابن الهيثم من حيث الفرض والعمل والبرهان ، ولكن مع تعديل  
يسير لا يتجاوز قليلاً من التقديم أو التأخير ، مصحوباً بالشرح والتعليق لكي  
نجعل تلك العمليات أقرب منا لا مع الحرص على ألا يبدل ذلك كله سياق  
تفكير ابن الهيثم أو منطق براهينه الهندسية (١) .

(١) لم نلتزم في عرض هذه العمليات الأربع والبراهين عليها الحروف الرمزية التي  
استعملها ابن الهيثم في مقدماته الست وفي البرهان عليها . فهو لم يستعمل في المقدمات المتشابهة  
رموزاً واحدة ، فضلاً عن أن المقالة الخامسة من مخطوط الفاع وهو في نظرنا المنقول عنه مخطوط  
« أيا صوفيا » منسوخ بخط غير منقوط وليست البحوث الهندسية الواردة فيه موضحة بأشكال  
وبه أخطاء كثيرة . منها الخلط بين الحروف المختلفة المرموز بها لنقاط الأشكال الهندسية في  
العمل الهندسي وفي البرهان ، كالخلط بين الواو والفاء أو بين الجيم والحاء والحاء أو بين  
الباء والراء والنون أو غير ذلك من الحروف المتقاربة الرسم التي يصعب التمييز بينها إن لم  
تكن منقوطة . ومن تلك الأخطاء الغلط في نسخ بعض الألفاظ وقد ورد في مواضع كثيرة  
فمثلاً يرد « مائل الزاوية » أو « قائماً لدائرة » حيث المقصود « قائم الزاوية » ويرد  
« فنسبة زاوية ه أ ه ببعضين » حيث المقصود « قسم زاوية ه ا د بنصفين » ويرد « ونين  
على مثل رم د ح دائرة » حيث المقصود « وندير على مثلث م د ح دائرة » . وإن لم  
تكن هذه الأخطاء قد تكررت بهذه الكثرة في تنقيح الفارسي فهو أيضاً لا يخلو من الخطأ  
وأشكاله بوجه عام ليست مضبوطة . ولأرب أن هذه الأخطاء من أخطاء الناسخ وهي من =



نمد الضلعين  $1$  و  $2$  على استقامتيهما من الجهتين ، ولتتخذهما محوري إحداثيات متعامدين هما السيني والصادي على الترتيب ، ونقطة تقاطعهما  $1$  نقطة الأصل .

ثم نرسم القطع الزائد المار بنقطة  $ح$  ، والذي يكون المحوران المذكوران مماسين له في مالا نهائية ، وليكن فرعاه كالمبين بالشكل .

ثم نعيّن طول المستقيم  $ح ط$  ، الذي هو ضلع مستطيل مساحته تساوى المربع المنشأ على القطر  $ح$  ، وضلعه الآخر المستقيم المعلوم  $ور$  .

أى نعيّن المستقيم  $ح ط$  بحيث يكون

$$ح ط \cdot ور = \overline{ح}^2$$

فيكون

$$ح ط = \frac{\overline{ح}^2}{ور}$$

ثم نركز في نقطة  $ح$  ونرسم دائرة نصف قطرها  $ح ط$  ، فيقطع محيط الدائرة فرعى القطع الزائد بوجه عام على أربع نقاط ، ولتكن هذه النقاط  $ط ١$  ،  $ط ٢$  ،  $ط ٣$  ،  $ط ٤$  .

نصل  $ح ط ١$  ،  $ح ط ٢$  ،  $ح ط ٣$  ،  $ح ط ٤$  .

ثم نرسم من نقطة  $١$  أربعة مستقيمتين توازي هذه المستقيمت الأربعة بحيث يقطع كل منهما محيط الدائرة المحيطة بالمثلث  $١ ب ح$  على نقطة ، والقطر  $ب ح$  ، أو امتداده على أخرى .

فيكون كل واحد من هذه المستقيمت هو المستقيم المطلوب .

البرهان :

(أولاً) ليكن  $١ هـ$  المستقيم الموازي للمستقيم  $ح ط$  وليقطع امتداد

القطر  $ب ح$  على  $هـ$  ومحيط الدائرة المحيطة بالمثلث  $١ ب ح$  على  $د$  .

فيكون المطلوب إثباته أن  $د هـ = ور$

نمد المستقيم  $ح ط$  من جهتيه حتى يقطع المحور الصادي على  $ك$  ، والسيني

على  $ى$  . ونرسم  $ب م$  موازياً  $ك ى$  ، وليقطع  $ح$  على  $ل$  ، والمحور  
 السيني على  $م$  . ونمدح  $ح$  على استقامته وليقطع  $ا ه$  على  $ن$  ، و نصل  $ح د$  .  
 بما أن  $ح ط$  وتر في القطع الزائد ومن المعلوم أن الجزء المنفصل من وتر  
 القطع الزائد ( أو من امتداده ) بين القطع وبين أحد المحورين يساوى الجزء  
 المنفصل منه ( أو من امتداده ) بين القطع والمحور الثانى ، فإن

$$ح ك = ط ى .$$

وبما أن  $ح ب م ى$  متوازى أضلاع ، فإن

$$ب م = ح ى .$$

وبما أن  $ح ك ب ل$  متوازى أضلاع ، فإن

$$ح ك = ب ل .$$

$$\therefore ل م = ح ط .$$

و  $\triangle ا > ن$  يشابه  $\triangle م > ل$

$$\therefore \frac{ان}{م ل} = \frac{ا > ن}{م > ل} \quad (١)$$

و  $\triangle ا > ه$  يشابه  $\triangle م > ب$

$$\therefore \frac{ا > ه}{م ب} = \frac{ا > ن}{م ل} \quad (٢)$$

$$\text{ومن (١) و (٢) ينتج أن } \frac{ان}{م ل} = \frac{ا > ن}{م ب} = \frac{ا > ه}{م ب}$$

وبما أن  $ل م = ح ط$

$$\therefore \frac{ان}{م ب} = \frac{ح ط}{م ب} = \frac{ا > ه}{م ب} = \frac{ا > ن}{م ب} = \frac{ا > ه}{م ب} = \frac{ا > ن}{م ب} = \frac{ا > ه}{م ب}$$

$$\therefore \overline{ور} = \overline{ان} = \overline{ا > ه} = \overline{ا > ن} = \overline{ح ب} \quad (٣)$$

ومن السهل إثبات أن  $\triangle ا > ه$  يشابه  $\triangle ا > ن$  و  $\triangle م > ب$  يشابه  $\triangle م > ل$

$$\frac{> ه}{> ن} = \frac{د ه}{> ه} \therefore$$

$$(٤) \dots \dots \dots \frac{د ه}{> ه} = \frac{د ه}{> ن} \therefore$$

$$\text{ولكن } د ه د = ١ ه = > ه > ه$$

$$(٥) \dots (ب > + > ه) > ه =$$

$$\dots د ه د + > ه > ه = ١ ه > ه$$

وبالتعويض عن  $> ه$  من (٤) يتبين أن

$$د ه د + > ه > ه = ١ ه > ه$$

$$\therefore د ه د = (> ه - ١ ه) > ه$$

$$\therefore د ه د = ١ ن > ه$$

وبما أنه قد ثبت في (٣) أن

$$و ر = ١ ن > ه$$

$$\therefore د ه د = و ر \text{ وهو المطلوب.}$$

(ثانياً) كذلك إذا راعينا الوتر ح ط ورسمنا من ا المستقيم ا د ه موازياً له قاطعاً محيط الدائرة المحيطة بالمثلث ا ب ح على د وامتداد القطر ح ب (من جهة ب) على ه ، أمكن إثبات أن  $د ه د = و ر$

والمستقيم المرسوم من ب موازياً ح ط يقطع في هذه الحالة المحور السيني على نقطة ولتكن م هي النظرية لنقطة م في الحالة السابقة ، ويقطع امتداد ح على نقطة ولتكن ل هي النظرية لنقطة ل في الحالة الأولى ويكون ل م = ح ط

ويمكن تتبع مثل خطوات البرهان المذكور في الحالة الأولى مع استبدال ب

بالحرف > في المواضع التي تقتضيها هذه الحالة ومدح ب بدلا من ح > حتى يقطع ا هـ على ن .

(ثالثاً) كذلك إذا راعينا الوتر ح ط ورسمنا من ا المستقيم ا هـ د موازياً له قاطعاً محيط الدائرة المحيطة بالمثلث ا ب > على د وقاطعاً القطر ب > لا امتداده، على هـ، أمكن إثبات أن

$$\overline{هـ د} = \overline{و ر} .$$

وفي هذه الحالة يقطع الوتر نفسه المحورين . والمستقيم المرسوم من ب موازياً ح ط يقطع المحور السيني على م ويقطع امتداد ح على ل، ويكون ل م = ح ط . وامتداد ح يقطع امتداد ا هـ ( لا ا هـ نفسه ) على نقطة ن .

ويمكن تتبع خطوات البرهان نفسه كما في الحالة الأولى مع ملاحظة أن ما يناظر ( ٥ ) من البرهان السابق وهو

$$\overline{هـ د} . \overline{هـ ا} = \overline{هـ ب} . \overline{هـ ب} \text{ يساوى في هذه الحالة}$$

$$\overline{هـ د} ( \overline{ب} - \overline{هـ} ) .$$

ومنه ينتج أن

$$\overline{هـ د} . \overline{هـ ا} = \overline{هـ ب} . \overline{ب} - \overline{هـ د} . \overline{هـ ن}$$

$$\text{وإذن } \overline{هـ د} ( \overline{هـ ا} + \overline{هـ ن} ) = \overline{هـ ب} . \overline{ب}$$

$$\text{أى } \overline{هـ د} . \overline{ا ن} = \overline{هـ ب} . \overline{ب}$$

$$\overline{هـ د} = \overline{و ر}$$

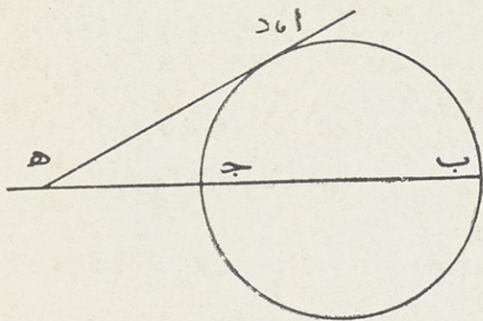
(رابعاً) كذلك إذا راعينا الوتر ح ط، ورسمنا من نقطة ا المستقيم ا هـ د موازياً له قاطعاً محيط الدائرة المحيطة بالمثلث ا ب > على د وقاطعاً القطر ب > على هـ، أمكن أيضاً إثبات أن

$$\overline{هـ د} = \overline{و ر} .$$

وكما في ( ثالثاً ) فإن الوتر ح ط<sub>٣</sub> يقطع المحورين السيني والصادي .  
فالمستقيم المرسوم من ب موازياً ح ط<sub>٣</sub> يقطع المحور السيني على نقطة  
ولتكن م<sub>٣</sub> ويقطع امتداد ح على نقطة ولتكن ل<sub>٣</sub> . والمستقيم ح  
يقطع ا د<sub>٣</sub> ( أو امتداده ) على نقطة ولتكن ن<sub>٣</sub> . فيمكن تتبع خطوات  
البرهان نفسه مع التعديل المبين في ( ثالثاً ) لإثبات المطلوب .

### ١٣٥ - بيان وتعليق على العملية الأولى

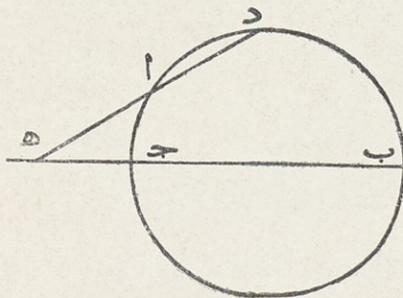
والعملية الأولى التي أوردناها هنا على الصفة المذكورة تشمل ما أورده  
ابن الهيثم نفسه في مقدمتيه الأولى والثانية كل منهما على حدتها . فهو في المقدمة  
الأولى تناول كيفية إخراج المستقيم الذي يقطع محيط الدائرة على نقطة ويقطع  
امتداد القطر ب ح من جهة ح على نقطة بحيث يكون الجزء المحصور بين  
النقطتين مساوياً الطول المعلوم . فمقدمته الأولى هي الصورة التي أوردناها في



( شكل ٩١ )

( أولاً ) من هذه العملية . ثم أن  
ابن الهيثم تناول في مقدمته الأولى  
شرح ثلاث حالات . فالمستقيم المراد  
إخراجه قد يكون مماساً للدائرة  
المفروضة فتتطبق النقطتان ا د ،  
إحدهما على الأخرى ( شكل ٩١ )

وقد تقع نقطة د على القوس ا ح ( شكل ٩٠ ) حيث يقطع المستقيم ا هـ



( شكل ٩٢ )

محيط الدائرة على د ، وقد تقع نقطة د  
على القوس ا ب ( شكل ٩٢ ) فيكون  
امتداد ا هـ من جهة ا هو القاطع لمحيط  
الدائرة على د . وهذه الحالات الثلاث  
هي حالات خاصة تكون بحسب موقع  
نقطة ا على محيط الدائرة وبحسب طول  
المستقيم المعلوم و ر

وكذلك فإن ما أوردناه في (ثانياً) لا يتجاوز مجال منطوق مقدمته الأولى لأنه يتضمن كيفية إخراج المستقيم الذي يقطع محيط الدائرة على نقطة ويقطع امتداد القطر  $ح$  من جهة  $ب$  على نقطة بحيث يكون الجزء المحصور بين النقطتين مساوياً الطول المعلوم. وابن الهيثم نفسه قد أغفل في مقدماته هذه الحالة مكتفياً بمد القطر  $ب$   $ح$  من جهة واحدة هي جهة  $ح$ .

وابن الهيثم في مقدمته الثانية تناول كيفية إخراج المستقيم الذي يقطع  $ب$   $ح$  على نقطة فيما بين طرفيه  $ب$   $و$   $ح$ ، ويقطع محيط الدائرة على نقطة، بحيث يكون الجزء المحصور بين النقطتين مساوياً الطول المعلوم. فمقدمته الثانية تشمل ما أوردناه في (ثالثاً) و (رابعاً) من العملية.

وبما أن طول المستقيم  $ح$   $ط$  يساوى  $\frac{ب}{و}$  فالدائرة التي مركزها  $ح$

ونصف قطرها  $ح$   $ط$  وإن قطعت الفرع المار بنقطة  $ح$  من القطع الزائد، ولنسمه الفرع الأول، على تصارييف الأحوال، أي كان الطول المعلوم  $و$   $ر$ ، فانه يحتمل فيها وجوه ثلاثة فيما يتعلق بالفرع الآخر من القطع الزائد، ولنسمه الفرع الثاني، فهي قد تقطعه على نقطتين (شكل ٩٠)، وقد تلمسه على نقطة واحدة. وقد تقع دونه لا يصل إليه محيطها. فان كانت المقدمة الأولى تصح على تصارييف الأحوال فالمقدمة الثانية تحتمل ثلاثة وجوه. وابن الهيثم قد ضمن بحوثه بيان ذلك. فإخراج المستقيم المطلوب على الصفة المبينة في المقدمة الثانية قد يكون من المحال عملياً تحقيقه، وذلك إذا تجاوز الطول المعلوم  $و$   $ر$

حداً معيناً يجعل الدائرة التي نصف قطرها  $ح$   $ط$  (ويساوى  $\frac{ب}{و}$ )

ومركزها  $ح$  لا تصل إلى الفرع الثاني للقطع الزائد. وقد يكون من الممكن تحقيقه إذا لم يكن الأمر كذلك. وإذا كان من الممكن تحقيقه فقد يكون إخراج المستقيم ممكناً على صورة واحدة فقط، وذلك إذا كانت الدائرة التي مركزها  $ح$  ونصف قطرها  $ح$   $ط$  تلمس الفرع الثاني من القطع على نقطة واحدة. وقد

يكون إخراج المستقيم ممكناً على صورتين وذلك إذا كانت الدائرة المذكورة تقطع الفرع المذكور على نقطتين . ولا يمكن إخرجه على أكثر من صورتين . وابن الهيثم يحيل على كتاب «أبولونيوس» في المخروطات البحث عن أقصر الخطوط التي تخرج من نقطة ح إلى الفرع الآخر من القطع الزائد<sup>(١)</sup> ، ويكتفى بما ذكرناه آنفاً لشرح ما يترتب على ذلك من الأمور المتعلقة بالبحوث التي بناها على مقدمته المذكورة .

ويجدر بنا أن نؤكد هنا مرة أخرى أن النهج الذي نهجناه في عرض العملية الأولى لا يختلف في جوهره عن النهج الذي نهجه ابن الهيثم نفسه في عرض مقدمتيه الأولى والثانية . ولا يتجاوز التعديل الذي رأينا إدخاله إلا ما يتيسر به إدماج المقدمتين في عملية واحدة ، وتبسيط الأشكال الهندسية اللازمة لتوضيح العمل الهندسي والبرهان . فابن الهيثم فيما يختص بهذه الناحية قد عد الأشكال . بمعنى أنه لم يتخذ نقطة ا المفروضة على محيط الدائرة نقطة الأصل ولا المستقيمين ١ > ٦ ب بالذات محوري القطع الزائد . بل اتخذ شكلاً آخر جعله على هيئة مستطيل يشابه المستطيل ا ب ح > (شكل ٩٠) الوارد هنا ورسم من النقطة النظرية لنقطة ح كما يقول بلفظه «القطع الزائد الذي لا يقع عليه» المستقيمان النظيران للمستقيمين ١ > ٦ ب ، وأحال ذلك على المقالة الثانية من كتاب «أبولونيوس» في المخروطات<sup>(٢)</sup> . ثم رسم فيما يتعلق بمقدمته الأولى الوتر النظير للوتر ح ط في الشكل الذي أوردناه ، بحيث تكون نسبة طول الوتر إلى طول المستقيم النظير للمستقيم ب ح كنسبة القطر ب ح المفروض في الدائرة إلى الطول و ر المعلوم . وأحال بيان تساوي جزئي الوتر المحصورين بين محيط القطع وكل من المحورين على كتاب «أبولونيوس» أيضاً<sup>(٣)</sup> .

(١) و (٢٠٦) من مخطوط المقالة الخامسة من كتاب المناظر . والوارد في الأصل : «فهوتين في الشكل الرابع والثلاثين L (كذا) من مقالة ه من كتاب ابولونيوس في المخروطات .»  
 (٢) و (٢٠٣) من مخطوط المقالة الخامسة من كتاب المناظر . والوارد في الأصل : «كما تبين في شكل د من المقالة الثانية من كتاب ابولونيوس في المخروطات .»  
 (٣) و (٢٠٣) من مخطوط المقالة الخامسة من كتاب المناظر والوارد في الأصل : «كما بينا»

وهو في مقدمته الثانية قد اتخذ أيضاً مستطيلاً شديراً بالمستطيل  $١ ب ح >$  الوارد هنا . ولكنه جعل قطره النظير للقطر  $١ ح$  مساوياً الطول المعلوم . وجعل نصف قطر الدائرة القاطعة للفرع الثاني من القطع وهو النظير للمستقيم  $ح ط$  أو  $ح ط$  مساوياً قطر الدائرة المعلوم  $ب ح$  . وابن الهيثم يسمي الفرع الثاني من القطع الزائد القطع المقابل . أما فيما عدا ذلك فإن العناصر الهندسية التي أوردناها هنا هي بالذات ماضمنه ابن الهيثم عرض مقدمته الأولى والثانية والبرهان عليهما .

### ١٣٦ - العملية الهندسية الثانية

المعلوم مثلث  $١ ب ح$  ( شكل ٩٣ ) قائم الزاوية في  $ب$  ، ونقطة  $د$  على الضلع  $ب ح$  ، هو امتداده من جهة  $ب$  ، ويراد من النقطة  $د$  ، إخراج مستقيم يقطع الضلع الثاني  $١ ب$  ، هو أو امتداده ، على نقطة  $ك$  ، ويقطع الوتر  $١ ح$  ، هو أو امتداده ، على نقطة  $ط$  ، بحيث تكون نسبة

$$\frac{ط ك}{ب ح} = \text{نسبة معلومة ولتكن } ل$$

العمل :

نصل  $١ د$  ونعين البعد  $م ن$  بحيث يكون

$$\frac{١ د}{م ن} = \text{النسبة المعلوم } ل$$

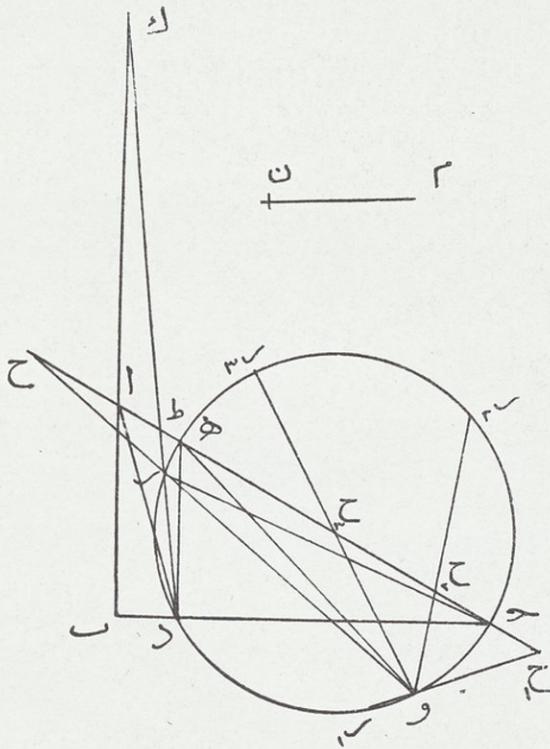
ومر نقطة  $د$  نرسم  $د ه$  موازياً  $١ ب$  ، قاطعاً  $ب ح$  ، أو امتداده على  $ه$  ، ثم نرسم الدائرة المحيطة بالمثلث  $ه د ح$  ، ويكون  $ه ح$  قطرها . ومن نقطة  $ه$  نرسم المستقيم  $ه و$  بحيث تكون .

$$د د ه و = د ح ١ د .$$

ونمده حتى يقطع محيط الدائرة على  $و$  .

= أيضاً في شكل  $ح$  من المقالة المذكورة . « ولعل ابن الهيثم كما يستفاد من هذه الأقوال يشير إلى تحرير له لكتاب أبولونيوس في المخروطات .

ثم نخرج من نقطة و المستقيم الذى يقطع محيط الدائرة على نقطة م ر ،  
ويقطع القطر ه ح أو امتداده ، على نقطة ح ، ويكون البعد بين هاتين  
النقطتين ، م ر ح ، مساوياً م ن .



( شكل ٩٣ )

ويتضح من العملية  
الأولى أن هذا المستقيم  
يمكن إخراجـه على  
تصاريـف الأحوال أياً  
كان الطول المعلوم م ن  
على صورتين فيلقى المخرج  
على إحدى الصورتين  
محيط الدائرة على نقطة  
مثل م ر ( شكل ٩٣ )  
ويلقى امتداد القطر من  
أحد طرفيه على نقطة مثل  
ح . ويلقى المخرج على

الصورة الأخرى محيط الدائرة على نقطة مثل م ر ، وامتداد القطر من جهة  
الطرف الآخر على نقطة مثل ح .

ويتضح أيضاً من العملية الأولى أن المستقيم المطلوب يمكن أيضاً فى بعض  
الأحوال إخراجـه بحيث يلقى القطر على نقطة فيما بين طرفيه مثل م ر أو ح م  
ويلقى المحيط على نقطة مثل م ر أو م م ويكون البعد بين النقطتين م م و  
ح م أو م م و ح م مساوياً البعد المعلوم . وقد يصح إخراجـه فى هذا الوضع  
على صورة واحدة فقط .

وإذن فالمستقيم المطلوب إخراجـه يمكن إخراجـه على تصاريـف الأحوال

على صورتين ويمكن في بعض الأحوال إخراجه على صورة ثلاثة أيضاً، ويمكن في بعض الأحوال الأخرى إخراجه على صورة ثلاثة ورابعة أيضاً. فإن صح إخراجه على الصور الأربع فلتكن نقاط التقاء هذه المستقيمات الأربعة بمحيط الدائرة هي  $س$  و  $س١$  و  $س٢$  و  $س٣$  (شكل ٩٣).

ثم نصل نقطة  $د$  بكل واحدة من هذه النقاط الأربع وتمد الواصل على استقامة حتى يقطع  $ا$  ب، أو امتداده، على نقطة ويقطع  $ا$  ح، أو امتداده على نقطة فيكون هو المستقيم المطلوب إخراجه.

البرهان:

لنأخذ إحدى هذه النقاط الأربع ولتكن  $س$  (شكل ٩٣) وليكن المستقيم المخرج من  $و$  هو  $و س ح$ ، وليقطع  $ا$  ح، أو امتداده، على  $ح$ . ولنرمز لنقطة تقاطع  $د س$ ، أو امتداده  $ا ب$ ، أو امتداده بالحرف  $ك$ ، ولنقطة تقاطع  $د س$ ، أو امتداده  $ا ب$ ، أو امتداده بالحرف  $ط$ ، ونصل  $س ح$ .

من السهل إثبات أن

$$\begin{aligned} \triangle ك ا ط \text{ يشابه } \triangle ح س ط . \\ \therefore \frac{ط ك}{ط ح} = \frac{ط س}{ط س} \end{aligned}$$

وكذلك يمكن إثبات أن

$$\begin{aligned} \triangle د ط ا \text{ يشابه } \triangle ح ط س . \\ \therefore \frac{ط ا}{ط س} = \frac{د ا}{ح س} \\ \therefore \frac{ا د}{م ن} = \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{\text{ط ك}}{\text{ط ح}} = \text{النسبة المعلومة لـ ج}$$

وبالمثل فيما يختص بكل واحدة من النقاط  $\text{م}_١$  ،  $\text{م}_٢$  ،  $\text{م}_٣$  .  
وكذلك إذا كانت نقطة د واقعة على امتداد ح ب (١) .

### ١٣٧ - بيان وتعليق على العملية الثانية

وهذه العملية على الصفة التي أوردناها هنا تشمل ما أورده ابن الهيثم في مقدمتيه الثالثة والسادسة . فهو في مقدمته الثالثة تناول حالتين إحداهما كيفية إخراج مستقيم من نقطة د على الضلع ب ح فيما بين طرفيه ، بحيث يلقى المستقيم المخرج وتر القائمة ا ح فيما بين طرفيه ، على نقطة مثل ط ، ويلقى امتداد الضلع ب ا من جهة ا على نقطة مثل ك ، وبحيث تكون نسبة ط ك إلى ط ح النسبة المعلومة ، وذلك كما هو مبين بشكل (٩٣) الوارد هنا .  
والأخرى كيفية إخراج مستقيم من نقطة نظيرة لنقطة د في الشكل ولكنها هلى امتداد ح ب من جهة ب ، وبحيث يتحقق شرط النسبة المذكورة .  
وهذه الحالة تتطلب أن يخرج من النقطة النظيرة لنقطة د في الشكل مستقيماً يقطع محيط الدائرة على نقطة نظيرة لنقطة م ، ويقطع امتداد ح ه من جهة ه على نقطة نظيرة لنقطة ح ، ويكون إتمام العمل والبرهان بمثل ما سبق .  
وإخراج المستقيم من و (شكل ٩٣) ، أو من النظيرة لها ، يجوز في كل من الحالتين المذكورتين على وجهين اثنين حيث تكون نقطة ح ، أما فيما يلي ه من ح ، أو مثل ح ، فيما يلي ح من ه . ولكن ابن الهيثم راعى أن يكون إخراج القطر ح ه من جهة ه وحدها ، لأنه كما بينا سابقاً قد أغفل ما أوردناه في (ثانياً) من العملية الأولى .

وهو في المقدمة السادسة تناول كيفية إخراج مستقيم من نقطة د على الضلع ب ح فيما بين طرفيه ب ح ، بحيث يلقى وتر القائمة فيما بين طرفيه

(١) يتوقف البرهان في جميع الأحوال على تشابه المثلثين ك ا ط ، ح ر ط ، وتشابه المثلثين د ط ا ، ح ط ر . غير أن إثبات التشابه يختلف اختلافاً طفيفاً بحسب اختلاف الأشكال .



إذا ما انطبق المستقيم المخرج على د ه بلغت النسبة ما لا نهاية مرة أخرى ،  
فإذا ما تحدد الوضعان ك ط ، ك ط ، ك ط ، ك ط اللذان تكون فيهما النسبة

$$\frac{ك ط}{ط ط} \text{ أو } \frac{ك ط}{ك ط} \text{ نسبة معلومة ، فإن أى مستقيم يخرج من د مثل}$$

ك ط ويكون واقعاً بين ك ط ، ك ط ، ك ط تكون فيه نسبة  $\frac{ك ط}{ط ط}$

أصغر من تلك النسبة المعلومة . وأيضاً فالمستقيم المخرج من د بحيث يكون  
طرفه الواقع على امتداد ا ب في الجزء الواقع بين ب ك ، أو فيما يلي  
ك من ب ، تكون فيه النسبة المذكورة أعظم من النسبة المعلومة .

### ١٣٨ - العملية الهندسية الثالثة

المعلوم دائرة مركزها ح وقطرها ا ب ونقطة ه مفروضة ، والمطلوب  
اخراج مستقيم من نقطة ه يقطع محيط الدائرة على نقطة د ، والقطر ا ب  
على نقطة م ، بحيث يكون د م مساوياً ح م (شكل ٥٩) .

العمل :

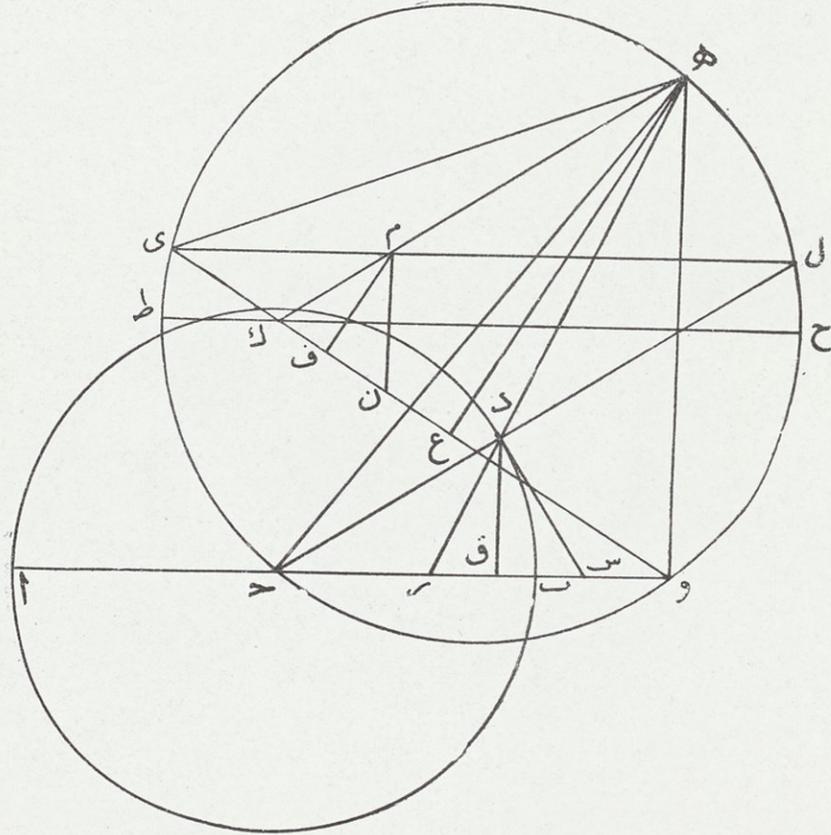
نسقط من نقطة ه العمود ه و على القطر ا ب ، أو امتداده ونرسم  
الدائرة المحيطة بالمثلث ه و ح ، ونرسم فيها ح ط قطراً منصفاً الوتر ه و (فيكون  
عموداً عليه) . ومن نقطة و نخرج المستقيم و ي قاطعاً محيط هذه الدائرة  
على ي ، والقطر ح ط (أو امتداده) على ك بحيث يكون .

$$ك ي = ح ي = ا .$$

ثم نرسم من نقطة ي المستقيم ي ل موازياً ط ح بحيث يقطع محيط  
الدائرة المحيطة بالمثلث ه و ح على ل .

نصل ل ح فيقطع هو أو امتداده محيط الدائرة التي مركزها ح على  
نقطة و لتكن د .

نصل ه د فيقطع هو أو امتداده القطر ا ب على نقطة وتكن م ،  
فيكون هو المستقيم المطلوب .



( شكل ٩٥ )

البرهان :

نصل ك ه وليقطع هو أو امتداده ي ل ، أو امتداده على م ،  
نرسم من نقطة المستقيم م ن موازياً ه و ، وقاطعاً و ي ، أو امتداده  
على ن ، ونسقط من المستقيم م ف عموداً على و ي ، ومن نقطة ه ،  
المستقيم ه ع عموداً على و ي .

ونسقط من د المستقيم د ق عموداً على القطر ا ب ، ونصل ه ي .

فمن السهل إثبات أن

$$ك م = ك ن$$

وبما أن  $\Delta$  ي م ن قائمة ،

يتبين أن نقطة ك منتصف ن ي .

$$\overline{د ك} = \overline{د ي} = \overline{د ن} = \overline{د م} = \overline{د ق} = \overline{د ح} = \overline{د ع} = \overline{د ف}$$

$$\therefore \overline{ن ي} = \overline{د د} .$$

ومن السهل إثبات أن

$$\Delta م ي ن = \Delta ق د ح \quad (١)$$

$$\Delta د ي م ن = \Delta د ق ح \quad (كل قائمة)$$

$$\therefore \Delta د ي م ن \Delta د ق ح \text{ متطابقان}$$

$$\therefore \overline{م ن} = \overline{د ق} \quad (١)$$

$$\frac{ه و}{م ن} = \frac{ه ك}{م ك} = \frac{ه ع}{م ف}$$

$$(٢) \quad \text{ومن (١) ينتج أن } \frac{ه و}{د ق} = \frac{ه ع}{م ف}$$

$$\Delta د ح ه و \text{ يشابه } \Delta د ي ه ع \quad (٢)$$

$$(٣) \quad \therefore \frac{ه ح}{ه و} = \frac{ه ي}{ه ع}$$

وبضرب (٢) في (٣) ينتج أن

$$(٤) \quad \frac{ه ح}{د ق} = \frac{ه ي}{م ف}$$

$$\Delta د ق ح \text{ يشابه } \Delta م ف ي$$

$$(٥) \quad \therefore \frac{د ق}{م ف} = \frac{د ح}{م ي}$$

(١) يختلف السبب بحسب اختلاف الأشكال .

(٢) يختلف السبب بحسب اختلاف الأشكال .

من (٤) و (٥) ينتج أن

$$(٦) \quad \frac{هـ ي}{م ي} = \frac{هـ د}{د ي}$$

ومن السهل بيان أن

$$د هـ ي م = د هـ د م$$

$$\therefore \triangle ي م هـ يشابه \triangle د هـ د$$

$$\therefore د ي م هـ = د هـ د م$$

$$\therefore د ي م ك = د م د ي$$

$$\text{وبما أن } ك م = ك ي$$

$$\therefore د ي م ك = د م د ي = د م د ي$$

$$\text{وإذن } د م د ي = د م د ي$$

$$\text{وإذن } د م = د م \text{ وهو المطلوب.}$$

## ١٣٩ - بيان وتعليق على العملية الثالثة

والفكرة الأساسية في هذه العملية تتوقف على إخراج مستقيم من نقطة و التي هي على محيط الدائرة التي قطرها ح ط بحيث يكون الجزء المحصور منه بين قطرها ح ط ، وبين محيطها ، مساوياً ربع قطر الدائرة المعلومة التي مركزها ح . وهذا المستقيم بوجه عام يمكن إخرجه على أربعة أوضاع . وإن كانت نقطة هـ المفروضة خارج الدائرة المعلومة فإن قطر الدائرة المحيطة بمثلث هـ ح و ، يكون حتماً أعظم من نصف قطر الدائرة المعلومة . فيكون الجزء المحصور بين قطر الدائرة المحيطة ، وبين محيطها ، من المستقيم الخارج من نقطة و ، أصغر حتماً من نصف قطرها . وإذن يصح إخراج هذا المستقيم على الأوضاع الأربعة فتصح العملية على أربع صور كما هو مبين ( بشكل ٩٦ ) . حيث يمكن بتتبع مثل خطوات العمل نفسها ، ومثل البرهان نفسه ، إثبات المطلوب .

أى إثبات أن



فانه في الأصل الوارد جعل الدائرة المارة بالنقاط ه و و ه في شكل منفصل عن الدائرة المفروضة، فاتخذ مستقيماً يساوي ه و واخرج الدائرة التي يكون فيها هذا المستقيم وترأ يوتر عند محيطها زاوية تساوي زاوية ه و . ثم اخرج فيها القطر المنصف للوتر، وأخرج من النقطة النظيرة لنقطة و المستقيم النظير للمستقيم و ك ي ، الذي يلقى هذا القطر على نقطة هي النظيرة لنقطة ك ، ويلقى المحيط على نقطة هي النظيرة لنقطة ي ، بحيث يكون الجزء المحصور بين النقطتين مساوياً لنصف قطر الدائرة المعلومة . ثم اخرج من النقطة النظيرة لنقطة ي المستقيم الموازي للقطر المذكور ، فيحيط هذا المستقيم مع هذا القطر بزاوية هي النظيرة لزاوية ل ي و . فلتعيين نقطة د على محيط الدائرة المعلومة يخرج فيها قطر تكون الزاوية المحصورة بينه وبين القطر المفروض فيها مساوية للزاوية المذكورة . ويلاحظ في إجراء العملية على هذه الصفة أن هذا القطر يصبح إخراجاً على وضعين بالقياس إلى القطر المفروض . ولكن أحد وضعيه دون الآخر هو الذي يصح في العملية ، فضلاً عن أن النقطة المطلوب تعيينها هي أحد طرفيه دون الآخر في الوضع الذي يصح .

## ١٤٠ - العملية الهندسية الرابعة

المعلوم دائرة مركزها > ، ونقطتان ه و د حيثما اتفق ، ويراد إيجاد نقطة ا على محيط الدائرة ، بحيث إذا وصل المستقيمان ه ا و د ا ، أحاط أحدهما مع الآخر بزاوية ، وكانت الزاوية التي يحيط بها أحدهما والمماس من نقطة ا ، مساوية للزاوية التي يحيط بها الآخر وهذا المماس .

العمل :

لتكن نقطة ه ( شكل ٩٧ ) أبعد عن المركز > من نقطة د .  
نصل ه > و د > ، ونمد ه > حتى يلقى محيط الدائرة على ب .  
ثم نرسم مستقيماً ك ل ( شكل ٩٨ ) حيثما اتفق وننصفه على نقطة ن ،  
ونقسمه على نقطة م بحيث يكون

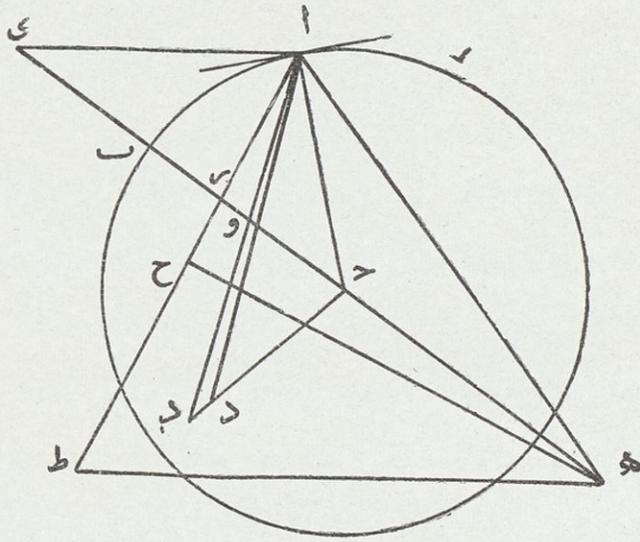
$$\frac{د >}{ه >} = \frac{ك م}{م ل}$$

ونرسم من ك المستقيم ك ع بحيث تكون

$$د ع ك ل = د ح ب .$$

ولتكن نقطة التقاء هذا المستقيم بالعمود المقام من نقطة ن على ك ل

هي نقطة ع .



( شكل ٩٧ )

ثم نخرج من نقطة م ، المستقيم م ق ف قاطعاً ن ع ، أو امتداده ،  
على نقطة ف وقاطعاً ك ع ، أو امتداده ، على نقطة ق ، بحيث يكون

$$\frac{ف ق}{ق ك} = \frac{هـ ح}{ح ب}$$

ثم نخرج من مركز الدائرة = ( شكل ٩٧ ) نصف القطر = ا ح ،  
بحيث تكون .

$$د هـ ا = ا د ف ق ك$$

وبحيث يكون اتجاه الترتيب الدائرى هـ ا ح ، عكس اتجاه الترتيب الدائرى

ف ق ك ، فتكون نقطة ا هي النقطة المطلوبة .

البرهان :

نصل ف ق ك ( شكل ٩٨ ) ٦ ه ٦ ( شكل ٩٧ ) فيما أن  $\angle ١ > = \angle ٢ >$

$$\angle ٦ > = \angle ٦ >$$

$$\therefore \frac{\angle ٦ >}{\angle ٦ >} = \frac{\angle ٦ >}{\angle ٦ >}$$

$$\angle ٦ > = \angle ٦ > = \angle ٦ > \text{ ق ك .}$$

اذن المثلثان ه ٦ ٦

ف ق ك متشابهان وزواياهما

المتناظرة متساوية .

نخرج من نقطة ١ ( شكل

٩٧ ) المستقيم ١ م بحيث

تكون

$$\angle ١ > = \angle ٢ > \text{ ق ك م ،}$$

ويكون أيضاً

$$\angle ١ > = \angle ٢ > \text{ ف ك م .}$$

( شكل ٩٩ )

وليتق ١ م المستقيم ه ب ، أو امتداده على نقطة م

فتكون  $\angle ١ > = \angle ٢ > \text{ ه ك م ف}$

ويكون المثلثان ١ م ه ٦ ك م ف متشابهين .

ثم نخرج ١ م إلى ط بحيث يكون

$$\frac{\angle ١ >}{\angle ١ >} = \frac{\angle ٢ >}{\angle ٢ >} = \frac{\angle ٢ >}{\angle ٢ >}$$

$$\frac{\angle ١ >}{\angle ١ >} = \frac{\angle ٢ >}{\angle ٢ >} = \frac{\angle ٢ >}{\angle ٢ >}$$

ونصل ه ط ثم نسقط من ه ، المستقيم ه ح عموداً على ١ ط ،

ونخرج من نقطة ١ المستقيم ١ م موازياً ه ط ، ونخرجه حتى يلقى ه ب

أو امتداده على نقطة م ، ونصل ف ل ، فتكون

$$\angle ١ > = \angle ٢ > \text{ ح م ن .}$$

وبما أن كلا من الزاويتين اللتين عند ح و ن قائمة ، تكون  
 $\angle م ر ه = \angle م ف ن$  .

ومن تشابه المثلثين ا م ر ه و ك م ف ينتج أن

$$\frac{ا م}{م ر ه} = \frac{ك م}{م ف}$$

وبما أن

$$\frac{ا م}{م ر ط} = \frac{ك م}{م ل}$$

$$\frac{م ر ط}{م ل} = \frac{م ر ه}{م ف} \quad \therefore$$

وبما أن  $\angle م ر ط = \angle م ف ل$  ،

إذن المثلثان م ر ه ط و م ف ل متشابهان ، وزواياهما المتناظرة متساوية .

$$\therefore \angle م ر ط ه = \angle م ل ف$$

$$= \angle م ك ف$$

$$= \angle م ا ه .$$

وأيضاً  $\angle ا ط ه = \angle ا ط ه$  ، أى تساوى  $\angle م ر ط ه$  .

$$\therefore \angle ا ط ه = \angle م ر ا ه ،$$

$$\therefore ا م ر ينصف زاوية ه ا ي$$

$$\therefore \frac{ا م}{م ر ه} = \frac{ا م}{م ر ه} = \frac{ا م}{م ر ه} = \frac{ا م}{م ر ه} \quad (١)$$

نخرج من نقطة ا المستقيم ا و ، بحيث تكون الزاوية التي يحيط بها  
 ا و ، والمماس للدائرة من نقطة ا ، مساوية الزاوية التي يحيط بها ا ه وذلك  
 المماس . ونخرج هذا المستقيم حتى يلقى ه ب ، أو امتداده ، على نقطة و ،  
 ويلقى ح د أو امتداده على نقطة ولتكن د ، فإن أمكن إثبات أن نقطة  
 د تنطبق على نقطة د ، ثبت المطلوب .

فالمثلثان  $\triangle ABC$  و  $\triangle DEF$  متشابهان .

وذلك لأنه إذا كان المستقيم الخارج من  $M$  (شكل ٩٨) يلقى امتداد  $BC$  من جهة  $E$  على نقطة  $F$ ، ويلقى  $AC$  فيما بين طرفيه على نقطة  $Q$  كالمبين بالشكل ، يكون على هذا الوضع

$\angle CQF = \angle CDE$  ،

حيث  $\angle CQF = \angle CDE$  هي متممة  $\angle CDE$  من قائمتين .

ولكن  $\angle CQF = \angle CDE$  ، وهي نصف زاوية القطاع الأول على تصارييف الأحوال .

$\therefore \angle CQF = \angle CDE$  في الوضع المذكور أعظم من متممة نصف زاوية

القطاع الأول من قائمتين .

ولكن  $\angle CQF = \angle CDE$  في الوضع المذكور أصغر من قائمتين ، وهي

مساوية لزاوية  $\angle CDE$  .

$\therefore$  نقطة  $M$  تقع على قوس القطاع المقابل .

فيكون على هذا الوضع  $\angle CQF = \angle CDE$  منصفاً لزاوية  $\angle CDE$  و .

وبما أن  $M$  منصف لزاوية  $\angle CDE$  ،

$\therefore \angle CQF = \angle CDE$  هي نصف الفرق بين الزاويتين  $\angle CDE$  و  $\angle CDE$  و

$\angle CQF = \angle CDE$  و

ولكن  $\angle CQF = \angle CDE$  (عملاً)

$\angle CQF = \angle CDE$  في هذا الوضع تساوى  $\angle CQF = \angle CDE$  .

$\therefore \angle CQF = \angle CDE = \angle CDE = \angle CDE$  .

ففي المثلثين  $\triangle ABC$  و  $\triangle DEF$  و

$\angle CQF = \angle CDE = \angle CDE$  و في الثاني

وزاويتا و فيهما متساويتان ،

وإذن المثلثان متشابهان .

ومثل هذا البرهان يمكن إثبات تشابه المثلثين المذكورين على جميع

الأوضاع التي يمكن فيها من نقطة م (شكل ٩٨) إخراج المستقيم النظير للمستقيم ف ق على النسبة المذكورة (١).

وينتج من تشابه المثلثين المذكورين أن

$$\frac{اى}{او} = \frac{د}{و}$$

$$\frac{اى}{او} \cdot \frac{اى}{اى} = \frac{اى}{اى} \cdot \frac{د}{و} \quad \text{ولكن}$$

$$\frac{اى}{او} = \frac{اى}{او} \cdot \frac{د}{و} \quad ٦$$

$$\frac{اى}{او} \cdot \frac{د}{و} = \frac{اى}{او} \cdot \frac{د}{و} \quad \therefore$$

$$\frac{د}{و} = \frac{د}{و}$$

$$\frac{د}{و} = \frac{اى}{او} \quad \text{ولكن كما تبين في (١)}$$

$$\frac{د}{و} = \frac{د}{و} \quad \therefore$$

$$\frac{د}{و} = \frac{د}{و} \quad \therefore$$

تنطبق نقطة د على نقطة د

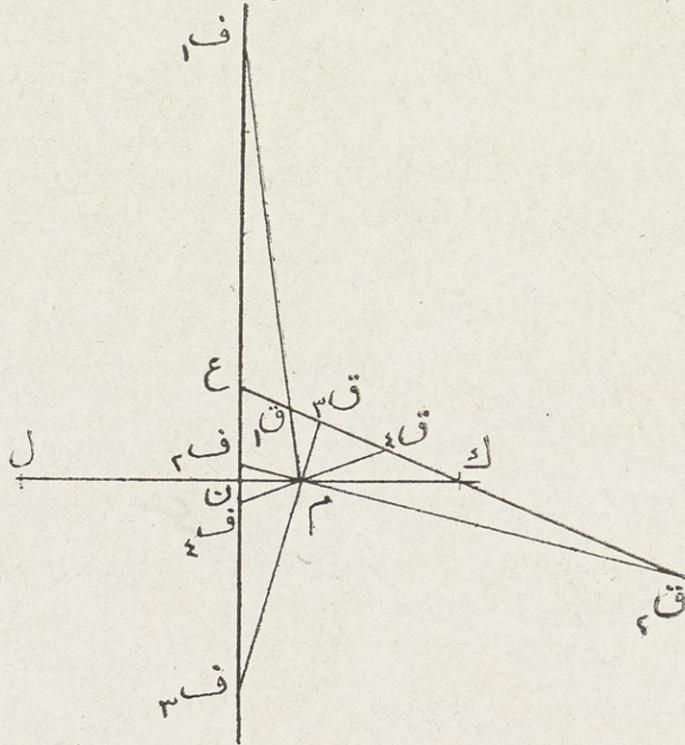
ينطبق ا د على ا د وهو المطلوب

(١) الفكرة الأساسية في تشابه المثلثين واحدة على تصاريف الأحوال وإنما يختلف تطبيقها لاثبات التشابه اختلافاً يسيراً بحسب اختلاف الأشكال .

## ١٤١ - بيان وتعليق على العملية الرابعة

يتبين من العملية الثانية أن المستقيم الخارج من نقطة م (شكل ٩٨) ملاقياً ن ع على نقطة ف ، ع ك على نقطة ق بحيث تكون النسبة  $\frac{ف ق}{ق ك}$  نسبة معلومة ، يمكن إخراجه على تصارييف الأحوال على وضعين اثنين

يبقى في أحدهما امتداد ن ع (شكل ٩٩) على نقطة ف<sub>١</sub> ، ويقطع ع ك على نقطة ق<sub>١</sub> ، ويلتقي في الآخر ن ع فيما بين طرفيه على النقطة النظرية لنقطة ف<sub>١</sub> ، ولتكن ف<sub>٢</sub> ويلتقي امتداد ع ك على النقطة النظرية لنقطة



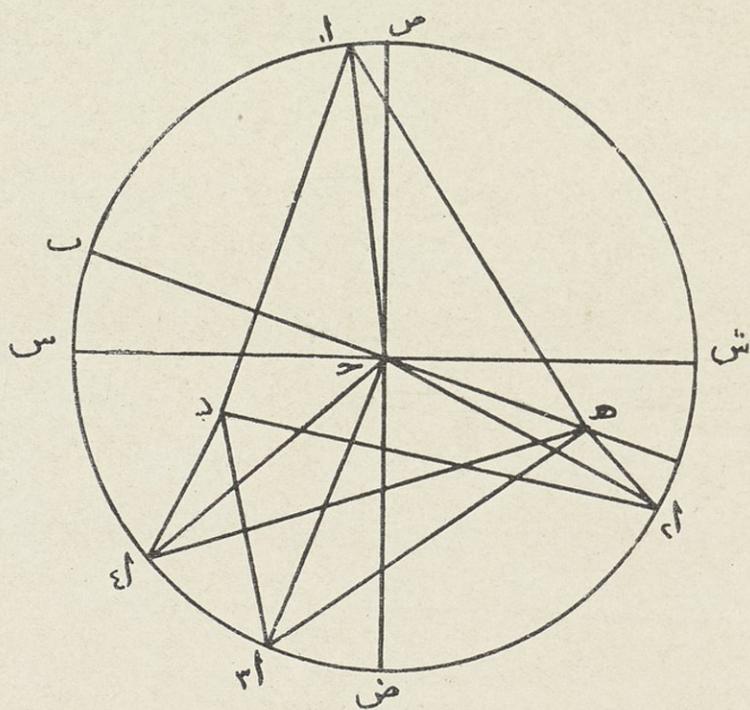
(شكل ٩٩)

ق<sub>١</sub> ، ولتكن ق<sub>٢</sub> . ثم هو يمكن في بعض الأحوال إخراجه على وضع ثالث آخر أو على وضعين ثالث ورابع آخرين ، يلتقي فيهما امتداد ع ن من جهة ن ، على النقطة النظرية لنقطة ف<sub>١</sub> ، ولتكن ف<sub>٢</sub> ، أو ف<sub>٣</sub> ، ويقطع ع ك فيما بين طرفيه على النقطة النظرية لنقطة ق<sub>١</sub> ولتكن ق<sub>٢</sub> أو ق<sub>٣</sub> وذلك كما هو مبين بشكل (٩٩) .



من نصف قطر الدائرة حيث تكون النسبة التي يخرج عليها المخرج وهي  
 $\frac{ف م ق م}{ق م ك}$  أعظم من الواحد. وإما أن يلقى امتداد ك ع من جهة ع، وذلك  
 إذا كان  $ح ه$  أصغر من نصف قطر الدائرة حيث تكون النسبة أصغر  
 من الواحد.

وعلى الوجه الأول فإن  $د ف م ق م ك$  أصغر من  $د ع ك ن$ .  
 أي أصغر من نصف التالية ب  $د$  ( شكل ١٠٠ ). فإذا أخرج القطر  
 س ش المنصف للتالية، وكذلك القطر ص ض المنصف لزاوية القطاع،  
 وقعت نقطة م على القوس المحصورة بين ه  $ح$ ، وبين  $ش$ ، وهو



( شكل ١٠١ )

منصف التالية من جهة ه، وفي هذه الحالة يكون المماس من م  $ا$  منصفاً  
 لزاوية ه  $ا$  د كما هو مبين بشكل (١٠٠).  
 وعلى الوجه الثاني أي إن كان  $ح ه$  أصغر من نصف قطر الدائرة،  
 فالمخرج من م يلقى امتداد ك ع من جهة ع، فان رمزنا لنقطة الالتقاء  
 بالرمز ق م، ولنقطة التقائه بالمستقيم ن ع بالرمز ف م، تكون في هذه الحالة

د ف ق م ك أصغر من د ك ع ن .  
وبما أن زاوية ك ع ن تساوى نصف زاوية القطاع ،

ومع مراعاة الترتيب الدائرى المذكور يتبين أن النقطة م ، تقع في هذه الحالة على القوس المحصورة بين ه ح وبين ح ض ، المنصف لزاوية القطاع الأول ، ويكون نصف القطر المنتهى إليها منصفاً للزاوية ه م د كما هو مبين بشكل (١٠١) .

وأيضاً فإنه إذا أمكن من نقطة م إخراج المستقيم على الوضعين الآخرين الثالث والرابع أو على وضع واحد ، فإن د ف ق م ك ( شكل ٩٩ ) أو ما تناظرها تكون أعظم من د ك ع ن <sup>(١)</sup> ، وأصغر من متممة ع ك ن من قائمتين .

وبما أن د ك ع ن تساوى نصف زاوية القطاع الأول  
و د ع ك ن تساوى نصف التالية ،

فمع مراعاة الترتيب الدائرى المذكور يتبين في هذه الحالة أن النقطتين اللتين تتعینان من الوضعين المذكورين تقعان حتماً على قوس ض س فيما بين طرفيها ولكنهما قد تقعان معاً على قوس القطاع الأول فيكون ح م منصفاً لزاوية ه م د و ح م منصفاً لزاوية ه م د كما هو مبين بشكل (١٠١) وقد تقع احدهما على قوس القطاع الأول والأخرى على القوس المحصورة بين ح د و ح س كما هو مبين في شكل (١٠٠) حيث يكون المماس من م منصفاً لزاوية ه م د .

والبرهان الذى أوردناه فيما سبق ينطبق على جميع هذه الأحوال .  
ولكن ابن الهيثم أراد من مقدمته الرابعة حالة واحدة خاصة من الأحوال الممكنة في هذه العملية وهى الحالة التى يكون فيها المماس للدائرة على النقطة

(١) لعل هذا هو السبب الذى من أجله عنى ابن الهيثم فى الحكم الثانى من أحكام ضعف الانعكاسية ( أنظر فقرة ١٢٤ ص ٤٥٦ من الجزء الأول من هذا الكتاب ) بنصف زاوية القطاع الأول ، دون العمود الواقع من المركز على الواصل بين النقطتين المتعاكستين .

المطلوب تعيينها منصفاً للزاوية التي يحيط بها الواصلان منها إلى النقطتين ه و د المفروضتين ، وهو يسلك في تعيين هذه النقطة الخطوات نفسها التي أوردناها هنا ، مع التقييد بأن يكون المخرج من نقطة م على الوضع الثاني أي الذي يليق فيه ن ع على نقطة مثل ف م فيما بين طرفيه ويلقى امتداد ع ك على نقطة مثل ق م . وهذا الوضع وإن كان ممكناً على تصارييف الأحوال أيا كانت

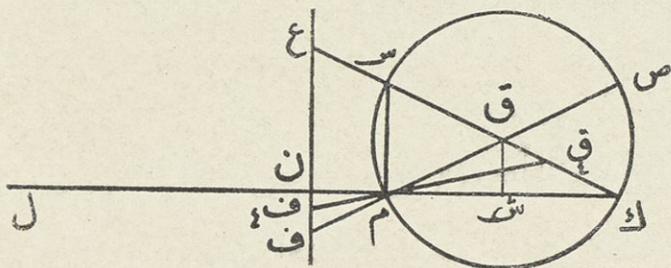
النسبة  $\frac{ه}{ح}$  فانه مع ذلك لا يؤدي إلى تعيين النقطة المقصودة من مقدمته

الرابعة إلا إذا كان ه > أعظم من ح بحيث يليق المستقيم ف م ق م امتداد ع ك من جهة ك كما هو مبين بشكل (٩٩) وفقاً للأوضاع التي أوضحناها .

وابن الهيثم لا يتناول في حله الهندسي لمقدمته الرابعة تفصيل هذا الأمر ولم يضمه أية إشارة يستفاد منها أنه يفرض إحدى النقطتين ه و د خارج الدائرة ، أو أن بعد إحداها عن المركز أعظم من نصف قطر الدائرة ، والمخطوطات التي صورها بين أيدينا لم توضح فيها الحلول الهندسية للمقدمات جميعاً ومنها المقدمة الرابعة ، بأشكال يصح الرجوع إليها لبيان المقاصد التي أرادها بالضبط . ولكن مقدمته لا تستقيم إلا بفرض أن تكون إحدى النقطتين ه و د خارج الدائرة . وهو لا شك قد أراد ذلك وإن لم ينص عليه صراحة . والشكلان الواردان في التنقيح عن هذه المقدمة وإن كانا بوجه عام غير صحيحين ، وفيهما أغلاط ، فانهما مع ذلك يدلان على أن الفارسي قد حمل أقوال ابن الهيثم على أن تكون إحدى النقطتين خارج الدائرة وإن كان هو نفسه لم يعلق على ذلك في المتن .

وأيضاً فانه إذا صح إخراج المستقيم الذي يليق امتداد ع ن من جهة ن ويلقى ك ع فيما بين طرفيه على النسبة المذكورة فانه يجوز على أحد وضعيه الممكنين أن يفرض هو أيضاً إلى تعيين النقطة التي يريد ابن الهيثم من مقدمته الرابعة . كما هو الحال في وضعه ف ق المبين في شكل (٩٩) حيث تكون د ف ق ك أعظم من زاوية القطاع الأول .

ولزيادة توضيح هذا لتكن نقطة م (شكل ١٠٢) بحيث تقسم ك ل  
بنسبة > د إلى > هـ ، وليكن ع ن العمود المنصف للمستقيم ك ل ،  
ولتكن د ع ك ل نصف التالية ، ولنخرج م س موازيا ن ع ، وليلق  
ع ك على س ، ولنرسم الدائرة المحيطة بمثلث ك م س كما سبق في العملية  
الثانية ، وليكن مركزها ق ، ولنخرج ق م من طرفه ، وليلق امتداد ع ن  
على ف ، ومحيط الدائرة على ص . ولنسقط من ق المستقيم ق ش عموداً



( شكل ١٠٢ )

على ك ل . فيما أن ش منتصف م ك و ن منتصف ك ل ،

يتضح أن ن ش =  $\frac{1}{4} (ل م + م ك) - \frac{1}{4} م ك = \frac{1}{4} ل م$

$$\text{و } \frac{1}{4} م ك = ش ك$$

$$\therefore \frac{ن ش}{ش ك} = \frac{ل م}{م ك} = \frac{> هـ}{> د}$$

$$\frac{ن ش}{ش ك} = \frac{ع ق}{ق ك} = \frac{ف ق}{ق ك}$$

$$\text{وأيضاً } \frac{ن ش}{ش ك} = \frac{ف ق}{ق ك} = \frac{> هـ}{> د}$$

$$\therefore \frac{ف ق}{ق ك} = \frac{> هـ}{> د}$$

وتكون د ف ق ك = ضعف د م س ك

= ضعف د ن ع ك

أى أن د ف ق ك = زاوية القطاع الأول

ومن هذا يتضح أنه لكي يتحقق وجود النقطة التي يريد ابن الهيثم يجب

أن يكون وضع المستقيم المخرج من م على النسبة المذكورة فيما سبق كوضع

ف ق (شكل ١٠٢) فيما بين المستقيمين ف ق ، ن ك حتى تكون  
 د ف ق ك أعظم من زاوية القطاع الأول .

$$\frac{ف ق}{ق ك} = \frac{ف ق}{ق ك} \text{ أعظم من } \frac{ف ق}{ق ك}$$

$$\frac{هـ}{د} \text{ أى أعظم من } \frac{هـ}{د}$$

وبالرمز لنصف قطر الدائرة المفروضة التي مركزها > بالرمز س

$$\frac{ف ق}{ق ك} = \frac{هـ}{س} \text{ وأعظم من } \frac{هـ}{د}$$

فيكون د > أعظم من س .

ويتبين من هذا أنه إذا صح إخراج المستقيم الذي يلي امتداد ع ن من  
 جهة ن ويلقى ك ع فيما بين طرفيه على النسبة المذكورة ، فإنه لا يؤدي إلى  
 تعيين النقطة التي يريد ابن الهيثم ، إلا إذا كان د > ، أعظم من نصف قطر  
 الدائرة المفروضة (شكل ١٠٠) .

أما فيما عدا ذلك فالعملية الرابعة التي أوردناها هنا لا تختلف في جوهرها  
 ولا فيما تتضمنه من العمل الهندسى أو البرهان ، عما أورده ابن الهيثم نفسه في  
 مقدمته الرابعة . وقد قصدنا من إيرادها على الصورة الواردة هنا الاحاطة  
 بالوجوه المحتملة التي لم يتناولها هو نفسه بالذكر أو الشرح في بحوثه .

# الفصل الثاني

في

تعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الكرية

## ١٤٢ - الفكرة الأساسية: مجلدة

الفكرة الأساسية التي توخاها ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس أو نقاط الانعكاس عن سطح المرآة الكرية سواء منها المحدبة أو المقعرة لا تتجاوز الفكرة الهندسية التي تنطوي عليها العملية الرابعة على الصورة التي أوردناها بها آنفاً. فإذا فرضنا كرة مركزها  $C$ ، وفرضنا نقطتين  $H$  و  $D$  حيثما اتفق وأخرجنا مستوى النقاط الثلاث  $H$  و  $D$  و  $C$  فإنه يقطع سطح الكرة على عظمة مركزها  $C$ ، فإن كانت النقطتان  $H$  و  $D$  متعاكستين كان هذا المستوى هو مستوى الانعكاس وكانت الدائرة المذكورة فصل الانعكاس. وبما أن العملية الرابعة على الصورة الواردة عليها فيما سبق تفضى على الوجه العام إلى تعيين أربع نقاط على محيط هذه الدائرة يكون فيها جميعاً الزاوية التي يحيط بها المماس على النقطة والواصل منها إلى إحدى النقطتين المفروضتين مساوية للزاوية التي يحيط بها ذلك المماس والواصل منها إلى النقطة الأخرى، فإنه في الأوضاع التي يكون فيها الواصلان عن جنبتى نصف القطر المنتهى إلى تلك النقطة، تكون تلك النقطة نقطة انعكاس. وإن كان الواصلان أمام تحديب القوس التي تقع عليها النقطة كان الانعكاس عن الكرية المحدبة، وإن كان الواصلان أمام تقعر القوس التي تقع عليها النقطة كان الانعكاس عن الكرية المقعرة. فالعملية الرابعة تتضمن جميع العناصر التي يريدها ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الكرية. ومسألة ابن الهيثم فيما يختص بالمرآة الكرية تؤول إلى صيرورتها حالة أو بضع حالات خاصة من تلك العملية.

ونظراً لأن النقاط التي تتعين وفقاً لتلك العملية ليست على تصارييف الأحوال نقاط انعكاس بالمعنى المقصود، فاننا نوثر أن نسميها بوجه عام «نقاط ابن الهيثم». أما ما يكون منها أوضاعها ملائمة للمعنى المقصود بالانعكاس فنخصصها بتسميتها «نقاط انعكاس». وابن الهيثم في بحثه في هذا الصدد تناول حالتى المرأة الكرية المحدبة والمرأة الكرية المقعرة كلا على حدها ومضى إلى تبيان آرائه في تعيين نقطة الانعكاس على الأوضاع الملائمة لكل منهما، على منوال نينه فيما يلي.

### ١٤٣ - طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس عن الكرية المحدبة

وطريقته فيما يتعلق بالكرية المحدبة تتضمن الخطوات التي أوردناها في العملية الرابعة مع التقييد بأن يكون المستقيم الخارج من نقطة م (شكل ٩٩) على الصورة التي يلقى فيها امتداد ع ن من جهة ن ويلقى ك ع فيما بين طرفيه. وبما أن هذا المستقيم إذا صح إخراجه على هذه الصورة قد يجوز إخراجه على وضعين مثل ف م ق م و ف ق (شكل ٩٩) فابن الهيثم يتخير من هذين الوضعين الوضع ف م ق م الذي تكون فيه زاوية ف م ك ق م أعظم من نظيرتها في الوضع الآخر، ويشترط في الزاوية أن تكون منفرجة، ويمضى إلى إثبات أن النقطة التي تتعين من هذا الوضع هي نقطة الانعكاس المطلوبة. (١) ثم هو يثبت بعد ذلك أنه إذا لم تكن أعظم الزاويتين المذكورتين منفرجة فلا يتأتى الانعكاس. وبرهانه على ذلك برهان الخلف. فهو يفرض أن أعظم الزاويتين ليست منفرجة وأن الانعكاس مع ذلك يصح من نقطة ويرهن على أن الزاوية الواقعة بين الواصل من هذه النقطة إلى ه والواصل منها إلى المركز تكون حتماً منفرجة، وتساوى إحدى زاويتي ف م ك ق م و ف ق م وبما أن أعظم هاتين الزاويتين ليست منفرجة فهذا محال (٢). ثم هو أثبت بعد ذلك أنه من المحال أن تكون كلتا زاويتي ف م ك ق م و ف ق م ق

(١) و (٢١٤) - و (٢١٦) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر

(٢) و (٢١٦) - و (٢١٧) « » « » والعناصر الهندسية في هذه

البراهين لا تخرج عما تتضمنه العملية الرابعة على الصورة التي أوردناها فلم نجد لوماً إلى إثباتها هنا.

منفردتين وإلا استلزم ذلك أن يكون الانعكاس من نقطتين ، وهذا كما قد مر  
بيانه محال عن سطح الكرية المحدبة (١) .

ويمكن توضيح هذه الأمور على أساس العملية الرابعة على الصفة الآتية :  
فما أوردناه في بياننا وتعليقنا على العملية الرابعة يتضح أنه إذا كان

ه < د < ب

حيث ب نصف قطر الدائرة ، فإن أحد الوضعين الممكنين للمستقيم المخرج  
من م على النسبة المذكورة وهو الوضع الشبيه بوضع ف ء ق ( شكل ٩٩ )  
حيث تكون زاوية ف ء ك ق أصغر من نظيرتها في الوضع الآخر ، هذا  
الوضع يؤدي إلى تعيين النقطة التي يكون المماس عندها منصفاً للزاوية التي  
يحيط بها الواصلان منها إلى النقطتين المفروضتين ه و د .

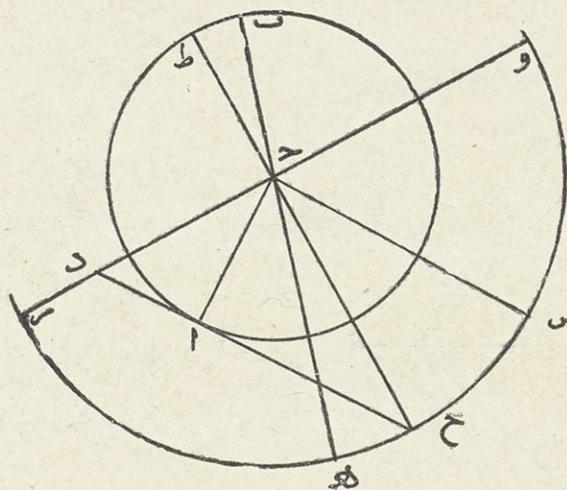
وإمكان تعاكس النقطتين من تحديب الكرية يتطلب أن تكون النقطتان  
المتعاكستان ه و د خارج سطحها ، أي أن يكون كل من ه و د < ب  
أعظم من ب . فالنقطة التي يكون عندها المماس منصفاً للزاوية واقعة لاحالة  
ولكنها ليست تصحح أن تكون نقطة انعكاس .

ولكن يبقى بعد ذلك بيان أن الوضع الآخر الذي تخيره ابن الهيثم هو  
حتماً الوضع الذي يتفق والانعكاس من تحديب الكرية ، أي أنه هو الوضع  
الذي إذا ما توافرت الشروط اللازمة لكي يصح تعاكس النقطتين المفروضتين  
عن محذب سطح الكرية ، يؤدي فعلاً إلى تعيين نقطة الانعكاس المطلوبة .

فإمكان انعكاس إحدى نقطتي ه و د إلى الأخرى من محذب الكرة  
يوجب أن تكون كلتا النقطتين في مقابلة تحديب جزء من أجزاء محيط دائرة  
الفصل . وإذن يجب أن يكون المستقيم الواصل بين النقطتين غير قاطع لدائرة  
الفصل وغير مماس لها .

فلنفرض أن النقطتين المتعاكستين ه و د ( شكل ١٠٣ ) على بعدين  
معلومين من المركز ولتكن د أقربهما إليه .

ولنخرج دائرة مركزها  $ح$  ، ونصف قطرها  $ح هـ$  . ولنخرج  $ح د$  من طرفيه حتى يلقى محيط هذه الدائرة على  $و$  و  $س$  .



( شكل ١٠٣ )

ثم لنرسم من  $د$  المستقيم  
دائماً للدائرة ولنخرجه حتى  
يلقى محيط تلك الدائرة على  
نقطة  $ح$  ثم نصل  $ح د$   
ونخرجه حتى يلقى دائرة الفصل  
على  $ط$  . فاذا اعتبرنا أن  
النقطتين  $ح و$  هما النقطتان  
المتعاكستان وطبقنا خطوات  
العملية الرابعة، فإخذنا مستقيماً

حيثما اتفق مثل  $ك$  ل ( شكل ١٠٤ ) وأقمنا من منتصفه  $ن$  المستقيم  $ن ع$  عموداً  
عليه ثم قسمناه على نقطة  $م$  بحيث يكون

$$\frac{ل م}{م ك} = \frac{ح د}{د ح}$$

وأخرجنا من  $ك$  المستقيم  $ك ع$  بحيث تكون  $د ع$   $ك ن$  نصف  
 $د ط$   $ح د$  ، ثم أخرجنا من نقطة  $م$  المستقيم  $ف ق$  بحيث يكون

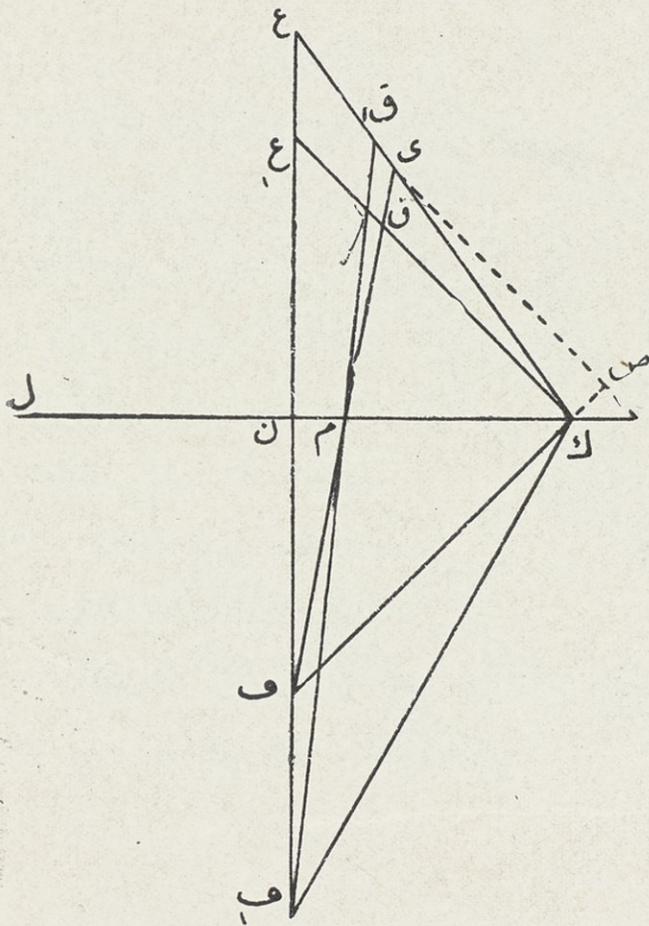
$$\frac{ف ق}{ق ك} = \frac{ح د}{د ح}$$

على الوضع الذي تخيره ابن الهيثم ،  
فبما أن

$$\angle ح ا د = \angle د ا ح ، تساوي قائمة ،$$

فزاوية  $ف ك ق$  أيضاً قائمة لأنها تساوي كلا منهما كما يتبين في برهان  
العملية الرابعة .

فاذا أخذنا نقطة مثل هـ (شكل ١٠٣) على القوس ح م المحصورة بين  
ح و د وأخرجنا هـ حتى يلقى محيط الدائرة على ب فبما أن



$$\frac{ح هـ}{د هـ} = \frac{ح د}{د هـ}$$

فنقطة م على  
المستقيم ك ل تقسمه  
بنسبة البعدين في حالة  
النقطتين هـ و د أيضاً .  
فاذا أخرجنا ك ع بحيث  
تكون د ع ك ن  
نصف زاوية ب ح د ،  
كانت د ع ك ن  
أعظم من د ع ك ن .  
وإذا أخرجنا ف ق حتى  
يلقى ع ك على ي ، ورسمنا  
من نقطة ي موازياً

شكل (١٠٤)

للمستقيم ق ك ، ومد ف ك حتى يلقاه وليكن على ص ، اتضح أن

$$\frac{ف ي}{ي ص} = \frac{ف ق}{ق ك} \quad \text{و ي ك أعظم من ي ص}$$

$$\therefore \frac{ف ي}{ي ك} \text{ أصغر من } \frac{ف ق}{ق ك}$$

فالمستقيم المخرج من م على الوضع الآخر المقصود هنا بحيث يلقى امتداد  
ع ن على نقطة وتكن ف ، ويلقى ع ك على نقطة وتكن ق ، بحيث يكون

$$\frac{ف ق}{ق ك} = \frac{ح هـ}{د هـ}$$

لا بد أن يكون طرفه  $ف$  فيما يلي  $ف$  من  $ن$ ، وطرفه  $ق$  فيما بين  $ي$  و  $ع$   
كما اتضح في فقرة (١٣٩).  
وإذن تكون

$د$   $ف$   $ك$   $ق$  أعظم من  $د$   $ف$   $ك$   $ق$ ، أعظم من قائمة.  
فاذا رمزنا للنقطة التي تتعين على محيط الدائرة من هذا الوضع بالحرف  $د$   
كانت  $د ه ا = د ا د ا >$   
وكانت كل من هاتين الزاويتين منفرجة.

وإذن يكون تعاكس النقطتين  $ه$  و  $د$  من محذب دائرة الفصل.  
بمثل هذا يتضح السبب الذي من أجله يتخير ابن الهيثم وضع كبرى  
الزاويتين ويشترط فيها أن تكون منفرجة.

وبمثل هذا يتضح أيضاً أنه إذا أخذت نقطة مثل  $س$  على قوس  $ح$  و  
فان النقطة التي تتعين من الوضع المذكور على القوس الواقعة بين  $س$  و  $ه$   
 $د$  تكون نقطة انعكاس كل من نقطتي  $س$  و  $د$  من مقعر هذه القوس.  
ومن هذا يتبين أن النقطتين المعلومتي البعد عن مركز المرآة يجب أن  
يكون وضعهما من دائرة الفصل شديهما بوضع نقطتي  $ه$  و  $د$  لكي يصح  
تعاكسهما عن محذب السطح أي يجب ألا يقطع الواصل بينهما دائرة الفصل.  
أما إذا قطعها كما في الوضع الشديهما بوضع نقطتي  $س$  و  $د$  فان انعكاس  
إحدهما إلى الأخرى يكون من مقعر السطح لا من محبده.

١٤٤ - طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس او (نقاطه) عن

### الكرية المقعرة

يعالج ابن الهيثم حالة المرآة الكرية المقعرة على ضوء البيانات التي أوردناها  
في الباب الرابع فيما يتعلق بتعاكس النقطتين عن سطحها، وهي البيانات التي  
مهد بها فعلاً إلى ذكر الطرق التي وضعها لتعيين نقطة الانعكاس عن الكرية  
المقعرة. وهو يبدأ بذكر طريقته لتعيين نقطة الانعكاس عن الكرية المقعرة  
من قوس القطاع المقابل. وذلك على المنوال الذي أوردناه في العملية الرابعة

حيث يكون المستقيم المخرج من نقطة م ( شكل ٩٩ ) في وضعه الأول ف١ ق١ . وهو الوضع الذي يصح على تصارييف الأحوال أيأ كانت نسبة ه > إلى نصف قطر المرآة . وعلى هذه الصفة تتعين نقطة الانعكاس من قوس القطاع المقابل على تصارييف الأحوال . ويلاحظ أن برهانه الهندسى الذى سبق أن أوردناه على أن نقطة الانعكاس من قوس القطاع المقابل نقطة واحدة لا نظير لها يعد مكملأ لبحثه فى هذا الصدد ، فتكون النقطة التى تتعين من العملية الرابعة على هذه الصفة هى نقطة الانعكاس الوحيدة من قوس القطاع المقابل .

ثم هو يتناول بعد ذلك كيفية تعيين نقطة الانعكاس من قوس القطاع الأول على أن يكون ضعف الانعكاسية أعظم من التالية . وذلك أيضاً على المنوال الذى أوردناه فى العملية الرابعة حيث يكون المستقيم المخرج من نقطة م فى الوضعين ف٣ ق٣ و ف٤ ق٤ .

ويلاحظ فى هذه الحالة أيضاً أنه لىكى يصح أن تكون النقطة التى تتعين من الوضع ف٣ ق٣ نقطة انعكاس من مقعر القوس يجب أن يكون الواصل بين النقطتين ه و د قاطعاً محيط دائرة الفصل كما اتضح بما ذكر آنفاً . وأيضاً لىكى يصح أن تكون النقطة التى تتعين من الوضع ف٤ ق٤ نقطة انعكاس يجب أن تكون زاوية ف٤ ق٤ ك أصغر من زاوية القطاع . وهذا كما تبين يشترط فيه أن يكون البعد الأصغر د > أصغر من نصف قطر المرآة ( انظر شكل ١٠١ ) .

ولو أن ابن الهيثم ذكر طريقة لتعيين نقطة الانعكاس لكل واحدة من الأحوال الثلاث المذكورة ، أى طريقة تعيينها على قوس القطاع المقابل ، وطريقتى تعيين كل من نقطتى الانعكاس من قوس القطاع الأول على أن تكون ضعف الانعكاسية أعظم من التالية ، فإنه لم يذكر طريقه تعيينها على قوس القطاع الأول على أن تكون ضعف الانعكاسية أصغر من التالية ، فى حين أن ذلك لا يتجاوز حدود المعانى الهندسية التى تنطوى عليها مقدماته الست . وتتعين هذه النقطة كما اتضح فى البيان والتعليق على العملية الرابعة من الوضع التظهير

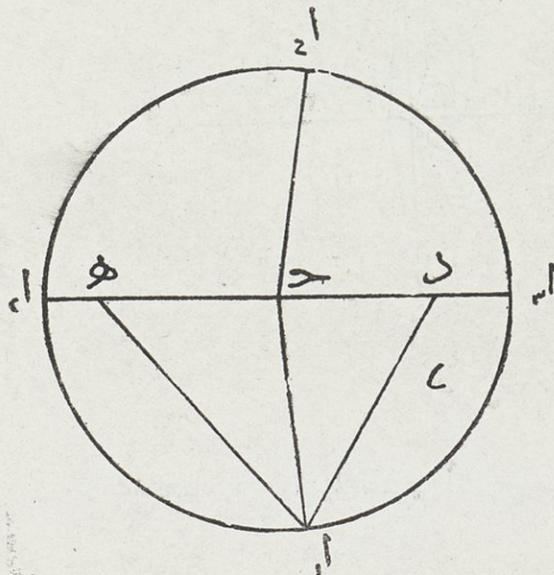
تطبيق طريقة تعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الكرية على الحالات الخاصة ٥٣٥

للموضع ف<sub>١</sub> ق<sub>١</sub> (شكل ٩٩) من أوضاع المستقيم المخرج من نقطة م ، ويشترط لكي تكون النقطة التي تتعين من هذا الوضع ، نقطة انعكاس ، أن يكون بعد أبعد النقطتين عن المركز أصغر من نصف قطر المرآة . وقد أوضحنا كل ذلك فيما تقدم من البيان والتعليق .

وشكل (١٠١) يوضح الحالة التي يخول فيها وضع النقطتين المتعاكستين ه و د من المركز ح ، أن تكون نقاط ابن الهيثم الأربع جميعاً نقاط انعكاس . وفيه أ ، هي نقطة الانعكاس من قوس القطاع المقابل والنقاط الثلاث الأخرى نقاط الانعكاس من قوس القطاع الأول . ومن هذه النقاط الثلاث نقطة أ<sub>١</sub> هي التي عندها ضعف الانعكاسية أصغر من التالية . أما أ<sub>١</sub> و أ<sub>٢</sub> فهما اللتان عندهما ضعف الانعكاسية أعظم من التالية .

١٢٥ - تطبيق طريقة ابن الهيثم لتعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الكرية على جميع الحالات الخاصة

يتبين مما أوردناه آنفاً أن العملية الرابعة التي ذكرناها بأحوالها الأربع الممكنة تتضمن الفكرة الهندسية التي جعلها ابن الهيثم أساساً بني عليه طريقه لتعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الكرية المحدبة والمقعرة في الأحوال المختلفة .



(شكل ١٠٥)

ومما يجدر ذكره أيضاً أن الحالات الخاصة التي تكون فيها النقطتان المتعاكستان على قطر واحد من أقطار المرآة



وتكون نقطة  $F$  منطبقة على نقطتي  $E$  و  $G$  . ويلاحظ أن  $Q$  تقع على امتداد  $K$  ن إذا كان  $h >$  أصغر من  $u$  ، وتقع على امتداد  $N$  ك إذا كان  $u$  أكبر ، ويؤدي هذا الوضع إلى تعيين نقطة  $M$  ( شكل ١٠٥ ) التي هي أحد طرفي القطر ويلاحظ أن زاوية  $F$   $Q$   $K$  تساوى صفراً .

وأيضاً يؤول العمل الهندسي في الوضع الثالث من أوضاع المخرج من  $M$  ( شكل ١٠٦ ) وهو أحد الوضعين اللذين يلقى فيهما المستقيم المخرج ،  $K$   $E$  بين طرفيه إلى تقسيم  $K$   $E$  من الداخل على نقطة  $Q$  بحيث يكون

$$\frac{QK}{QE} = \frac{h}{u}$$

وتكون نقطة  $F$  منطبقة على نقطتي  $E$  و  $G$  ن في هذه الحالة أيضاً . ويفضى هذا الوضع إلى تعيين نقطة  $M$  ( شكل ١٠٥ ) التي هي الطرف الآخر للقطر حيث يلاحظ أن زاوية  $F$   $Q$   $K$  تساوى قائمتين .

وأيضاً يؤول العمل الهندسي في الوضع الرابع إلى إخراج  $M$   $F$  بحيث يكون

$$\frac{QK}{QE} = \frac{h}{u}$$

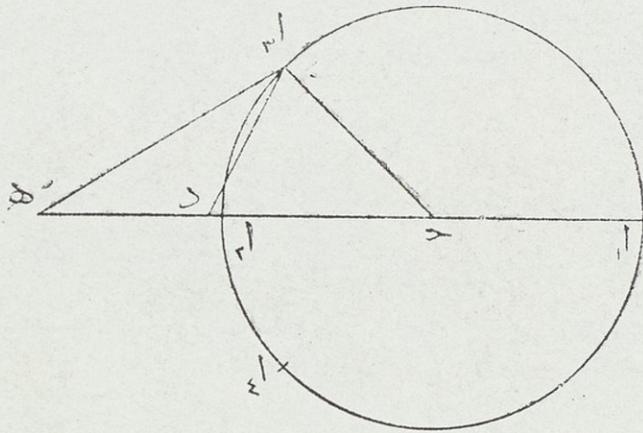
من الجهة المضادة للجهة التي عليها  $F$  . وفي هذا الوضع تكون  $Q$   $E$  منطبقة على  $M$  .

ويفضى هذا الوضع إلى تعيين نقطة  $M$  ، وهي نقطة انعكاس من مقعر القوس

$$\frac{QK}{QE} = \frac{h}{u}$$

ويلاحظ أن فرض النقطتين في الجهتين المختلفتين من المركز يجعل الانعكاس من محدب القوس غير ممكن كما أن نقطة  $M$  تكون نقطة انعكاس من مقعر القوس إذا كان  $h >$  أصغر من  $u$  ونقطة  $M$  تكون نقطة انعكاس من مقعر القوس إذا كان  $d >$  أصغر من  $u$  .

أما إن كانت النقطتان هـ و د في جهة واحدة من المركز (شكل ١٠٧)



(شكل ١٠٧)

فالتالية في هذه الحالة تكون مساوية قائمتين . فان طبق العمل الهندسى الوارد في العملية الرابعة صار ك ع (شكل ١٠٨) عموداً على ك ن وصار العمود المنصف للمستقيم ك ل موازياً للمستقيم ك ع ، ولا يتلاقيان الا في ما لانهاية . فإخراج المستقيم من م على الوضع الأول معناه أنه يلقي أولاً ك ع على نقطة متوهمة في ما لانهاية ولتكن ق ، ثم يلقي ن ع على نقطة متوهمة في

ما لانهاية ولتكن ف ، بحيث يكون  $\frac{ف ق}{ق ك} = \frac{هـ ح}{هـ د}$  وتكون زاوية

ف ق ك المتوهمة قائمتين ، ويؤول هذا الوضع المتوهم إلى تعيين نقطة ا (شكل ١٠٧) التي هي طرف القطر والتي تكون نقطة انعكاس من مقعر

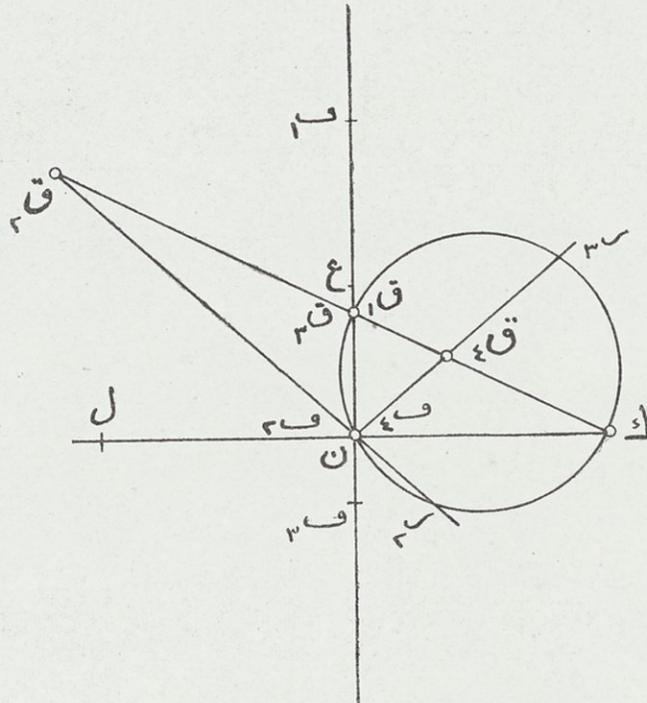
القوس أيا كانت نسبة  $\frac{هـ ح}{هـ د}$  .

واخراج المستقيم على الوضع الثاني معناه أنه يلقي ن ع على نقطة متوهمة في ما لانهاية ولتكن ف ، ويلقي ك ع على نقطة متوهمة في ما لانهاية ولتكن ق م على النسبة المذكورة وتكون زاوية ف م ق ك المتوهمة صفراً . فيؤدى هذا الوضع إلى تعيين نقطة ا (شكل ١٠٧) التي هي الطرف الآخر





(أولاً) أن المستقيم الخارج من نقطة ن يكون في الوضع الأول منطبقاً على امتداد ن ع من جهة ع ويكون أحد طرفيه نقطة مثل ف (شكل ١١٠)



(شكل ١١٠)

والآخر وهو المرموز له بالرمز ق١ منطبقاً على نقطة ع نفسها بحيث يكون.

$$\frac{ف١ ق١}{ق١ ك} = \frac{هـ}{و}$$

وتفرض العملية الرابعة في هذا الوضع إلى تعيين نقطة ق١ (شكل ١٠٩) تكون هي نقطة الانعكاس من مقعر قوس القطاع المقابل على تصاريق

$$\frac{هـ}{و} \text{ . الأحوال أي كانت نسبة } \frac{هـ}{و}$$

(ثانياً) أن المستقيم الخارج من نقطته ن (شكل ١١٠) يكون في الوضع الثاني أما ملاقياً امتداد ك ع من جهة ع على نقطة مثل ق١ (شكل ١١٠) وذلك إذا كان هـ < أصغر من و، وأما ملاقياً امتداد ع ك من جهة ك على النظيرة لنقطة ق١، وذلك إذا كان هـ > أعظم من و، وإما موازياً له لا يلقاه وذلك إذا كان هـ = و .

وعلى الوجه الأول تكون النقطة التي تتعين نقطة مثل ق١ (شكل ١٠٩)

على قوس القطاع الأول ، وتكون نقطة انعكاس من مقعر القوس . وتكون على الوجه الثاني نقطة على قوس نصف التالية مما يلي ه . وتكون النقطة التي ينصف المماس عندها الزاوية . أما على الوجه الثالث فتكون طرف نصف القطر المار بنقطة ه .

( ثالثا ) أن المستقيم المخرج من ن ، ( شكل ١١٠ ) يكون في الوضع الثالث منطبقا على ع ن فيلحق ك ع على نقطة ع نفسها ، فيكون طرفه ق<sub>٣</sub> عند ع ويكون طرفه ف<sub>٣</sub> على ع ن أو امتداده من جهة ن بحيث يكون

$$\frac{ق_٣ ق_٣}{ق_٣ ك} = \frac{ه ه}{ه ه} ،$$

وتفضى العملية الى تعيين نقطة مثل م ( شكل ١٠٩ ) على قوس القطاع الأول تكون الطرف الآخر للقطر المار بنقطة ا<sub>١</sub> على تصاريف الأحوال ، أيا كانت قيمة النسبة المذكورة . ولكنها أما أن تكون نقطة انعكاس من مقعر القوس أو نقطة انعكاس من محدب القوس وذلك بحسب قيمة تلك النسبة .

( رابعا ) أن المستقيم المخرج من ن يكون في الوضع الرابع ملاقيا ك ع فيما بين طرفيه على نقطة مثل ق<sub>٤</sub> ( شكل ١١٠ ) ويكون طرفه الآخر ف<sub>٤</sub> منطبقا على نقطة ن نفسها . وتفضى العملية إلى تعيين نقطة مثل ا<sub>٤</sub> ( شكل ١٠٩ ) تكون نقطة انعكاس على قوس القطاع الأول إذا صح اخراج المستقيم على هذا الوضع في الأحوال التي يكون فيها د > أصغر من ه<sup>(١)</sup> ، أما في الأحوال التي يكون فيها د > أعظم من ه فتكون تلك النقطة هي التي ينصف عليها المماس الزاوية التي يحيط بها الواصلان منها إلى نقطتي ه و د المفروضتين .

على هذه الصفة يتبين أن العملية الرابعة بصورتها الواردة هنا وهي لا تتجاوز حدود مقدمات ابن الهيثم الست تتضمن حلا عاما لمسألة ابن الهيثم فيما يختص بالمرآة الكرية يشمل حالتى المحدبة والمقعرة وجميع الأحوال الخاصة الممكنة

# الفصل الثالث

في

تعيين نقطة الانعكاس عن المرآة الاسطوانية

١٤٦ - مزهاج ابن الهيثم في معالجة الموضوع

راعى ابن الهيثم المرآة الاسطوانية المحدبة والمرآة الاسطوانية المقعرة كلا منهما على حدتها وفصل أمر كل واحدة منهما تفصيلا . وتناول في كل منهما الحالات الخاصة كالحالة التي تكون فيها النقطتان المتعاكستان واقعتين في مستوى يمر بمحور الاسطوانة حيث يكون فصل الانعكاس (أو كل من فصليه) مستقيما وكالحالة التي تكون فيها النقطتان المتعاكستان في مستوى عمود على سهم الاسطوانة حيث يكون الفصل محيط دائرة . وعالج أيضاً الحالة العامة التي لا تكون فيها النقطتان في مستوى يمر بسهم الاسطوانة ولا في مستوى عمود على سهمها حيث يكون فصل الانعكاس محيط قطع ناقص . وهو في حالة الاسطوانية المحدبة استدل برهان هندسى على أن نقطة الانعكاس نقطة واحدة (١) ثم أورد طريقة تعيينها (٢) . وفي الاسطوانية المقعرة استدل برهان هندسى أيضاً على أن نقاط الانعكاس قد يبلغ عددها أربعاً (٣) .

ثم أثبت أن الانعكاس من مقعر سطح الاسطوانة لا يصح من أكثر من أربع نقاط (٤) . وعقب على ذلك بشرح طريقة تعيين نقاط الانعكاس (٥) .

- 
- (١) و (٢٣٢) - و (٢٣٨) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر  
 (٢) و (٢٣٨) - و (٢٣٩) » » » »  
 (٣) و (٣١٣) - و (٣١٨) » » » »  
 (٤) و (٣١٨) - و (٣٢١) » » » »  
 (٥) و (٣٢١) - و (٣٢٢) » » » »

ولما كانت البحوث في كل ذلك متشابهة والبراهين الهندسية تكاد تكون واحدة ، وكانت حالة الاسطوانية المقعرة اعم ويصح أن تتضمن حالة الاسطوانية المحدبة ، وأيضا منعا للاطالة والتكرار رأينا أن نعالج الموضوع بأسلوب عام وأن نقتصر في توضيح الفكر الأساسية في جميع هذه البحوث على الاسطوانية المقعرة ، ونكتفي بالإشارة إلى الاسطوانية المحدبة في الأحوال التي يصح فيها أن ينطبق الكلام عليها أيضا .

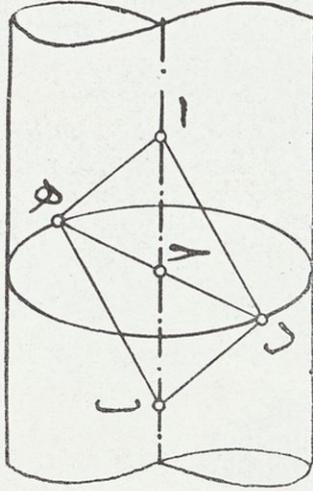
### ١٤٧ - تفصيل الحارات الخاصة

( أولا ) إذا كانت النقطتان المتعاكستان في مستوى يمر بمحور الاسطوانة : نظراً لأن المستوى المار بالمحور عمود على سطح الاسطوانة ، فالمستوى المار بالمحور والذي تقع فيه النقطتان هو مستوى الانعكاس . وهو يقطع سطح الاسطوانة على خط مستقيم يوازي محورها . فيكون هذا المستقيم الفصل المشترك . وإذن مستوى تعاكس النقطتين من سطح الاسطوانة في هذه الحالة وتعاكسهما من سطح المستوية المعتادة .

فإن كانت النقطتان المتعاكستان خارج سطح الاسطوانة سواء أكانت المرآة محدبة أم مقعرة أو كانت أحدهما في الخارج والأخرى في الداخل وكانت المرآة مقعرة فإن فصل الانعكاس مستقيم واحد . وتكون نقطة الانعكاس واحدة ويمكن تعيينها كما تعين على سطح المرآة المستوية . أما إذا كانت النقطتان في الداخل وكانت المرآة مقعرة فالمستقيمان اللذان يلقى عليهما مستوى الانعكاس سطح الاسطوانة يصح أن يكون كلاهما فصل انعكاس فيصح الانعكاس من نقطتين وتعين كل واحدة منهما كما تتعين نقطة الانعكاس على سطح المستوية . والحالة التي تكون فيها النقطتان المتعاكستان واقعتين على محور الاسطوانة في المرآة المقعرة جديدة كما رأى ابن الهيثم بالتوضيح<sup>(١)</sup> . فلتكن النقطتان ١ ٦ ب ، ولتتوسط البعد بينهما على ح ، ولترسم د ح ه قطراً للمرآة الاسطوانية عموداً على محورها وليقطع سطحها في نقطتي د ٦ ه . فإذا

(١) و (٣١٢) ، و (٣١٣) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

وصلت المستقيمت ١ د ٦ ا ه ٦ ب د ٦ ب ه ، أمكن من تطابق  
المثلثات إثبات



( شكل ١١١ )

أن ١ د ٦ ا ه ٦ ب د ٦ ب ه

٦ ا ه ٦ ب د ٦ ب ه .

وبما أن د ه عمود على سطح الاسطوانة  
عند د ، وعمود على سطحها عند ه ، تبين  
أن كلا من نقطتي د ٦ ه نقطة انعكاس .

وإذا ثبت المحور ا ب ، ودار المستقيم  
ح د ، تكون من دوران نقطة د على سطح  
الاسطوانة محيط الدائرة التي مركزها ح ،  
ومستواها عمود على المحور ، فتكون كل نقطة من محيط هذه الدائرة نقطة  
انعكاس .

وإذن يتبين أن النقطتين ١ ٦ ب تتعاكسان عن سطح المرآة الاسطوانية  
المقعرة من محيط الدائرة المذكورة .

( ثانيا ) إذا كانت النقطتان المتعاكستان في مستوى عمود على محور  
الاسطوانة :

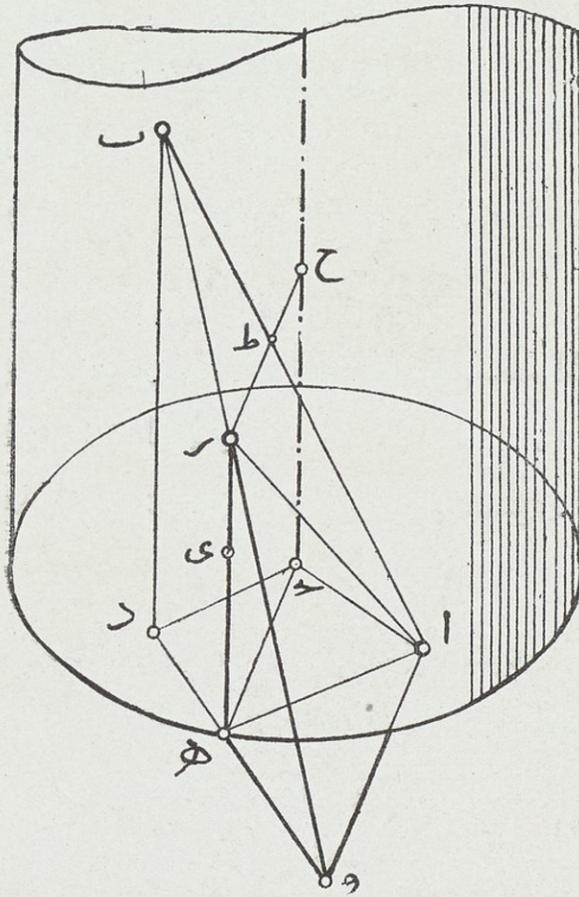
في هذه الحالة مستوى الانعكاس هو هذا المستوى العمود على المحور  
والفصل المشترك محيط دائرة . فان صح الانعكاس من مقعر القوس فهو  
يحدث أما من نقطة واحدة أو من نقطتين أو من ثلاث أو من أربع . وأن  
صح من محدب القوس فهو يحدث من نقطة واحدة . وكل ذلك كما مر بيانه في  
المرآة الكرية .

١٤٨ - الطريقة العامة لتعيين نقطة الانعكاس (أو نقاط) عن المرآة الاسطوانية

لتكن النقطتان المتعاكستان ١ ٦ ب ( شكل ١١٢ ) حيثما اتفق .  
نخرج المستوى العمود على المحور المار بإحدهما ولتكن ا ، فهو يقطع  
سطح الاسطوانة على محيط دائرة وليكن مركزها ح . نسقط من النقطة

الأخرى ب العمود ب د على هذا المستوى فتكون النقطتان ا ٦ د في مستوى الدائرة التي مركزها > .

نجد النقطة أو النقاط التي تتعاكس منها نقطتا ا ٦ د من محيط هذه الدائرة . فان كان الانعكاس من مقعر القوس فان نقطة الانعكاس قد تكون واحدة أو اثنتين أو ثلاثا أو أربعا . وإن كان الانعكاس من محدب القوس وكانت نقطتا ا ٦ د في مقابلة السطح المحدب العاكس ، فان نقطة الانعكاس تكون واحدة .



( شكل ١١٢ )

ولتكن نقطة الانعكاس أو إحدى نقاط الانعكاس هـ . نصل > هـ ٦ د هـ ا هـ ، ونرسم من ا المستقيم ا و موازيا > هـ ، ونخرج د هـ حتى يقطعه على و .  
نخرج من هـ المستقيم هـ س على سطح الاسطوانة موازيا لمحورها ، ونصل ب و .

فنظرا لأن  $مره$   $ب$   $د$  متوازيان فالمستقيم  $مره$  في مستوى  $وبد$ ،  
فهو يقطع  $وب$  على نقطة ولتكن  $مر$ .  
فتكون  $مر$  نقطة انعكاس  $ا$   $ب$  إحداهما إلى الأخرى.

البرهان :

نرسم من  $مر$  المستقيم  $مرح$  عمودا على المحور فهو أيضا عمود على سطح  
الاسطوانة من نقطة  $مر$ ، ونصل  $ا$   $ب$   $ا$   $مر$ .

فبما أن  $ح$   $ب$   $مره$  في مستوى واحد  $مرح$  عمود على المحور  
 $هـ$   $ح$  عمود عليه أيضا فان  $مرح$  يوازي  $هـ$   $ح$  ويوازي  $وا$ .

∴  $مرح$  يقع في مستوى  $ب$   $وا$ .

∴  $ا$   $ب$  يقطع  $مرح$  وليكن على  $ط$ ، وتكون المستقيمتان  $ا$   $مر$

$ب$   $مر$   $ب$   $مرح$  في مستوى واحد.

وإذن يتحقق الشرط الأول من قانون الانعكاس.

كذلك. نظرا لأن زاوية  $ده$   $ح$  = زاوية  $هـ$   $ا$   $ب$   $وا$  ويوازي  $هـ$   $ح$

تكون  $د$   $هـ$   $ا$  =  $ا$   $هـ$   $د$   $وا$

$ب$   $د$   $هـ$   $ح$  =  $ا$   $هـ$   $وا$

∴  $د$   $هـ$   $وا$  =  $وا$   $هـ$   $وا$

∴  $ا$   $هـ$  =  $وا$   $هـ$ .

وفي المثلثين  $مره$   $ا$   $هـ$   $مره$   $وا$

زاوية  $هـ$  في كل قائمة  $مره$  مشترك  $ب$   $ا$   $هـ$  =  $وا$   $هـ$   $وا$

إذن المثلثان متطابقان.

∴  $مر$  =  $وا$ .

∴  $د$   $مر$   $وا$  =  $وا$   $د$   $مر$   $وا$ .

وبما أن  $ا$   $وا$  يوازي  $ط$   $مر$

يكون  $د$   $ب$   $مرط$  =  $وا$   $د$   $مر$   $وا$

$ب$   $د$   $ط$   $مر$  =  $وا$   $د$   $مر$   $وا$

. . . د ب م ط = د ط م ا

وإذن يتحقق الشرط الثاني من قانون الانعكاس .

وإذن ا ب تتعاكسان من م عن سطح الاسطوانة .

وبالمثل إذا كانت نقطتا ا ب د تتعاكسان من محيط الدائرة التي مركزها

ح من نقطة أخرى أو من نقاط أخرى غير نقطة ه .

ومما سبق في الانعكاس عن سطح المرآة الكرية يتبين أن النقطتين ا ب د

إذا وقعتا خارج محيط الدائرة التي مركزها ح وصح تعاكسهما عن محذب

جزء من محيطها فانهما لا تتعاكسان من أكثر من نقطة واحدة من محذب محيطها .

أما إذا تعاكست النقطتان ا ب د من مقعر محيط الدائرة فان تعاكسهما

قد يكون من نقطة واحدة أو من اثنتين أو ثلاث أو من أربع .

لذلك يتبين أنه في حالة المرآة الاسطوانية المحدبة يمكن بمثل العمل السابق

تعيين نقطة واحدة تتعاكس منها نقطتان مثل ا ب د تقعان حيثما اتفق في

مقابلة جزء من سطحها العاكس . أما في حالة الاسطوانية المقعرة فان نقاط

الانعكاس التي تتعين بمثل ذلك العمل قد تكون اثنتين أو ثلاثا أو أربعاً وقد

تكون واحدة لا يوجد غيرها وذلك على حسب موقع كل من النقطتين ا ب د

### ١٤٩ - تحدير النهاية العظمى لعدد نقاط الانعكاس

ولكن ابن الهيثم لا يقنع بترك الأمر عند هذا الحد . فان كانت العملية

الهندسية تؤدي إلى تعيين نقطة الانعكاس عن سطح المرآة الاسطوانية

فانه يبقى بعد ذلك إثبات أن انعكاس النقطتين إحداهما إلى الأخرى لا يصح

من أكثر من نقطة واحدة عن سطح الاسطوانية المحدبة ، ولا يصح من أكثر

من أربع نقاط عن سطح الاسطوانية المقعرة .

والبرهان الذي يسوقه لذلك هو برهان الخلف .

فلنفرض أن هناك نقطة خامسة على الاسطوانية المقعرة مثلاً .

ولتكن  $\alpha$  (شكل ١١٢) النقطتين المتعاكستين ولتكن نقطة  $d$  مسقط العمود الواقع من  $b$  على المستوى العمود على المحور والمار بنقطة  $\alpha$ . ولنعين النقاط الأربع التي تتعاكس منها  $\alpha$   $\beta$   $\gamma$   $\delta$  عن سطح الاسطوانية المقعرة، فالنقطة الخامسة المفروضة إما أن تقع على المستقيم الموازي لمحور الأسطوانة المار بإحدى نقاط الانعكاس الأربع هذه أو لا تقع.

(أولاً) فإن وقعت على أحدها فلتكن نقطة الانعكاس  $\alpha$  والمستقيم الموازي المحور المار بها  $\alpha\beta$  وليقطع محيط الدائرة على  $\gamma$ ، ولتكن النقطة الخامسة المفروضة أية نقطة مثل  $\delta$  على  $\alpha\beta$  ولنرسم  $\alpha\gamma$  عموداً على سطح الأسطوانة فيكون عموداً على المحور ولنصل  $\beta\gamma$   $\alpha\delta$  فنظراً لأن  $\alpha$  نقطة انعكاس فإن المستقيمتين  $\alpha\beta$   $\alpha\gamma$   $\beta\gamma$   $\alpha\delta$  تكون في مستوى واحد.

وإذن  $\alpha\beta$  يقطع  $\alpha\gamma$  وليكن على  $\tau$

نرسم  $\alpha\delta$  موازياً  $\alpha\beta$  ونمد  $\delta\tau$  حتى يقطعه على  $\omega$  ونمد  $\beta\gamma$  على استقامته فهو يقطع مستوى الدائرة على نقطة.

وبما أن  $\alpha\beta$   $\alpha\gamma$   $\beta\gamma$  متوازيان فإن  $\omega$   $\alpha\beta$   $\alpha\gamma$  في مستوى واحد وكلاهما عمود على خط  $\alpha\tau$  فهما متوازيان.

وإذن  $\alpha\omega$  يوازي  $\alpha\beta$ .

∴  $\alpha\omega$  يقطع  $\alpha\delta$  على نقطة.

وبما أن  $\alpha\omega$  يوازي  $\alpha\beta$  فإن  $\alpha\omega$   $\alpha\beta$   $\beta\gamma$  يكونان في مستوى واحد

وإذن  $\alpha\omega$  يقطع  $\delta\tau$  على نقطة.

وبما أن  $\alpha\omega$  يقطع مستوى  $\alpha\beta\gamma$   $\alpha\delta$  على نقطة وهو يقطع

كلا منهما، إذن حتماً أن تكون نقطة تقاطع  $\alpha\omega$   $\alpha\delta$ ، ونقطة تقاطع  $\alpha\omega$   $\delta\tau$  هي نقطة تقاطع  $\alpha\omega$   $\beta\gamma$ ، وهي نقطة  $\omega$ ،

فإن كانت نقطة  $\delta$  أيضاً نقطة انعكاس ومد  $\beta\delta$  على استقامته كان

حتماً أن يمر امتداد  $\beta\delta$  بنقطة  $\omega$  أيضاً. وهذا خلف.

وإذن من المحال أن تكون أية نقطة مثل  $\delta$  على  $\alpha\beta$  نقطة انعكاس خامسة

(ثانياً) وإن كانت نقطة الانعكاس الخامسة المفروضة لا تقع على المستقيم

الموازي لمحور الأسطوانة المار باحدى نقاط الانعكاس الأربعة فلتكن هذه النقطة الخامسة  $م$  وليجر العمل السابق . فيما أنها فرضاً نقطة انعكاس  $ا$  و  $ب$  إحداهما إلى الأخرى فإنه يمكن كما سبق إثبات أن امتداد  $ب م$  يمر بنقطة تقاطع  $ا و ب$  وهى نقطة  $و$  .

ويكون  $م ح$  موازياً  $ا و$

$$\therefore \angle م ا ح = \angle ا م ح$$

$$\angle م ب ح = \angle ب م ح$$

وبما أن  $\angle ا م ح = \angle ب م ح$  فرضاً

$$\therefore \angle م ا ح = \angle م ب ح$$

$$\therefore م ا ح = م ب ح$$

وفى المثلثين  $م ا ه$  و  $م ب ه$  و

زاوية  $ه$  فى كل قائمة  $ه م ه$  مشترك  $ه م ا$  فى الأول يساوى  $م و$

فى الثانى .

$\therefore$  المثلثان متطابقان .

$$\therefore \angle ا ه ح = \angle ب ه ح$$

وبما أن  $ا و ب$  يوازى  $ه$

$$\therefore \angle ا ه ح = \angle ب ه ح$$

$$\angle ا د ه = \angle ب د ه$$

$$\therefore \angle ا د ه = \angle ب د ه$$

وإذن  $ا و ب$  تتعاكسان عن محيط الدائرة التى مركزها  $ح$  من نقطة  $ه$

وهى فرضاً غير النقاط الأربعة التى يجوز أن تتعاكس منها  $ا و ب$  .

وهذا خلف .

وإذن يكون من المحال أن تتعاكس  $ا و ب$  من أكثر من أربع نقاط

عن سطح الأسطوانية المقعرة .

وأيضاً بمثل هذا البرهان يمكن إثبات أن النقطتين المتعاكستين عن سطح

الأسطوانية المحدبة من المحال أن يتعاكسا من أكثر من نقطة واحدة .

## الفصل الرابع

في

تعيين نقطة الانعكاس عن المرآة المخروطية

١٥٠ - مزاج ابن الهيثم في معالجة الموضوع

راعى ابن الهيثم كعادته المرآة المخروطية المحدبة والمرآة المخروطية المقعرة كلا على حدها . وهو في المخروطية المحدبة تناول إثبات أن نقطة الانعكاس عنها ليست إلا نقطة واحدة<sup>(١)</sup> وأورد طريقة لتعيينها مفصلاً ذلك على أوضاع ستة<sup>(٢)</sup> . ثم هو في المخروطية المقعرة استدل أيضاً بالبرهان على إمكان الانعكاس من نقطة أو اثنتين أو ثلاث أو أربع وضمن ذلك طريقة في تعيين نقطة الانعكاس<sup>(٣)</sup> ، ثم أثبت أن نقاط الانعكاس عن المخروطية المقعرة لا تكون أكثر من أربع نقاط<sup>(٤)</sup> . هذا فضلاً عن تفصيل بعض الحالات الخاصة . وقد رأينا هنا أيضاً نظراً لتشابه العناصر الهندسية في تلك البراهين أن نبسط بحوثه على صورة عامة يصح أن تشمل حالتى المخروطية المقعرة والمخروطية المحدبة وأن نشير عند تبين الأحكام إلى ما يخص كلا منهما على حدها .

١٥١ - تفصيل الحالات الخاصة

(أولاً) إذا كانت التقطتان المتعاكستان في مستوى يمر بمحور المخروط .  
في المرآة المخروطية أيضاً يكون المستوى المار بمحور المخروط والذي تقع عليه التقطتان المتعاكستان هو مستوى الانعكاس ، وهو يقطع سطح المخروط

(١) و (٢٤١) — و (٢٤٥) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظرة

(٢) و (٢٤٥) — و (٢٥٠) » » » » »

(٣) و (٣٢٤) — و (٣٢٩) » » » » »

(٤) و (٣٢٩) — و (٣٣١) » » » » »



نخرج أي مستوى مار بالمحور قاطعاً سطح المخروط وليقطعه على  $\gamma$ .  
 نسقط من إحدى النقطتين ولتكن  $\beta$ ، العمود  $\beta$  د على  $\gamma$ ،  
 وليقطعه على  $\delta$ ، ونمد  $\beta$  د على استقامته إلى  $\omega$  بحيث يكون  $\beta$  د مساوياً  
 $\delta$  و، ونصل  $\alpha$  و، وليقطع  $\gamma$  د على  $\epsilon$ .

ومن نقطة  $\epsilon$  في مستوى  $\gamma$  ب د نرسم  $\epsilon$  م عموداً على  $\gamma$  د، فهو  
 يقطع المحور على نقطة ولتكن  $\sigma$ .

فمن السهل إثبات أن

$$\gamma \alpha \epsilon = \sigma \delta \epsilon$$

وبما أن  $\alpha$   $\epsilon$   $\delta$   $\sigma$   $\beta$   $\gamma$  في مستوى واحد،

∴  $\alpha$   $\beta$  تتعاكسان من  $\epsilon$ .

فإن ثبت المحور  $\gamma$  ب، وأدير المستقيم  $\gamma$  د حوله، تكون من دوران  
 نقطة  $\epsilon$  محيط دائرة يكون محيطها هو مقطع المستوى العمود على المحور والمار  
 بنقطة  $\epsilon$  بسطح المخروط، وتكون أية نقطة من محيط هذه الدائرة نقطة  
 انعكاس  $\alpha$   $\beta$  إحداهما إلى الأخرى.

(ثانياً) إذا كانت النقطتان المتعاكستان في مستوى عمود على المحور (١)  
 لتكن النقطتان  $\alpha$   $\beta$  - (شكل ١١٤) وليكن رأس المخروط  $\gamma$ ، ومحوره  
 $\gamma$  د، وليقطع المستوى المار بالنقطتين والعمود على المحور، سطح المخروط  
 على محيط دائرة مركزها  $\delta$

نجد نقطة مثل  $\omega$  على محيط هذه الدائرة بحيث تنعكس كل من نقطتي  
 $\alpha$   $\beta$  منها ونصل  $\delta$  و  $\alpha$   $\beta$ ، وليتقاطعا على  $\sigma$ . ونصل  $\gamma$  و،  
 ونسقط من  $\sigma$  المستقيم  $\sigma$   $\epsilon$  عموداً على  $\gamma$  و، وليقطعه على  $\epsilon$ ، فتكون  
 $\epsilon$  هي نقطة انعكاس  $\alpha$   $\beta$  من سطح المخروط. البرهان:

من الواضح أن  $\alpha$   $\beta$   $\sigma$   $\epsilon$  في مستوى واحد فيكون  $\alpha$   $\epsilon$   
 $\beta$   $\sigma$  والعمود  $\sigma$   $\epsilon$  في مستوى واحد.

(١) و (٣٢٤) - و (٣٢٦) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر.



فإذا رسم ك ل في مستوى ب ي ط موازياً ط ي قاطعاً ب ي على ل ، فإن ك ل يوازي و ح ، ويكون واقعاً في المستوى المماس لسطح المخروط وهو مستوى ح و ك .

وبما أن م ر ه عمود على المستوى المماس و ب ي يوازي م ر ه ، إذن ب ي عمود أيضاً على المستوى المماس .

فإن وصل ل ه فنظراً لأن المستقيم ل ه ، واقع في المستوى المماس ، فإن ب ي يكون عموداً عليه .

وبما أن ك ل يوازي ط ي و ك منتصف ب ط ،  
∴ ل منتصف ب ي .

وبما أن ه ل عمود على ب ي ، فمن السهل إثبات أن ه ي = ه ب .

$$\frac{ه ا}{ه ي} = \frac{ه ا}{ه ب} \text{ فيكون}$$

وبما أن ه و يوازي ي ط ،

$$\frac{ه ا}{ه ي} = \frac{ا و}{و ط} \text{ فيكون}$$

وبما أن م ر يوازي ط ب ،

$$\frac{ا و}{و ط} = \frac{م ا}{م ب} \text{ فيكون}$$

$$\frac{م ا}{م ب} = \frac{ه ا}{ه ب} \text{ ∴}$$

∴ م ر ه منتصف زاوية ا ه ب في المثلث ا ه ب .

فتكون نقطتا ا و ب متعاكستين من نقطة ه عن سطح المخروط .

وهذا البرهان عام ينطبق على حالتى المرآة المخروطية المقعرة والمرآة المخروطية المحدبة، غير أن الانعكاس عن المخروطية المحدبة يتطلب أن تكون النقطتان

المتعاكستان ١ ٦ ب خارج سطح المرآة وفي مقابلة جزء من سطحها ، حتى اذا أخرج المستوى العمود على المحور الذي تقع عليه النقطتان ١ ٦ ب وقطع سطح المخروط على محيط دائرة كانت النقطتان ١ ٦ ب خارج هذه الدائرة وفي مقابلة محدبها ، فتكون نقطة و هي نقطة انعكاس كل من ١ ٦ ب إلى الأخرى من محدب الدائرة . وأيضاً ففي المخروطية المقعرة يجوز أن تتعاكس نقطتان مثل ١ ٦ ب من أربع نقاط من مقعر محيط الدائرة وتطبيق العمل المذكور على كل واحدة منها يمكن الحصول على نقاط انعكاس عن سطح المخروطية المقعرة يكون عددها بعدد نقاط الانعكاس عن مقعر محيط الدائرة .

### ١٥٢ - الحالة العامة وأوضاعها الستة

أشرنا فيما سبق إلى أن ابن الهيثم تناول المرآة المخروطية المحدبة على حدها والمرآة المخروطية المقعرة على حدها ، وهو قد أورد لتعيين نقطة الانعكاس عن سطح المخروطية المحدبة طرقاً مختلفة تختلف تبعاً لاختلاف وضعي النقطتين المتعاكستين من السطح . وهو لأمر ما قصر الطريقة التي أوردتها في المرآة المخروطية المقعرة ، على وضع واحد من تلك الأوضاع في حين أن للنقطتين المتعاكستين أوضاعاً يصح أن تتعاكسا فيها عن سطح المخروطية المقعرة غير الوضع الذي أورد له طريقته في تعيين نقطة الانعكاس .

وسنورد فيما يلي بحوث ابن الهيثم على أسلوب عام بقدر ما تسمح به تلك البحوث وسنشير إلى ما يصح انطباقه على المرآتين المحدبة والمقعرة وما تنفرد به المحدبة دون المقعرة في المناسبات الخاصة بذلك .

وابن الهيثم قد راعى في الحالة العامة ( وإن كان كلامه في هذا منصباً على المخروطية المحدبة وحدها ) ستة أوضاع ، هي بحسب وضعي النقطتين المفروضتين بالإضافة إلى المستوى العمود على المحور المار برأس المخروط . وهذه الأوضاع الستة هي كما يلي بترتيب ورودها (١) .

(١) وردت تفصيلات هذه الأوضاع مع البراهين عليها من و (٢٤٥) — و (٢٥٠) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

الوضع الأول - - حيث تكون النقطتان المتعاكستان فيما دون هذا المستوى من قاعدة المخروط . وهذا الوضع هو الوضع الوحيد للنقطتين المتعاكستين الذي يورد له طريقة لتعيين نقطة الانعكاس عن سطح المخروطية المقعرة .  
الوضع الثاني - - حيث تكون النقطتان المتعاكستان على المستوى المذكور . وهذا وضع لا تتعاكس فيه النقطتان عن تقعر سطح المخروط . كما سنبين فيما بعد .

الوضع الثالث - - حيث تكون النقطتان المتعاكستان فيما يلي المستوى المذكور من قاعدة المخروط . وهو وضع لا تتعاكس فيه أيضاً النقطتان عن تقعر سطح المخروط .

الوضع الرابع - - حيث تكون إحدى النقطتين على المستوى المذكور والأخرى فيما دونه من قاعدة المخروط . وهو وضع يصح فيه تعاكس النقطتين عن تقعر سطح المخروط .

الوضع الخامس - - حيث تكون إحدى النقطتين في المستوى المذكور والأخرى فيما يليه من قاعدة المخروط . وهو وضع لا تتعاكس فيه النقطتان عن تقعر سطح المخروط .

الوضع السادس - - حيث تكون النقطتان المتعاكستان على جنبي المستوى المذكور إحداهما فيما دونه من قاعدة المخروط والأخرى فيما يليه من القاعدة . وهو وضع يصح فيه تعاكس النقطتين عن تقعر سطح المخروط .

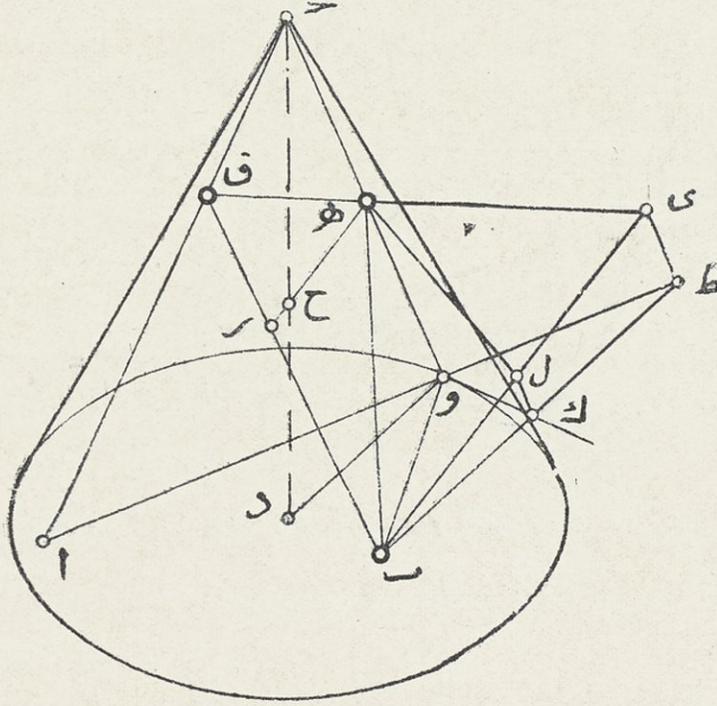
ابن الهيثم يورد لكل وضع من هذه الأوضاع طريقة لتعيين نقطة الانعكاس عن سطح المخروطية المحدبة . وطريقته للوضع الأول وهو أول ما يتناوله من هذه الأوضاع يعقب عليها برهان هندسي مفصل . ولكنه نظراً للتشابه خطوات العمل وطريق البرهان في الأوضاع الأخرى وما أورده عن الوضع الأول ، يوجز بعض الايجاز خطوات العمل وبراهينه الهندسية فيما بعد مكثفياً بالإشارة إلى القياس على ما تقدم .

١٥٣ - الوضع الاول : النقطتان وضمهما من قاعدة المخروط فيما دور

المستوى المار برأس العمود على  $س$

لتكن النقطتان ب و ق ( شكل ١١٥ ) .

وليكن رأس المخروط  $\gamma$  ومحوره  $\gamma د$  .



( شكل ١١٥ )

العمل :

نخرج المستوى العمود على المحور المار بإحدى النقطتين ولتكن ب ، فيقطع سطح المخروط على دائرة وليكن مركزها د .

نصل  $\gamma ق$  وليقطع هو أو امتداده مستوى الدائرة على نقطة ا .

نعين النقطة و التي تتعاكس منها نقطتا ا و ب عن محيط الدائرة .

ونصل  $\gamma و$  و  $\gamma د$  و  $\gamma ا$  و  $\gamma ب$  و  $\gamma ق$  ، فهذا المستقيم

يقطع مستوى  $\gamma د و$  ( العمود على مستوى الدائرة ) على نقطة ولتكن

س . نسقط من س العمود  $س ه$  على  $\gamma و$  ، وليقطع  $\gamma و$  على ه .

فتكون نقطة ه هي نقطة انعكاس كل من ب و ق إحداهما إلى الأخرى

عن سطح المرآة المخروطية .

البرهان :

نصل ق ه ه ب . فيتضح (أولاً) أن ق ه ه ب ه ه ب في مستوى واحد .

نرسم من ب المستقيم ب ط موازياً د و . ونمد ا و حتى يقطعه على نقطة ولتكن ط .

ونرسم ب ي موازياً س ه ، ونمد ق ه حتى يقطعه على ي .

فمستوى ب ط ي يوازي مستوى د و ح ، ومستوى ا ح ب ط قاطع لهما يقطع الأول على ط ي والثاني على ح و .  
∴ ط ي يوازي ح و .

نرسم و ك مماساً للدائرة في مساوها أي عموداً على نصف قطرها د و ، وليلق ب ط على ك . فبما أن ب ط يوازي د و ، يكون و ك عموداً على ب ط .

ومن السهل إثبات أن

$\angle و ب ط = \angle و ط ب$  ، أي أن مثلث و ب ط متساوي الساقين .  
∴ نقطة ك تنصف ب ط .

فإذا رسم ك ل موازياً ط ي قاطعاً ب ي على ل ، فإن ك ل يوازي و ح ، ويكون واقعاً في المستوى المماس لسطح المخروط وهو مستوى ح و ك .

وبما أن س ه عمود على المستوى المماس ه ب ي يوازي س ه ،  
∴ ب ي عمود أيضاً على المستوى المماس .

فإن وصل ل ه فنظراً لأن المستقيم ل ه ، واقع في المستوى المماس ، فإن ب ي يكون عموداً عليه .

وبما أن ك ل يوازي ط ي و ك منتصف ب ط ،  
∴ ل منتصف ب ي .

وبما أن ه ل عمود على ب ي فمن السهل إثبات أن ه ي = ه ب .

$$\frac{ق ه}{ه ب} = \frac{ق ه}{ه ي}$$

وإذن

وبما أن هـ م يوازي ي ب ،

$$\frac{ق هـ}{ق م} = \frac{هـ ي}{م ب} \quad \therefore$$

$$\frac{ق هـ}{ق م} = \frac{هـ ب}{م ب} \quad \therefore$$

$$\frac{ق هـ}{ق م} = \frac{هـ ب}{م ب} \quad \therefore$$

$$\frac{ق هـ}{ق م} = \frac{هـ ب}{م ب} \quad \therefore$$

أى أن زاوية هـ في مثلث ق هـ ب ينصفها هـ ر

$$\text{فتكون } \angle ق هـ ر = \angle م هـ ب .$$

وهذا البرهان أيضاً عام ينطبق على حالتى المخروطية المحدبة والمقعرة . فإن كانت المرآة مقعرة وتعاكست ١ ٦ ب من محيط الدائرة التى مركزها د من نقطتين أو ثلاث أو أربع أمكن إيجاد نقطتين أو ثلاث أو أربع ( بعدد تلك النقاط ) تتعاكس منها النقطتان ق ٦ ب من سطح المخروطية المقعرة .

أما إن كانت المرآة محدبة فإنه فى هذه الحالة تكون نقطتا ب ٦ ق خارج سطح المخروط ، فإذا أجزى المستوى المار بنقطة ب عموداً على المحور ، ومد ح ق على استقامته فهو يقطع المستوى على نقطة مثل ١ ، تكون هى أيضاً خارج محيط الدائرة كما أن نقطة ب خارجها . والنقطتان ١ ٦ ب فى هذه الحالة تتعاكسان من محدب محيط هذه الدائرة من نقطة واحدة . فيؤدى العمل المذكور إلى تعيين نقطة تكون هى نقطة انعكاس كل من ب ٦ ق إحداهما إلى الأخرى من محدب سطح المخروط .

١٥٤ - الوضع الثانى : النقطتان فى المستوى المار برأس المخروط

عموداً على مـ

لتكن النقطتان ق ٦ م (شكل ١١٦) ورأس المخروط ح ومحوره ح د .

العمل :

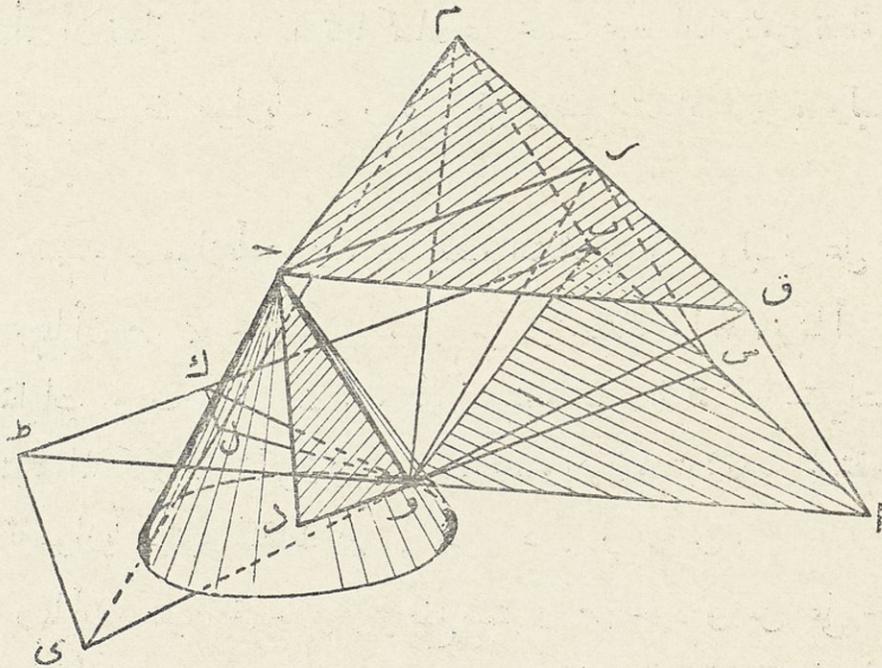
نصل ق ح م ، وننصف زاوية م ح ق بالمستقيم ح م ،

وليقطع ق م على م س . ومستوى م س ح د يقطع سطح المخروط فليقطعه على ح و .

نسقط من م عموداً على ح و ، وليقطعه على و ، فتكون نقطة و هي نقطة الانعكاس المطلوبة .

البرهان :

(أولاً) بما أن النقاط م و م س و ق على مستقيم واحد فإن وصلت جميعاً بنقطة و كانت المستقيمات م و و م س و ق في مستوى واحد .



(شكل ١١٦)

(ثانياً) نجيز المستوى المار بنقطة و عموداً على محور المخروط فهو يوازي المستوى م ح ق المار برأس المخروط ويقطع سطح المخروط على دائرة .  
نرسم م س موازياً ح و ، وليقطع مستوى الدائرة المذكورة على س ، ونصل س و . فمستوى ح م س و يقطع مستوى الدائرة على س و ، ويقطع المستوى الموازي لمستوى الدائرة والمار برأس المخروط على م س .

إذن م س ح يوازي س و .



رسم ك ل موازيا ط ي ، ويليق م ي على ل .  
 فالمستقيم ك ل يوازي ح و ، وهو واقع في مستوى ح و ك ،  
 الذي هو المستوى المماس لسطح المخروط عند و ،  
 وبما أن م ر و عمود على هذا المستوى  
 م ي يوازي م ر و ، إذن م ي عمود أيضا على هذا المستوى ،  
 فإن وصل ل و كان المستقيم م ي عموداً على ل و .  
 وبما أن المستقيمت م ب و ك ل موازيتان ، ونقطة ك  
 منتصف ب ط ،

إذن تكون نقطة ل منتصف م ي .  
 وبما أن م ي عمود على ل و ،  
 فمن السهل إثبات أن

$$م = و ي$$

$$ق و$$

$$و إذن = ق و$$

$$م و ي$$

وبما أن م ر و يوازي م ي

$$ق و$$

$$ق م$$

$$م م ر$$

$$ق و$$

$$ق م$$

$$م م ر$$

وإذن م ر و ينصف زاوية و في المثلث م و ق .

$$\therefore م و م ر = م ر و ق .$$

فتكون نقطة و هي نقطة الانعكاس للنقطتين ق و م .

ومن الواضح أن هذا الوضع لا يصح فيه العمل المذكور في الوضع الأول  
 لتعيين نقطة الانعكاس ، وهذا ما حدا ابن الهيثم إلى التمييز بين الوضعين . ويلاحظ  
 أن المستوى الذي يتكون من المستقيم ح م ر ومن محور المخروط ، وإن كان

يقطع سطح المخروط على مستقيمين أحدهما  $\gamma$  و فإن العمود الواقع من  $\gamma$  على المستقيم الآخر يلقاه خارج سطح المخروط ، أى لا يلقاه على سطح المرآة المخروطية المفروضة ، فلا يمكن أن تكون نقطة الالتقاء في هذه الحالة نقطة انعكاس .

كذلك يلاحظ أنه إذا أخذت أية نقطة على الجزء المقعر من سطح المخروط الذى في مقابلة النقطتين وأخرج منها العمود على السطح ، فإنه يلقى المحور على نقطة ، فإن أخرج مستوى المثلث المكون من النقطتين  $ق$  و  $م$  ومن تلك النقطة المأخوذة ، فإن هذا المستوى يلقى المحور على نقطة تقع فيما بين نقطة التقاء العمود بالمحور وبين رأس المخروط ، فلا يمكن أن يقع العمود في مستوى ذلك المثلث ، فينتفى إذن تحقق القانون الأول في الانعكاس ، فلا يتأتى تعاكس النقطتين في هذا الوضع عن مقعر سطح المخروط . وإذن يتبين أن هذا الوضع من الأوضاع الخاصة بالمرآة المخروطية المحدبة دون المقعرة . وابن الهيثم محق في قصر هذا الوضع على المخروطية المحدبة وإغفال الإشارة إليه أو ذكره في المخروطية المقعرة .

١٥٥ - الوضع الثالث : النقطتان وضعهما من قاعدة المخروط فيما

بلى المستوى الطار برأس عمودا على  $\gamma$

لتكن النقطتان  $ق$  و  $م$  ( شكل ١١٧ ) ، ورأس المخروط  $\gamma$  ، ومحوره  $\delta$  .

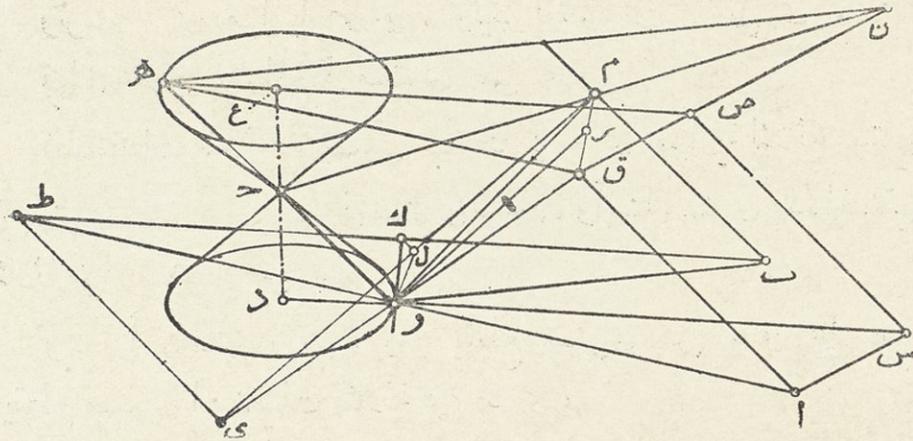
العمل :

نمد محور المخروط  $\delta$  من جهة  $\gamma$  ونجيز حول إحدى النقطتين ولتكن  $ق$  المستوى العمود على امتداد المحور فهو يقطع امتداد سطح المخروط ( أى سطح المخروط المقابل ) على دائرة وليكن مركزها  $ع$  . نصل النقطة  $م$  برأس المخروط  $\gamma$  ، وليلق المستقيم الواصل بينهما هذا المستوى على نقطة  $ن$  .

فتكون النقطتان  $ق$  و  $م$  في مستوى الدائرة التى مركزها  $ع$  فنعين

نقطة انعكاس إحداها إلى الأخرى من قوس القطاع المقابل من محيط هذه  
الدائرة ولتكن نقطة الانعكاس هذه هي ه ، ونصل ه ع ، ونمده حتى يلقى  
ن ق على ص .

ونصل ه ح ، ونمده على سطح المخروط إلى و .



(شكل ١١٧)

وتصل م ق ، وليلق مستوى ص ه و على نقطة م . ومن هذه  
النقطة نسقط م و عموداً على ح و ، وليلقه على و . فإن كانت نقطة و  
واقعة على سطح المرآة المخروطية لا على سطح المخروط المقابل ، كانت  
نقطة و نقطة الانعكاس المطلوبة . وإلا امتنع انعكاس كل من نقطتي ق و م  
إلى الأخرى عن سطح المخروطية المفروضة .

البرهان :

(أولاً) المستقيمت الواصلة بين م و م و ق و بين النقطة و في

مستوى واحد .

نخرج المستوى العمود على المحور المار بنقطة و فهو يقطع سطح المخروط  
على دائرة . نرسم ص س موازياً ح و ، ونمده حتى يلقى هذا المستوى على  
س ، ونصل س و .

فمن السهل كما في الحالة السابقة إثبات أن س و يوازي ص ه ، وأن  
امتداد س و يقطع محور المخروط على نقطة د تكون هي مركز الدائرة .  
نرسم ق ا م ب موازيين ح و ، ولاقيين المستوى المذكور على

٦١ ب بالترتيب . ونصل و ١ و ٦ و ب .

فمن السهل كما في الحالة السابقة إثبات أن

$$\sphericalangle ب و س = \sphericalangle س و ١ .$$

ونرسم ب ط موازيا س و د ، وليلق امتداد ١ و على ط .

ونرسم م ي موازيا س و ، وليلق امتداد ق و على ي .

فبما أن س و ، واقع في مستوى ص ه و ،

فالمستقيمتان الثلاثة م ب ب ط م ي موازية لثلاثة مستقيمتان

في مستوى ص ه و فهي في مستوى واحد . وأيضا مستوى هذه المستقيمتان

الثلاثة مواز مستوى ص ه و .

وبما أن مستوى ق ه و ١ يقطع مستوى ص ه و على ه و ،

ويقطع مستوى المستقيمتان الثلاثة على ط ي ،

إذن ه و يوازي ط ي .

نرسم و ك في مستوى الدائرة التي مركزها د مماسا لها عند نقطة و ، وليلق

ب ط على ك .

فيكون و ك عموداً على ب ط .

وكما سبق في الوضع السابق يمكن بسهولة إثبات أن

زاوية و ب ط = زاوية و ط ب .

وتكون نقطة ك منتصف ب ط .

نرسم ك ل موازيا ط ي ، وليلق م ي على ل .

فبمثل البرهان السابق يمكن إثبات أن نقطة ل هي منتصف م ي ، وأن

م ي عمود على ل و .

وإذن و م = و ي

ق و ق و

∴ م م

ق و ق و

٦ و ي م م

$$\therefore \frac{ق و}{م م} = \frac{ق م}{م م}$$

$$\Delta م و م = \Delta م و ق$$

فتكون نقطة و هي نقطة الانعكاس للنقطتين ق و م .

ومن الواضح أن هذا الوضع لا يصح فيه العمل المذكور في الوضع الأول أو الوضع الثاني . وهو وضع خاص بالمخروطية المحدبة ولا يصح البتة تعاكس النقطتين في هذا الوضع من مقعر سطح المخروط . هذا فضلاً عن أن تعاكس النقطتين عن سطح المخروطية المحدبة لا يتأتى إلا في الأوضاع الخاصة التي تجعل من الممكن من نقطة م إسقاط العمود م و على سطح المخروط .

ونجد هنا أيضاً أن ابن الهيثم محق في إغفال هذا الوضع في المخروطية المقعرة وقصره على المحدبة . وهو يشير فعلاً إلى أن تعاكس النقطتين عن سطح المخروطية المحدبة موقوف على الشرط المذكور . كما أنه يشير في هذا الوضع إلى حالة خاصة . فإن النقطتين المفروضتين قد تكونان معاً في المستوى العمودي على امتداد محور المخروط فتكون نقطة م في الشكل الذي راعيناه واقعة في مستوى الدائرة التي مركزها ع . والعمل والبرهان في هذه الحالة الخاصة هما على منوال ما ذكرنا آنفاً ولكنهما أقل تعقداً .

### ١٥٦ - الوضع الرابع : اهدى النقطتين في المستوى المار برأس المخروط

عموداً على  $س م$  والاخرى فيما دونه من القاعدة

لتكن النقطتان ق و ب ( شكل ١١٨ ) ، ورأس المخروط ح ومحوره ح د ، ولتكن النقطة ق في المستوى المار بالرأس عموداً على المحور .

العمل :

نخرج المستوى المار بنقطة ب عموداً على المحور فيقطع سطح المخروط على محيط دائرة وليكن مركزها د .

نسقط من ق العمود ق م على هذا المستوى وليلقه على م . نصل م د ،

ونمدّه وليلق محيط الدائرة على نقطتي س و ص .



وإذن

$$\Delta \text{ و } \Gamma \text{ و } \text{ف} = \Delta \text{ و } \text{ب} \text{ و } \text{ف} .$$

ونرسم من ب المستقيم ب ط يوازي و د، ويليق امتداد ا و على ط .  
ونرسم المستقيم ب ي يوازي مره ويليق امتداد ق ه على ي .  
وبتتبع خطوات البرهان الوارد في الوضع الاول يمكن إثبات أن ه هي  
نقطة تعاكس ق و ب عن سطح المخروط .

وابن الهيثم يقصر هذا الوضع أيضاً على المخروطية المحدبة والقصر في هذه  
الحالة أيضاً ليس صواباً .

وتفصيل الأمر أن ابن الهيثم أغفل الصور المختلفة في هذه الحالة كما أغفل من  
قبل تفصيل صور العملية الثالثة . فالمستقيم الخارج من ب قاطعاً محيط الدائرة  
على و ، والقطر على ع بحيث يكون ع و = ع د ، يمكن إخراجه كما بيئنا  
من قبل على أربع صور ، وإذن تكون للنقطة و بوجه عام أربعة أوضاع على  
محيط الدائرة . والمستقيم ق ب الواصل بين النقطتين المتعاكستين يلقى بوجه  
عام هو أو امتداده كل واحد من المستويات التي تتكون من المحور > د  
ومن المستقيم الواصل بين الرأس > والنقطة و في أوضاعها الممكنة . ولكن  
من اللازم لكي يصح الانعكاس توافر الشرطين الآتين :

(أولاً) أن يلقى المستقيم ق ب نفسه ، لا امتداده ، مستوى أو أكثر من  
المستويات المذكورة حتى إذا ما أسقط من النقطة التي يلقاها عليها عمود على  
المستقيم > و ، كانت النقطتان المتعاكستان ق و ب عن جنبي العمود ،  
لا في جانب واحد منه .

(ثانياً) أن يلقى العمود المذكور المستقيم > و على نقطة مثل ه تقع  
دون > من قاعدة مخروط المرآة المفروضة لكي يتحقق وجودها على سطح  
المخروط المفروض .

فان توافر الشرطان المذكوران جميعاً صح الانعكاس ويكون الانعكاس  
عن مقعر سطح المخروط أو عن محدب سطحه ، تبعاً لوضع النقطتين المتعاكستين  
بالإضافة إلى الجزء الذي تقع عليه نقطة ه ، من سطح المخروط .

ومن هذا يتبين أن الوضع الرابع الذى نحن بصدده هنا إذا صيغ في هذا القالب العام شمل حالتى المرآة المخروطية المحدبة والمرآة المخروطية المقعرة وأنه ليس خاصاً بالأولى دون الثانية .

### ١٥٧ - الوضع الخامس : امرى النقطتين فى المستوى اطار برأس

المخروط عموداً على سره والاخرى فيما يليه من القاعدة

ما أورده ابن الهيثم بحسب ما جاء فى المخطوطات التى اطلعنا على صورها فيما يتعلق بهذا الوضع مقتضب ومضطرب . كل ما جاء فيه ما يأتى :

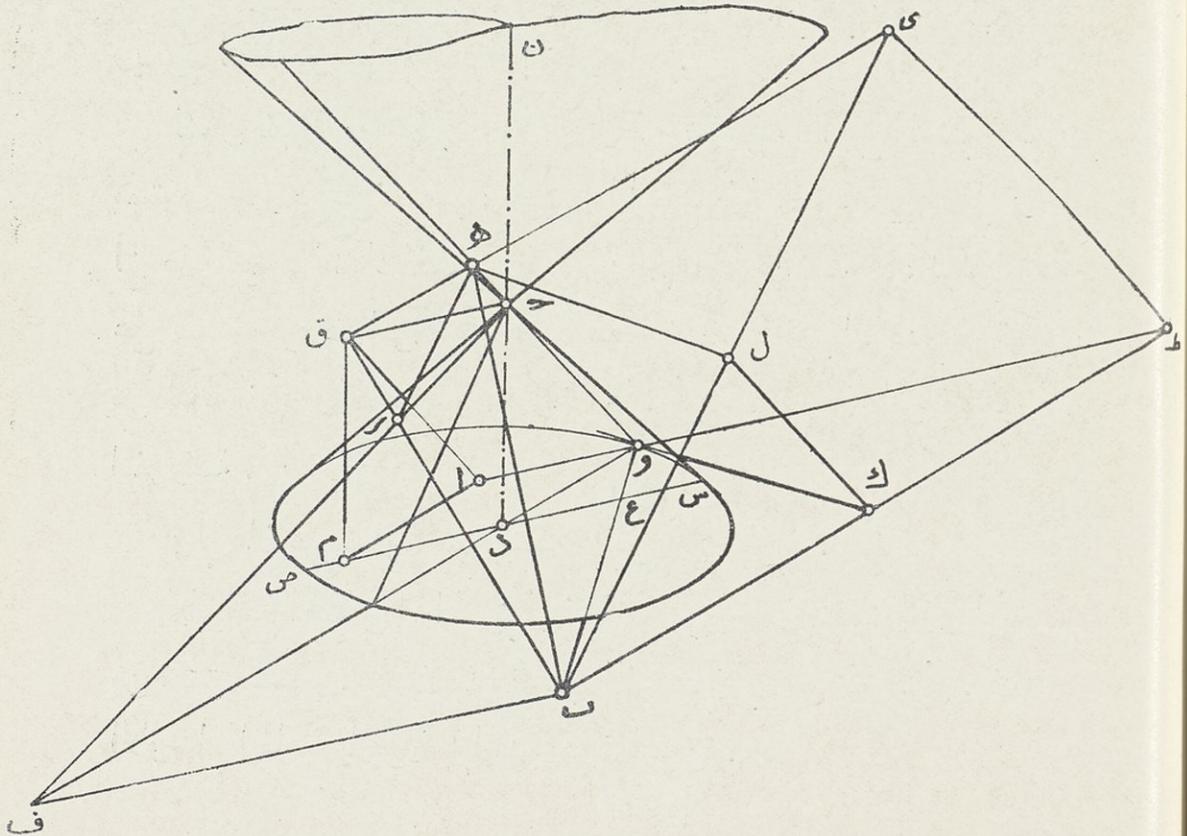
« وإن كانت إحدى النقطتين ( أى إحدى النقطتين المتعاكستين ) فى سطح م ج ن ( يقصد المستوى المار بالرأس عموداً على المحور ) والأخرى من وراء هذا السطح أخرجنا المخروط المقابل لمخروط المرآة ، واستخرجنا نقطة الانعكاس التى على هذا المخروط أعنى المقابل . ثم نقلنا نقطة الانعكاس إلى مخروط المرآة كما عملنا فى الشكل الذى قبل هذا الشكل » .<sup>(١)</sup>

وقد أورد كمال الدين الفارسى هذه العبارة بالفاظ لا تختلف اختلافاً محسوساً عن هذه الألفاظ ، وأوردها خلواً من أية إشارة أو تعليق منه .

والوضع الخامس هذا هو فى نظرنا أحد الاحتمالات الممكنة فى الوضع الرابع . فمن الواضح أنه إذا توافر الشرط الأول من الشرطين المذكورين فى ذلك الوضع ولم يتوافر الشرط الثانى بل قطع العمود الواقع من نقطة التقاء المستقيم ق ب بمستوى ج د و ، قطع هذا العمود امتداد المستقيم و ح من جهة الرأس ح فى نقطة مثل ه ، فإن هذه النقطة تكون واقعة على امتداد سطح المخروط من جهة رأسه ، أى تكون واقعة على سطح المخروط المقابل ، وتكون هى نقطة انعكاس كل من ق و ب إلى الأخرى لا عن سطح المخروط الأسمى فى الوضع الرابع بل عن سطح المخروط المقابل

(١) و (٢٤٩) من مخطوط المقالة الخامسة والشكل الذى يشير إليه هو الذى أوردهنا

ويكون وضع النقطتين ق و ب بالنسبة إلى هذا المخروط المقابل هو الوضع الخامس الذي نحن بصدد هنا . ومن البين أن هذا كله لا يتضمنه القول الذي أورده ابن الهيثم بحسب ما جاء في المخطوطات .  
ولتفصيل هذا الأمر ليكن رأس مخروط المرآة > ( شكل ١١٩ ) ،



( شكل ١١٩ )

ومحوره > ن ، ولتكن النقطتان المتعاكستان ق و ب أولاهما في المستوى  
المرآة بالرأس > عموداً على المحور > ن ، والثانية فيما يلي الرأس > من  
قاعدة المخروط .

العمل :

نمد المحور ن > على استقامته من جهة الرأس إلى د ونجيز من النقطة  
ب المستوى العمود على امتداد المحور ، فهو يقطع امتداد سطح المخروط على  
محيط دائرة وليكن مركزها د .

نسقط من ق العمود ق م على هذا المستوى ، وليلقه على م ، ونصل م د ، ونمده وليقطع محيط الدائرة على س ، ص .

ثم نخرج من ب المستقيم ب ع و ، قاطعا محيط الدائرة على و ، والقطر س ص على ع ، بحيث يكون  $وع = ع د$  .

فما سبق يتضح أن هذا المستقيم يمكن إخراجه بوجه عام على أربع صور ويكون لنقطة و على المحيط أربعة أوضاع .

لتكن نقطة و شكل (١١٩) في وضع يتأتى فيه أن يلقى المستقيم ب ق مستوى ح و د على نقطة م ، بحيث إذا اسقط منها العمود م ه على و ح ، لقي هذا العمود امتداد المستقيم و ح من جهة ح على نقطة ه ، تكون نقطة على سطح مخروط المرآة أى على السطح نفسه لا على امتداده ، وتكون هي نقطة انعكاس كل من ق و ب إلى الأخرى عن سطح المرآة المخروطية المفروضة .

والبرهان على ذلك كما سبق بنصه ورموزه وخطواته .

والوضع الخامس هذا لا يتأتى فيه انعكاس إحدى النقطتين إلى الأخرى من مقعر السطح ، وذلك لمثل السبب الذى ذكر فى الوضع الثانى . فهو من الأوضاع الخاصة بالمخروطية المحدبة دون المقعرة .

### ١٥٨ - الوضع السادس : النقطتان عن منبني المستوى المار برأسى

المخروط عمودا على  $ص$  .

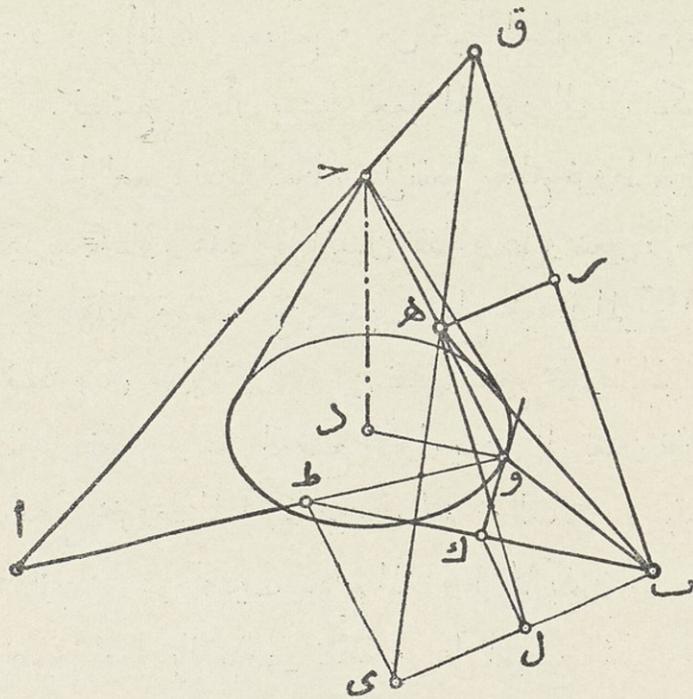
لتكن النقطتان ق و ب (شكل ١٢٠) ورأس المخروط ح ، ومحوره ح د ، ولتكن نقطة ب من جهة القاعدة ، ولتكن نقطة ق خارج سطح المخروط المقابل .

العمل :

نخرج المستوى المار بنقطة ب عموداً على محور المخروط فيقطع سطح المخروط على محيط دائرة وليكن مركزها د .

نصل ق ح ، ونمده حتى يلقى مستوى الدائرة على نقطة ا تكون خارج  
الدائرة المذكورة . ثم نعين النقطة و على محيط الدائرة بحيث يكون المماس  
المرسوم عندها منصفا لزاوية ا و ب .

نصل ح و ب ق ، وليلق المستقيم ب ق مستوى ح د و على م .  
نسقط من نقطة م العمود م ه على ح و ، وليلق ح و على ه ،  
فتكون نقطة ه هي نقطة الانعكاس المطلوبة .



( شكل ١٢٠ )

والبرهان على ذلك كالبرهان الوارد في الوضع الأول بنصه وإشاراته وخطواته.  
وابن الهيثم يقصر هذا الوضع كما أشرنا آ نفا على المرآة المخروطية المحدبة  
ولكن القصر في هذه الحالة أيضا ليس صوابا .

فبحسب النص الوارد اتخذت النقطتان المتعاكستان ق و ب في وضعين  
حيثما انفق عن جنبي المستوى المار برأس المخروط عموداً على محوره . وعلى  
ذلك فنقطة ق قد تكون خارج امتداد سطح مخروط المرآة أي خارج سطح  
المخروط المقابل ، وقد تكون داخله . ونقطة ب قد تكون خارج محيط

الدائرة التي يلقى عليها المستوى المار بها عموداً على المحور سطح مخروط المرآة ، كما هو مبين بالشكل وقد تكون داخل محيط هذه الدائرة . وتفصيل الأمر بايجاز كما يأتي :

( أولاً ) لتكن نقطة ق خارج سطح المخروط المقابل حيث تقع خارج محيط الدائرة المذكورة :

فان كانت نقطة ب خارج محيط هذه الدائرة أيضاً ، فواضح عندئذ أن المستقيم ق ب الواصل بينهما يقع خارج سطح مخروط المرآة فنقطة التقائه بمستوى  $\gamma$  د و ، أيا كان موضع و من محيط الدائرة ، تقع خارج سطح مخروط المرآة . فيمتنع إذن أن يؤدي العمل المذكور إلى أن تكون نقطة ه التي تتعين وفقاً لهذا العمل ، نقطة انعكاس على تقعر سطح مخروط المرآة . وواضح أيضاً أنه يمكن بوجه عام في هذه الحالة تعيين نقطة و على وضعين ، أحدهما تكون فيه نقطة و في مقابلة ق ب من تحديب سطح مخروط المرآة<sup>(١)</sup> ، والآخر تكون فيه نقطة و في مقابلة ق ب من تقعر سطح مخروط المرآة . وتطبيق العمل بالنسبة إلى نقطة و على الوضع الأول يؤدي إلى تعيين نقطة انعكاس عن تحديب سطح مخروط المرآة كما تبين في الشرح السابق . وسيتبين فيما يأتي أن تعاكس النقطتين عن تحديب سطح المخروط لا يكون إلا من نقطة واحدة . وتطبيق العمل بالنسبة إلى نقطة و على الوضع الثاني يؤدي إلى تعيين نقطة انعكاس عن تحديب سطح المخروط المقابل ، لا عن تحديب سطح مخروط المرآة نفسه .

أما إن كانت نقطة ب داخل محيط الدائرة المذكورة فان تعاكس النقطتين عن تحديب سطح مخروط المرآة ينتفي البتة ، حيث نقطة ب في هذا الوضع ليست تقابل جزءاً ما من تحديب السطح . وإن طبق العمل المذكور أدى بوجه عام إلى تعيين نقطة انعكاس عن تقعر سطح المخروط او نقطة انعكاس عن تحديب سطح المخروط المقابل .

(ثانياً) لتكن نقطة ق داخل سطح المخروط المقابل حيث تقع ا داخل محيط الدائرة المذكورة :

في هذه الحالة يمتنع الانعكاس عن تقعر سطح مخروط المرآة حيث تقع نقطة ق في مقابلة تحذب كل سطحها .

فان كانت نقطة ب خارج محيط الدائرة ادى العمل بوجه عام الى تعيين نقطة انعكاس عن تحذيب سطح المرآة أو تقعر سطح المخروط المقابل .

أما إن كانت نقطة ب داخل محيط الدائرة المذكورة فان الانعكاس عن تحذيب سطح مخروط المرآة ينتفى البتة حيث لا تكون نقطة ب في مقابلة أى جزء من تحذيب السطح . وينتفى أيضاً وجود نقطة و حيث يتوافر الشرط المطلوب .

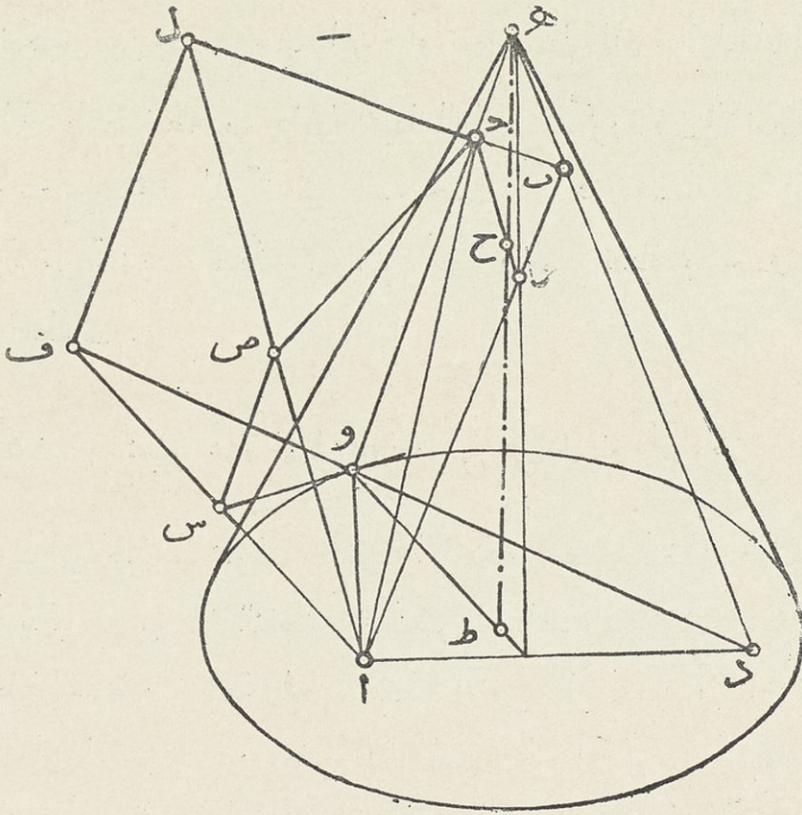
### ١٥٩ - تعيين عدد نقاط الانعكاس عن المرآة المخروطية

يورد ابن الهيثم في بحوثه عن نقطة الانعكاس عن المرآة المخروطية برهاناً هندسياً يدلل به على أن النقطتين تنعكس إحداهما إلى الأخرى عن سطح المخروطية المحدبة من نقطة واحدة فقط ، وآخر يدلل به على أنهما لا تنعكس إحداهما إلى الأخرى عن المخروطية المقعرة من أكثر من أربع نقاط . وتفصيلات أحد البرهانين تختلف قليلاً عن تفصيلات البرهان الآخر .

وبرهانه في حالة المخروطية المقعرة سليم ولكنه خاص بها بل هو خاص ببعض أحوالها ولا يتسنى تعميمه على المحدبة بحيث يشمل الأوضاع المختلفة الستة التي فصلها وبينها فيما سبق . أما برهانه في حالة المخروطية المحدبة فان أحد الأركان التي يقوم عليها بحسب ما هو وارد في صور الأصول التي اطلعنا عليها خطأ ، ويجعل البرهان على صورته الواردة منقوضاً من أساسه . وسنبين ذلك كله بالتفصيل فيما يأتي :

١٦٠ - برهان ابن السنيتم في مائة المخروطية المفجرة (١)

لتكن النقطتان المتعاكستان  $ا ب$  (شكل ١٢١) ورأس المخروط  $هـ$  وسهمه  $هـ ط$  ولتنعكس إحدى النقطتين إلى الأخرى عن تقعير سطح المخروط من نقطة  $ح$  . نقيم من  $ح$  العمود  $ح و$  على سطح المخروط وليلق سهمه على



( شكل ١٢١ )

نقطة  $ح$  . فيكون  $ا > ب > ح$  في مستوى الانعكاس ، وتكون نقطتا  $ا ب$  في مقابلة جزء من تقعير سطح المخروط . نصل  $ا ب$  فهو يلقى  $ح$  على نقطة وتكون  $س$  .

ونظرا لان  $ا ب$  متعاكستان من تقعير سطح المخروط فانه يمكن على تصارييف الاحوال أن يخرج من واحدة منهما على الاقل مستوى يقطع

سطح المخروط عموداً على سهمه . فلتكن نقطة  $\alpha$  كذلك ولنخرج منها  
المستوى العمود على سطح المخروط وليلق سطحه على محيط دائرة وليكن  
مركزها نقطة  $\tau$  . ثم نصل  $\tau$  ب  $\alpha$  وليلق الواصل مستوى الدائرة على نقطة  
 $\delta$  . ثم نصل  $\delta$  ب  $\alpha$  وليلق الواصل محيط الدائرة على نقطة  $\omega$  . فتكون نقطتا  
 $\delta$  و  $\omega$  في مقابلة تقعر القوس المار بنقطة  $\omega$  . ثم نصل  $\delta$  ب  $\omega$  و  $\alpha$  ب  $\omega$  ،  
ونخرج من  $\alpha$  مستقيماً يوازي  $\delta$  فهو يقع في مستوى الانعكاس ويلقى  
امتداد  $\alpha$  ب  $\alpha$  على نقطة ولتكن  $\lambda$  . وأيضاً نخرج من  $\alpha$  مستقيماً يوازي  
 $\tau$  و  $\omega$  فهو يقع في مستوى الدائرة ويلقى امتداد  $\delta$  و  $\alpha$  على نقطة ولتكن  $\phi$  .  
فنظراً لأن  $\alpha$  يوازي  $\delta$  و  $\alpha$  ب  $\omega$  يوازي  $\tau$  و  $\omega$  ، فمستوى  $\alpha$  ل  $\phi$   
يوازي مستوى  $\delta$  و  $\tau$  ، وبما أن نقطتي  $\lambda$  و  $\phi$  واقعتان في مستوى  $\delta$  و  $\delta$   
فمستوى  $\delta$  و  $\delta$  يلقي مستوى  $\alpha$  ل  $\phi$  على  $\lambda$  ، ومستوى  $\delta$  و  $\delta$  يلقي  
مستوى  $\delta$  و  $\tau$  على  $\omega$  .

وإذن ل  $\phi$  يوازي  $\delta$  و  $\omega$  .

ثم نخرج من نقطة  $\omega$  مماساً للدائرة في مستواها فهو عمود على نصف  
القطر  $\tau$  و  $\omega$  . فهو يلقي  $\alpha$  ب  $\alpha$  على نقطة ولتكن  $\sigma$  ، ويكون  $\sigma$  عموداً  
على  $\alpha$  ب  $\alpha$  .

ومستوى  $\delta$  و  $\sigma$  هو المستوى المماس لسطح المخروط من نقطة  
الانعكاس  $\alpha$  .

فهو عمود على مستوى السقوط  $\alpha$  ب  $\alpha$  ، وإذن يكون  $\delta$  ب  $\alpha$  عموداً على  
مستوى  $\delta$  و  $\sigma$  . وبما أن  $\alpha$  ل يوازي  $\delta$  ،

إذن  $\alpha$  ل عمود على مستوى  $\delta$  و  $\sigma$  .

فاذا رمزنا للنقطة التقائه بمستوى  $\delta$  و  $\sigma$  بالحرف  $\nu$  ، و وصلنا  $\nu$  ب  $\sigma$

كان  $\nu$  ب  $\sigma$  المستقيم الذي يتقاطع عليه المستويان  $\delta$  و  $\sigma$  ل  $\phi$  .

وبما أن  $\delta$  و  $\sigma$  هو المستقيم الذي يتقاطع عليه الأول ومستوى  $\delta$  و  $\tau$

الموازي للمستوى  $\alpha$  ل  $\phi$  ،

إذن ص س يوازي ه و ،

وإذن تكون المستقيمات الثلاثة ص س و ل ف و ه و متوازية .

وأيضاً فيما أن ص ح في مستوى ه و س و ل ص عمود عليه فإن ا ص

عمود على ص ح .

وبما أن نقطة ح هي نقطة انعكاس فرضاً ،

وبما أن م ر ح يوازي ا ل عملاً ،

فان  $\angle د ح م = \angle م ر ح = \angle ح ل ا = \angle ا د ح$  .

$\therefore \angle ح ل ا = \angle ا د ح$  .

وبما أن ح ص عمود على ا ل ،

$\therefore$  نقطة ص هي منتصف ا ل .

وبما أن ص س يوازي ل ف ،

$\therefore$  نقطة س هي منتصف ا ف .

وبما أن و س عمود على ا ف

$\therefore \triangle و ا ف$  متساوي الساقين ،

$\angle د و ف = \angle ا د و ا ف$  .

وبما أن و ط يوازي ا ف .

$\therefore \angle د و ط = \angle ا د ط و ا ف$  .

وإذن تكون نقطتا د و ا متعاكستين من تقعر محيط الدائرة من

نقطة و .

بمثل هذا البرهان استدل ابن الهيثم على أنه إذا صح أن تتعاكس نقطتا ا و ب

من تقعر سطح المخروط من نقطة ح ، وأخرج من إحدى النقطتين ا

المستوى القاطع لسطح المخروط عموداً على سهمه ، ووصل رأس المخروط

ونقطة الانعكاس ولقي الواصل محيط الدائرة التي يقطع عليها هذا المستوى

سطح المخروط على نقطة و ، ثم وصل رأس المخروط بالنقطة الاخرى ب ولقي

لواصل مستوى الدائرة على نقطة د ، فإن النقطتين د و ب تنعكس إحداهما إلى الأخرى عن تقعير محيط الدائرة من نقطة و .

وبما أن نقطتين مثل د و ب في مستوى دائرة مثل الدائرة التي مركزها ط لا تنعكس إحداهما إلى الأخرى عن تقعير محيطها من أكثر من أربع نقاط فإن الهيثم يتخذ هذا الأمر وسيلة لإثبات أن النقطتين مثل ب و د لا تنعكس إحداهما إلى الأخرى من تقعير سطح المخروط من أكثر من أربع نقاط .

والبرهان الذي يسوقه الى ذلك هو برهان الخلف . فلنفرض أن النقطتين ب و د مثلا يصح أن تنعكس إحداهما إلى الأخرى من تقعير سطح المخروط من نقطة خامسة . فاذا وصل رأس المخروط بها فالواصل يلقي محيط الدائرة التي مركزها ط على نقطة تكون هي أيضاً نقطة خامسة تنعكس منها نقطتا د و ب عن تقعير محيط الدائرة . وهذا خلف .

### ١٦١ - بيان وتعليق على برهان ابن الهيثم في حالة المخروطية المقعرة

ومن الواضح أن البرهان لا يتم إلا ببيان عدم جواز الانعكاس من نقطة أخرى تقع على أي واحد من المستقيمتين الواصلة من رأس المخروط ه إلى إحدى نقاط الانعكاس الأربع الممكنة . أي أنه من الواجب إثبات أن أية نقطة أخرى مثل و على ه - ( على اعتبار أن نقطة - هي إحدى نقاط الانعكاس ) لا يجوز أن تكون هي أيضاً نقطة انعكاس . ولو أن ابن الهيثم لم يتناول هذا الأمر في حالة المخروطية المقعرة ، فإنه تناول نظيره في حالة المخروطية المحدبة كما سنبين بعد . وهو في المقعرة سهل ميسور أيضاً .

غير أن البرهان بحسب الحدود والفروض التي أوردها ابن الهيثم لا ينطبق على جميع أوضاع المخروطية المقعرة ، كما لو كانت إحدى النقطتين ب مثلا على المستوى المار برأس المخروط عموداً على سهمه أو من فوقه بالنسبة إلى قاعدة المخروط . فعلى الوجه الأول يكون الواصل بين ه و ب موازياً لمستوى الدائرة التي مركزها ط فلا يلقاه على نقطة . ولكن في هذه الحالة إذا أخرج من ب مستقيماً موازياً - و ولقي مستوى الدائرة على د أمكن إثبات أن

نقطتي د و ٦ تتعكسان من مقعر المحيط من نقطه و . وعلى الوجه الثاني فلربما لقي الواصل المستوي على نقطة خارج المحيط بحيث إذا رمز لها بالحرف د ، وطبق البرهان نفسه أفضى إلى أن المماس من نقطة و ينصف زاوية ١ و د (١) ، فلا تكون النقطتان ١ و ٦ متعاكستين بالمعنى الخاص بالانعكاس .

وفي هذه الحالة أيضاً إذا أخرج من ب المستقيم الموازي للمستقيم ه و فهو يلقى مستوى الدائرة على نقطة تقع على امتداد د و ، وتكون هذه النقطة ونقطة ١ منعكستين من مقعر المحيط من نقطة و .

ومن الجائز التعميم فيقال إن مستوى الخطين ه ب و ٦ ه و إذا أخرج لقي مستوى الدائرة على مستقيم د و ، تكون الزاوية التي يحيط بها مع المماس عند و مساوية للزاوية التي يحيط بها ١ و مع هذا المماس . فإن كان ه ب يلقى مستوى الدائرة على نقطة د أياً كان وضعها فإن المستويات الخارجة تلقى مستوى الدائرة على خطوط مستقيمة تتلاقى جميعها على هذه النقطة . وأمكن على الوجه العام تعيين أربع نقاط على محيط الدائرة يتوافر فيها شرط العملية الرابعة بالنسبة إلى نقطتي د و ١ . ولكن يبقى بعد ذلك إثبات أن شرط العملية الرابعة لا يتوافر في أكثر من أربع نقاط لكي يثبت أن الانعكاس من مقعر سطح المخروط لا يصح من أكثر من أربع نقاط . والبرهان على ذلك ميسور أيضاً فالعملية الرابعة تتقيد أوضاعها الممكنة بالأوضاع الممكنة للعملية الأولى ، والأوضاع الممكنة للعملية الأولى لا تصح في أكثر من أربعة أحوال ، لان الدائرة والقطع الزائد لا يتقاطعان على أكثر من أربع نقاط . أما إذا كان ب ه موازياً لمستوى الدائرة لا يلقاه ، فانه إذا أسقط من نقطة ب المستقيم ب ق عموداً على مستوى الدائرة ولقيه على نقطة ق ، ووصل القطر ط ق ثم رسم من ب المستقيم ب د يوازي ه و ، ولقي سطح الدائرة على د ، أمكن إثبات أن د و يوازي ط ق .

ويكون وفقاً لبرهان ابن الهيثم

$$د د و ط = د ا و ط .$$

فيكون المشترك في وضع و أن يكون الخارج من ا إلى و يلقى القطر ط ق على نقطة بعدها عن المركز ط يساوي بعدها عن النقطة و ، وفقاً للمطلوب في العملية الثالثة .

وقد مر أيضاً أن هذه العملية قد تصح على أربعة أوضاع ، وهي أيضاً لكونها متوقفة على العملية الاولى لا تصح في أكثر من أربعة أوضاع .

ومن الواضح كذلك أن برهان ابن الهيثم عن المخروطية المقعرة يصح تطبيقه على المخروطية المحدبة في بعض أحوالها أيضاً ، كالحالة التي يكون فيها وضع النقطتين المتعاكستين بالنسبة إلى قاعدة المخروط تحت المستوى المار برأسه عموداً على محوره ، حيث إذا طبقنا الرموز نفسها تكون نقطتا د ٦ ا منعكستين عن محب محيط الدائرة من نقطة و ، وبما أن النقطتين مثل د ٦ ا لا تنعكسان عن محب محيط الدائرة من أكثر من نقطة واحدة أمكن ببرهان الخلف إثبات أن النقطتين ا ٦ ب لا تنعكسان من محب سطح المخروطية إلا من نقطة واحدة .

١٦٢ - برهان ابن الهيثم في حالة المخروطية المحدبة وبيان موضع

الخطأ فيه

ونورد فيما يلي برهان ابن الهيثم في حالة المخروطية المحدبة مستعملين رموزه وإشاراته التي استعملها هو نفسه . فلتكن النقطتان ا ٦ ب (شكل ١٢٢) ورأس المخروط ه ، ونقطة الانعكاس ح . ونصل ه ح ثم نخرج من ح المستوى العمود على سهم المخروط وليقطعه على محيط دائرة وليكن مركزها ط . ونخرج من ا المستقيم ا ن موازياً ه ح وليلق مستوى الدائرة على نقطة ن . ونخرج من ب المستقيم ب م موازياً ه ح ، وليلق مستوى الدائرة على م .

ثم نصل ن ح م ٦ م ح ط ح ، ونخرجه إلى ك .

ثم نخرج من ح العمود ح ق على سطح المخروط وليلق سهمه على



وبما أن  $ا$  ل يوازي  $ق ح$  و  $ن$  ف يوازي  $ك ط$  والمستقيمان  
 $ق ح$  و  $ك ط$  في مستوى واحد هو مستوى  $هـ$   $>$   $ح$  فيكون المستقيمان  
 $ا$  ل و  $ن$  ف في مستوى واحد يوازي مستوى  $هـ$   $>$   $ح$ .

ولكن مستوى  $م ب$   $>$  يقطع مستوى الخطين  $ا$  ل و  $ن$  ف على  
 $ل$  ف .

وبما أن مستوى  $م ب$   $>$  يقطع المستوى  $هـ$   $>$   $ح$  (الموازي لمستوى  
 الخطين  $ا$  ل و  $ن$  ف) على  $هـ$   $>$   
 ∴  $ل$  ف يوازي  $هـ$   $>$ .

وتكون المستقيمان  $ا$  ن و  $م$  و  $هـ$   $>$  و  $ل$  ف جميعاً متوازية.  
 نخرج من نقطة  $>$  مماساً للدائرة في مستواها فيكون عموداً على  $ح$   $>$   $ط$   
 وإذن يلقي  $ن$  ف عموداً عليه ولتكن نقطة الالتقاء  $س$  .

ويكون مستوى  $هـ$   $>$   $س$  هو المستوى المماس للمخروط من نقطة  
 الانعكاس ويكون  $ح$   $>$   $ق$  عموداً عليه .

وبما أن  $ا$  ل يوازي  $ق ح$  فيكون  $ا$  ل عموداً على مستوى  $هـ$   $>$   $س$   
 ويلقاه على نقطة ولتكن نقطة  $ص$  .

نصل  $ص$   $س$  فيكون الواصل هو مستقيم تقاطع مستوى الخطين  
 $ا$  ل و  $ن$  ف والمستوى  $س$   $>$   $هـ$  المماس للمخروط .

كما أن المستوى  $س$   $>$   $هـ$  المماس للمخروط يلقي مستوى  $هـ$   $>$   $ح$   
 على  $هـ$   $>$  .

وبما أن مستوى  $هـ$   $>$   $ح$  يوازي مستوى الخطين  $ا$  ل و  $ن$  ف ،  
 إذن  $ص$   $س$  يوازي  $هـ$   $>$  ، ويوازي  $ا$  ن .

وتكون المستقيمان الثلاثة  $ا$  ن و  $ص$   $س$  و  $ل$  ف متوازية وفي مستوى واحد.  
 وإذن 
$$\frac{ا ص}{ص ل} = \frac{ن س}{س ف}$$

وأيضاً فإن

$$د ب > ق = د ق > ا = د ل > ا = د ح > ا ل$$

وإذن  $ج ١ = ج ل$  .

وبما أن  $ل$  عمود على المستوى  $ص س ح هـ$  ، وهو المستوى المماس فهو عمود على  $ص ح$  .

وإذن تتكون نقطة  $ص$  منتصف  $ل$  .

وإذن  $ن س = س ف$  .

وبما أن  $ح س$  عمود على  $ن ف$  .

إذن  $ح ن = ح ف$  و  $د ح ن ف = د ح ف ن$  .

وبما أن  $ن ف$  يوازي  $ح ط$

∴  $د م ح ك = د ح ف ن$

و  $د ك ح ن = د ح ن ف$

∴  $د م ح ك = د ك ح ن$

فتكون النقطتان  $م$  و  $ن$  تنعكس إحداهما إلى الأخرى عن تحديب محيط الدائرة من نقطة  $ح$  .

على هذه الصفة أثبت ابن الهيثم أنه إذا تعاكست نقطتان مثل  $١$  و  $ب$  عن تحديب سطح المخروط من نقطة  $ح$  ، وأخرج من المستوى القاطع لسطح المخروط عموداً على سهمه . ثم وصل رأس المخروط  $هـ$  بنقطة  $ح$  ، وأخرج من نقطتي  $١$  و  $ب$  مستقيمان موازيان للمستقيم  $هـ ح$  وكانت نقطتا  $ن$  و  $م$  على الترتيب نقطتي التقاءهما بالمستوى المذكور ، فإن هاتين النقطتين تنعكس إحداهما إلى الأخرى عن تحديب محيط الدائرة التي يقطع عليها المستوى المذكور سطح المخروط .

ولاثبات أن انعكاس النقطتين  $١$  و  $ب$  لا يكون عن محذب سطح المخروط إلا من نقطة واحدة فإنه يفرض جواز الانعكاس من نقطة أخرى ويثبت أن الفرض محال . ويراعى في وضع النقطة الأخرى المفروضة حالتين .

إحداهما : أن تكون النقطة على المستقيم  $هـ ح$  ، ويقول بلفظه (١)

« فإن كانت تلك النقطة ( أى نقطة الانعكاس الثانية المفروضة ) على



الدائرة التي مركزها ط . وليلق ه و ( أو امتداده ) محيط هذه الدائرة على نقطة ت ، ولنخرج ب م ١ ٦ ن كما مر آنفا ولنخرج المستوى العمود على السهم من نقطة الانعكاس الثانية وهي و . وليلق سطح المخروط على محيط الدائرة التي مركزها ث ، ولنسم هذه الدائرة الدائرة التي مركزها ث . وليلق المستقيم ب م مستوى هذه الدائرة على نقطة خ وليلق ١ ن مستواها على نقطة س . ونصل ه خ فيلقى ( هو أو امتداده ) مستوى الدائرة التي مركزها ط ، على نقطة وتكن ش ، فهي تقع حتما على المستقيم م ح . كذلك يلقى ه م مستوى الدائرة على نقطة وتكن ي تقع هي الأخرى على المستقيم ن ح .

وتتمة برهان ابن الهيثم بعد هذا مضطرب ورموزه مختلطة بعضها بالآخر لا في المخطوطات فحسب بل وفي التنقيح أيضاً . ولكنه يتضمن من غير شك أنه إذا وصل ه و ، ورمزنا لنقطة تقاطعه ومحيط الدائرة التي مركزها ط بالحرف ت ( وهي نقطة أخرى غير ح فرضاً ) .

فإن

ط ت يوازي ث و .

٦ ي ت يوازي م و .

٦ ش ت يوازي خ و .

وإن كان هذا صحيحاً فإن النتيجة التي يستخلصها ابن الهيثم من ذلك وهي أن نقطتي ي ٦ ش تنعكسان عن محذب محيط الدائرة التي مركزها ط من نقطتي ح ٦ ت ليست صحيحة فلا يقع الخلف الذي يريده .

وذلك واضح لأن نقطتي ش ٦ ي وإن كاتتا تنعكسان من ح لأن

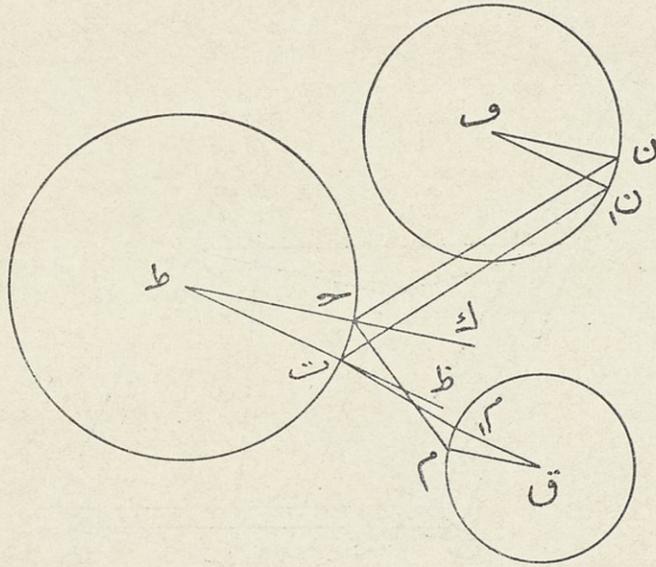
١ ن ٦ ب م يوازيان ه ح عملاً ، فإنهما لاتنعكسان من ت لأن المستقيمين المذكورين لا يوازيان ه ت .

١٦٣ - اصراع برهان ابن الهيثم

ومن الممكن اصلاح الخطأ في برهان ابن الهيثم على المنوال الآتي :



فاذا فرضنا أن مستوى شكل ( ١٢٥ ) يمثل مستوى الدائرة التي مركزها ط ونقطتا ح و ت على محيطها وأسقطنا من نقطتي ا و ب ( شكل ١٢٤ )



( شكل ١٢٥ )

عمودين على هذا المستوى وليلقياها على نقطتي ف و ق على الترتيب وكانت نقطتا ن و م نقطتي التقاء ا ن و ب م الموازيين للمستقيم ج ه ، ومستوى الدائرة ، على

الترتيب ، وأخرجت من كل من نقطتي ا و ب المستقيمتين الموازيين للمستقيمتين الواصلة بين رأس المخروط ه ونقاط محيط الدائرة التي مركزها ط فانه يتضح أن الخارجة من ا تنتهي الى محيط دائرة مركزها ف ونصف قطرها ف ن ، والخارجة من ب تنتهي إلى محيط دائرة مركزها ق ونصف قطرها ق م ومن السهل اثبات أن أنصاف الاقطار ط ح و ف ن و ق م متوازية . وتكون نقطتا ن و م كما تبين منعكستين عن محذب الدائرة التي مركزها ط من نقطة ح . فاذا أخرج ط ح إلى ك تكون د ن ح ك = د م ح ك

كذلك يلقى الخارج من ا موازيا ه و مستوى الدائرة على نقطة ن تقع على محيط الدائرة التي مركزها ف ، ويلقى الخارج من ب موازيا ه و مستوى الدائرة على م ، على تقع محيط الدائرة التي مركزها ق وتكون انصاف الأقطار ط ت و ف ن و ق م ، متوازية .

وتكون نقطتا ن ، و م منعكستين عن محذب قوس الدائرة التي مركزها  
 ط من نقطة ت<sup>(١)</sup> . فاذا مد ط ت إلى نقطة ظ  
 تكون د ن ، ت ظ = د م ، ت ظ ، وهذا محال .  
 لأن د ن ، ت ظ = د ت ن ، ف  
 و د ت ن ، ف أعظم من د > ن ف ، أي أعظم من  
 د ن > ك ، أي أعظم من د ك > م .  
 وأيضاً د م ، ت ط أعظم من د م > ط .  
 ∴ د م ، ت ظ أصغر من د م > ك ، أي أصغر من د ن ، ت ظ  
 فمن المحال أن تكون ن ، و م متعاكستين من ت .  
 وبالمثل إذا روعيت أية نقطة أخرى مثل ت من القوس المحصورة بين  
 المستقيمين ط ف و ط ق .

أما إذا أخذت نقطة على محيط الدائرة التي مركزها ط لا تقع على هذه  
 القوس فمن المحال أيضاً حدوث الانعكاس ، لأن الواصلين منها إلى النقطتين  
 النظيرتين لنقطتي ن و م يكونان في جنب واحد من نصف القطر المنتهي إليها .

(١) واضح أنه إذا كان نقطتا ١ ، ب (شكل ١٢٨) عن جنبه واحدة من دائرة ط فان

وضع ١ م يكون شبيهاً بوضع ن ١ من ن مثل وضع ت من > .

# الْبَحْثُ السَّابِعُ

في

الخيالات التي ترى بالانعكاس

## الفصل الأول

في

كيفية إدراك صور المبصرات بالانعكاس  
وتفصيل أحوال الخيالات التي ترى في المرايا المستوية

١٦٤ - شرح ابن الهيثم كيفية إدراك البصر صور المبصرات بالانعكاس

يتناول ابن الهيثم شرح كيفية إدراك الصور في المرايا في مقاله الرابعة من كتاب المناظر وهو يسلك في هذا طريقاً يتفق ونظريته العامة في كيفية الابصار. وقد كانت هذه المسألة لاتزال من المسائل الغامضة في عصره، وغموضها إلى ذلك الحين وتضارب الآراء فيها ليدل دلالة واضحة على أن علم الضوء بقي إلى عصر ابن الهيثم على حالته الفطرية الأولى، ويتجلى من هذا بأجلى مظهر كيف استطاع ابن الهيثم أن ينهض بهذا العلم إلى درجة من التقدم والرقى ظلت على ما هي عليه قروناً عدة من بعده.

وهو يستهل بحثه في هذا الموضوع في الفصل الرابع من تلك المقالة، بذكر الاختلاف الذي كان قائماً بين أهل النظر في هذا الامر. فأصحاب التعاليم ذهبوا إلى أن الشعاع يخرج من البصر وينتهي إلى المرآة، فاذا انعكس

عها وصادف بعد انعكاسه جسماً أدرك البصر هذا الجسم . وذهب بعض الفلاسفة الطبيعيين إلى أن المرأة إذا قابلت مبصراً فإن صورة المبصر تحصل (ولنقل نحن تنطبع فهو أكفل بتوضيح المعنى الذى يقصدونه ) على سطح المرأة فيدرك البصر هذه الصورة الحاصلة فى السطح كما يدرك المبصرات المقابلة له رأساً « على استقامة » .

وقد كان ابن الهيثم قد فند رأى أصحاب التعاليم فى «الشعاع» وأبطل مذهبهم وهو هنا يفند رأى هذا الفريق من الفلاسفة الطبيعيين ويدين قصوره وخطأه . فان كانت الصورة تنطبع على سطح المرأة ويدركها البصر كما يدرك الاشياء بالاستقامة لكانت هذه الصورة ثابتة على السطح ولأدركها البصر من جميع الاوضاع بالاستقامة كما يدرك المبصرات رأساً ، ولكن إذا وضعت مرآة على الارض مثلاً ونظر الانسان فيها ورأى فيها مبصراً ، كموضع من السقف أو الجدار ، ثم انتقل من موضعه إلى الجهة التى تلى ذلك المبصر ونظر فى المرأة فانه لا يرى ذلك المبصر نفسه ، وإنما يرى موضعاً آخر من السقف أو الجدار ، وإن عاد إلى موضعه الاول رأى المبصر الاول ، وإن مال عن موضعه بعض الميل رآه أيضاً ولكن فى غير الموضع الأول من المرأة . فان كانت الصورة ثابتة منطبعة على سطح المرأة لا يدركها الانسان فى جميع مواضعه من جميع الجهات إذا كان المبصر والمرآة ثابتين فى موضعهما ، ولما غابت عنه أو تغير وضعها بالنسبة إلى سطح المرأة .

وكأن ابن الهيثم يعتذر عن هذا الفريق من الفلاسفة الطبيعيين حين يقول « وإنما يشتبه هذا المعنى إذا أدرك الانسان وجهه فى المرأة ، فان الانسان إذا أدرك وجهه فى المرأة جواز أن يكون هناك صورة وجهه ، لأنه إن كانت المرأة موضوعة فى الارض ، ودار الانسان حولها من جهاتها ، فانه يدرك صورة وجهه من جميع الجهات فى سطح المرأة ومقابلة لوجهه ، فيظن من يرى أن هذا الإدراك يكون لصورة تنطبع فى المرأة ، ان صورة وجهه قد حصلت متشكلة فى المرأة » (١) .

وهو يبين بطلان الانطباع على المرآة بوساطة آلة الانعكاس (١) أيضاً .  
 فإذا سدالمعتبر أحد ثقب الجهاز بقطعة من الورق فكاتب عليها كلمة كما يجدمثلاً  
 واستخدم المرآة المستوية ونظر من الثقب النظير من السطح الخارجي للخشبة  
 الحلقيية إلى سطح المرآة ، رؤيت صورة الكلمة مقلوبة (٢) فيدرك المتبصر من  
 حروفها متياسراً وبالعكس . أما إذا نقل بصره من ذلك الثقب إلى ثقب آخر  
 ونظر إلى المرآة فإنه لا يرى الكلمة . فلو كانت صورة الكلمة حاصلة في المرآة  
 لادرکها من جميع الثقوب .

وهو يستشهد بما يشاهد في المرايا المختلفة من انقلاب الصورة ونكوسها  
 وتغير شكلها وعظمها على عدم انطباع الصورة على سطح المرآة ويستشهد أيضاً  
 بأن الصورة في المرآة المستوية لا يدركها البصر على سطحها وإنما يدركها كما أنها  
 من وراء المرآة بقدر بعد المبصر من سطحها .

وابن الهيثم يعرض بعد هذا رأيه الخاص في شرح كيفية ادراك الصورة  
 بالانعكاس ويعرضه بطريقة طريفة .

فاذا فرضنا أن نقطة مضيئة أ تقابل سطحاً صقيلاً عاكساً ، فإن الضوء منها  
 يشرق على جميع نقاط السطح ثم ينعكس على الخطوط التي تخص الانعكاس  
 فيتشكل بينها وبين السطح مخروط رأسه النقطة وقاعدته السطح العاكس ،  
 وتكون المستقيمات التي يلتئم منها هذا المخروط مسيرات الاشعة الساقطة ، ويلتئم  
 من نظائر هذه المستقيمات مخروط ناقص يمتد على سموتها الضوء المنعكس عن  
 سطح المرآة .

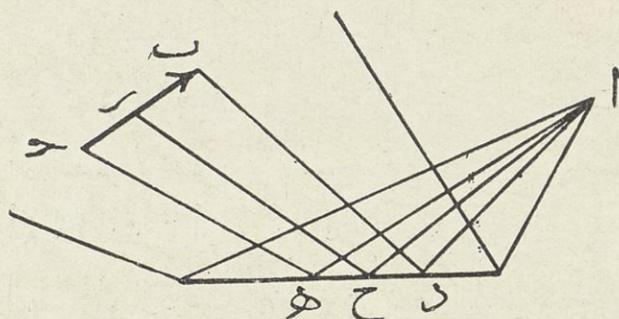
فاذا وقع الضوء المنعكس كله أو بعضه على جسم كشيء مثل ب >  
 (شكل ١٢٦) استضاء هذا الجسم بالضوء المنعكس ، ووقع على كل نقطة مثل م  
 مثلاً من نقاط سطحه المقابل للمرآة ضوءٌ يصدر في الأصل من النقطة المضيئة  
 أ ويمتد على سمت مستقيم معين مثل ح ح وينعكس من نقطة معينة على سطح

(١) انظر فقرتي ( ٨٤ ، ٨٥ ) من الجزء الأول من هذا الكتاب .

(٢) ويعبر ابن الهيثم بكلمة « مقلوبة » عما نعبر عنه الآن « بالانقلاب الجانبي »  
 (Lateral Inversion) ويعبر بكلمة « منكوسة » عن الحالة التي تكون فيها أسافل الصورة  
 صورة لأعلى المبصر وأعلىها صورة لأسافلها .

المرآة مثل ح ، على سمت المستقيم ح م ، النظير للاول إلى تلك النقطة م من سطح الجسم ب ح .

فإذا عكس وضع المسألة وفرضنا أن ب ح مبصر ، فإن كل نقطة من سطحه مثل م يشرق منها ضوء . ومن بين هذه الأضواء ضوء يمتد على سمت معين م ح ، إلى سطح المرآة وينعكس على سمت معين ح ا ، عن سطحها إلى نقطة ا . فان كان مركز



( شكل ١٢٦ )

البصر عند ا ، فانه يرد إليه بالانعكاس عن سطح المرآة من كل نقطة من نقاط سطح المبصر المقابل للمرآة وعلى

سمت العمود على سطح البصر شعاع ، فيدرك البصر تلك النقطة من سطح المبصر ، ويدرك سائر النقاط التي يرد منها مثل هذه الأشعة . وليس يكون الإدراك في هذه الحالة إدراكاً بالاستقامة ( على حسب تعبير ابن الهيثم ) ، بل يكون إدراكاً بالانعكاس . ويتوهم الانسان كما مر في كيفية إدراك الوضع ان المبصر على سمت الشعاع الوارد إلى البصر .

هذا بإيجاز مجمل الفكرة الأساسية التي تنطوي عليها جميع أقواله في هذا الموضوع . وابن الهيثم أول من اتجه هذا الاتجاه في شرح كيفية إدراك الصور بالانعكاس . وهو عند بيان هذه الفكرة يقول بالفاظه « وهذا المعنى ما انكشف لأحد من متقدمي أصحاب التعاليم ، ولا نعرف أحداً ذكر هذا المعنى . ومع ذلك فليس بمناقض لما رآه أصحاب التعاليم في الانعكاس ، لأنهم يعتقدون أن خطوط الشعاع تنعكس عن الأجسام الصقيلة على زوايا متساوية ، وإن إدراك المبصر بالانعكاس يكون من سموت هذه الخطوط ، إلا أنهم يعتقدون أن شعاع البصر يخرج على سموت هذه الخطوط وينتهي إلى المبصر وبه يكون إدراك المبصر . وقد بينا أن هذا المعنى عبث وفضل

وأنه ليس يخرج من البصر إلا الخطوط المتوهمة فقط» (١)

ويتضح من قوله هذا أنه قد تعمد قصداً أن يعرض فكرته على الصورة التي عرضها عليها فيبتدىء بفرض أن نقطة ١ نقطة مضيئة، ثم يعكس وضع المسألة فيتبين بجلاء أن فكرته تحقق كل ما يرمى إليه أصحاب التعاليم، دون التمسك بمذهبهم الذي سبق أن بين ما فيه من العبث واللغو.

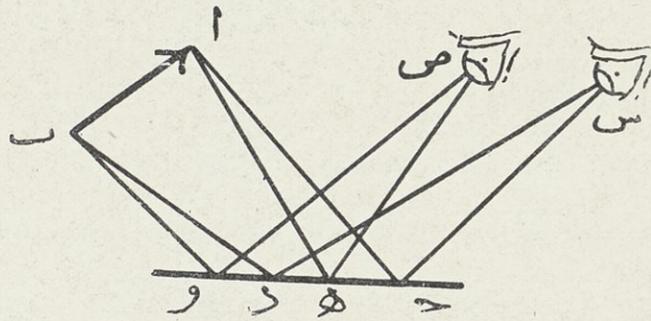
ولا يفوتنا أن نؤكد مرة أخرى أن ابن الهيثم بنى فكرته على أساس نظريته في الابصار التي شرحناها من قبل باسم (٢) وهي التي تقوم على فرض أن البصر لا يحس إلا بالضوء الوارد إليه على سموت العمدة. ومن الواضح أنه إذا اعتبرنا أن ما عبر عنه ابن الهيثم في الشرح بالسمت العمودي على سطح البصر الوارد عليه الضوء من النقطة المبصرة، هو محور مخروط الأشعة الواردة من النقطة المبصرة إلى العين، فليس ثمة اختلاف بين شرحه المذكور وبين الشرح المعتمد في الوقت الحاضر.

وابن الهيثم يبين في هذا الصدد كيف يمكن أن يدرك البصر من مواضع مختلفة ينظر منها إلى مرآة ثابتة، صورة مبصر معين مقابل لسطح المرآة، وكيف يمكن أن تدرك أبصار عدة في مواضع مختلفة في وقت واحد صورته في المرآة. ويتناول وصف كيفية إشراق الضوء من المبصر على سطح المرآة المقابل له حيث يخرج من كل نقطة من المبصر ضوء على شكل مخروط إلى جميع نقاط سطح المرآة المقابل لها. كما أن كل نقطة من سطح المرآة تقابل المبصر يرد إليها ضوء من المبصر جميعه. فاذا قابل المبصر وليكن أ ب (شكل ١٢٧) سطحاً عاكساً

(١) و (٩١) من مخطوط المقالة الرابعة من المناظر . وابن الهيثم يعقب على ذلك بقوله بلفظه « وقد استعملنا رأى أصحاب التعاليم في عدة مواضع من كتبنا التي صنفناها قبل هذا الكتاب ، فليس شيء مما استعملناه من قبل بمناقض لما بينا الآن ، وإن سلكنا في ذلك طريق أصحاب التعاليم ، إلا أننا لم نستعمل هناك غير أوضاع خطوط الشعاع فقط . وإذا جمع بين ذلك وبين ما بيناه الآن لم يوجد بينهما تناقض ، بل توجد فيما بيناه الآن زيادة توحد تلك المعاني ولا تناقض شيء (كذا) منها » .

(٢) انظر الفصل الأول من الباب الثالث من الجزء الأول من هذا الكتاب .

بحيث يصح أن تمتد منه أضواء على سموت خطوط مستقيمة إلى مواضع مختلفة من السطح، وتنعكس على سموت النظائر متلاقية في نقاط مختلفة مثل س و ص، وكان عند تلك النقاط التي تتلاقى عليها الأشعة المنعكسة أبصار مراكزها تلك النقاط بأعيانها، فإن جميع تلك الأبصار تدرك ذلك المبصر بالانعكاس وتدركه من مواضع مختلفة من سطح المرآة. أو لو انتقل البصر الواحد إلى تلك النقاط مع ثبوت المبصر في مكانه وثبوت المرآة في مكانها، لأدرك من



(شكل ١٢٧)

تلك النقاط صورة المبصر بالانعكاس. ويعبر ابن الهيثم عادة عن امتداد الضوء من نقاط المبصر المختلفة، بامتداد الصورة كما أشرنا

إلى ذلك من قبل (٢). فبحسب تعبير ابن الهيثم تمتد صورة أ على أ ح، وتنعكس على ح س، وتمتد صورة ب على ب د، وتنعكس على د س وهكذا، وبما أنه يرى للون وجودا مستقلا عن وجود الضوء فلفظ الصورة في أقواله يشمل معنى الضوء ومعنى اللون. لأن اللون في زعمه موجود بذاته وجودا مستقلا عن وجود الضوء ويمتد معه على السموت نفسها التي يمتد عليها الضوء، فهو اذ يقول مثلا «فإن المبصر اذا قابل سطحا صقيلا فان صورة كل نقطة من ذلك المبصر تخرج على شكل مخروط إلى جميع السطح المقابل لتلك النقطة. وكل (نقطة) من السطح الصقيل يخرج اليها صورة جميع السطح المبصر المقابل لتلك النقطة على شكل مخروط. فيلزم من ذلك أن تكون صورة كل نقطة من سطح المبصر في جميع السطح الصقيل إذا كان جميع السطح الصقيل مقابلا لجميع المبصر. ويلزم من ذلك أن يكون في كل نقطة من السطح الصقيل صورة كل نقطة من سطح المبصر المقابل للسطح الصقيل، وأن تنعكس

(١) انظر فقرة (٢٢) من الجزء الأول من هذا الكتاب.

من كل نقطة من السطح الصقيل صورة كل نقطة من سطح المبصر « (١) —  
هو اذ يقول هذا يعني كما بينا من قبل بالصورة الضوء الممتد من النقطة واللون  
الممتد منها مصاحبا ذلك الضوء، وتحديد معنى الصورة على هذه الصفة لا يجعل  
في مثل هذه الأقوال وما يشابهها غموضاً أو لبساً .

١٦٥ — القاءة التي طبقتها ابن الهيثم لتعيين موضع الخيال الذي يرى

بالانعكاس عن المرآة المستوية

يورد ابن الهيثم للخيال كما سبق أن ذكرنا التعريف الآتي : « الخيال هو  
صورة المبصر الذي يدركه البصر بالانعكاس عن سطح الجسم الصقيل .  
وموضع الخيال هو الموضع الذي فيه يدرك البصر هذه الصورة » (٢) . ثم هو  
يقول « وكل نقطة من صورة المبصر الذي يدرك بالانعكاس فهي خيال  
النقطة من ذلك المبصر المدرك بالانعكاس النظيرة لتلك النقطة »

وابن الهيثم يفصل خيالات المرايا المختلفة وأنواعها بأسهاب . ولكنه بنى  
بحوثه في كل ذلك على أساس فكرة معينة طبقها لتعيين موضع الخيال في جميع  
الاحوال ، وهي أن خيال كل نقطة مدركة من المبصر بالانعكاس هو على ملتقى  
الشعاع المنعكس إلى البصر أو امتداده والعمود الخارج من تلك النقطة إلى فصل  
الانعكاس أو امتداده . ويلاحظ أن هذه هي الفكرة نفسها التي طبقها بطليموس  
من قبل لتعيين موضع الخيال .

وابن الهيثم ينص على هذا المعنى نصاً عاماً يشمل جميع أحوال المرايا .  
فيقول « وخيال كل نقطة من المبصر الذي يدرك بالانعكاس يكون على النقطة  
التي عليها يلتقي الخط الذي عليه تنعكس صورة تلك النقطة من المبصر إلى البصر  
الذي على استقامته يدرك البصر تلك النقطة من المبصر ، والخارج من تلك  
النقطة من المبصر القائم على الخط المماس للفصل المشترك بين سطح الجسم

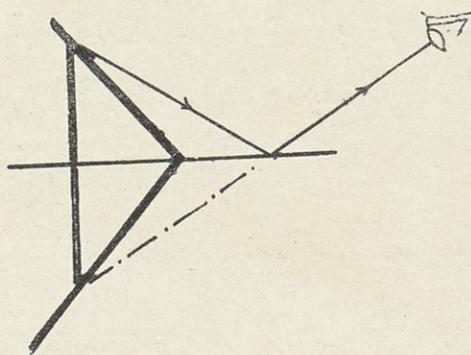
(١) و (٩٢) من مخطوط المقالة الرابعة من المناظر .

(٢) و (١٣٩) ، و (١٤٠) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

الصقيل الذي هو المرآة وبين السطح الذي فيه يكون الانعكاس أو على ما يتصل  
هذا الفصل « (١) »

وقد أطلق كمال الدين الفارسي على العمود الخارج من النقطة المبصرة على  
فصل الانعكاس اسم « خط الخيال »

وابن الهيثم يتوسع في كيفية شرح تحقيق هذه القاعدة بالاعتبار. وسنتناول  
في هذا المقام اعتباراته (٢) لبيان صحة هذه القاعدة فيما يختص بالمرايا المستوية .  
فاذا وضعت مرآة مستوية واسعة على الارض بحيث يكون سطحها أفقياً  
واعتمد عود مستقيم أبيض اللون ، ونقط على موضع من العود نقطة بينة  
قريبة من أحد طرفيه ، ثم أقيم العود وطرفه هذا ملاصقاً لسطح المرآة قياماً  
معتدلاً ، ونظر في المرآة رؤيت صورة العود من وراء المرآة ، ورؤى العود  
نفسه خارجها . ويرى الاثنان متصلين على استقامة واحدة . وترى صورة النقطة  
المرسومة من الصورة المنعكسة على بعد من أصل العود مساو لبعد النقطة  
المرسومة من أصل العود .



( شكل ١٢٨ )

ثم إذا أميل العود على  
سطح المرآة ( شكل ١٢٨ )  
رؤيت صورته مائلة عليه  
أيضاً إلى الجهة التي مال إليها  
العود ، وأدرك المعتبر بالحس  
أن بعد صورة النقطة عن سطح

المرآة كبعدها عنه . وان أقام في هذه الحالة عوداً آخر مستقيماً لطيفاً وتحرى  
أن يكون عموداً على سطح المرآة وأن يكون طرفه عند النقطة المرسومة على  
الأول فان العود الثاني وصورته تظهران على استقامة واحدة ، وترى صورة  
النقطة عند طرف صورة هذا العود الثاني .

بهذه الكيفية يحقق ابن الهيثم أن خيال النقطة المرسومة على العود الأول

(١) و (١٤٠) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) و (١٤٠) — و (١٤٤) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

على اختلاف أوضاعها يكون على العمود الخارج منها على سطح المرآة . وبما أن الصورة التي تدرك بالانعكاس تدرك على سمت الشعاع المنعكس الوارد إلى العين اذن يتبين أن ملتقى المستقيمين العمود ومسير الشعاع المنعكس هو موضع خيال النقطة .

وابن الهيثم يصف اعتبارا آخر لتحقيق هذه القاعدة في المرآة المستوية يعده أعم وأكفل بتحقيقها .

وذلك أن يتخذ مخروط مستدير قائم من الشمع أو غيره وتسوى قاعدته ويجعل على سطح المرآة المستوية بحيث تلتصق قاعدته بالسطح وينظر في المرآة ، فيرى فيها المعبر صورة مخروط قائم مقابل للأول قاعدتهما واحدة ويدرك بالحس أن بعد رأس المخروط في الصورة كبعد رأس المخروط الأول عن سطح المرآة وذلك في جميع أوضاع العين . وبما أن كل مخروطين قائمين متقابلين قاعدتهما واحدة فإن الواصل بين رأسيهما يمر بمركز القاعدة عمودا عليها ، فأس المخروط في الصورة يقع على امتداد العمود الواقع من رأس المخروط الأول على سطح المرآة .

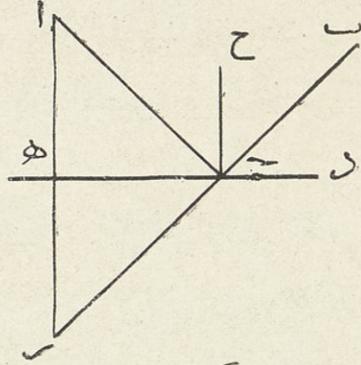
وكذلك فإن كل نقطة من مبصر يمكن أن تتوهمها رأسا لمخروط تنطبق قاعدته على سطح المرآة أو على امتداد السطح ، فتكون صورة تلك النقطة هي رأس صورة المخروط المتوهم .

### ١٦٦ - تعيين موضع الخيال الذي يرى في المرآة المستوية بطريقة هندسية

ثم هو يتناول أيضا في بحوثه تعيين موضع الخيال في المرآة المستوية بطريقة هندسية يسوق لها برهانا هندسيا يثبت به أن بعد خيال النقطة عن سطح المرآة من ورائها كبعد النقطة عن السطح من قدامها (١) .

(١) و(١٧٢) ، و(١٧٢) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

وبرهان ابن الهيثم يستوى والبراهين التي ترد في الكتب الابتدائية في الضوء في الوقت الحاضر في هذا الصدد. وهو



(شكل ١٢٩)

يبدأ أولاً بالقاعدة المذكورة، فلنفرض مثلاً أن  $ا$  (شكل ١٢٩) نقطة مبصرة وأن مركز البصر  $ب$  ولينعكس على حسب تعيينه  $ا$  إلى  $ب$  عن نقطة  $ح$ ، فيكون مستوى  $ا ح ب$  مستوى الانعكاس. وليكن  $هـ د$  فصل الانعكاس، ولنخرج من  $ح$  العمود  $ح د$

على  $هـ د$ ، ولنسقط من  $ا$  العمود  $ا هـ$  عليه ولنخرج  $ا هـ$   $ب$  حتى يتقاطعا على نقطة  $م$ . فنقطة  $م$  على حسب القاعدة هي خيال  $ا$ .

والبرهان على أن  $ا هـ$   $ب م$  متساويان سهل بسيط.

والبرهان يتضمن فكرة ثبوت موضع خيال النقطة المبصرة إذا كانت هذه النقطة ثابتة. ويمكن ببرهان بسيط أيضا بيان أن أى شعاع منعكس آخر يمر امتداده بنقطة  $م$  نفسها. وقد فعل ابن الهيثم ذلك<sup>(١)</sup> في شرحه أن خيال المبصر بالنسبة إلى البصرين واحد، فاستوفى بهذه الكيفية البرهان على تعيين موضع خيال النقطة في المرآة المستوية.

وقد شرح أيضا على أساس البرهان الذي أوردناه هنا طريقته<sup>(٢)</sup> لتعيين نقطة الانعكاس عن سطح المرآة المستوية.

### ١٦٧ - صفات الخيالات التي ترى في المرايا المستوية

وابن الهيثم يبين صفات الخيالات التي ترى بالانعكاس عن المرايا المستوية في مقالته السادسة من كتاب المناظر ويخصص هذه المقالة للبحث عن أغلاط البصر فيما يدرك بالانعكاس بوجه عام. وهو يبنى<sup>(٣)</sup> أقواله في الخيالات الخاصة

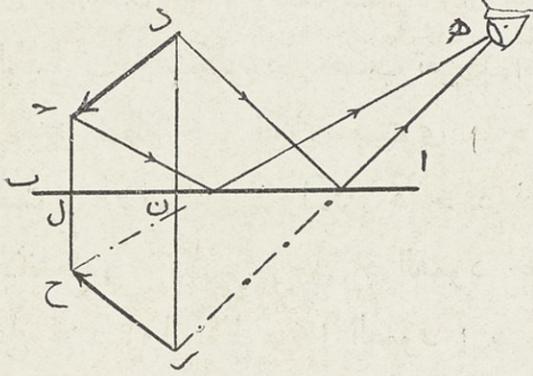
(١) و (١٧٩)، و (١٨٠) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر.

(٢) و (١٧٣) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر.

(٣) و (٦) - و (١٠) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر.

بالمرايا المستوية على البرهان الذي أوردنا فكرته فيما سبق ويعين به موضع خيال النقطة .

فاذا فرضنا أن مستوى (شكل ١٣٠) يمثل أحد مستويات الانعكاس ،



(شكل ١٣٠)

وكان المبصر  $\text{ح د}$  وفصل الانعكاس  $\text{ا ب}$  والبصر عند  $\text{هـ}$  ، فان خيال كل نقطة من  $\text{ح د}$  يقع على امتداد العمود الواقع منها على  $\text{ا ب}$  وعلى بعد من  $\text{ا ب}$  يساوى بعد النقطة عنه .

ويتضح من هذا أن ترتيب أجزاء الخيال هو ترتيب أجزاء المبصر نفسه وهيئة الخيال كهيئة المبصر . فان كان المبصر  $\text{ح د}$  مستقيماً كان الخيال  $\text{ح م}$  مستقيماً أيضاً . وإن كان المبصر مقوساً وحدبته مما يلي السطح العاكس كان الخيال مقوساً أيضاً وحدبته مما يلي السطح العاكس وهكذا . ويتضح أيضاً أن عظم الخيال كعظم المبصر بالتمام . كل هذا يذكره ابن الهيثم ويبينه <sup>(١)</sup> ، بل هو لا يتقيد في الشرح بأن يكون مركز البصر والمبصر في مستوى واحد .

وهو يمضى بعد ذلك إلى بيان وجه الاختلاف بين المبصر وبين خياله وهو الاختلاف الذي نعبر عنه في كتب الدراسة الابتدائية « بالانقلاب الجانبي » ويشرح ذلك بالتفصيل .

فان كانت المرأة مواجهة للبصر والمبصر مقابل لها غير ملتصق بها كانت أجزاء الخيال المتيامنة صور أجزاء المبصر المتيامنة وبالعكس . أما أجزاء الخيال المتعالية فتكون صور الأجزاء المتعالية من المبصر وأجزاء الخيال المتسافلة فتكون صور الأجزاء المتسافلة من المبصر . ويفصل <sup>(٢)</sup> مثل هذه الأمور في الأوضاع المختلفة بما لا يخرج عن هذا المعنى .

(١) و (١٠) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

(٢) (١١) و (١٢) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

## ١٦٨ - نظرية ابن الهيثم في أغلاط البصر التي تعرض من أجل

الانعكاس وتطبيقها على الخيالات التي ترى في المرايا المستوية

وابن الهيثم يعتبر كل اختلاف بين المبصر وبين خياله الذي يرى بالانعكاس من قبيل أغلاط البصر . وهو يعزى الغلط بوجه عام إلى سببين أساسيين .  
فإدراك صورة المبصر بالانعكاس هو إدراك خيال المبصر بالاستقامة .  
إذن ما يعرض من أغلاط البصر في إدراك المبصر رأساً أو بالاستقامة يعرض أيضاً في إدراك الخيال . فيكون أحد السببين عاماً يعم الإدراك بالاستقامة والإدراك بالانعكاس . ومرجعه خروج الشرائط الثمانية بعضها أو كلها عن عرض الاعتدال<sup>(١)</sup> .

ولكن من المعلوم أيضاً أن الانعكاس يضعف الضوء ولربما يغير اللون أيضاً ، وهو يجعل كما تبين موضع الخيال غير موضع المبصر ووضعه غير وضع المبصر . وإذن قسمة سبب آخر يخص الانعكاس وحده يؤدي إلى الغلط في إدراك الضوء وإدراك اللون وإدراك الوضع . والغلط في إدراك مثل هذه المعاني قد يؤدي إلى الغلط في إدراك البعد والعظم وما إلى ذلك .

ولا يخفى أن السببين لا يقوم الواحد منهما بذاته مستقلاً عن الآخر . وإذا كان عرض الاعتدال مع الانعكاس أضيّق كما هو بيّن فيما يختص بإدراك الضوء مثلاً لأنه يضعف بالانعكاس ، اتضح أن الأغلاط التي تعرض من خروج أحد الشرائط الثمانية عن عرض الاعتدال تكون أكثر مع الانعكاس ، وقد تعرض في أوقات ومواضع قد لا تعرض فيها عند الإدراك بالاستقامة .

وابن الهيثم يطبق هذه النظرية لشرح أمثلة من الأغلاط التي تعرض عند إدراك صور المبصرات بالانعكاس عن المرايا المستوية . ولعل أجدر هذه الأمثلة بالعناية أن البصر قد يدرك صورة المبصر بالانعكاس عن المرآة المستوية أصغر مما هي عليه على الرغم من أن المبصر وخياله في ذاتهما متساويان في

(١) أنظر فقرة (٧١) من الجزء الأول من هذا الكتاب .

العظم . ولا يخفى أن مثل هذا الغلط قد يعرض إذا كان بعد الخيال عن البصر أكبر من بعد المبصر عن البصر . ولكن ابن الهيثم يرى أنه قد يعرض أيضاً على الرغم من أن التفاوت بين البعدين ليس كبيراً يدعو إلى وقوعه .

وتعليه<sup>(١)</sup> لوقوع الغلط في مثل هذه الحالة أن المبصر على استقامة إذا بعد تلتبس على البصر معانيه اللطيفة كالنقوش أو التخطيطات التي عليه، وكذلك تلتبس وتشتبه أجزاءه الصغيرة . وبالعكس إذا التبتست على البصر مثل هذه المعاني اللطيفة تراءى للبصر أن المبصر أبعد . ولما كان الانعكاس في ذاته يضعف الضوء فإن الخيال الذي يرى بالانعكاس تلتبس على البصر معانيه اللطيفة على بعد أصغر فيتراءى بعد الخيال من جراء ذلك أعظم مما هو عليه فيقع الغلط في إدراك العظم ويبدو الخيال كأنه أصغر من المبصر .

وقد ينشأ عن الغلط في إدراك البعد بالكيفية المذكورة غلط في إدراك هيئة السطح أو على الأقل التباس في هيئة السطح ، فيلتبس التقعر والتحدب والشخوص والغوور ولا سيما فيما يتعلق بخيالات المبصرات الغريبة غير المألوفة التي لم تسبق معرفتها .

وابن الهيثم يتناول<sup>(٢)</sup> بالشرح مثالا آخر ولعله يريد به تعليل ما التبتس على فريق من الفلاسفة حين ذهبوا إلى أن صورة المبصر التي تدرك بالانعكاس تحصل على سطح المرأة أو « تنطبع عليه » ويوضح هذا المثال بتجربة . فاذا وضع الانسان عوداً طويلاً قائماً على سطح الأرض ووضع على الأرض بقرب العود امرأة مستوية مثلاً ، ونظر فيها بحيث رأى وسط الخيال دون طرفيه ، تراءى له كأن الخيال ممتد على سطح المرأة ، وكأن طرفي الجزء الأوسط الذي يراه ، ملتصقان بطرفي المرأة .

وشكل (١٣١) يوضح هذه الحالة فخيال الجزء الأوسط ١ ب من المبصر هو ١ ب . ولكن لما كان البعد بين مبصرين على سمت واحد يمر بالبصر

(١) و (١٣) — و (١٦) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

(٢) و (١٦) — و (١٧) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .



## الفصل الثاني

في

تفصيل أحوال الخيالات التي ترى في المرايا الكرية

١٦٩ - اعتبارات ابن الهيثم المتخوف من انطباق القاعدة التي تنعكس بها  
مواضع الخيالات في المرايا المستوية على خيالات جميع أنواع المرايا المنحنية  
وقد تناول ابن الهيثم أيضاً شرح مواضع الخيالات في المرآة الكرية  
والأسطوانية والمخروطية المحدبة والمقعرة، وبنى أقواله في هذا الأمر على  
القاعدة نفسها، وابتدأها بتحقيق القاعدة في كل واحدة من هذه المرايا بالاعتبار.  
ففي المرآة الكرية المحدبة<sup>(١)</sup> وصف الاعتبارين اللذين ذكرهما في المرآة  
المستوية وهما الاعتبار بالعود المستقيم والاعتبار بالمخروط . وتضمن شرحه  
أن العود إذا أقيم في وسط سطح المرآة عموداً عليه رؤيت صورته بالانعكاس  
على استقامة العود أيضاً، ولكن صورة العود تكون أقصر من العود نفسه .  
وكذلك إذا اتخذ مخروط قائم من الشمع مثلاً وقعرت قاعدته بحيث تنطبق  
على سطح المرآة وأصقت به بحيث يكون محور المخروط عموداً على السطح  
رؤيت صورة المخروط مخروطاً قائماً أيضاً ولكنه أقصر من المخروط الأول  
في الارتفاع . واستدل بذلك على صحة القاعدة .

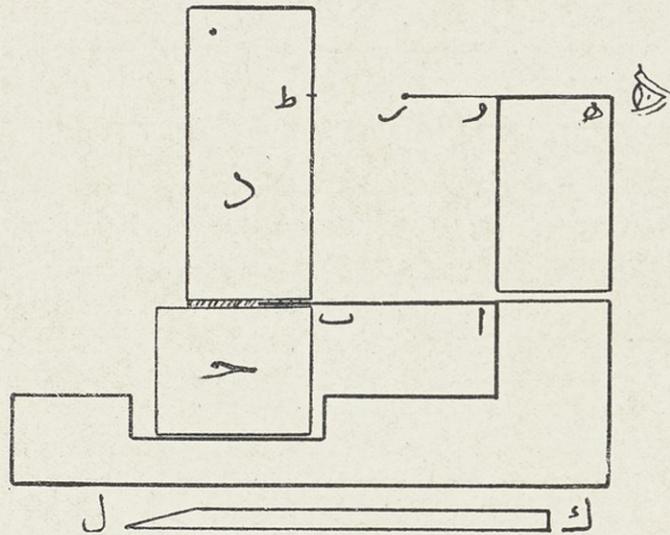
أما في المرآة الأسطوانية المحدبة فقد ذكر أولاً أنه لا يتأتى الاعتبار بمثل  
ما ذكر في المرآة المستوية والكربية المحدبة، لأن صورة العود في هذه الحالة  
تكون منحنية غير مستقيمة ولذلك استعان بآلة الانعكاس لهذه الغاية<sup>(٢)</sup>

(١) و (١٤٤) - و (١٤٨) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) و (١٤٨) - و (١٥٤) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر . ويرجع القارىء

إلى فقرتي (٨٤) ، (٨٥) في الجزء الأول من هذا الكتاب .

والاعتبار بايجاز يتلخص في أن توضع المسطرة التي فيها المرآة الأسطوانية المحدبة على الصفيحة النحاسية في الآلة ، بحيث يكون وجهها المثبت فيه المرآة



( شكل ١٣٢ )

قائماً على سطح الصفيحة مقابلاً للخشبة الحلقية و ضلع هذا الوجه من قاعدة المسطرة منطبقاً على نهاية الصفيحة النحاسية الذي قاعدة المثلث الصغير في وسطها بحيث تتجاوز المرآة ( والمسطرة في هذا الوضع ) مستوى نهاية الحلقة من أعلى .

وشكل ( ١٣٢ ) مقطع مار بمحور الخشبة الحلقية في وسطها يمثل بالضبط ما يرمى إليه ابن الهيثم ، وفيه ا ب يمثل الصفيحة النحاسية في الآلة ومن تحتها في الحفر الموجود في قاعدة الآلة قطعة من لوح متوازي السطحين سمكه كان ارتفاع الصفيحة عن قاعدة الحفر ، وهذه القطعة مدلول عليها في الشكل بالحرف ح . وفوق سطح هذه القطعة شيء من الشمع يحيط بالمثلث الصغير الموجود في وسط حرف الصفيحة قد سوى سطحه مع سطح الصفيحة . وتقام المسطرة الخشبية المدلول عليها في الشكل بالحرف د التي فيها المرآة فوق هذه الطبقة من الشمع بحيث يكون سطح المرآة مقابلاً لوسط الخشبة الحلقية ويتبين من أبعاد الأجزاء المختلفة التي تتركب منها آلة الانعكاس بحسب ما جاء في

الوصف أن الطرف الأعلى للمرآة يكون في هذا الوضع بارزاً من فوق مستوى نهاية الخشبة من أعلى كما هو مبين بالشكل .

وتهيأ المسطرة في هذا الوضع بحيث يكون وجهها المثبت فيه المرآة عموداً على المستقيم الأوسط المرسوم على سطح الصفيحة .

فاذا روعي المستقيم ه و المرسوم في وسط السطح الأعلى للخشبة الخلقية ، وهو الموازي لخط وسط الصفيحة ، ومحور الثقب الأوسط في الخشبة ، كان امتداده عموداً على سطح المرآة في هذا الوضع .

فاذا هيئت مسطرة المرآة على هذا الوضع وثبتت بالشمع تثبيتاً محكماً تمّ اعداد الآلة للغرض المطلوب .

وكيفية الاعتبار كما شرحها ابن الهيثم أن تعلم نقطة تقاطع امتداد المستقيم ه و وسط المرآة وليكن ط ( شكل ١٣٢ ) . ويستعين ابن الهيثم لذلك بمسطرة ك ل ( شكل ١٣٢ ) مسيِّفة حادة يحذف أحد طرفيها على التأريب حتى يصير طرف حدها المسيف الذي عند النهاية الحادة ل ، بمنزلة النقطة . فتوضع هذه المسطرة بحيث ينطبق حدها المسيف على المستقيم ه و وتقدم برفق حتى يلتقي طرفها الحاد سطح المرآة في النقطة ط المطلوب تعيينها .

ثم يؤتى بآبرة طويلة دقيقة وتلصق بالشمع على المستقيم ه و ، ويكون طرفها المدبب عند م ، ويعرز فيه جسم صغير أبيض « كالخردلة أو السمسمة » وينظر إلى النقطة ط التي على سطح المرآة من خلف الخشبة بحيث يجعل البصر عند ه ، ويستر البصر الآخر أو يغمض ، حتى ترى صورة الجسم الصغير في المرآة فترى على امتداد المستقيم ه و م

وابن الهيثم يتوسع في شرح هذا الاعتبار فيصف ما يشاهد اذا رفع البصر فوق مستوى نهاية الحلقة ، ووجه الى نقطة من سطح المرآة تكون أعلى من نقطة ط . وفي هذه الحالة يكون مستوى الانعكاس ماراً بمحور اسطوانة المرآة ويكون فصل الانعكاس خطاً مستقيماً على سطح المرآة ماراً بنقطة ط موازياً لمحورها . ثم ما يشاهد أيضاً إذا ما نقل البصر ( قليلاً ) في

سطح مستوى أعلى الحلقة نحو أحد طرفيها حيث يكون مستوى الانعكاس عموداً على محور اسطوانة المرآة وفصل الانعكاس دائرة .

ثم يتناول أيضاً ما يشاهد إذا أميلت المسطرة يميناً أو يسرة وهي في مثل وضعها السابق حيث يكون مستوى الانعكاس وهو مستوى أعلى الخشبة قطعاً سطح أسطوانة المرآة لا ماراً بمحورها ولا عموداً عليه ، فيكون فصل الانعكاس قطعاً ناقصاً .

هذا فيما يختص بالمرآة الاسطوانية المحدبة وهو يقيس على هذا تحقيق القاعدة فيما يتعلق بالمخروطية المحدبة .

ويتناول ابن الهيثم بعد ذلك حالة الكرية المقعرة ويمهد إليها بذكر المواضع المختلفة لخيالاتها . فمن هذه الخيالات ما يكون من وراء سطح المرآة ومنها ما يكون من قدام سطحها ومنها ما يقول عنه « يكون في سطحها »<sup>(١)</sup> . وجميع الخيالات منها ما يدرك ادراكاً محققاً ومنها ما يكون ادراك البصر له غير محقق . ويقول « ومع ذلك فان كل نقطة يدركها البصر في هذه الحال ادراكاً محققاً فان خيالها يكون في الموضع الذي يلتقي فيه الخط الذي (عليه) تنعكس الصورة إلى البصر والخط الخارج من تلك النقطة المبصرة إلى مركز المرآة »<sup>(٢)</sup>

ويراعى ابن الهيثم في الكرية المقعرة حالتين نوردهما بشيء من التفصيل لأنه قصد من أحدهما أن يكون الخيال خلف سطح المرآة أي أن يكون الخيال بحسب اصطلاحاتنا الحديثة تقديرياً وقصد من الأخرى أن يكون الخيال أمام سطح المرآة أي أن يكون حقيقياً .

واعتباره في الحالة الأولى<sup>(٣)</sup> يتلخص في اتخاذ مخروط شبيه بما سبق في حالة المستوية ، وتلصق قاعدته بوسط سطح المرآة المقعرة ، وتكون مساحة قاعدته صغيرة بحيث لا تشغل من سطح المرآة إلا جزءاً صغيراً منه ويكون

(١) و (١٥٥) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) و (١٥٥) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر . وقد اعترى الأصل شيء من

التحريف صحناه .

(٣) و (١٥٥) — و (١٥٧) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

ارتفاعه بالقدر المناسب الذي يكون معه رأس المخروط عند مركز المرأة . ثم يرسم على سطح المخروط خط مستقيم يصل من رأسه إلى محيطه قاعدته وينظر إلى خيال الخط بأحد البصرين ، ويشترط ابن الهيثم في وضع البصر شرطاً ينص عليه قائلاً بلفظه « وليتحر ( أى المعتبر ) أن يكون بعد أحد بصره من الخط المستقيم المتوهم المتصل بسهم المخروط إذا تخيل سهم المخروط ممتداً على استقامة أعظم من نصف قطر كرة المرأة بالقياس إلى الحس » . (١)

ثم هو يصف ما يوجد على زعمه في هذا الاعتبار قائلاً بلفظه « فانه ( أى المعتبر ) يرى صورة المخروط من وراء المرأة ويجد صورة المخروط صورة قطعة مخروطية دائريتها الصغرى منطبقة على قاعدة المخروط التي في داخل سطح المرأة ويجد سطح المرأة و سطح المخروط متصلان على استقامة ( كذا في الأصل ) ، ويجد المخروط ( و ) صورته التي من وراء المرأة كأنهما مخروط واحد متصل ، ويجد الخط المستقيم المخطوط في طول المخروط ( و ) صورته متصلين على استقامة كأنهما خط واحد » .

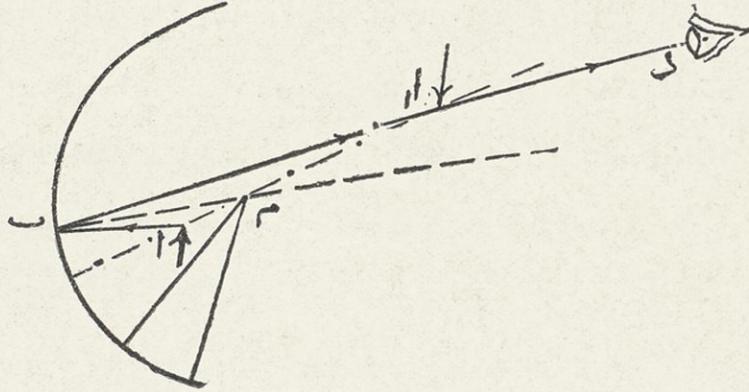
وواضح أن ما يرى من خيال المخروط أشبه بما وصفه إنما يرى إذا أوشك سهم البصر أن يكون عموداً على سطح المرأة بحيث يرى البصر الخيال بحزمة من الأشعة المحورية ولا يكون ذلك في الوضع الذي بيّنه . وأيضاً فإن الخيال الذي يرى في تلك الحال وراء سطح المرأة ليس هو خيال الخط ( أو المخروط ) كله وإنما هو خيال الجزء الواقع منه بين بؤرة المرأة وبين سطحها .

والاعتبار (٢) في حالة الخيال الحقيقي يتلخص في تركيب المخروط المذكور في جانب المرأة لا في وسط سطحها فيكون رأس المخروط عند مركز المرأة . وغرضه من ذلك أن يتعين مركز المرأة للمعتبر تعييناً ملبوساً عند الاعتبار . فيجعل المعتبر بصره في موضع أبعد عن سطح المرأة من نصف قطرها ثم يأتي بعود دقيق ويجعل رأسه بين مركز المرأة ( أى رأس المخروط ) وبين سطحها فيكون مركز المرأة متوسطاً بين البصر وبين رأس العود . ويشترط ابن الهيثم

(١) و (١٥٦) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) و (١٥٧) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

أن ينظر المعبر إلى موضع من سطح المرآة يكون المستقيم الممتد منه إلى مركز المرآة متوسطاً بين البصر وبين رأس العود (١). وشكل (١٣٣) يمثل الوضع الذي يريده بحسب الوصف الوارد، فالعين عند د تنظر إلى الموضع من سطح المرآة حيث يكون الواصل منه إلى المركز م متوسطاً بين د ورأس العود أ.



(شكل ١٣٣)

ويقول ابن الهيثم بلفظه « وإذا رأى ( أى المعبر ) صورة رأس العود فانه يجدها قدام المرآة ويجدها أقرب إلى البصر من رأس المخروط » ويصف ما يلاحظ في وضع الخيال قائلاً « فانه ( أى المعبر ) يجد رأس العود ورأس المخروط وصورة رأس العود على خط واحد مستقيم بالقياس إلى الحس » وهو المقصود من الاعتبار .

وإن كان الوصف هنا يجيز أن يكون رأس العود واقعاً بين البؤرة وبين سطح المرآة ، في حين أن الخيال لا يكون حقيقياً في الموضع الذي ذكره ابن الهيثم إلا إذا كان رأس العود بين مركز المرآة وبين بؤرتها ، فإنه فيما عدا ذلك أتم بما ورد في الاعتبار السابق .

وابن الهيثم يتناول أيضاً تحقيق القاعدة فيما يختص بالأسطوانية المقعرة

(١) لم يورد الفارسي هذا الشرط بالمعنى الذي أراده ابن الهيثم بالضبط وإنما قال « ويتأمل (المعبر) من سطح المرآة الموضع الذي يكون على استقامة الواصل بين مركزي البصر والمرآة المار برأس العود » ( ص ٤٢٨ الجزء الأول من النسخة المطبوعة ) . في حين أن الوارد في مخطوطات المناظر « وليكن نظره إلى الموضع من سطح المرآة المحاذي لرأس المخروط الذي يكون الخط المتوهم الممتد بينه وبين رأس المخروط متوسطاً بين البصر وبين رأس العود » .

والخروطية المقعرة وطريقته مثل ما تقدم في اعتبار خيالات الأسطوانية المحدبة بالاستعانة بألة الانعكاس . وهو يراعى أيضاً حالتى الخيال وهو خلف المرآة ثم وهو أمامها ، ويقول عن الأولى « ثم يجعل (المعتبر) بصره مقابلاً لوسط المرآة وعند وسط الحلقة ( أى الخشبة الحلقية ) ويرفع البصر على سطح أعلى الحلقة وينظر في المرآة<sup>(١)</sup> » . ويقول إن الخيال الذى يرى في هذا الوضع يكون خلف المرآة . ويقول عن الثانية « ثم يجعل المعبر بصره على سطح أعلى الحلقة مما يلي طرفها وفيما بين الطرفين والوسط وينظر في المرآة إلى أن يرى صورة الجسم الصغير فانه يجد صورة الجسم قدام المرآة<sup>(٢)</sup> » . ويذهب إلى أن الخيال الذى يرى في هذا الوضع يكون أمام السطح . وواضح أن ما ذهب إليه لا يتفق والواقع على تصارييف الأحوال .

#### ١٧٠ - فصول القاعدة التي طبعها ابن الهيثم لتعيين مواضع الخيالات

ابن الهيثم في هذا الصدد ومثله الفارسي في كل تعليقاته أو استدراكاته على أقوال ابن الهيثم ، كلاهما قد حاد عن الصواب فيما ذهب إليه من أمر تعميم هذه القاعدة لتعيين موضع خيال النقطة المبصرة .

فالقاعدة وإن كانت صحيحة فيما يتعاق بالسطوح العاكسة المستوية فانه لا يصح تطبيقها على السطوح المنحنية إلا في حالة خاصة وهي حالة الخيال الذى يحدث بانعكاس الضوء من نقاط مساحة صغيرة جداً تحيط بموقع العمود من النقطة المضيئة أو المبصرة على السطح العاكس . ولم يتنبه ابن الهيثم ولا كمال الدين الفارسي إلى هذا الأمر .

والذى يتبين لنا من التحرى والتدقيق في متابعة ابن الهيثم في طرائق تفكيره أن الذى جره إلى الخطأ الذى وقع فيه أمران أحدهما أنه عنى في جل بحوثه عن الخيالات بالناحية الشخصية المتعلقة بالابصار أكثر من عنايته بالناحية

(١) و (١٥٩) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) و (١٥٩) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

الموضوعية المتعلقة بالضوء في ذاته وانعكاسه أو انعطافه . فهو لا يكاد يذكر مسألة في الانعكاس مثلاً إلا وفي طوايا مخيلته عين إنسان يرد إليها الشعاع المنعكس . ولو أنه وجه جزءاً أكبر من عنايته إلى انعكاس الأشعة التي يصح أن ترد من نقطة مبصرة إلى سطح مرآة ، إلى انعكاسها في ذاتها ، وإلى كيفية توزعها بعضها بالنسبة إلى الآخر بعد الانعكاس ، وتجرد قليلاً من فكرة البصر الذي يبصر المبصر أو يدرك صورته بالانعكاس ، وهو في صدد بحوثه في هذا الموضوع ، لو أنه فعل ذلك لاستطاع درأ هذا الخطأ في تعميم القاعدة ، وما يترتب عليه من أخطائه الأخرى في تحديد مواضع الخيالات .

والأمر الثاني أن نظريته في كيفية الابصار على صورتها الأولى تخفى بين طيات الفرض الأساسي الذي تقوم عليه ، كل ما بنىه الفكر إلى الخطأ في تعميم القاعدة وهذا لا شك مظهر من مظاهر قصور هذه النظرية . فالفرض الأساسي في النظرية أن إدراك البصر لصورة نقطة مبصرة ناشئ عن ورود شعاع خاص من الضوء هو الذي يرد على سمت العمود على سطح البصر ، وهو الذي يؤثر في الجليدية على سمت نفوذه فيها . فهذا التأثير الذي يحدث في الجليدية على سمت معين يؤدي إلى إدراك النقطة المبصرة على امتداد ذلك السمت . وإذا ورد شعاع على سمت آخر عمود على سطح البصر أدى إلى إدراك نقطة مبصرة أخرى على امتداد هذا السمت الثاني . فكأن إدراك النقطة المبصرة يكفى فيه ورود شعاع واحد هو هذا الشعاع الوارد عموداً على سطح البصر أو الذي يمر امتداده بمركز البصر . وهذه الفكرة كما أشرنا مرات عدة صحيحة إذا اعتبرنا هذا الشعاع الذي يعنيه ابن الهيثم محور مخروط الأشعة الواردة إلى العين من النقطة المبصرة . فان إدراك النقطة المبصرة لا يتم إلا بمخروط من الأشعة تكون تلك النقطة رأسه .

اذن لا يكفي لتعيين موضع خيال نقطة مبصرة شعاع منعكس واحد . وابن الهيثم يدرك هذا الأمر ، فهو يحدد النقطة التي هي موضع الخيال مستقيمين يتقاطعان عندها . وهو مصيب في أن يكون أحدهما شعاعاً منعكساً

وارداً إلى العين ، ولكنه مخطيء عند التعميم في أن يكون الثاني هو العمود الواقع من النقطة المضيئة على السطح العاكس .

وإن كانت قاعدته تصح عند الانعكاس عن السطوح المستوية ، فذلك لأن الأشعة المنعكسة في هذه الحالة إذا مدت على استقامتها تتلاقى جميعاً في نقطة واحدة بالذات تقع على ذلك العمود . وقد بين هو نفسه كما ذكرنا آنفاً هذا الأمر ببرهان هندسي وإن كان الوازع له في ذلك استكمال الناحية الشخصية وهي بيان أن الخيال يدرك واحداً بالبرهان ، لا الناحية الموضوعية الخاصة بكيفية توزع الأشعة المنعكسة نفسها بعضها بالنسبة إلى الآخر .

وسميت العمود الخارج من النقطة المبصرة على السطح أيّاً كان شكله هو سمت شعاع منعكس يرد من النقطة المبصرة عموداً على السطح وينعكس على السمت نفسه . فالعمود بصفته هذه يصح أن يتخذ أحد شعاعين منعكسين يتعين خيال النقطة عند موضع التقائهما . ولكن يتطلب هذا أن يكون الشعاع المنعكس على سمت هذا العمود والشعاع المنعكس الآخر يردان مع ما بينهما من الأشعة إلى البصر . ونظراً لضيق مخروط الأشعة التي تقع على العين فإن من اللازم ألا تكون نقطة انعكاس الشعاع الثاني بعيدة عن موقع العمود . وإذا التزمنا أن تكون نقطة الانعكاس قريبة جداً من موقع العمود فإن الأشعة المنعكسة على هذه الصفة تكاد جميعاً هي أو امتداداتها تمر بنقطة واحدة تكون هي خيال النقطة المبصرة .

فنقطة تقاطع العمود والشعاع المنعكس لا من أية نقطة من السطح الغير المستوي بل من نقطة قريبة من مسقط العمود تعين موضع الخيال إذا نظر إلى السطح العاكس والبصر على امتداد العمود أو قريباً جداً منه .

وفي هذه الحالة تصح القاعدة إذا طبقت على السطوح المنحنية ويصح تحقيقها عملياً بالتجارب التي وصفها ابن الهيثم إذا روعى أن يوجه البصر عند رؤية الخيال إلى نقاط قريبة جداً من مسقط العمود على سطح المرآة .

أما فيما عدا ذلك فلا تصح القاعدة .

ومما يجدر ذكره في هذا المقام أن ابن الهيثم لم يخف عليه أن إدراك البصر لصورة نقطة مبصرة يكون بورود مخروط من الأشعة من تلك النقطة إلى البصر وقد ذكر هذا الأمر صراحة في تعديل نظريته في الأبصار كما سبق أن بينا من قبل . ولكنه لم يطبق هذه الفكرة في بحوثه عن الخيالات بوجه عام . بل هي لم تطبق لتعيين مواضع الخيالات إلا بعد ابن الهيثم بقرون (١) .

وأيضاً فقد أراد ابن الهيثم أن يدلل ببرهان نظري على صحة القاعدة أي على أن الخيالات تقع دائماً على الأعمدة ، وخصص من مقالته الخامسة مبحثاً (٢) بحث فيه عن علة نظرية تقضى بأن يكون الخيال على العمود . وليست لأقواله في هذا الأمر قيمة علمية خاصة بل هي أدنى إلى أقوال الفلاسفة الأقدمين في العلل الغائية .

### ١٧١ - رأى ابن الهيثم في مواضع خيالات النقاط التي ترى في المرايا

الكريّة المحرّبة

بنى ابن الهيثم جميع بحوثه عن مواضع الخيالات على أن نقطة تقاطع الشعاع الوارد إلى العين والعمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح ، هي موضع خيال النقطة . فلم تخل أحكامه وأقواله في تفصيل مواضع الخيالات من الخطأ ، ولكن لا شك أن جميع أحكامه إذا جعلناها منصرفة إلى تعيين مواضع تقاطع الأشعة المنعكسة من نقاط السطح المختلفة بالعمود ، دون أن نعني بنقطة التقاطع عناية طبيعية ونحملها المعنى الطبيعي المقصود بالخيال ، بل نظرنا إلى الموضوع نظرة هندسية بحتة ، وجدناها جميعاً أحكاماً صحيحة ووجدنا الطريقة التي نهجها في تفصيل مواضع هذه النقاط سليمة وجديرة بالذكر والتقدير .

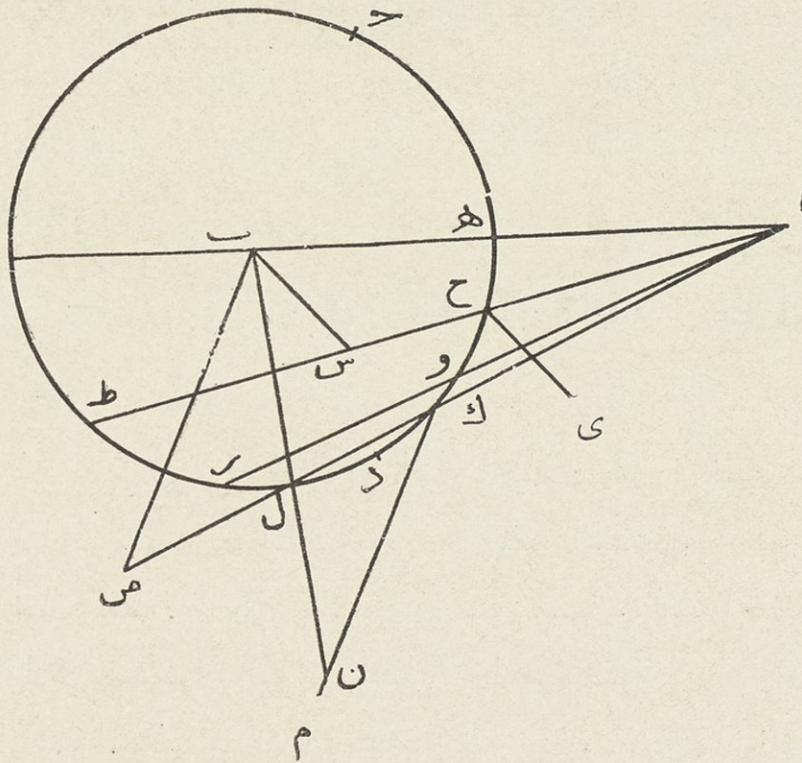
ففي المرآة الكرية المحدبة إذا فرضنا أن ١ (شكل ١٣٤) مركز البصر و ٦ مركز فصل الانعكاس ، ونقطتي > و د حيث يلمس المماسان من ١ محيط

(١) الطبعة الثانية من كتاب « La Caille » وعنوانه « Traite' d'optique » كما أشار

إلى ذلك « Bode » ، أي في النصف الثاني من القرن الثامن عشر .

(٢) و (١٦٢) - و (١٦٩) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

دائرة الفصل ، ووصل  $ا$  ب فقطع محيط الدائرة على  $هـ$  ، فان الجزء المقابل للبصر من سطح المرآة يمثل القوس  $ح هـ د$  . فاذا رسم من  $ا$  المستقيم  $ا و$  مر قاطعاً محيط الدائرة على  $و$   $ك$  مر بحيث يكون  $و$  مساوياً لنصف قطر الدائرة ، فان نقطة  $و$  تقسم أحد نصفي القوس المقابل للبصر قسمين أحدهما  $هـ و$  والثاني  $و د$  . فاذا أخذنا أية نقطة مثل  $ح$  على القسم الأول ووصلنا  $ا ح$  ، ومددناه حتى يقطع محيط الدائرة على  $ط$  ، ورسمنا المستقيم



(شكل ١٣٤)

$ح ي$  النظير للمستقيم  $ح ا$  ، اتضح أن المستقيم الواصل بين أية نقطة من تقاطع  $ح ي$  ، والمركز  $ب$  ، يقطع امتداد  $ا ح$  في نقطة داخل محيط الدائرة . ومنه يتضح أن العمود على السطح من أية نقطة مبصرة إذا كانت النقطة على المستقيم  $ح ي$  ، يقطع امتداد الشعاع المنعكس الواصل إلى البصر عند  $ا$  ، على نقطة تقع على المستقيم  $ح ط$  داخل الدائرة .  
أما إذا أخذنا أية نقطة مثل  $ك$  على القسم الثاني ، ووصلنا  $ا ك$  ومددناه

ليقطع المحيط على ل ، ورسمنا من ك ، ك م نظير للمستقيم ك ا ، ووصلنا ب ل ، ومددناه على استقامته حتى يقطع ك م على نقطة ن ، اتضح أن المستقيم الواصل بين أية نقطة من الجزء ك ن من المستقيم ك م وبين المركز ب يقطع امتداد ا ك فيما بين ك و ل داخل الدائرة . ولكن المستقيم الواصل بين أية نقطة على الجزء ن م ( من المستقيم ك م ) وبين المركز يقطع امتداد ا ك ل في نقطة خارج الدائرة . أما الواصل بين ن والمركز فيقطع ك ل على نقطة ل من محيط الدائرة .

ومن هذا يتضح أن العمود الواقع على سطح الكرية المحدبة من أية نقطة مبصرة من الجزء ك ن ، يقطع امتداد الشعاع المنعكس إلى العين في نقطة بين ك و ل داخل المرآة . أما الواقع من أية نقطة مبصرة أبعد من ن فإنه يقطع امتداد المنعكس إلى العين في نقطة على امتداد ا ل خارج سطح المرآة في حين أن العمود الواقع من ن يقطع امتداد المنعكس في نقطة على سطح المرآة .

والفكرة الهندسية في قسمة القوس عند و بالمستقيم ا و م ، الذي يكون فيه و م مساوياً نصف القطر تتضح إذا رسمنا من و النظير للمستقيم و ا ، ورسمنا من المركز ب الموازي له فإن الموازي يمر بنقطة م وهي نهاية الوتر و م وإذن إذا أخرج من أية نقطة من نقاط النظير مستقيم إلى المركز ب كان حتماً أن يقطع هذا المستقيم الوتر و م على نقطة بين طرفيه و و م .

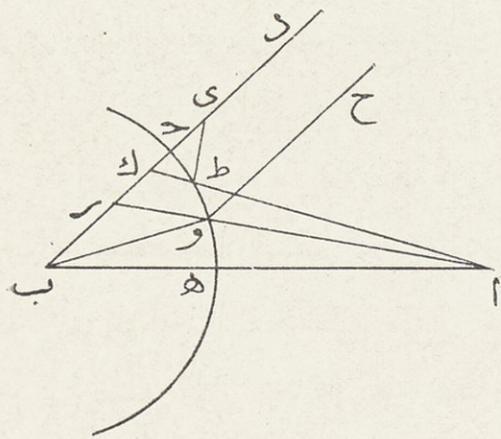
أما إذا أخذنا نقطة مثل ح بين ه و و فإن الموازي من ب للمستقيم ح ي يقطع الوتر ح ط على نقطة مثل س . وإذن كان حتماً أنه إذا أخرج من أية نقطة من نقاط ح ي مستقيم إلى المركز ، أن يقطع هذا المستقيم الوتر ح ط في نقطه بين ح و س .

أما إذا روعيت نقطة مثل ك في الجانب الآخر من و فإن الموازي من ب لا يقطع الوتر ك ل نفسه وإنما يقطع امتداده في نقطة مثل ص . وإذن يكون بعض المستقيمات الخارجة من نقاط ك م إلى المركز يقطع الوتر ك ل فيما بين ك و ل ، وبعضها يقطعه فيما وراء ل .

ولا اعتراض على هذا الحكم إذا لم نحمل نقطة التقاطع هذه معنى الخيال .  
ولكن ابن الهيثم يعتبرها في كل حالة خيال النقطة المبصرة ، ويجره هذا الاعتبار  
إلى القول بأن خيالات النقاط المبصرة التي يدركها البصر عند  $\alpha$  بالانعكاس  
عن الجزء  $هـ$  و من المرآة تقع في داخل كرة المرآة . أما خيالات النقاط  
المبصرة التي يدركها البصر ( عند  $\alpha$  أيضا ) بالانعكاس عن الجزء  $و$  د من  
المرآة فمنها ما يقع في داخل كرة المرآة ومنها ما يقع خارج سطح كرة المرآة  
ومنها ما يقع على السطح نفسه . وهو يقول بلفظه « فان (نقط) <sup>(١)</sup> الالتقاء التي  
هي الخيالات منها ما يكون من وراء المرآة ومنها ما يكون في سطح المرآة ومنها  
ما يكون قدام المرآة <sup>(٢)</sup> » .

وابن الهيثم تناول بعد ذلك تعيين ما عبر عنه بمواضع الخيالات من كل  
واحد من أقطار هذه المرآة ونكتفي هنا بما يأتي <sup>(٣)</sup> لتوضيح الفكرة الهندسية  
في هذه البحوث .

فلنفرض أن  $\alpha$  مركز البصر  $\beta$  مركز فصل الانعكاس  $\gamma$  نقطة



( شكل ١٣٥ )

على القوس المقابلة للبصر ولنخرج  
القطر المار بها على استقامة  $\delta$   
ونصل  $\alpha$   $هـ$   $\beta$  ثم نرسم من  $\alpha$   
المستقيم  $\alpha$  و  $\beta$  قاطعا المحيط  
على  $\gamma$  و والقطر على  $\beta$  بحيث  
يكون  $\alpha\beta = \beta\gamma$

فاذا رسمنا من  $\alpha$  و المستقيم  
و  $\beta$  نظيراً للمستقيم  $\alpha$  و  $\beta$  اتضح

ببرهان بسيط أن  $\alpha\beta$  يكون موازياً  $\beta\gamma$  فلا يقطعه .

(١) في الأصل « نقطة »

(٢) و (١٨٨) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر وتتضمن الورقات (١٨٤ - ١٨٨)

البيان الهندسي الذي أجملناه فيما سبق .

(٣) و (١٨٨) - و (١٩٠) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

وإذن فالشعاع المنعكس إلى البصر ١ ، إذا كان واقعا على المرآة موازيا للمستقيم د ح ب فان امتداده يمر بنقطة معينة م .

فاذا راعينا الانعكاس إلى البصر من أية نقطة تقع بين و ٦ ه ، فان كلا من زاويتي السقوط والانعكاس تكون أصغر من زاوية سقوط ح و أو انعكاسه ، وإذن تكون زاوية ميل الشعاع الساقط بالنسبة إلى المستقيم ١ ب أصغر من زاوية ميل ح و بالنسبة إليه ، فلا يقطع الشعاع الساقط المستقيم ب ح د .

وإذن من المحال أن ينعكس إلى البصر ١ من أية نقطة من نقاط القوس و ه شعاع يرد من نقطة مضيئة تكون على إمتداد المستقيم ح د .

أما إذا أخذنا نقطة مثل ط بين و ٦ ح ، ووصلنا ١ ط ، ورسمنا النظير ط ي ، فان كلا من زاويتي السقوط أو الانعكاس في هذه الحالة تكون أكبر من زاوية السقوط أو الانعكاس للشعاع ح و .

فيكون ميل ي ط على المستقيم ١ ب أكبر من ميل ح و عليه ، فيتقاطع ط ي ٦ ح د في نقط مثل ي .

ومن هذا يتبين أنه يصح أن يرد من أية نقطة من نقاط المستقيم ح د شعاع ينعكس من إحدى نقاط و ح ، إلى البصر . وفي هذه الحالة يقطع إمتداد المنعكس إلى العين المستقيم ب د على نقطة مثل ك بين م ٦ ح .

بهذه الكيفية بيّن ابن الهيثم خاصة هامة للنقطة م . وذلك أن أية نقطة مضيئة يمكن أن تكون على المستقيم ح د أو إمتداده إذا ورد منها شعاع إلى سطح المرآة وانعكس إلى البصر عند ١ فان امتداد المنعكس يقطع العمود الواقع من النقطة على السطح ( وهو المستقيم د ح ب ) على نقطة يتحتم أن تكون بين نقطتي ح ٦ م ، أي أن حدها الأدنى ( كما يقول الفارسي ) من المركز هو نقطة م ، وحدها الأقصى ( أو الثاني كما يسميه الفارسي ) هو ح . ويتبين من هذا أنه كلما بعدت النقطة المبصرة ، قربت نقطة التقاطع إلى م ، ولكنها لا تتجاوزها إلى ناحية المركز بحال من الأحوال . كذلك كلما قربت النقطة

إلى سطح المرآة قربت نقطة التقاطع إلى  $\gamma$  حتى إذا وصلت النقطة المبصرة إلى  $\delta$  كانت نقطة التقاطع النقطة  $\gamma$  نفسها .

وجميع هذه الأقوال صحيحة في ذاتها والمعنى الطبيعي الذي ينطوى عليه هذا التحليل الهندسي يمكن إدراكه إذا تجردنا من الناحية الشخصية فاغفلنا وجود البصر، وعيننا بالنقطة المضيئة التي نفرضها على امتداد  $\gamma \delta$  ، وبالأشعة التي تسقط منها على سطح المرآة وتنعكس عنه ، ثم قصرنا الانعكاس على ما يحدث من النقاط القريبة من نقطة  $\gamma$  فحينئذ يتبين أن نقطة  $\delta$  هي التي نسميها الآن البؤرة ، وإن النقطة المضيئة الموجودة على المحور  $\gamma \delta$  كلها بعدت عن القطب  $\gamma$  ، دنا خيالها من البؤرة  $\delta$  حقا ، وكلها قربت قرب خيالها من القطب  $\gamma$  حقا ، وإن خيال هذه النقطة يقع دائماً أبدا خلف سطح المرآة .

أمّا إذا روعي قطر من الأقطار غير المنتهية بالقوس المقابلة للبصر ووردت من نقاط على امتداده أشعة تنعكس عن سطح المرآة إلى البصر فإن إمتدادات الأشعة المنعكسة تلتقي القطر على نقاط تكون إمّا واقعة جميعها خارج سطح كرة المرآة دون أن تقع نقطة منها على سطح المرآة ، وأمّا واقعة خارج سطح كرة المرآة ونقطة واحدة منها على السطح ، وإما بعضها داخل سطح كرة المرآة ونقطة منها على السطح ، والباقي خارج سطحها . وابن الهيثم يعين أوضاع الأقطار في كل واحد من هذه الأحوال الثلاثة ، بطرق هندسية سليمة (١) . ولكنه يعد نقاط الالتقاء المذكورة مواضع الخيالات . ولا نرى لهذا القسم من بحوثه قيمة طبيعية خاصة تدعو إلى تفصيل هذه البحوث وخصوصاً أن العناصر الهندسية في هذه البحوث لا تتجاوز الفكر والمعاني التي يتبناها فيما سبق .

والذي يجدر ذكره فيما يتعلق بهذه البحوث أنه لما كانت نقطة الالتقاء في جميع أحوال المرآة الكرية المحدبة تقع على إمتداد الشعاع المنعكس إلى البصر من خلف نقطة الانعكاس فهو يرى أن خيالات المرآة الكرية المحدبة تبدو

(١) و (١٩٠) — و (١٩٧) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .



الشعاع الوارد بالانعكاس إلى البصر عند  $\alpha$  يكون موازياً للقطر  $ف ح$  فلا يقطعه .  
وإذا أخذنا نقطة مثل  $ن$  بين  $ح$  و  $هـ$  ، ورسمنا  $ن م$  نظيراً للمستقيم  
 $ن \alpha$  ، اتضح أن  $\alpha$   $ن$  إذا مد يقطع إمتداد القطر في نقطة مثل  $ل$  . فإذا  
كانت  $م$  نقطة مبصرة تقاطع المنعكس إلى العين والعمود الواقع منها على  
السطح وهو القطر في نقطة  $ل$  خلف سطح المرآة .

وإذا أخذت نقطة مثل  $ح$  بين  $هـ$  و  $ي$  ، ورسم المستقيم  $ح ك$  نظيراً  
للمستقيم  $ح \alpha$  قاطعاً القطر  $ف ح$  على  $ك$  ، وكانت  $ك$  نقطة مبصرة ،  
فإن الشعاع المنعكس  $ح \alpha$  يلقي هو نفسه القطر أو امتداده في نقطة مثل  $ع$  .  
وأيضاً إذا أخرج  $\alpha$   $ص$  قاطعاً  $د ف$  على  $س$  ورسم  $ص ق$  نظيراً  
للمستقيم  $ص \alpha$  قاطعاً القطر  $ف ح$  على  $ق$  ، وكانت  $ق$  نقطة مبصرة فإن  
المنعكس منها إلى  $\alpha$  يلقي القطر  $ف ح$  على نقطة  $س$  .

وابن الهيثم يعد نقاط تقاطع الأشعة المنعكسة إلى البصر والقطر  $ف ح$   
أو امتداده خيالات النقاط المبصرة . ويبيّن على هذا الأساس أن منها  
ما يقع خلف المرآة كخيال النقطة  $م$  ، وهو  $ل$  ، ومنها ما يقع أمام سطح  
المرآة كخيال  $ك$  ، وهو  $ع$  ، أو خيال  $ق$  وهو  $س$  . ولكنه لا يكتفي  
بهذا التمييز بين الخيالات بل يميز بينها من حيث مواضعها بالنسبة إلى  
البصر، ويجعلها قسمين . أحدهما الخيالات التي تكون مواضعها أمام البصر سواء  
أكانت من وراء المرآة كخيال النقطة  $م$  ، أو من أمام سطح المرآة كخيال  
النقطة  $ق$  . والقسم الثاني الخيالات التي يقول عنها أن خطوط انعكاسها لاتلقى  
أعمدها كخيال النقطة  $ط$  ، أو التي تكون من وراء البصر كخيال النقطة  $ك$  ،  
أو التي تكون عند مركز البصر كخيال النقطة  $ق$  ، إذا كان البصر عند  $س$  . وابن  
الهيثم يرى أن البصر يدرك الخيالات جميعاً من سموت الأشعة الواردة إليه  
والبصر يدرك جميع هذه الخيالات في مقابلته ولكنه يدرك خيالات القسم  
الأول إدراكاً محققاً ويدرك خيالات القسم الثاني إدراكاً غير محقق (١) .

وابن الهيثم يطبق هذه الفكرة على خيالات المبصرات . فان كانت جميع خيالات نقاط المبصر من القسم الأول إدرك البصر صورته إدراكا محققا . وإن كانت جميعا من القسم الثاني إدرك البصر صورة المبصر إدراكا غير محقق . وإن كان بعضها من الأول والباقي من الثاني إدرك بعض أجزاء المبصر إدراكا محققا وإدرك الباقي إدراكا غير محقق . وهو يرى أيضا أنه إذا كان بعض خيالات نقاط المبصر من وراء المرأة والباقي من أمامها فان صورة المبصر يدركها البصر قاطعة لسطح المرأة . ويصف ابن الهيثم اعتبارات يوضح بها آراءه ، ويحمل آراءه هذه فيقول بلفظة « فالذى يدركه البصر في هذه المرأة إدراكا محققا هو المبصر الذى يكون جميع خيالاته ( أى خيالات جميع نقاط سطحه ) من وراء المرأة أو جميع خيالاته فيما بين البصر والمرأة . وما سوى ذلك فليس يدركه البصر إدراكا محققا (١) » .

### ١٧٣ - قانون المرأة السكرية كما ينص عليه ابن الهيثم

( أولا ) المرأة السكرية المحدبة (٢) .

وقد توصل ابن الهيثم لايجاد العلاقة بين بعد نقطة مضيئة عن مركز تكور امرأة كرية وبعد خيالها عنه . وان كان ابن الهيثم قد اتبع فى إيجاد هذه العلاقة طريقته التى شرحناها آنفا فإن النتيجة التى توصل إليها تبين العلاقة الصحيحة عند ما تكون النقطة المبصرة وخالها واقعين على محور المرأة وعندما يكون اتساع السطح العاكس من المرأة صغيرا .

ففى المرأة المحدبة لنفرض أن ١ (شكل ١٣٧) نقطة مضيئة ولنعتبر مستوى الانعكاس مستوى الورقة وأن م مركز فصل الانعكاس . نصل ١ م وليقطع محيط دائرة الفصل على و . نرسم ا ب و ب ح نظيرين ونمد ح ب ليقطع ا م على نقطة ه . فتكون ه خيالا لنقطة ا . نرسم ا ح

(١) و (٢٥٦) ، و (٢٥٧) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) و (١٨١) — و (١٨٣) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .



المبصرة وبين مركز المرآة إلى الخط الذي بين مركز المرآة وبين نقطة الالتقاء التي هي نقطة الخيال كنسبة قسماً الخط الذي بين النقطة المبصرة وبين نقطة الخيال اللذين ينقسمان بالخط المماس لسطح المرآة على نقطة الانعكاس أحدهما إلى الآخر» (١) ويسمى ابن الهيثم في بحوثه التالية النقطة التي ينقسم عليها الواصل من النقطة المبصرة إلى خيالها بالمماس المذكور «طرف المماس» الخارج من نقطة الانعكاس .

ومن السهل من هذا القانون استخلاص العلاقة المعروفة الآن بين بعد النقطة المضيئة عن المرآة وبعد خيالها عنها عندما يتكون الخيال من انعكاس الأشعة «المحورية» أي عندما تكون نقطة ب قريبة جداً من نقطة و . ففي هذه الحالة تكاد تنطبق نقطة د على و فيكون

$$\frac{ا م}{ه م} = \frac{ا و}{ه و}$$

فإن رمزنا لبعدهم النقطة المضيئة من و بالحرف س و لبعدهم خيالها ه عن و بالحرف ص ، ولنصف قطر المرآة بالرمز ن ،

$$\frac{س}{ص} = \frac{س + ن}{ن - ص}$$

$$\frac{س}{ص} = \frac{ا}{ن - ص} - \frac{ا}{ن}$$

وهي المعادلة الدالة على العلاقة في حالة المرآة المحدبة . ومنها يتبين أنه كلما زاد بعد النقطة المضيئة عن المرآة زاد بعد خيالها عن سطح المرآة أو نقص بعده من المركز وهو أمر عني ابن الهيثم ببيانه أيضاً .

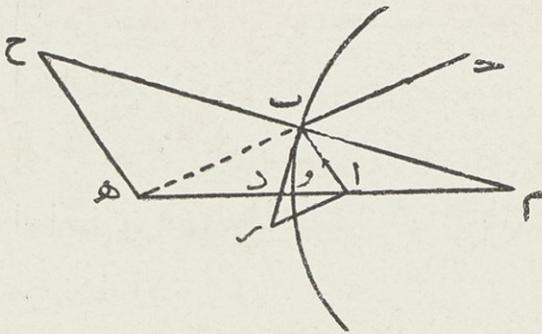
(ثانياً) المرآة الكرية المقعرة

وهو يثبت العلاقة نفسها في حالة المرآة المقعرة (٢)

(١) و (١٨٣) و (١٨٤) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) و (٢٥٨) — و (٢٦٠) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

ولنفرض أن  $ا$  نقطة مضيئة  $و$   $م$  مركز الدائرة التي هي فصل الانعكاس



(شكل ١٣٨)

نصل  $م ا$  وليقطع امتداده

محيط الدائرة على  $و$  ونرسم

النظيرين  $ا ب$   $و$   $ب ح$  ،

ونمد  $ب ح$  ليقطع امتداد  $م ا$

على  $هـ$  . فيكون  $هـ$  خيالا

لنقطة  $ا$  .

نرسم المماس من  $ب$  وليقطع  $م هـ$  على  $د$  . ونرسم من نقطة  $ا$  ،  $ا م$

موازيا  $ب ح$  وليقطع المماس على  $م$  ، ونرسم من نقطة  $هـ$  المستقيم  $هـ ح$

موازيا  $ا ب$  قاطعا امتداد  $م ب$  على  $ح$  .

فمن السهل بيان أن  $د ا ب م = د ا م ب$

$$\therefore ا ب = ا م$$

وكذلك  $ب هـ = ب ح$

$$\therefore \frac{ا م}{م هـ} = \frac{ا ب}{ب ح} = \frac{ا م}{م هـ}$$

ومن تشابه المثلثين  $ا د م$   $و$   $هـ د ب$  ينتج أن

$$\frac{ا م}{م هـ} = \frac{ا د}{د هـ}$$

$$\therefore \frac{ا م}{م هـ} = \frac{ا د}{د هـ}$$

وهو يراعى في حالة المقعرة عدة حالات متبعا وجهة نظره التي اتخذها

متمسكا بها إلى النهاية . فالشعاع  $ب ح$  الواصل إلى البصر الذي يفرضه عند  $ح$

هـ لم يكن موازيا للمستقيم  $م و$  ، وهو المحور في اصطلاحنا ، فانه يقطعه . ونقطة

التقاطع  $هـ$  قد تكون خلف سطح المرآة كما هو مبين بالشكل وقد تكون أمامه .

فان كانت أمام السطح فهو يراعى ثلاث حالات فنقطة التقاطع (أو موضع

(الخيال) قد تكون واقعة بين البصر وبين سطح المرآة، أو عند موضع البصر نفسه، أو من خلف البصر، والبرهان الهندسي المذكور ينطبق على جميع هذه الحالات.

وهو ينص على هذه العلاقة قائلاً بلفظه « إن كل نقطة يدركها البصر في مرآة كرية مقعرة إذا لم يكن انعكاس صورتها على خط مواز لقطر المرآة المار بتلك النقطة، فإن نسبة الخط الذي بين النقطة المبصرة وبين مركز المرآة إلى الخط الذي (بين) <sup>(١)</sup> مركز المرآة وبين نقطة الخيال كنسبة الخط الذي بين النقطة المبصرة وبين طرف المماس الخارج من نقطة الانعكاس إلى الخط الذي بين طرف الخط المماس وبين نقطة الخيال على أي وضع كانت نقطة الخيال <sup>(٢)</sup> »

وعنى ابن الهيثم كما هي عادته بموضع البصر بالنسبة إلى نقطة التقاطع ولو أنه تحول عن وجهة نظره وعنى بموضع نقطة التقاطع بالنسبة إلى مركز المرآة لا بالنسبة إلى مركز البصر، واحتاط في تطبيق القاعدة التي جعلها أساساً لبحوثه، لاستطاع شرح حالات الخيال في المرآة المقعرة كما نراعيها في الوقت الحاضر، لأنه قد أحاط بجميع الأسباب المؤدية إلى ذلك.

#### ١٧٤ - قانون المرآة التي فصل انعكاسها قطع ناقص

وابن الهيثم قد توصل أيضاً إلى استنباط القانون الذي ينص على العلاقة بين بعد النقطة المضيئة وبعد خيالها الذي يتكون بالانعكاس عن مرآة اهليلجية وقد جاء في صدد بحوثه في المرآة الأسطوانية، ففصول الانعكاس في هذه المرآة ( أي مقاطع مستويات الانعكاس بسطحها ) قد تكون خطوطاً مستقيمة وفي هذه الحالة يكون خيال النقطة المضيئة الحادث بالانعكاس في مستوى الفصل كخيالها في المرآة المستوية، وقد تكون فصول الانعكاس دوائر فيكون الخيال كالخيال في المرآة الكرية وقد تكون فصول الانعكاس قطعاً ناقصاً.

(١) في الأصل « من » .

(٢) و (٢٥٨) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .



كذلك من السهل بيان أن

$$د ه ل ب = د ه ب ل$$

$$\therefore ب ه = ه ل$$

$$\frac{ا م}{ه} = \frac{ا ب}{ه ل} = \frac{ا ب}{ب ه}$$

وإذن ينتج أن

$$\frac{م}{ه} = \frac{ا ب}{د ه}$$

وينص ابن الهيثم على هذه العلاقة فيقول بلفظه (١) « وكذلك كل خيال يكون في سطح من سطوح القطوع التي تقع في هذه المرآة تكون نسبة العمود الخارج من النقطة المبصرة القائم على الخط المماس للقطع ( وهو العمود ا م في الشكل ) الذي فيما بين النقطة المبصرة وبين النقطة التي يلتقي عليها هذا العمود والعمود الخارج من نقطة الانعكاس القائم على السطح المماس لسطح المرآة ( وهذا للعمود الثاني هو ح م في الشكل ) إلى الخط الذي بين نقطة (الالتقاء) (٢) وبين نقطة الخيال ( فتكون النسبة التي يقصدها ابن الهيثم هي نسبة

$\frac{ا م}{ه}$  كنسبة قسمة الخط الذي فيما بين النقطة المبصرة وبين نقطة الخيال اللذين ينقسمان بالخط المماس لسطح المرآة ( على ) نقطة الانعكاس » .

ويتبين من هذا أن العلاقة المذكورة بين بعد النقطة المضئية وبين بعد خيالها هي عين العلاقة التي استنبطها في المرايا الكرية فنقطة م هي مركز انحناء قوس القطع عند موضع سقوط الأشعة كما أن نقطة م هناك مركز الدائرة التي هي فصل الانعكاس وهذه العلاقة ليست مقصورة على القطع بل تنطبق

(١) و (٢٢٨) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) في الأصل «الانعكاس» وهو تحريف ، وقد حررنا العبارة من بعض أخطاء أخرى .

أيضاً في حالة أى منحني آخر وهي تفضي في جميع الحالات إلى الصورة المألوفة الآن اذا كانت نقطة الانعكاس قريبة من مسقط العمود ، كما تبين في المرآة الكرية المحدبة .

١٧٥ - بحوث ابن الهيثم عن خيالات المبصرات التي ترى في المرايا المنحنية  
 لابن الهيثم بحوث مطولة في تفصيل خيالات المبصرات في المرايا الكرية والأسطوانية والمخروطية المحدبة منها والمقعرة يبين فيها من صفات الخيال التي نعى بها في الوقت الحاضر ثلاثة أمور . أحدها بيان أكان الخيال مساوياً للبصر أو مصغراً أو مكبراً ، وهو ما يعبر عنه بعظم الخيال . وثانيها بيان أكان الخيال معتدلاً أو مقلوباً ، وهو يعبر عن الاعتدال بالاستواء أحياناً وعن الانقلاب بالانتكاس فيقول عن الخيال المعتدل إنه مستوي وعن الخيال المقلوب إنه منكوس . وثالثها بيان أكان خيال المبصر المستوي مستوياً أو مقوساً وبيان أكان خيال المبصر المقوس مقوساً أو مستوياً ، وبيان أكان تحذب القوس في الخيالات المقوسة بالنسبة إلى البصر مما يلي سطح المرآة أو في الجانب الآخر منه . وهو قد تناول في هذا ما يعبر عنه الآن بتشوه الصور .  
 ومثل هذه البحوث التي تتسع إلى هذا الحد وتحيط بشتى هذه الأمور يعرض فيها حتماً حالات تكون فيها الخيالات « تقديرية » كما نسميها الآن ، وحالات تكون فيها الخيالات « حقيقية » كما نسميها الآن . وإن كان ابن الهيثم لا ينص صراحة على التمييز بين نوعي الخيال الحقيقي والتقديرية ، فإننا نجد بحوثه تتضمن فعلاً المعنى الذي ينطوي عليه هذا التمييز . ونجدها تمتد إلى أبعد من مجرد تضمن هذا المعنى فهي تشمل تفصيل حالات الخيالات التي نسميها الآن « الحقيقية » وبيان نعوتها من العظم وغيره كما سنبين فيما بعد .

والطريقة التي عالج بها ابن الهيثم هذا الموضوع الذي تتعدد نواحيه وتتشعب فروعه على هذه الصفة ، أساسها الفكرة التي تنطوي عليها القاعدة التي طبقها لتعيين خيال النقطة ، وهي كما تبين تنص على أن موضع خيال النقطة المبصرة هو النقطة التي يلقي عندها الشعاع المنعكس إلى البصر ( أو امتداده ) العمود الواقع من تلك النقطة على السطح العاكس . فاذا ما تعينت بهذه الكيفية

خيالات النقاط المختلفة التي يتكون منها المبصر، تكون من مجموع هذه الخيالات خيال البصر جميعه

وطريقة ابن الهيثم هذه في تعيين خيال المبصر لا تختلف من حيث الجوهر عن الطريقة المتبعة في الوقت الحاضر في كتب الضوء المدرسية، لولا أن ابن الهيثم أطلقها إطلاقاً دون أن يراعى في تطبيقها أن تكون نقاط انعكاس الأشعة الواردة من نقاط المبصر المختلفة قريبة جداً من مواقع الأعمدة الخارجة من هذه النقاط على السطح العاكس، ولولا أنه أيضاً تقيد في بحوثه بالناحية الشخصية. فكان أول ما يُعنى به تعيين موضع البصر، فيفرضه موجوداً في نقطة معينة، ثم ينتقى من بين الأشعة التي لاحصر لها التي ترد إلى السطح العاكس من كل واحدة من نقاط المبصر الشعاع الذي يمر بعد انعكاسه بالنقطة المفروض فيها مركز البصر، والنقطة التي يلقى فيها هذا الشعاع أو امتداده العمود الواقع على السطح من النقطة المبصرة التي يرد منها، عدها على تصاريح الأحوال خيال النقطة المبصرة.

وتحسب إذ نعرض لهذا القسم من بحوث ابن الهيثم نجد أنه أولا تجاوز فيها الحد في تطبيق قاعدته، وثانياً أنه تكلف فيها لزوم ما لا يلزم، فقيّد نفسه بقيود كان في غنى عنها. فترتب على ذلك أمران أحدهما أن كثيراً من المعاني الطبيعية التي استخلصها من هذه البحوث إذا أطلقت إطلاقاً على الوجه الذي ذهب إليه صارت غير سليمة ولا صحيحة. والثاني أن البحوث نفسها من الناحية الهندسة صارت معقدة عسيرة، ففرض البصر في نقطة معينة يتطلب البحث عن النقطة من السطح العاكس التي تتعاكس منها النقطتان النقطة المبصرة ومركز البصر. والبحث عن هذه النقطة من السطح التي هي نقطة الانعكاس عمل كما تبين هو من الناحية الهندسية عسير غير يسير. ثم أن فرض البصر موجوداً في نقطة معينة يعرض فيه حالات تنعكس فيها الأشعة الواردة من نقاط المبصر المختلفة إلى البصر، وهو في وضعه المفروض، في مستويات مختلفة ليست متطابقة. وشرح هذه الحالات بالدقة فضلاً عن تصورهما، يتطلب شيئاً غير قليل من الجهد والعناء.

ولكن مع كل ذلك إذا التزمنا في تفسير النتائج التي توصل إليها ابن الهيثم في بحوثه الحدود التي يصح فيها تطبيق قاعدته ، واستبعدنا منها الأخطاء التي جره إليها تطبيق القاعدة فيما لا يصح تطبيقها فيه ، وهي أخطاء سنجدها بوجه عام ضيقة محصورة ، الفيناه قد استطاع في هذه البحوث الوصول إلى كثير من الحقائق المرتبطة بهذا الموضوع ، واستطاع شرحها وبيانها ، ووجدنا هذه البحوث بوجه عام تتضمن بياناً للكيفية التي بها يدرك البصر وهو في موضع معين صورة المبصر بالانعكاس عن المرايا التي ذكرها . وليست الطريقة التي جرى عليها في هذه البحوث مألوفة الآن ، وإذن فإن لها في ذاتها قيمة تعليمية . وهذه البحوث في مجموعها حتى إذا أخذت على علاتها بما فيها من عيب أو نقص أو خطأ ، أن هي إلا مرحلة في تاريخ علم الضوء قطع فيها هذا العلم شوطاً في سبيل التقدم نحو الكمال ، وبرز فيها ابن الهيثم يجاهد منفرداً لاستخلاص الحقائق بما يكتشفها من جهالة وغموض جهادا عنيفا شاقا ، ولكنه جهاد محمود مبرور لا تخلو قصته من متعة ولذة .

وسنبين فيما يلي أمثلة من هذه البحوث وضروبا من الأحكام التي توصل إليها ، تكفي للألمام بموقفه في جميع هذه الأمور .

١٧٦ - بحوث ابن الهيثم عن عظم خيالات المبصرات التي ترى في

المرايا الكرية المحرّبة

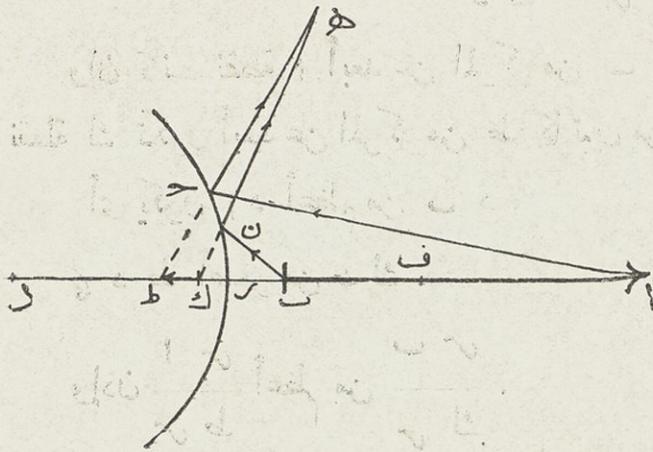
(أولا) إذا كان المبصر على استقامة قطر من أقطار المرآة .

يقسم ابن الهيثم بحته عن عظم خيالات المبصرات في المرايا الكرية المحدبة قسمين يتناول في أحدهما<sup>(١)</sup> خيال المبصر إذا كان خطأ مستقيماً يمتد على استقامة قطر من أقطار المرآة . وفي هذه الحالة إذا أخرج المستوى الذي يقع فيه المبصر المستقيم ومركز البصر إيا كان موضعه فإنه يقطع كرة المرآة على عظمة . وليكن  $ا$  ب المستقيم المبصر  $هـ$  مركز البصر  $د$  مركز الدائرة

(١) و (١٩) ، و (٢٠) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

بحوث ابن الهيثم عن عظم خيالات المبصرات التي ترى في المرايا الكرية المحدبة ١٣١

العظيمة ولينعكس الشعاع ١ > من نقطة > إلى ه والشعاع ب ن من نقطة ن إلى ه .



نمد ه > على

استقامة حتى يقطع ا د

على نقطة ولتكن ط

فتكون ط خيال ا .

ونمد ه ن على

استقامة حتى يقطع ا د

على نقطة ولتكن ك

فتكون ك خيال ب .

( شكل ١٤٠ )

وإذن يكون ط ك خيال المبصر ا ب .

وابن الهيثم يمضي بعد توضيح هذه الأمور إلى إثبات أن الخيال ط ك أصغر من المبصر ا ب ببرهان هندسي ، ولكنه يبنى هذا البرهان على قانونه ( الذي أوردناه في فقرة ١٧٣ ) الذي ينص على أن نسبة بعد النقطة المضيئة عن مركز المرآة إلى بعد خيالها عن المركز كنسبة قسمة الواصل بين النقطة وخالها بالمماس المرسوم عند نقطة الانعكاس . في حين أن اعتبار ط خيالاً للنقطة ا و ك خيالاً للنقطة ب يتطلب أن تكون نقطتا ح و ن قريبتين جداً من قطب المرآة . وإذن يمكن اعتبار نسبة بعد النقطة المضيئة عن مركز المرآة إلى بعد خيالها عنه كنسبة قسمة الواصل بين النقطة وخالها بسطح المرآة . فان أخذنا بهذا الاعتبار ورمزنا لقطب المرآة بالحرف م أصبح البرهان سهلاً وأكثر ملاءمة لما يقتضيه الأمر من ناحيته الطبيعية ، وتظل متوافرة فيه جميع العناصر الأساسية في برهان ابن الهيثم الوارد في الأصول ، وتتضح بسهولة الفكرة الأساسية فيه .

فما أن ط خيال ا ،

$$\frac{ا د}{د ط} = \frac{ا م}{م ط}$$

$$\frac{ب د}{ب م} = \frac{د ك}{د م} \therefore \text{وبما أن ك خيال ب ،}$$

وإن كانت نقطة ا أبعد عن المركز من ب كما هو مبين في الشكل فإن نقطة ك تكون أبعد عن المركز من ط كما تبين من قبل (١).

أى يكون ا د أعظم من ب د ،  
و د ط أصغر من د ك .

$$\text{وإذن } \frac{ا م}{م ط} \text{ أعظم من } \frac{ب م}{م ك} .$$

نأخذ نقطه مثل ف على ا ب بحيث يكون

$$\frac{ف م}{م ط} = \frac{ب م}{م ك} \quad (١)$$

فالمستقيم ف م أصغر حتما من ا م ويتضح من (١) أن

$$\frac{ب م}{م ك} = \frac{ف م - ب م}{م ط - م ك}$$

$$\text{أى } \frac{ب م}{م ك} = \frac{ب م}{م ك} \text{ ولكن } \frac{ب م}{م ك} = \frac{ب د}{د ك}$$

$$\therefore \frac{ب م}{م ك} = \frac{ب د}{د ك}$$

وبما أن ب د أعظم من د ك ،

$\therefore$  ف ب أعظم من ط ك .

وإذن ا ب أعظم كثيراً من ط ك .

بمثل هذا البرهان أثبت ابن الهيثم أن خيال المبصر في هذه الحالة أصغر من

المبصر نفسه .

(١) أنظر فقرة (٩٧) من الجزء الأول من هذا الكتاب .



ط د د نصف الغلاف بالنسبة إلى نقطة ١ والمنحنى ي ه ه نصف الغلاف بالنسبة إلى نقطة ب ، اتضح أن خيالي نقطتي ١ و ٦ ب الحادثين عن انعكاس الأشعة المحورية هما نقطتا د ٦ ه على الترتيب . أما إذا فرض مركز البصر عند ك ورسمنا من نقطة ك المماس ك د للغلاف الأول والمماس ك ه للثاني كانت نقطتا د ٦ ه خيالي ١ و ٦ ب (على الترتيب) اللذين يدرهما البصر في هذا الوضع وإذا أغفلنا التقوس الحادث في الخيال كان د ه خيال المبصر ١ ب . وإذا رمز لنقطة تقاطع المماس ك د بمحيط دائرة الفصل بالحرف ل ، ولنقطة تقاطع المماس ك ه بمحيط الدائرة بالحرف م ، انعكس ١ ل من ل إلى ك ، وانعكس ب م من م إلى ك . وأيا كان موضع البصر ك فإن المماسين الخارجين من ك إلى الغلافين ممسانه على تصارييف الأحوال داخل دائرة الفصل أى وراء سطح المرآة ، ويكون الخيال المدرك أصغر من المبصر على تصارييف الأحوال .

غير أن ابن الهيثم يرى أن خيال النقطة المبصرة هو نقطة تقاطع امتداد المنعكس بالعمود الواقع من النقطة على السطح العاكس . فخيال ١ بالنسبة إلى بصر ك هو في زعمه نقطة تلاقي امتداد ك ل بالقطر ١ ح ولرمز لهذه النقطة بالحرف س . وأيضاً خيال ب بالنسبة إلى بصر ك هو في زعمه نقطة التقاء امتداد ك م بالقطر ب ح ولرمز لها بالحرف ص فيكون خيال المبصر ١ ب بالنسبة إلى بصر ك هو بحسب ما يرى س ص . ومن الجائز أن النقطتين س ٦ ص قد تقعان إحداهما أو كليهما خارج كرة المرآة . فالشعاع ١ و مثلاً ينعكس على و ح ويلقى امتداد ح و القطر ١ ح على نقطة م تقع خارج دائرة الفصل ب ، فلا يمكن بادىء ذى بدء (لا سيما إذا تذكرنا أن مستوى انعكاس الضوء من ١ إلى البصر قد لا يكون هو نفسه مستوى انعكاس الضوء من ب إلى البصر) القطع بأن البعد بين النقطتين اللتين يعدهما ابن الهيثم خيالي ١ و ٦ يكون أصغر من ١ ب نفسه على تصارييف الأحوال .

بحوث ابن الهيثم عن عظم خيالات المبصرات التي ترى في المرايا الكرية المحدبة ٦٣٥

هذا بيان مبسط للمعنى الذي يريده ابن الهيثم من قوله « فقد يمكن أن يكون خط ١ ب أعظم من خط د ه ، ويمكن أن يكون مساوياً له ويمكن أن يكون أصغر منه ، إلا أن تساوى خطي ١ ب و د ه ، وزيادة د ه على ٢ ب قليل نادر » (١). ولكن يبقى بعد ذلك أن تتساءل هل من الممكن وقوع مثل هذه الأحوال النادرة التي يكون فيها البعد بين النقطتين اللتين يعدهما ابن الهيثم خيالي طرفي المبصر مساوياً لطول المبصر أو أعظم منه .

وابن الهيثم يواجه هذا السؤال ويمضي للإجابة عنه بالإيجاب ، فثبت بالبرهان الهندسي أنه يحدث فعلاً أن ينعكس من طرفي مبصر لا يمتد على سمت قطر من أقطار المرآة شعاعان يكون البعد بين نقطة التقاء امتداد أحدهما بالقطر المار بالطرف الوارد منه هذا الشعاع ، وبين نقطة التقاء امتداد الآخر بالقطر المار بالطرف الوارد منه ، يكون هذا البعد مساوياً للبعد بين طرفي المبصر أو أعظم منه . ويكون في الوقت نفسه الشعاعان المنعكسان ملتقيين في نقطة أمام سطح المرآة . وهو في هذا يواجه مشكلة هندسية لم يتعرض لها ، كما يقول هو نفسه ، أحد من قبله ويعالجها برهان هندسي لم يسبقه إليه أحد . وبرهان ابن الهيثم طويل ومعقد (٢) وتترى فيه سلسلة خطوات هندسية محكمة التدبير تفضي في النهاية إلى النتيجة المذكورة . ولا نغالي إذا قلنا أن هذا البرهان في مجموعه إذا روعي كعمل هندسي مبتكر ، بعيد المنال لا يطيقه من لا ارتياض له على الأعمال الرياضية المعقدة ولا يقدر على إنجازها إلا واسع الخيلة عميق التفكير .

ولكن ابن الهيثم يريد بهذا البرهان الهندسي معنى طبعياً لا نوافقه عليه ، وهو أن البصر إذا كان مركزه النقطة التي يلتقي عندها الشعاعان المنعكسان

(١) و (٢١) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

(٢) و (٢٣) — و (٣٤) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

ويصدر بحته هذا بقوله « وقد بقي أن نبين أنه قد يمكن أن يدرك البصر في المرآة الكرية المحدبة مبصراً يكون قطر خياله مساوياً لقطره ومبصراً يكون قطر خياله أعظم من قطره ولا نعرف احداً من المتقدمين ولا المتأخرين بين هذا المعنى ولا وجدناه في شيء من الكتب ونحن نبينه الآن » و (٢٣) من مخطوط المقالة السادسة .

المذكوران أدرك البصر الخيال مساوياً للبصر أو أعظم منه . لأنه وإن أدرك البصر خيالي طرفي المبصر على امتداد هذين الشعاعين فإن موضع كل من الخياليين ليس نقطة الالتقاء التي يعينها ابن الهيثم وإنما يكون موضعه في هذه الحالة أيضاً داخل كرة المرآة وعلى الغلاف الذي تمسه امتدادات الأشعة المنعكسة فلا يستقيم الحكم الذي قرره بمعناه الطبيعي المقصود . ولذلك ضربنا صفحاً عن ذكر برهانه الهندسي على هذا الأمر وتفصيله في هذا الكتاب .

١٧٧ - مخرجات ابن الهيثم لبحوثه عن أساطل الخيالات التي ترى في

الكرية المحرقة

وإن كان ابن الهيثم قد نبى بجهته عن أشكال خيالات المبصرات في المرايا الكرية المحدبة على أساس الفكرة نفسها التي تقدم ذكرها فإنه قد استعان في هذه البحوث ببعض قضايا هندسية عن البرهان عليها أولاً وجعلها توطئة إلى تلك البحوث . وهذه المقدمات أربع منها ثلاث من القضايا الهندسية المألوفة وهي تتعلق بموضوع التقسيم التوافقي ولكنه لا يستعمل في أقواله فيها هذا الاصطلاح ولا الاصطلاحات الأخرى الشائعة الآن « كالحزمة التوافقية » و « القاطع » . وسنكتفي نحن هنا بذكر هذه المقدمات الثلاث دون إيراد براهين ابن الهيثم عليها فهي لا تختلف في جوهرها عن البراهين المألوفة في الوقت الحاضر . ونورد فيما يلي المقدمتين الأولى والثانية منها بالفاظ ابن الهيثم نفسه .

( الأولى ) « ان كل خط مستقيم يقسم بثلاثة أقسام حتى تكون نسبة القسم الأول إلى القسم الثاني كنسبة جميع الخط إلى القسم الثالث ، ونخرج من نقطتي القسمة ومن نهاية الخط ثلاثة خطوط تلتقي على نقطة واحدة ، فإن كل خط يخرج من طرف الخط المقسوم يقطع الخطوط الثلاثة وإنه ينقسم بثلاثة أقسام تكون نسبة القسم الأول منها إلى القسم الثاني كنسبة جميع الخط إلى القسم الثالث (١) » .

( الثانية ) « وأيضاً فإنه يلزم عكس ذلك وهو إنه إذا كان خطان مستقيمان متلاقيان على نقطة ، وكان كل واحد من الخطين مقسوماً بثلاثة أقسام وكانت نسبة القسم الأول من أحد الخطين إلى القسم الثاني كنسبة جميع الخط إلى القسم الثالث ، وكانت نسبة القسم الأول من الخط الآخر إلى القسم الثاني منه كنسبة جميع الخط إلى القسم الثالث ، [ وكانت نسبة القسم ]<sup>(١)</sup> . ولم تكن الخطوط الواصلة بين (نقط)<sup>(٢)</sup> القسمة متوازية ، فإن الخطوط الثلاثة الواصلة بين نقط القسمة إذا خرجت على استقامة (الثقت)<sup>(٣)</sup> على نقطة واحدة<sup>(٤)</sup> . »

والمقدمة الثالثة تفيد إنه إذا كان خطان مستقيمان متلاقيان على نقطة وكان كل منهما مقسوماً بثلاثة أقسام كما ذكر وكان خطان من الخطوط الثلاثة الواصلة بين نقاط القسمة متوازيين كان الثالث موازياً لهما وكل خط يخرج من نقطة تلاقى المستقيمين ويقطع المستقيمت الواصلة بين نقاط القسمة فإنه ينقسم بثلاثة أقسام كما ذكر<sup>(٤)</sup> .

أما المقدمة الباقية من الأربع فلها صبغة طبيعية . وهو يبدأ بها ، في ذكر هذه المقدمات وهي بالفاظه .

« إن كل نقطتين يكون بعداهما عن مركز المرآة الكرية المحدبة متساويين ويكون بعداهما عن مركز البصر مختلفين إذا أدر كهما البصر في هذه المرآة فإن خيال النقطة التي هي أبعد عن مركز البصر يكون أبعد عن مركز المرآة من خيال النقطة التي هي أقرب إلى مركز البصر . وأن النقطة التي هي نهاية الماس من القطر الخارج من مركز المرآة إلى النقطة التي هي أبعد عن مركز البصر ، يكون أيضاً أبعد عن مركز المرآة من النقطة التي هي نهاية الماس من القطر الخارج من مركز المرآة إلى النقطة التي هي أقرب إلى مركز البصر ، كان مركز البصر في

(١) العبارة التي بين القوسين وردت في الأصل .

(٢) الوارد في الأصل « نقطة » .

(٣) الوارد في الأصل « الثقب » .

(٤) و (٣٨) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

(٥) و (٣٩) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

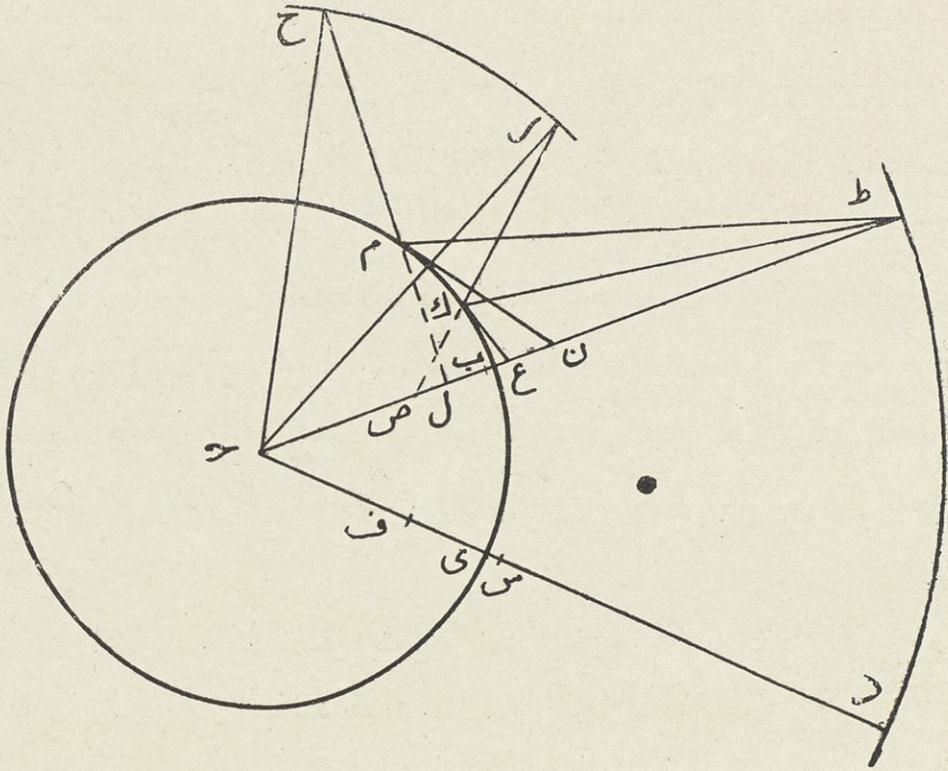


دوران ص د ه سطحاً منحنياً يكون هو الغلاف لجميع الأشعة المنعكسة عن سطح المرآة وهذا الغلاف يمثل مواضع الخيالات المختلفة التي يدركها البصر للنقطة ط تلك الخيالات التي تحدث من انعكاس الأشعة من أجزاء السطح المختلفة . فإذا روعي انعكاس الأشعة المحورية أي كان البعد الزاوي بين موضع البصر والنقطة المبصرة صغيراً جداً كان الخيال عند ص ، الجزء الناتج من الغلاف . فان أخذت نقطة الانعكاس تبعد عن القطب وأخذ البعد الزاوي يزداد تبعاً لذلك أخذ الخيال يتحرك على الغلاف نحو طرفيه ه ، أو مر ، ويكون الموضع الذي يحدث فيه هو النقطة التي يمس عليها امتداد الشعاع المنعكس الى البصر هذا الغلاف ، وليس هو النقطة التي يلتقي فيها هذا الشعاع المستقيم ط > .

وواضح أن هذا التفسير يتفق والنص الذي ورد عليه الشطر الأول من المقدمة ولكن ابن الهيثم لا يقصد بحال من الأحوال هذا المعنى . لأن موضع الخيال في زعمه هو نقطة التقاء امتداد المنعكس الواصل الى العين وخط الخيال ط > ، والخيال وإن كان يزداد بعداً عن المركز تبعاً لزيادة البعد الزاوي للبصر عن النقطة المبصرة فانه في زعمه لا ينفك ملازماً المستقيم ط > . وبرهان ابن الهيثم على هذا المعنى<sup>(١)</sup> جدير بالذكر في ذاته ، لأنه عام غير مقصور على الحالة التي يتغير فيها البعد الزاوي بين مركز البصر والنقطة مع بقاء مركز البصر في مستوى واحد كمستوى شكل (١٤٢) مثلاً . وهو فوق ذلك مرجع يرجع إليه ابن الهيثم في استنباط بعض أحكامه في أشكال الخيال مما سنتناوله بالذكر فيما بعد . ونورد البرهان هنا بشيء من التعديل يجعله أكثر وضوحاً .

فلتكن النقطتان المبصرتان د و ط (شكل ١٤٣) ومركز المرآة ح وهما متساويتا البعد عن المركز ، وليقطع مستوى ح ط د سطح المرآة على الدائرة المبينة بالشكل ، وليلق ح ط محيطها على نقطة ب ، وليكن مركز

البصر في نقطة خارج مستوى الشكل وهي ليست مبيته فيه ولنرمز لها بالحرف هـ .



( شكل ١٤٣ )

ولتكن زاوية هـ > ط أعظم من زاوية هـ > د . نرسم في مستوى الشكل المستقيمين > ح و > م بحيث يكونان في جهة واحدة من > ط و بحيث تكون

$$\angle ط > ح = \angle ط > هـ ،$$

$$\angle ط > م = \angle د > هـ ،$$

$$\text{ولنجعل } \angle ح > م = \angle هـ > هـ ،$$

ولتنعكس النقطتان ط و م من ك .

يمكن بمثل البرهان الوارد في فقرة (٩٥) (١) إثبات أن نقطة انعكاس ط إلى ح هي نقطة مثل م بعدها عن ب أعظم من بعد نقطة انعكاس ط إلى م (ولتكن ك) عنها كما هو مبين بالشكل .

نرسم المماس الذي يمس الدائرة على ك ، ويليق ط > ح على ع ، وهي تقع بين ب و ط . ونرسم المماس الذي يمس الدائرة على م . فهو يلقى

(١) الجزء الاول من هذا الكتاب .

ط > على نقطة مثل ن تقع بين ع و ط . ويكون > ن أعظم من > ع .  
 وليقطع امتداد م ر ك المستقيم ط > على ص ، وليقطع امتداد  
 ح م هذا المستقيم على ل .

$$\therefore \frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}} = \frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}} \text{ أو } \frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}} = \frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}}$$

$$\frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}} = \frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}}$$

$$\frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}} = \frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}} \text{ أو } \frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}} = \frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}}$$

وبما أن ط > ع أعظم من ط > ن

$$\therefore \frac{\text{ط} >}{\text{ط ن}} > \frac{\text{ط} >}{\text{ط ع}}$$

$$\therefore \frac{\text{ط} >}{\text{ط ن}} > \frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}}$$

$$\therefore \frac{\text{ط} >}{\text{ط ن}} > \frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}} \text{ أعظم كثيراً من } \frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}}$$

$$\text{وبما أن } \frac{\text{ط} >}{\text{ط ن}} = \frac{\text{ط} >}{\text{ط ن}}$$

$$\therefore \frac{\text{ط} >}{\text{ط ن}} > \frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}} \text{ أعظم كثيراً من } \frac{\text{ط} >}{\text{ع ص}}$$

فنقطة ل حتما تقع بين نقطتي ص و ن كما هو مبين بالشكل .

ويكون > ل أعظم من > ص .

فاذا توهمت النقطة ه المفروضة خارج مستوى الشكل ، وتوهم المثلث

ه > ط وقوبل بالمثلث ح > ط كان

$$\text{ه} > \text{ح} = \text{ح} > \text{ه} > \text{ط} = \text{ح} > \text{ط} > \text{ه} > \text{ط} \text{ مشترك .}$$

فالمثلثان متطابقان .

ومستوى ه - ط يلقى كرة المرآة على دائرة عظيمة مركزها > شبيهة  
بالدائرة المبينة في الشكل . ويكون وضع النقطتين ط و ه بالنسبة إليها  
كوضع النقطتين ط و ح بالنسبة إلى الدائرة المبينة في الشكل . فتنعكس ط  
إلى ه من نقطة على محيط تلك الدائرة هي النظيرة لنقطة م التي على محيط  
المبينة بالشكل . ويكون بعدها عن ب كبعد م عن ب . ويقضى التماثل بأن  
يكون امتداد الواصل من ه إلى نقطة الانعكاس من محيط تلك الدائرة يلقى  
ط > على نقطة ل نفسها ، والمماس يلقاه على نقطة ن نفسها .

كذلك فان مثلي ه - د و م - ط متطابقان أيضاً . ومستوى مثلث  
ه - د يلقى كرة المرآة على عظيمة مركزها > هي أيضاً ، شبيهة بالدائرة المبينة  
بالشكل . ويكون وضع النقطتين د و ه بالنسبة إليها كوضع النقطتين ط و  
م بالنسبة إلى الدائرة المبينة في الشكل . فتنعكس نقطة د إلى ه من نقطة  
على محيطها هي النظيرة لنقطة انعكاس ط إلى م وهي نقطة ك ، التي على  
محيط المبينة في الشكل . واذا رمزنا لنقطة تقاطع د > بمحيط الدائرة المبينة  
في الشكل بالحرف ي كانت هي نفسها نقطة تقاطع د > بمحيط تلك  
العظيمة ويكون بعد نقطة انعكاس د إلى ه ، عن نقطة ي كبعد ك عن  
نقطة ب ، ويقضى التماثل في هذه الحالة أيضاً بأن يكون امتداد المستقيم  
الواصل من ه إلى نقطة الانعكاس ، يلقى > د على نقطة مثل ف يكون  
بعدها من > مساوياً > ص وأن يكون المماس من نقطة الانعكاس يلقاه  
على نقطة مثل س يكون بعدها عن > مساوياً > ع .

واذن يثبت أن

> ل أعظم من > ف ،

و > ن أعظم من > س ،

وهو المطلوب .

ولا اعتراض على هذه النتيجة ولا على البرهان المؤدى إليها ويجدر بنا أن  
نذكر مرة أخرى أن الاعتراض انما يقوم على اعتبار نقطة ل خيال ط

بالنسبة الى البصر الموجود عنده واعتبار نقطة ف خيال د بالنسبة  
اليه ، لأن ذلك لا يصح إذا كان البعد الزاوي بين البصر وبين كل من النقطتين  
ط و د كبيراً .

### ١٧٨ - بحوث ابن الهيثم عن أشكال خيالات الكرية المحدبة

ويمضى ابن الهيثم إلى شرح أشكال خيالات المبصرات في حالات وأوضاع  
مختلفة ، ويخرج من بحوثه بحكم إجمالي يتلخص في أن خيالات المبصرات  
المستقيمة في المرايا الكرية المحدبة مقوسة ، إلا إذا كان المبصر خطاً مستقيماً  
على امتداد قطر من أقطار المرآة . ولما كانت نتائجها كلها مستنبطة من قاعدته  
في تعيين خيال النقطة فليس لها في الواقع صفة التعميم الذي ذهب إليه . فهي  
صحيحة على شرط هو أن يقتصر في مراعاة الانعكاس على الأشعة المحورية .  
أو بتعبير آخر أن يكون طرفا المبصر قريبين جداً مما نسميه الآن محور المرآة  
وأن لا يتجاوز اتساع سطح المرآة جزءاً صغيراً من سطح كرة المرآة يحيط  
بقطبها .

واستقامة الخيال إذا كان المبصر خطاً مستقيماً يمتد على سمت قطر من  
أقطار المرآة نتيجة تنتج رأساً من قاعدته إذ أن امتداد القطر هو خط الخيال  
لجميع نقاط المبصر فيكون الخيال كما اتضح في فقرة ( ١٧٦ ) مستقيماً أصغر  
من المبصر نفسه .

وهو لبيان تقوس خيالات المبصرات المستقيمة التي تعترض قطر المرآة  
يتناول بالبحث بضع حالات متتالية ينتقل بتتبعها خطوة بعد خطوة إلى  
الغايات التي يريدتها .

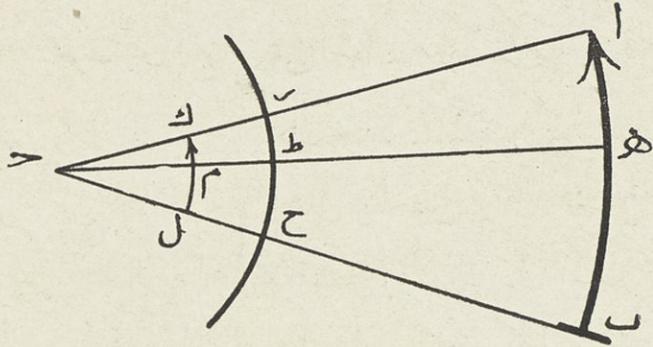
وسنتناول فيما يلي بالشرح أهم هذه الحالات والتعليق عليها .

### ١٧٩ - بحوث ابن الهيثم عن أشكال الخيالات إذا كان المبصر قوساً من

دائرة مركزها مركز المرآة

نتناول هنا بحوث ابن الهيثم عن شكل الخيال إذا كان المبصر قوساً من دائرة

مركزها مركز المرآة ويحيط طبعاً بسطحها أو بجزء من سطحها من الخارج (١).  
وليكن المبصر القوس ١ ب (شكل ١٤٤) ومركز المرآة ح وليقطع  
مستوى ١ ب ح كرة المرآة على عظيمة . نأخذ أية نقطة مثل ه على المبصر



(شكل ١٤٤)

ونصل ١ ح و ١ ه و ١ ب ح و لتلق هذه المستقيمات محيط العظيمة على  
س ١ ط ١ ح على الترتيب .

فنحن نعلم الآن إنه إذا روعيت الأشعة المحورية اتضح أن خيال ١ نقطة  
مثل ك على ١ ح بحيث يكون

$$\frac{١ ح}{ك ح} = \frac{١ س}{س ك}$$

وخيال ه نقطة مثل م على ١ ه بحيث يكون

$$\frac{١ ه}{م ه} = \frac{١ م}{م ط}$$

وخيال ب نقطة مثل ل على ١ ب بحيث يكون

$$\frac{١ ب}{ل ب} = \frac{١ ح}{ل ح}$$

وبما أن ١ ح = ١ ه = ١ ب ،

$$١ س = ١ ه = ١ ط = ١ ب ح ،$$

$$\frac{\text{ك} > \text{م}}{\text{م} > \text{ط}} = \frac{\text{ل} > \text{ح}}{\text{ل} > \text{ح}}$$

ونظرا لأن أنصاف الأقطار متساوية

$$\text{ك} > \text{م} = \text{ل} > \text{ح}$$

وإذن تقع نقاط الخيال ك م ل على قوس من دائرة مركزها ح .

فيكون خيال المبصر ا ه ب قوسا محدبة ك م ل حدبتها تلى سطح المرآة .

غير أن ابن الهيثم لا ينظر إلى المسألة بمثل هذه السهولة التي تتيحها

الفروض التي تتفق وما يصح معه تطبيق القاعدة ، بل نراه يعقد البحث تعقيدا

وإن كان له ما يبرره فليست قاعدته الاداة الصحيحة التي تصلح له . فهو على

حسب عاداته يفرض البصر موجودا في نقطة ويجعلها خارج مستوى الشكل ،

ولتوهمها عند د . ويصلها بمركز المرآة ويعتبر أولا الحالة التي يكون فيها

الواصل د ح عمودا على مستوى الشكل ففي هذه الحالة تكون الأبعاد الزاوية

بين مركز البصر وبين جميع نقاط المبصر واحدة فتكون خيالات هذه النقاط

متساوية الأبعاد عن مركز المرآة كما اتضح في المقدمات .

ثم يراعى الحالة التي لا يكون فيها د ح عموداً على مستوى الشكل ،

حيث لا تكون الأبعاد الزاوية متساوية ويطيل<sup>(١)</sup> في شرحها . وتتلخص

الفكرة الأساسية فيما يأتي :

إذا أسقطنا من نقطة د ، المتوهمة عموداً على مستوى الشكل فهو يلقاه في

نقطة وتكن ع شكل (١٤٥) فالزاوية المحصورة بين د ح ع هي أصغر

الزوايا المحصورة . بين د ح وبين أى مستقيم آخر في مستوى الشكل يخرج

من نقطة ح .

فاذا فرضنا المبصر ا ه ب في جهة واحدة من ح ع سواء كان

ح ع لا يلتقي ا ب كما هو مبين بالشكل أو يلقاه على طرفه ا دون أن

(٢) و (٢١) — و (٢٥) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

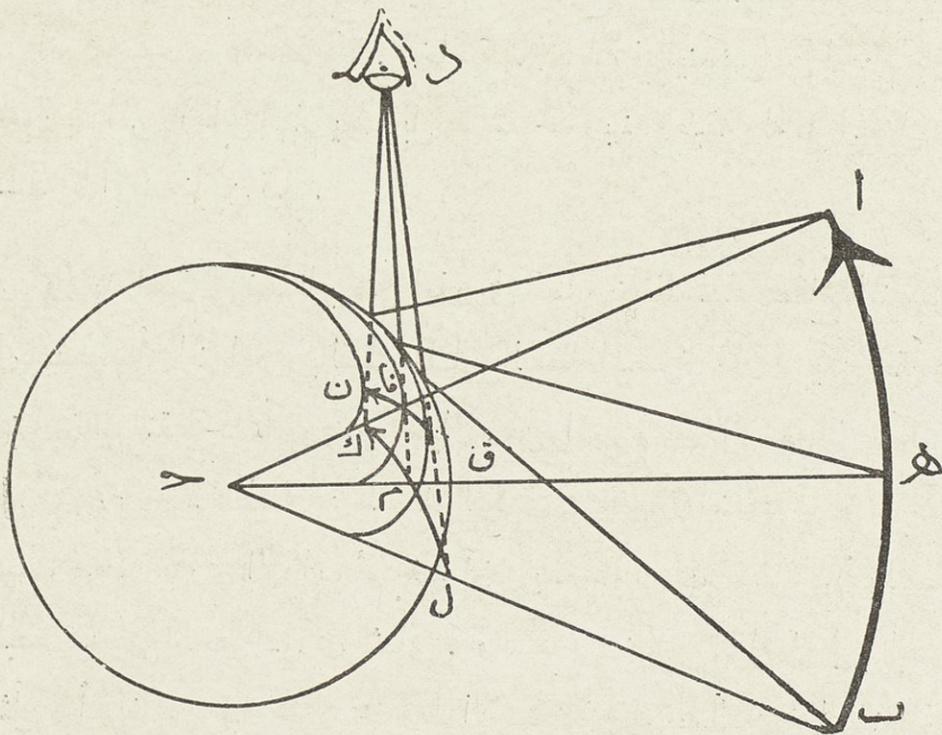


مركز المرآة ، أى تبين أن الخيال لا يحتفظ بصورة المبصر على ما هي عليه في الواقع .  
 وابن الهيثم يمس في هذه البحوث موضوع تشوه الخيالات من جراء انعكاس  
 الأشعة من أجزاء من السطح بعيدة عن مواقع الأعمدة الواقعة على السطح  
 من النقاط المبصرة الصادرة منها تلك الأشعة . والأشعة التي من هذا القبيل هي  
 التي يتكون منها ما يعبر عنه الآن بالحزمة غير المحورية . وهي بعد انعكاسها  
 عن السطح الكرى تنعكس على هيئة حزمة « لا نقطية » مهما بلغ من الصغر  
 مساحة الجزء الذي تنعكس عنه . فخيال أية نقطة مضيئة يدرك بانعكاس هذه  
 الأشعة غير المحورية لا يكون نقطة . وابن الهيثم لا يراعى علاقة هذا الأمر  
 بالخيال في هذه البحوث ولكنه يعالج فعلاً شرح حالات ، الانعكاس فيها  
 هو انعكاس حزم غير محورية . وخاصة اللانقطية فيما ينعكس من الحزم غير  
 المحورية أمر كان ابن الهيثم يعلمه بل هو شرحه وبينه وطبقه وله كل الفضل في  
 كشفه كما أوضحنا من قبل .

ولابن الهيثم في نظرنا بعض العذر في العناية بنقطة التقاء الشعاع المنعكس  
 إلى البصر ( أو امتداده ) بالقطر المار بالنقطة المبصرة وإن لم يكن محقاً في  
 اعتبار تلك النقطة دائماً موضع الخيال . فمن المعلوم أن الأشعة التي تنعكس  
 على هيئة حزمة لا نقطية عن السطح الكرى تمر هي أو امتداداتها أولاً بخط  
 يسمى الخط البؤرى الأول ، ثم بخط آخر يقع على سمت القطر المار بالنقطة  
 المبصرة يسمى الخط البؤرى الثانى . والشعاع المنعكس الواصل إلى البصر  
 يمثل كما أشرنا من قبل محور مخروط الأشعة التي ترى به العين خيال النقطة .  
 فالنقطة التي يليق عندها هذا الشعاع أو امتداده القطر هي موضع النقطة  
 المتوسطة من الخط الثانى . ولما كان مخروط الأشعة التي يقع على العين ضيقاً  
 جداً كان امتداد الخط البؤرى على القطر صغيراً جداً . فابن الهيثم إذ يعنى بتعيين  
 هذه النقطة يعنى من وجهة نظرنا الآن لا بتعيين موضع الخيال كما يقول وإنما  
 بتعيين موضع الخط البؤرى الثانى . وليس بضاره أننا في دراستنا في الوقت  
 الحاضر نعنى بتعيين بعده عن نقطة الانعكاس من السطح ، لأن ذلك أنسب

وأليق ، في حين أنه يُعنى في بحوثه بتعيين بعد تلك النقطة عن مركز المرآة .  
ويجدر بنا هنا أن نمحص بإيجاز النتائج التي توصل إليها ابن الهيثم من  
بحوثه عن أشكال خيال القوس التي مركزها مركز المرآة لكي يتبين مبلغ بعد  
تلك النتائج عن الصواب أو مبلغ قربها منه .

فقد اتضح فيما سبق أن موضع خيال النقطة الذي يدرك بانعكاس الأشعة  
اللامحورية لا يقع على العمود الخارج من تلك النقطة على السطح وإنما على  
السطح الغلافي . فإن فرضنا بسهولة الشرح أن مركز البصر نقطة  $د$   
(شكل ١٤٦) في مستوى دائرة القوس  $ا ه ب$  فإن خيال  $ا$  يكون بالتقريب



( شكل ١٤٦ )

نقطة مثل  $ن$  حيث يمس محور مخروط الأشعة المنعكسة إلى العين المنحني  
الغلافي لامتدادات الأشعة المنعكسة في مستوى الشكل والواردة من نقطة  $ا$  .  
وبالمثل يكون خيال  $هـ ب$  نقطتين مثل  $ف ق$  نظيرتين لنقطة  $ن$  .  
ومنه يتضح أن خيال  $ا ه ب$  هو  $ن ف ق$  ، وهو قوس محدبة حذبها  
تلى السطح العاكس ولكنها ليست قوساً من دائرة مركزها  $ب$  . فالنتيجة

خيال المبصر المستقيم الذي يعترض الكرية المحدية ولا يلقى امتداده أو يماس سطحها ٦٤٩

وإن كانت من الناحية الوصفية لا تختلف عما يقوله ابن الهيثم فإن هناك في الحقيقة وجوه اختلاف .

أولاً - أن القوس ن ف ق ليست هي القوس ك م ل التي كل نقطة منها هي نقطة التقاء امتداد المنعكس إلى العين بالواصل من المركز إلى النقطة المبصرة كما زعم ابن الهيثم .

ثانياً - أن خيال أية نقطة من المبصر مثل ١ ليست نقطة مفردة مثل ن أو مثل ك كما يزعم ابن الهيثم .

ثالثاً - أن الخيال ن ف ق وإن كان قوساً في مستوى دائرة ١ ه ب فإنه لو كان مركز البصر خارجاً عن مستوى هذه الدائرة فإن خيال كل نقطة من المبصر يمكن اعتباره عند النقطة التي يمس عليها الخارج من مركز البصر السطح الغلافي للأشعة المنعكسة الواردة قبل الانعكاس من تلك النقطة المبصرة . والسطح الغلافي بالنسبة لنقطة ١ مثلاً هو الحادث من دوران قوسها الغلافي المبين في الشكل حول ١ > دورة تامة . وهو بالنسبة لنقطة ه هو الحادث من دوران قوسها الغلافي المبين في الشكل حول ه > دورة تامة .

وهكذا . فنقاط التماس لا تقع في مثل هذه الحالة في مستوى ١ ه ب . في حين أن قوس ك م ل وهي خيال ١ ه ب في زعم ابن الهيثم تقع دائماً في مستوى دائرة ١ ه ب .

هذا بإيجاز بيان للأخطاء التي وقع فيها ومصدرها جميعاً تطبيق قاعدته المحدودة تطبيقاً عاماً .

١٨١ - بحوث ابن الهيثم عن شكل خيال المبصر المستقيم الذي

يعترض المرآة الكرية المحدية ولا يلقى امتداده أو يماس سطحها

اتضح مما سبق كيف بين ابن الهيثم أن المبصر إذا كان قوساً من دائرة مركزها مركز المرآة يكون خياله قوساً محدبة حديتها تلي سطح المرآة ، وقد سبق



خيال المبصر المستقيم الذي يعترض الكرية المحدبة ويلقى امتداده سطحها أو يماسه ٦٥١

حدبتها تلي سطح المرآة، اتضح أن خيال المستقيم  $ا ه ب$  قوس محدبة ولكنها أشد تحديبا من خيال  $ا ه ب$  وحدبتها أيضاً تلي سطح المرآة. ومنه يتضح أيضاً أن خيال الجزء  $ا و$ ، من المستقيم  $ا ب$ ، قوس محدبة تلتقي عند أحد طرفيها مع القوس التي هي خيال  $ا ه$ ، وطرفها الآخر أبعد عن مركز المرآة من خيال  $ه$ .

كذلك إذا فرضنا أن المبصر قوس في مستوى الشكل كقوس  $ا ح ب$  من دائرة مركزها خلف مركز المرآة، أمكن من مركز الكرة  $ح$  إخراج مستقيمين  $ا ٦$  و  $ا ٧$  متساويين ينتهيان إلى محيطها. فاذا رسمت الدائرة التي مركزها  $ح$  ونصف قطرها  $ا ٦$  وأخرجنا المستقيم  $ح$  حتى يقطع محيطها على  $ه$ ، اتضح بالبرهان نفسه أن خيال القوس  $ا ح ب$  تكون قوساً محدبة حدبتها تلي سطح المرآة، وتكون أشد تحديباً من خيال  $ا ه ب$  ولكنها أقل تحديباً من خيال المستقيم  $ا و ب$ .

بمثل هذا البرهان (١) يبين ابن الهيثم فعلا هذه الأمور. والبرهان سليم لا شبهة فيه مادامت مقدمته أو أصله سليمين.

١٨٢ - بحوث ابن الهيثم عن شكل فبال المبصر المستقيم الذي

يعترض المرآة الكرية المحدبة ويلقى امتداده سطحها أو يماسه

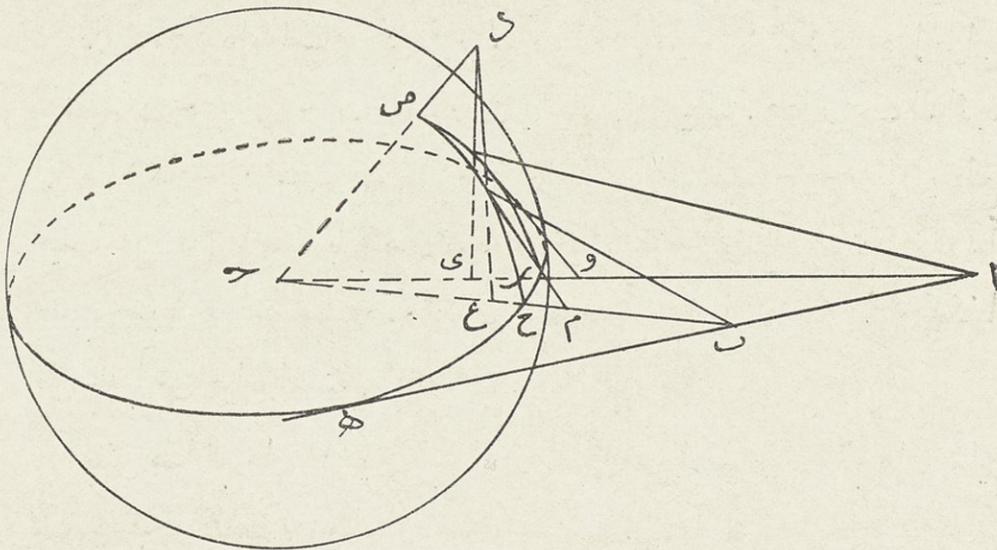
طريقة ابن الهيثم في معالجة هذه الحالة وشرحها (٢) طريقة نعرضها فيما يلي ملتزمين رموزه في البرهان وموضحين ذلك بشكلين لتبيان ما أراد.

فليكن مركز المرآة  $ح$  (شكل ١٤٨) وليكن  $ا ب$  جزءاً من المبصر المستقيم وليكن المبصر ممتداً من جهة  $ب$  بحيث يلقي سطح المرآة أو يماسه على نقطة  $ه$ . وليكن  $د$  مركز البصر. وليلق  $ا ح$  سطح المرآة على  $س$ ، وليلق  $د ح$  سطحها على  $ص$ . فنقطة  $ا$  تنعكس إلى  $د$  في مستوى  $ا ح د$ ،

(١) و (٤٥) و (٤٧) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر.

(٢) و (٤٧) و (٥١) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر.

ونقطة الانعكاس تكون على محيط الدائرة العظيمة التي يلقى عليها هذا المستوى سطح المرآة وتقع على قوس منها طرفاها نقطتا  $\alpha$  و  $\beta$  . والمماس من نقطة الانعكاس للقوس المذكورة في المستوى المذكور يلقى  $\alpha$  على نقطة  $\gamma$  ولتكن  $\delta$  وفيما بين  $\alpha$  و  $\beta$  . وامتداد المنعكس إلى  $\delta$  يلقى  $\alpha$  على نقطة  $\epsilon$  ولتكن  $\zeta$  تكون هي خيال  $\alpha$  بالنسبة إلى البصر  $\delta$  .



( شكل ١٤٨ )

وبالمثل إذا رمز لنقطة التقاء  $\alpha$  بسطح المرآة بالحرف  $\gamma$  فنقطة  $\beta$  تنعكس إلى  $\delta$  في مستوى  $\beta$  و  $\delta$  ، وتقع نقطة الانعكاس على القوس  $\gamma$  من محيط العظيمة التي يلقى عليها هذا المستوى سطح المرآة . والمماس لهذه القوس من نقطة الانعكاس في المستوى المذكور يلقى  $\beta$  على نقطة  $\epsilon$  ولتكن  $\zeta$  فيما بين  $\beta$  و  $\gamma$  ، كما أن امتداد المنعكس يلقاه على نقطة ولتكن  $\delta$  ، تكون هي خيال  $\beta$  بالنسبة إلى البصر  $\delta$  .

فاذا أخرج مستوى لخطين  $\alpha$  و  $\beta$  فهو يقطع سطح المرآة على عظيمة ولتكن هي الدائرة المبينة بشكل ( ١٤٩ ) ، ولتكن نقطة  $\mu$  هي نهاية المماس من نقطة انعكاس  $\beta$  إلى  $\delta$  . فاذا أخرج من نقطة  $\mu$  مماساً للدائرة يماسها من جهة  $\epsilon$  على نقطة ولتكن  $\nu$  ، فامتداد  $\mu$  ف من جهة  $\mu$  يلقى



وبما أن القوس ح ش (شكل ١٤٩) تساوى القوس ح ص (شكل ١٤٨) تكون القوس مر ش (شكل ١٤٩) أعظم من قوس ص مر (شكل ١٤٨) .  
 فاذا أخرج نصف القطر > ظ (شكل ١٤٩) من جهة ه أيضاً بحيث تكون

$$\Delta 1 > \Delta 2 = \Delta 3 > \Delta 4 ,$$

فان نقطة ظ تقع حتماً بين نقطتي ح و ش كما هو مبين بشكل (١٤٩) .  
 ولنخرج > ظ إلى ن بحيث يكون  
 $\Delta 5 = \Delta 6 = \Delta 7 > \Delta 8 ,$

ويقول ابن الهيثم بلفظه « فالدائرة التي تدار على مركز > ويبعد > ل تمر بنقطة ن ويكون خط ( ن ف )<sup>(١)</sup> في داخل تلك الدائرة . فخط > ن يقطع خط ل ف ، إذا كانت نقطة ظ فيما بين نقطتي ف و ش . فليقطع خط > ن خط ل ف على نقطة ض »<sup>(٢)</sup> .

ويبرهن ابن الهيثم بعد ذلك على أن نقطة انعكاس ١ إلى ن تقع حتماً بين نقطتي مر و ف ، ويقول « وذلك أن الخط الخارج من نقطة ن إلى نقطة ف إذا انعكس على زوايا متساوية فإنه يقع خارجاً عن خط ف ب ، فهو يقطع خط ب ط فيما بين نقطتي ب و ط ، فليس يلقى هذا الخط نقطة ١ . وكل نقطة من قوس ف ظ إذا خرج إليها خط من نقطة ن فهو يقطع خط ف ض ، فاذا انعكس ذلك الخط إلى نقطة ١ فهو يقطع خط ب ف ، إما على خط ب ف نفسه وإما إذا أخرج ف ب على استقامة في جهة ب . فتكون نقطة التقاطع التي على خط ب ف (ونقطة)<sup>(٣)</sup> التقاطع التي على خط ف ض نقطتين وقد خرج منهما خطوط إلى الدائرة

(١) في الأصل « ل ف » وهو تحريف إذ لا يؤدي المقصود .

(٢) و (٤٨) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

(٣) في الأصل « ويقطعه » وهو تحريف . وغير ذلك بعض أخطاء لم نجد لزوماً

للاشارة إليها .

خيال المبصر المستقيم الذي يعترض الكرية المحدبة ويلقى امتداده سطحها أو يماسه ٦٥٥

وانعكست على زوايا متساوية من نقطتين إحداها نقطة ف ، والأخرى النقطة التي فيما بين نقطتي ف و ظ . وهذا محال ،<sup>(١)</sup> . ويحيل ابن الهيثم بيان المحال إلى حكمه الذي أوردناه في فقرة (٩٧) من الجزء الأول من هذا الكتاب بعنوان الحكم الثالث ، وإن كان الأليق أن يحال ذلك إلى حكمه الأول الذي بيناه في فقرة (٩٥) .

وإذن تكون نقطة انعكاس ١ إلى ن نقطة على قوس م ر ف ، وإذن إذا أخرج المماس من نقطة الانعكاس وقع حتماً بين المماس م ف وبين محيط الدائرة .

ونظراً لأن أوضاع النقاط ١ ، ٦ ، ٦ ، ن من الدائرة العظيمة في مستوى شكل (١٤٩) هي بالضبط كأوضاع النقاط ١ ، ٦ ، ٦ ، د من الدائرة العظيمة التي يلقي عليها مستوى ١ ، ٦ ، د سطح كرة المرآة ، فنقطة انعكاس ١ إلى ن يكون بعدها من م كبعد نقطة انعكاس ١ إلى د من م ر . وإذن المماس من نقطة انعكاس ١ إلى ن يلقي المستقيم ١ ، ٦ على النقطة و نفسها التي يلقي عليها المماس من نقطة انعكاس ١ إلى د هذا المستقيم . وأيضاً امتداد المنعكس من ١ إلى ن يلقي المستقيم ١ ، ٦ على نقطة التي هي خيال ١ بالنسبة إلى البصر د .

وبما أن هذا المماس يقع بين م ف وبين محيط الدائرة فنقطة و هذه تقع حتماً بين نقطتي س ٦ م كما هو مبين بشكل (١٤٩) .

فإذا وصل و م ، ومد من جهة م فهو يلقي حتماً امتداد ١ ب على نقطة ولتكن ك . فإذا وصل ي ع ومد على استقامته ، فنظراً لأن

$$\frac{١}{٦} = \frac{١}{٦} \quad \frac{١}{٦} = \frac{١}{٦}$$
$$\frac{١}{٦} = \frac{١}{٦} \quad \frac{١}{٦} = \frac{١}{٦}$$

٦ و م يلقي امتداد ١ ب على نقطة ك ، اتضح من المقدمات أن امتداد

(١) و (٤٨) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

ي ع يمر بنقطة ك نفسها ، أى أن الواصل بين خيالى ١ ٦ ب بالنسبة إلى  
بصر د يلقى امتداد ١ ب على النقطة ك .

فإن فرضنا أن ك هى نهاية المستقيم المبصر فان خيال ك بالنسبة إلى بصر د  
يقع حتما بين ك وبين المركز ح على تصارييف الأحوال . فاذا رمزنا لموضع  
الخيال بالحرف ق ، يكون خيال المبصر ١ ب ك بالنسبة إلى بصر د ، هو  
ي ع ق ، ويكون مقوساً حدبته تلى ١ ب ك ، أياً كان موضع ق على  
خط ك ح .

ذلك هو بالتفصيل برهان ابن الهيثم على تقوس الخيال فى حالة المبصر  
المستقيم المعترض للمرأة الذى يلقى امتداده سطح المرأة أو يماسه .

ولو أن ابن الهيثم نص فى أقواله على أن يخرج المماس من نقطة م  
( شكل ١٤٩ ) إلى جهة ه ، وتخير هذا الوضع ، فان برهانه فى جوهره  
يصح أيضاً على الوضع الآخر الذى يكون المماس فيه خارجاً إلى الجهة الأخرى .  
ولعل هذه الطريقة التى عالج بها ابن الهيثم هذا الموضوع من خير الوسائل  
التي يتيسر بها شرح انعكاس نقطتين مثل ١ ٦ ب إلى نقطة ثالثة لا تقع فى  
المستوى الذى يشمل النقطتين ومركز المرأة بل تكون خارجة عنه .

### ١٨٣ - نبذة عامة عن بحوث ابن الهيثم عن أسطال خيالات الكرية المحرّبة

تخيرنا فيما سبق أمثلة من مباحث ابن الهيثم فى أشكال خيالات المبصرات  
فى المرأة الكرية المحدبة كان غرضنا منها أن نوضح الفكر الأساسية التى نهج  
عليها فى تلك المباحث ، ونبين بها وجهة نظره ، ونحاول أن نبين الى أى مدى  
تتفق وجهة نظره وتتفق النتائج التى توصل اليها ، والمعلومات التى أخذت  
تترى وتتراكم من بعده . وقد ضمّنا تلك الأمثلة أن يكون مركز البصر  
خارجاً عن المستوى الذى يشمل المبصر ومركز المرأة لأن ابن الهيثم نفسه  
يعد وجود البصر على هذه الصفة هو ما يعرض فعلاً فى أكثر الأحوال  
والأوقات ، حتى اذا فرضنا الوضع النادر الذى يتصادف فيه أن يكون مركز  
البصر فى ذلك المستوى فان دوام هذا الوضع وقتاً مقتدرأ ليس كبير الاحتمال .

وعناية ابن الهيثم بالإشارة إلى هذا الأمر<sup>(١)</sup> تبين الناحية الخاصة من تفكيره تلك الناحية التي تضطره إلى أن يتجرى في بحوثه وفي الموضوعات التي يعالجها ما كان منها مطابقاً للواقع أو ما كان منها يعرض لا في الأحوال النادرة بل في أغلب الأحوال وأكثر الأوقات.

وهو على الرغم من ذلك يتناول أمثلة من هذه الحالات النادرة ويبين كيف يحدث أحياناً ألا يدرك البصر خيال المبصر البتة. وكيف يحدث أن يدرك خيال المبصر وهو خط مستقيم نقطة مفردة، وكيف يحدث أن يدرك خياله مجتمعاً شديد الاجتماع فلا يتميز للبصر، وكيف يحدث أن يدركه محدباً ولكن تحدبه في هذه الحالة يكون أقل من تحدبه إذا كان مركز البصر خارجاً عن المستوى المذكور، وما إلى ذلك.

ولكننا نجد أن مباحثه مقصورة على الحالات التي يكون فيها خيال المبصر بوجه عام محدباً وتحدبه يلي سطح المرآة. وسيأتي بحوثه في هذا الموضوع تدل (وإن لم يكن هو نفسه قد ذكر ذلك أو أشار إليه) على أن الغاية التي يرمى إليها في هذه البحوث هي بيان تقوس خيال المبصر المستقيم. فلم يراع من حالات المبصرات المقوسة إلا الحالات التي تصلح على القدر اللازم لتمهيد السبيل إلى الغاية التي يريدتها.

وإلا فمن الجائز أن يكون المبصر مثلاً قوساً محدبةً تحدبها تلي سطح المرآة ويدرك خياله مستقيماً. ومن الجائز أن يكون قوساً مقعرةً شديدة التقعير فيدرك خياله قوساً مقعرةً تقعرها يلي سطح المرآة لا قوساً محدبةً تحدبها يلي سطح المرآة كما في الحالات التي ذكرها. وواضح أنه يمكن على أساس طريقته التي عالج بها الحالات السابقة بيان هذه الحالات وسواها وشرحها جميعاً.

١٨٤ - بحوث ابن الهيثم عن عظم الخيالات التقديرية التي ترى في المرآة

الكرية المقعرة

وينهج ابن الهيثم في بحوثه عن عظم خيالات المبصرات التي يدر كها البصر في المرآة الكرية المقعرة على المنوال السابق نفسه ، ونجده في هذه البحوث قد استطاع أن يستعرض الموضوع بحيث يلم بنواحيه المختلفة . فتضمنت بحوثه كما أشرنا من قبل الحالات التي يكون فيها الخيال « تقديرياً » والحالات التي يكون فيها « حقيقياً » والحالات التي يكون فيها مكبراً والحالات التي يكون فيها مصغراً أو مساوياً للبصر نفسه .

ونحن في عرض هذه البحوث هنا نقسمها قسمين نتناول في الأول ما ينطوى منها على معنى الخيال التقديرى وتتناول في الثانى ما ينطوى منها على معنى الخيال الحقيقى .

وأول ما يتناوله ابن الهيثم من حالات الكرية المقعرة فى كتاب المناظر الحالة التي يتكون للبصر فيها خيال تقديرى<sup>(١)</sup> ويبين فى هذه الحالة أن الخيال يكون مكبراً ويكون مستويًا غير منكوس ويعين فعلا الوضع الذى يجب أن يكون فيه المبصر نفسه لكي يتسنى رؤية هذا الخيال .

ويسلك فى بيان هذه الأمور طريقته الخاصة . فلنفرض أن دائرة ب و ح (شكل ١٥٠) عظيمة على كرة المرآة ومركزها نقطة ا ونصف قطرها ا و . ننصف ا و على ع ونرسم دائرة مركزها ا ، ونصف قطرها ا ع . ونأخذ أية نقطة مثل ط على و ع ونرسم منها المماسين ط ه و ط س . يمسان الدائرة الثانية على ه و س ، ثم نصل ا ه ، ونخرجه حتى يلقى محيط عظيمة المرآة على ب ، ونصل ا س ، ونخرجه حتى يلقاه على ج . ونقيم من ط العمود م ط ن على ا و ، ونرسم من ب المستقيم ب م موازيا ا و ، ويليق هذا العمود على م ، وكذلك نرسم من ح المستقيم ح ن

(١) و (٩٤) - و (٩٧) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

موازيا أو ، وليلق العمود المذكور على ن فإن أخرج ا م و ط ب التقيا  
على ف ، وإن أخرج ا ن و ط ح ، التقيا على ق والمثلثان ط ه ب  
و ط ه ا متطابقان ،

فتكون

$$\Delta ط ب ا$$

$$= \Delta ط ا ب$$

$$= \Delta م ب ا$$

فيتضح أن م تنعكس

من ب إلى ط .

وبالمثل ن تنعكس

من ح إلى ط .

فإن كان البصر عند

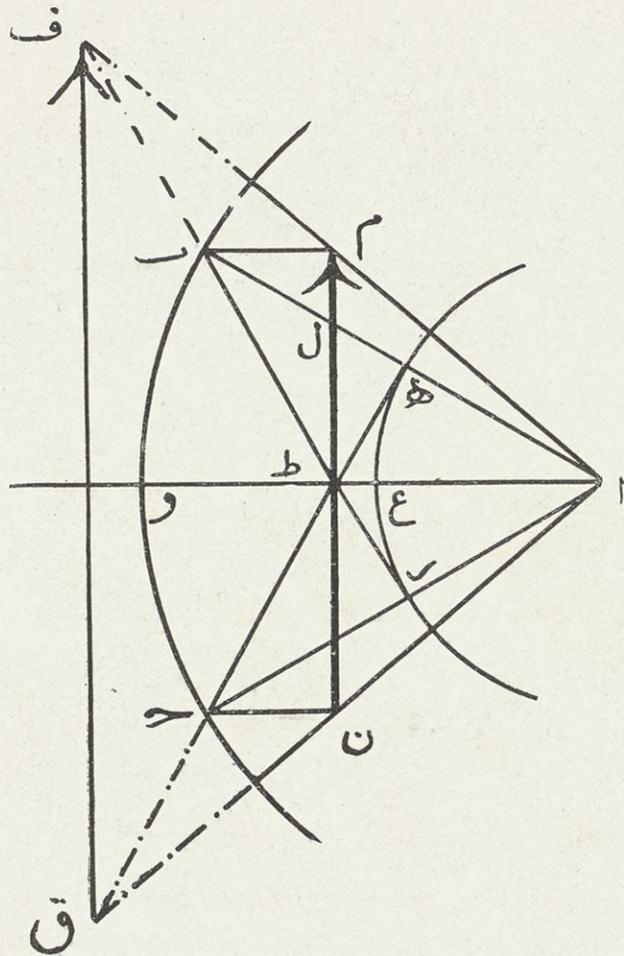
ط فنظراً لأن ا م ف

هو امتداد قطر المرآة المار

بنقطة م و ط هو

شعاع منعكس إلى ط

فنقطة التقاءهما وهي ف



( شكل ١٥٠ )

تكون وفقاً لقاعدة ابن الهيثم خيال نقطة م .

وبالمثل تكون نقطة ق خيال نقطة ن .

فإن كان م ن مبصراً تكون نقطتا ف و ق خيالي طرفيه م و ن

على الترتيب .

تلك بايجاز فكرة ابن الهيثم .

وهو يعني في شرحه بأمرين أحدهما إثبات أن امتدادى ا م و ط ب

يلتقيان فعلاً وإن امتدادى ا ن و ط ح يلتقيان فعلاً .

وذلك لأنه إذا رمزنا لنقطة تقاطع ا ب و م ط بالحرف ل اتضح

أن مثلث ل ط ا قائم الزاوية في ط ، فزاوية ا ل ط حادة ، فزاوية ب ل ط منفرجة ، فالضلع ب ط في مثلث ب ل ط أعظم من ب ل والضلع ب ل ( في مثلث ب ل م القائم الزاوية في م ) أعظم من ب م . إذن ب ط أعظم من ب م .

وبما أن ب ط = ا ط لتطابق المثلثين ب ط ه و ا ط ه تبين أن ا ط أعظم من ب م وإذن ا م و ط ب إذا أخرجنا حتما يلتقيان . وبالمثل فيما يختص بالمستقيمين ا ن و ط ح .  
والأمر الثاني إثبات أن المستقيم الواصل بين ف و ق يوازي الواصل بين م و ن .

$$\text{وذلك لأن } \frac{ف م}{ف ا} = \frac{ب م}{ب ا} = \frac{ق ن}{ق ا} > \frac{ا ط}{ا ن}$$

ومن السهل إثبات أن ب م = ح ن ، فينتج

$$\text{أن } \frac{ف م}{ف ا} = \frac{ق ن}{ق ا}$$

وإذن المستقيم الواصل بين ف و ق يوازي الواصل بين م و ن .

ويتضح من ذلك أن  $\frac{ف ق}{م ن} = \frac{ف ا}{م ا}$  ، وبما أن م واقعة بين ا و ف

يكون البعد بين نقطتي ف و ق أعظم من البعد بين نقطتي م و ن ، ويكون معنى ذلك أن البعد بين طرفي الخيال أعظم من البعد بين طرفي المبصر أي أن الخيال مكبر .

والبرهان لا يخلو من تعقيد وشيء من الالتواء كان من المتيسر تجنبهما سيما وابن الهيثم لا يشترط في وضع نقطة ط إلا أن تكون بين منتصف نصف القطر ا و ، وبين طرفه و . وهذا وحده لا يكفي للأغراض التي يتوخاها على الصفة التي يريدونها ، فإن كان المماسان الخارجان من نقطة ط للدائرة الصغرى يصنعان مع ا و زاوية أصغر من نصف قائمة فالمستقيمان ب ط و ح ط يلتقيان الموازيين من ب و ح على الترتيب خارج محيط دائرة المرآة

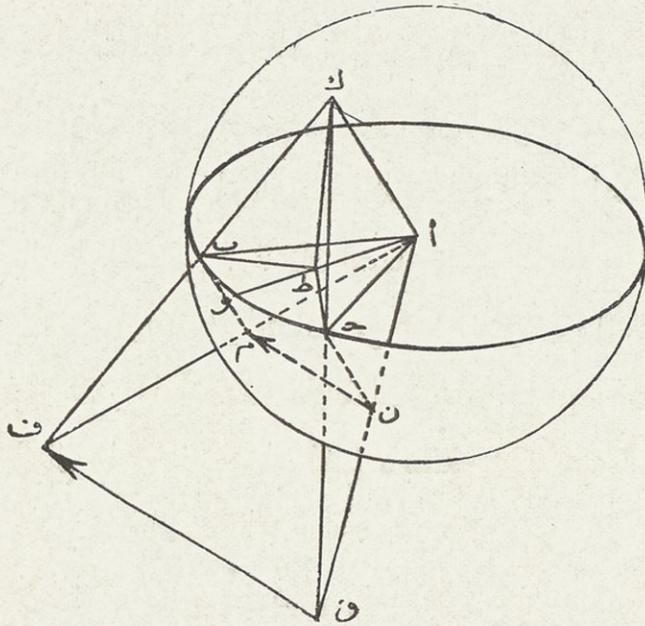
فلا تستقيم الأغراض التي يتوخاها ابن الهيثم. وإن كانت كل من تينك الزاويتين نصف قائمة فالعمود م ط ن يمر بنقطي ب و ح. وأيضاً فليس شرط أن تكون كل من تينك الزاويتين أعظم من نصف قائمة يكفي وحده لحسابان المستقيم ف ق خيالاً للمستقيم م ن لأنه إن كانت النقطتان ب و ح بعيدتين بعداً مقتدرأعن و فالمستقيم ف ق يقطع أو يماس محيط دائرة المرآة.

ولكن على الرغم من ذلك فإن الشرح يتضمن أموراً لا تزال في الوقت الحاضر نعمل بها وندرسها لطلبة مدارسنا كقواعد تتبع لتعيين خيال المبصر بالرسم الهندسي. فاتخاذ الشعاع الذي يسقط موازياً للمحور والشعاع الذي يسقط ماراً هو أو امتداده بمركز كرة المرآة، واشتراط أن يكون موضع المبصر على محور المرآة بعده عن القطب أصغر من ربع قطر المرآة، كل ذلك متضمن في البرهان. غير أن ابن الهيثم لا يستعين في توضيح تكون الخيال بمعنى البؤرة، ولا يتقيد بالأشعة المحورية. وهو علاوة على ذلك لا يبحث عن تكون الخيال في ذاته، ولا يريد أن يتصور خيالاً دون أن يتصور قبل ذلك البصر الذي يدرك الخيال، والتقيد بالناحية الشخصية يلجئه في هذه الحالة إلى أن يعد نقطة ط مركز البصر، وفرض ط مركزاً للبصر وإن صح نظرياً فهو فرض من الناحية العملية قد لا ييسر تحقيقه، إلا إذا أريد من هذه الحالة تبيان الكيفية التي بها يستطيع الناظر في المرآة الكرية المقعرة رؤية صورة وجهه مكبرة غير منكوسة.

ولعل ابن الهيثم وهو رجل يرمى النواحي العملية حق رعايتها لم يقنع في شرحه بالوقوف عند هذا الحد، فمضى يبين أن مثل هذا الخيال المكبر غير المنكوس الذي يدرك خلف السطح الكرى للمرآة يمكن أن يدركه البصر وهو في أوضاع أخرى غير نقطة ط<sup>(١)</sup>. وهو يبني شرحه هذا الأمر على الفروض الأولى التي ذكرها في البرهان السابق ويورد البيان في صيغة موجزة صحيحة تدعو في ذاتها إلى الإعجاب.

(١) و (٩٦) — و (٩٧) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر.

فلنفرض مركز المرآة  $ا$  ( شكل ١٥١ ) ونصف قطرها  $ا و$  ، وليكن  $ب و ح$  قوساً من محيط عظمة على كرة المرآة . ننصف  $ا و$  على  $ع$  ، ونأخذ نقطة  $ط$  على  $ا و$  بحيث يكون  $ا ط$  أعظم من  $ط و$  ، ونعيد العمل



( شكل ١٥١ )

السابق لتعيين وضعي

$ا ب و ا ح$  كما مر .

ثم نقيم من  $ط$  العمود

$ط ك$  على مستوى

العظمة ( أي مستوى

$ا ب و ح$  ) ، ونجعل

$ط ك$  حيثما اتفق ، ونصل

$ا ك$  ، ونرسم من  $ب$

المستقيم  $ب م$  موازياً

$ا ك$  ، ونجعله أصغر من

$ا ك$  ، ونخرج  $ا م و$

$ك ب$  ، فهما حتما يلتقيان وليكن على  $ف$  .

كذلك نرسم من  $ح$  المستقيم  $ح ن$  موازياً  $ا ك$  ونجعل  $ح ن$  مساوياً

$ب م$  ، ونخرج  $ا ن و ك ح$  فهما يلتقيان ، وليكن على  $ق$

ففي المثلثين  $ط ب ك و ط ا ك$

$ط ب = ط ا$  كما اتضح في البرهان السابق

$و ط ك$  مشترك  $و زاوية ط في كل قائمة$

فالمثلثان متطابقان .

وإذن  $ك ب = ا ك و ا ب = ا ك$  .

ولكن  $ا ك = ا ب = ا م$  ،

$\therefore ا ب = ا م = ا ك$  .

وهما في مستوى واحد ،

. . . نقطة م تنعكس من ب إلى ك .

وإذن تكون نقطة ف وهي نقطة التقاء امتداد المنعكس ب ك وامتداد القطر المار بنقطة م هي على حسب قاعدة ابن الهيثم خيال م ، بالنسبة إلى بصر مركزه ك . وبالمثل يتبين أن نقطة ق خيال ن بالنسبة إلى بصر مركزه ك .

وإذن البصر الموجود عند ك يدرك للبصر الذي طرفاه م و ن خيالاً طرفاه ف و ق .

وابن الهيثم يمضى بعد توضيح هذه الأمور لإثبات أن ف ق أعظم من م ن .

وهو يبين أيضاً أنه إذا أدير الشكل حول ١ و حدث من دوران ك محيط دائرة نصف قطرها ط ك ، ومستواها عمود على ١ و . وكل نقطة من محيط هذه الدائرة وضعها بالنسبة إلى الخط النظير لخط م ن ، كوضع ك بالنسبة إلى خط م ن في الشكل المرسوم . فإن كان البصر حيث تلك النقطة من محيط الدائرة أدرك خيال النظير لخط م ن تقديرياً معتدلاً مكبراً كما نقول الآن . ويلاحظ في هذا البرهان ان تكون الخيال التقديرى ف ق منوط بجعل ب م أصغر من ك ١ في العمل الهندسى . وأن فصل انعكاس م إلى ك من ب هو محيط العظيمة التي تحدث من التقاء مستوى مثلث ٢ ك ب بسطح كرة المرآة . وفصل انعكاس ن إلى ك من > هو محيط العظيمة التي تحدث من التقاء مستوى ١ ك > بسطح كرة المرآة ، ومستويا الانعكاس غير متطابقين .

١٨٥ - بحوث ابن الهيثم عن عظم الخيالات الحقيقية التي ترى في المرايا

الكرية المقعرة

ينهج ابن الهيثم في هذا القسم أيضاً من بحوثه طريقة أساسها قاعدته في تعيين خيال النقطة ولكن الطريقة التي يتبعها (١) لبيان أن الخيال قد يكون

(١) و (٩٧) - و (٩٩) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .



٦ د ب ا ه = د ا ه ، لأن كلا منهما هي الباقية بعد المنفرجة من قائمتين ، فالمثلثان متطابقان .

واذن د ه ب ا = د ه ا .

ومنه يتبين أن المستقيم ا ب ينصف زاوية ه ب ك كما ينصف المستقيم ا ه زاوية ه ب ك .

واذن يتبين أن ه تنعكس من كل من ح ب إلى ك .

نرسم في مستوى ك ب ه المستقيم ا ف عموداً على ا ب ، ويليق ب ك على ف ، وإذا أخرج في جهة ا فهو يلقى ب ه وليكن على م . ونقطة ف هي نقطة التقاء الشعاع الوارد من م بعد انعكاسه من نقطة ب بالقطر المار بنقطة م . فنقطة ف بحسب القاعدة هي خيال م بالنسبة إلى بصر ك . كذلك نرسم في مستوى ك ح ه المستقيم ا ق عموداً على ا ح فهو يلقى ح ك وليكن على ق ، وإذا أخرج في جهة ا فهو يلقى ح ه وليكن على ن ، وتكون أيضاً نقطة ق خيال ن بالنسبة إلى بصر ك .

وابن الهيثم يرى أنه إذا كانت نقطتا م ب ن طرفي مبصر ، تكون نقطتا ف ب ق طرفي خياله بالنسبة إلى بصر ك ، ويلاحظ في هذه الحالة أن موضع الخيال أمام السطح الكرى للسرآة لا خلفه ، وإنه إذا كان المبصر م ن معتدلاً ( أو مستويّاً على حسب تعبير ابن الهيثم ) كان الخيال ف ق منكوساً ( أو مقلوباً على حسب اصطلاحنا الشائع ) .

وفي المثلثين ب ا ف و ب ا م ، ا ب مشترك وزاوية ا في كل قائمة ، وزاويتا ب فيها متساويتان ، فالمثلثان متطابقان .

واذن ا ف = ا م .

وكذلك ا ق = ا ن .

واذن المثلثان ا ف ق و ا م ن متطابقان .

واذن ف ق = م ن ويوازيه .

فالخيال والمبصر متساويان ومتوازيان . أو بالأحرى الواصل بين طرفي المبصر والواصل بين طرفي الخيال كذلك .

وأيضاً يلاحظ أن بعد نقطة م عن ب يساوي بعد ف وهي خيالها  
عن ب وبالمثل بعد ن عن ح كبعد ق عن ح .

وواضح أن هذا الذي أراده ابن الهيثم هو تبيان الحالة التي يكون فيها بعد  
خيال كل من طرفي المبصر عن موضع الانعكاس من سطح المرآة مساوياً  
لبعد الطرف نفسه عن ذلك الموضع . وهي الحالة النظرية للحالة التي يكون  
فيها المبصر صغيراً واقعاً في مستوى يمر بمركز المرآة عموداً على محورها  
الرئيسي وعن جنبه من المركز وقريباً منه ، فيكون الخيال واقعاً في المستوى نفسه  
عن الجنبه الأخرى من المركز في وضع يماثل وضع المبصر بالنسبة إلى المحور  
الرئيسي ومساوياً للمبصر في الطول . ويسهل تصور الأمر إذا فرض مبصر  
صغير عند مركز تكور المرآة في وضع متماثل بالنسبة إلى محورها الرئيسي فهو  
وصورته في تلك الحال منطبقان ، ولكن إذا أديرت المرآة قليلاً مع ثبوت  
قطبها وثبوت المبصر في موضعه بحيث يصنع محورها زاوية صغيرة مع وضعه  
الأول انفصل الجسم عن صورته وصار كل منهما عن جنبه من المحور في  
وضعين متماثلين .

هذا هو ما أراد ابن الهيثم تصويره وبيانه .

وابن الهيثم يمضي بعد ذلك لبيان كيف يمكن أن يتكون للمبصر خيال  
مصغر وكيف يمكن أيضاً أن يتكون له خيال مكبر . وتبين طريقته في ذلك  
من الشكل نفسه . فإذا أخذنا نقطة مثل م على امتداد ب م وأخرى مثل ن  
على امتداد ح ن بحيث يكون ب م مساوياً ح ن ، ووصلنا م ن ومددناه  
حتى يلقى ب ك على ف ن ، ووصلنا ن ق ومددناه حتى يلقى ح ك على ق ن  
فبما أن المستقيم ب ن ينصف زاوية ف ب م في مثلث ف ب م ، ب م ن  
ح ن م منفرجة ،

∴ م ن أعظم من ب ن .

وبالمثل ن ق أعظم من ب ق .

ومن تطابق المثلثين ب م ن ح ن ق يتبين أن م ن = ن ق .

ومن تطابق المثلثين ب ١ ف ٦ ، و ١ ق ١ يتبين أن ١ ف ١ = ١ ق ١ .  
 ∴ المثلثان ١ م ١ ن ١ ، ١ ف ١ ق ١ متشابهان .

$$\therefore \frac{١ م ١ ن ١}{١ ف ١ ق ١} = \frac{١ م ١ ن ١}{١ ف ١ ق ١} = \frac{١ م ١ ن ١}{١ ف ١ ق ١}$$

∴ م ١ ن ١ أعظم من ف ١ ق ١ .

فإن كان م ١ ن ١ مبصراً وعد ف ١ ق ١ خياله ، اتضح أن الخيال أمام  
 السطح العاكس ومنكوس ومصغر .

وبالمثل إذا أخذت نقطة م ١ بين ه ١ م ١ ، وأخرى ن ١ بين ه ١ و ٦ ن  
 وأجرى العمل نفسه تبين أن الخيال يكون مكبراً ومنكوساً .

### ١٨٦ - تعليق على بحوث ابن الهيثم عن خيالات الكرية المقعرة

هذه هي طريقة ابن الهيثم لبيان حالات الخيالات الحقيقية المساوية للبصر  
 والمكبرة والمصغرة . وهو يلم على الوجه المذكور المأمراً عاماً بالمعاني المختلفة  
 المتعلقة بهذه الخيالات ، وهو يضمن أقواله علاوة على ذلك فكرة التبادل بين  
 المبصر وبين الخيال الحقيقي كما نعلمها الآن . بمعنى أنه إذا كان المبصر في مكان  
 الخيال وفي وضعه كان الخيال في مكان المبصر وفي وضعه . ويعلق على هذه  
 الفكرة بما يتفق ووجهة نظره في هذه الأمور .

وإننا لنجد في هذا الموضوع أيضاً أن عنايته بالناحية الشخصية وبالْبصر  
 الذي يدرك الخيال مع قصور نظريته في الابصار التي جعل اعتماده فيها على شعاع  
 واحد تجعل أقواله في هذا الصدد تنبو كثيراً أو قليلاً عن محجة الصواب .

فإن فرضنا المبصر م ن (شكل ١٥٢) وخياله ف ق فالْبصر الموجود  
 عند ك يدرك لبصر الخيال ف ق كما يقول ابن الهيثم . والشعاعان  
 ب ف ك و ٦ ح ق ك الواردان بعد الانعكاس إلى البصر يمثلان محوري  
 مخروطي الأشعة التي يدرك بها البصر كلا من النقطتين ف ٦ ق . ولكن  
 إن فرضنا المبصر ف ق وخياله م ن ، وتساءلنا أين يكون موضع البصر

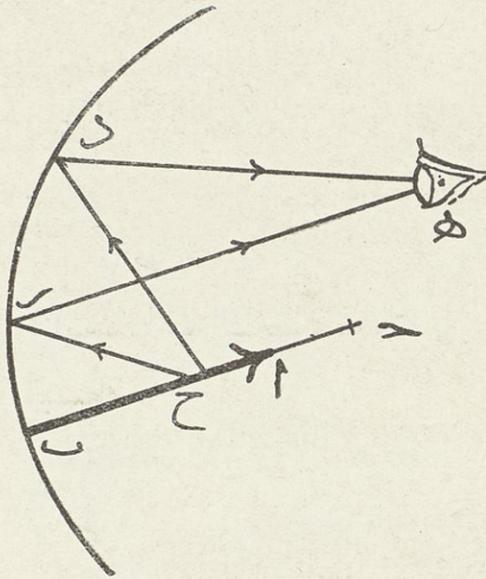
الذي يدرك هذا الخيال أجاب ابن الهيثم بأن موضع البصر هو نقطة ه . لأن ذلك كفيلا بأن يصل إليه شعاع وارد من أحد طرفي المبصر وآخر وارد من طرفه الآخر بعد انعكاسيهما عن سطح المرآة ، وإن كان المبصر ف ق متصلا لوصلت إلى البصر وهو في هذا الوضع أشعة منعكسة واردة من نقاط المبصر المختلفة مترتبة بترتيب تلك النقاط .

وهذا كل ما تتطلبه نظريته في الابصار لشرح كيفية إدراك البصر صورة المبصر بالانعكاس ، بل وينتج من ذلك أن ما يدركه البصر عندئذ تكون أوضاع أجزائه بعضها بالنسبة إلى الآخر على حسب هذه النظرية كأوضاع أجزاء المبصر نفسه فيكون ما يدركه البصر مستويا أو معتدلا لا منكوسا .

ولا يخفى أن البصر الذي مركزه نقطة ه وإن وصل إليه ضوء منعكس وأحس به فإنه لا يدرك منه الخيال م ن . ولكي يدركه يجب أن يصل إليه ضوء من الخيال م ن رأسا . ولكي يتم ذلك يجب أن يكون الخيال قدام البصر ويجب أن يكون وضع البصر بحيث إذا وصل مركزه بنقطتي م و ن وأخرج المستقيمان لقياس سطح المرآة العاكس ، فيمكن أن يرد إلى البصر على سمتي هذين المستقيمين ضوء منعكس عن سطح المرآة كان قد ورد إليها قبل ذلك من طرفي المبصر ف ق .

فإن تساءلنا أخفيت أمثال هذه الأمور عن ابن الهيثم وهي تكاد تكون من البديهيات في الوقت الحاضر ، لم نجد من الانصاف الفصل في ذلك بالايجاب . لأنه يقرر في مقالته الخامسة من المناظر أنه إذا كانت النقطة التي يلقي عندها الشعاع المنعكس أو امتداده العمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح أو امتداده ، وهي في زعمه موضع خيال النقطة المبصرة ، إذا كانت من وراء المرآة أو من قدامها فيما بين البصر والمرآة أدرك البصر الخيال إدراكا محققا . أما إذا كانت عند مركز البصر أو من وراء مركز البصر ( كما في الحالة التي بين أيدينا الآن بحسب ما يزعمه ) أو كان الشعاع المنعكس موازيا للعمود لا يلقاه فإن البصر يدرك الخيال إدراكا غير محقق ، فتشبهه وتلتبس صورة

المبصر التي تدرك بالانعكاس . وهو يستدل على ذلك باعتبار بسيط<sup>(١)</sup> ، تتخذ فيه مرآة كرية مقعرة مركزها  $\text{ح}$  (شكل ١٥٣) ويلصق على سطحها عود دقيق



(شكل ١٥٣)

مستقيم  $\text{ا ب}$  ويجعل على استقامة قطر من أقطارها ، ويجعل طوله أصغر من نصف قطر المرآة وينظر من نقطة مثل  $\text{ه}$  إلى موضع من المرآة مثل  $\text{د}$  يكون بعده عن  $\text{ب}$  قاعدة العود أكبر من بعد مركز البصر  $\text{ه}$  عن القطر الذي يمتد العود على استقامته . فإذا رسمنا من  $\text{ه}$  المستقيم  $\text{ه م}$  موازيا  $\text{ب ح}$  قاطعا المرآة على  $\text{م}$  فابن الهيثم يشترط أن يوجه البصر وهو عند  $\text{ه}$  إلى

نقطة مثل  $\text{د}$  أبعد عن  $\text{ب}$  من نقطة  $\text{م}$  . بحيث إذا رسم  $\text{م ح}$  نظيراً للمستقيم  $\text{ه م}$  ، فإن الشعاع المنعكس من  $\text{د}$  إلى  $\text{ه}$  يلقي العمود  $\text{ب ح}$  على نقطة من وراء مركز البصر ، ويكون وروده في الأصل من نقطة من المبصر  $\text{ا ب}$  تقع بين  $\text{ح ا}$  .

ويرى ابن الهيثم أن البصر في هذه الحال لا يدرك صورة الطرف  $\text{ا}$  من العود ولا صور الأجزاء القريبة منه إدراكاً محققاً . بل يذهب إلى القول بأن البصر قد لا يدرك في مثل هذه الحالة من العود « إلا لو ناقض فقط » ويذهب إلى أبعد من هذا ويقول « وإن كان العود في غاية الدقة لم يتحقق لونه أيضاً »

فابن الهيثم يتفق معنا في الرأي بأن البصر وهو في نقطة مثل  $\text{ه}$  (شكل ١٥٢) حيث يصل إليه شعاعان منعكسان يردان من طرفي المبصر  $\text{ف ق}$  ، ولو أنه يحس بالضوء المنعكس الوارد إليه فإن هذا الاحساس لا يترتب عليه إدراك صورة تمت إلى المبصر  $\text{ف ق}$  بشبهه محقق .

(١) و (٢٥٥) ، و (٢٥٦) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

وقول ابن الهيثم إن البصر وهو عند ه يدرك للبصر ف ق خياله  
م ن إدراكا غير محقق . فذاك أسلوبه في التعبير . وقوله إن الخيال الذي  
يدرك على هذه الصفة غير المحققة يدركه البصر في مقابلته ، لأن المرئيات تدرك  
من سموت خطوط الشعاع كما تبين من قبل ، والاحساس بالضوء أو باللون  
الذي لا شك يحدث في هذه الحالة يعزیه البصر إلى مؤثر موجود في المكان  
خارج البصر على امتداد الأشعة المنعكسة الواصلة إليه فلا اعتراض عليه .  
أما طريقته التي بناها فيما سبق في معالجة الموضوع فقد حداه إليها شدة  
عنايته بالناحية الشخصية مع التقيد بنظريته في الأبصار على صورتها الأولى  
البيسيطة .

وبما تجدر الإشارة إليه في هذا المقام أنه على الرغم من وعورة تلك الطريقة  
فانه لم يعجز عن شرح حالة خاصة نوردها فيما يلي من الحالات التي تعرض  
في المرايا الكرية المقعرة شرحا قريب الشبه من الشروح المألوفة الآن .

### ١٨٧ - كيف يرى الانسان صورة وجهه مصغرة منكوسة في مرآة

#### كرية مقعرة

فمن بحوث ابن الهيثم في المرايا الكرية بحث يبين فيه كيف يتأتى أن يرى  
الإنسان صورة وجهه مصغرة منكوسة في مرآة كرية مقعرة ، وطريقته في شرح  
هذا الأمر كما يأتي (١)

ليكن مركز المرآة - (شكل ١٥٤) ونصف قطرها - د وليكن مركز البصر  
في نقطة مثل ه على امتداد د - ، ولنأخذ على هذا المستقيم نقطة مثل و قريبة  
جدا من ه ، ولنقم م و ح عموداً على ه د ، وليكن مستوى المستقيمين  
م ح و ه د مستوى الشكل ، وليلق سطح المرآة على عظمة ، ا د ب  
قوس من محيطها . نأخذ نقطة على هذه القوس مثل ا ونصل ا ه ا و ه ا ،  
ونرسم ا ح في مستوى الشكل بحيث تكون

$$\angle \text{ا ه ا} = \angle \text{ا ح ا}$$

(١) و (٩٩) و (١٠٠) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .



١٨٨ - بحوث ابن الهيثم عن أسطال خيالات المبصرات المنعرجة على سمت

أهر أقطار المرآة الكسرية المنعرجة

ويواصل ابن الهيثم على هدى قاعدته بجموده التي يتناول فيها بيان كيف يدرك البصر وهو في موضع معين خيال المبصر مستقيماً أو محدباً أو مقعراً على صورة المبصر نفسه أو على صورة تخالفها . وهو في هذه البحوث يراعى حالات معينة يفرض فيها المبصر والبصر في أوضاع خاصة ويمضى في شرح هذه الحالات شرحاً مستفيضاً بأسهاب وتفصيل .

ويبدأ ابن الهيثم بالحالة التي يكون فيها المبصر مستقيماً يمتد على سمت قطر من أقطار المرآة مما يلي مركزها حيث يتكون له خيال حقيقى مصغراً ويبين (١) كيف يدرك البصر وهو في موضع معين خيال هذا المبصر مستقيماً ممتداً على سمت القطر نفسه .

فلتكن الدائرة في شكل (١٥٥) عظيمة على كرة المرآة وليكن ه مركزها وقطرها ا ع و ب د ، حيثما اتفق ، ولتكن المرآة بحيث لا تتجاوز العظيمة القوس ب ا د ع . ولنأخذ نقطة مثل م على ب ه ، وأخرى مثل ك على ا ه بحيث يكون م ك أعظم من ك ه . فاذا أخرج م ك حتى يلقى محيط الدائرة على ف ورسم ف ح بحيث تكون

$$\Delta م ف ه = \Delta ه ف ح$$

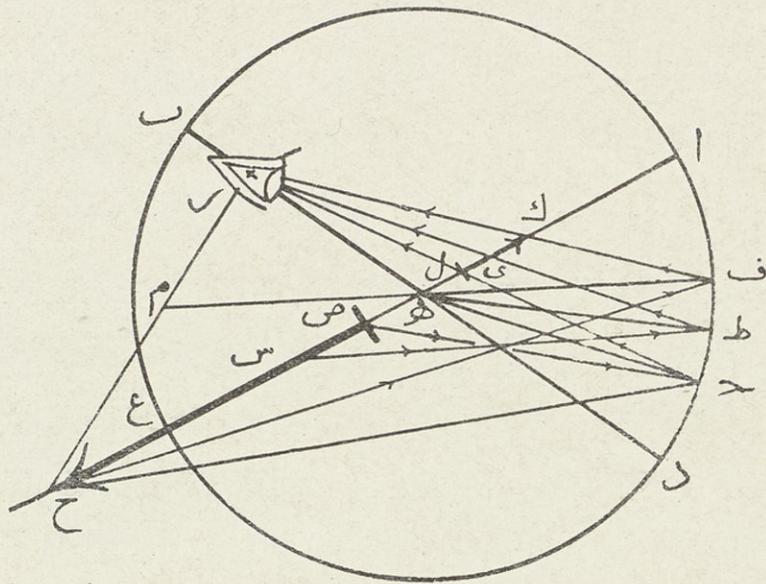
ومد حتى لقي ه ع أو امتداده على نقطة ولتكن ح ، اتضح على حسب القاعدة أن نقطة ك هي خيال ح بالنسبة إلى بصر م . وإذا أخذت أية نقطة مثل ح بين ف و د فإن م ح يلقى ا ه على نقطة مثل ل بين ك و ه ، فاذا رسم ح ص بحيث تكون

$$\Delta م ح ه = \Delta ه ح ص$$

ومد ح ص فإنه يلقى ه ح على نقطة تقع بين ه و ح ، ولتكن

(١) و (١٠٢) - و (١٠٤) من مخطوط من المقالة السادسة من المناظر .

نقطة ص ، وعلى حسب القاعدة تكون نقطة ل خيال ص بالنسبة إلى بصر م .



( شكل ١٥٥ )

وابن الهيثم يستدل ببرهان هندسي على أن نقطة ص تقع حتما بين هـ و ح ، وذلك بإثبات أن  $\angle هـ > ح$  أعظم من  $\angle هـ > ص$  ، وبرهانه أنه إذا وصل م ح ، وأخرج ف هـ حتى يلقاه على نقطة ولتكن م

$$\text{فان } \frac{\text{م ح}}{\text{م ف}} = \frac{\text{م ح}}{\text{م ح}}$$

و م ح أعظم من م ف و  $\angle هـ > ح$  أصغر من  $\angle ف ح$

∴  $\frac{\text{م ح}}{\text{م ف}} > \frac{\text{م ح}}{\text{م ح}}$  أعظم حتما من  $\frac{\text{م ح}}{\text{م ف}}$  ، فنصف زاوية م ح يلقى

م ح على نقطة تقع حتما بين م و ح ، ويلقى هذا المنصف ا ح على نقطة تقع حتما بين هـ و ح . فيكون نصف زاوية م ح أعظم من زاوية م ح

وإذن  $\angle م ح > \angle م ح$  --  $\angle م ح > هـ$  أعظم من  $\angle م ح > هـ$  ،

أي  $\angle هـ > ح$  أعظم من  $\angle م ح > هـ$  ، أي أعظم من  $\angle هـ > ص$  .  
وابن الهيثم بعد ذلك يذكر أن أية نقطة بين ص و ح تنعكس إلى م

من نقطة مثل ط على قوس ف > ، فالشعاع ط م المنعكس يقطع القطر ا ع على نقطة مثل ي تقع حتما بين نقطتي ك و ل .

والبرهان المذكور على وقوع نقطة ص بين ه و ح يمكن أن يطبق مثله على أن النقطة المتوسطة بين ح و ص خيالها نقطة متوسطة بين ك و ل ، فتفرض أية نقطة مثل ط على المحيط بين ف و ح ويرسم ط س بحيث تكون د م ر ط ه = د ه ط س ويستدل بعد ذلك على أن ط س يقطع القطر على نقطة س تقع حتما بين ح و ص . ولكن ابن الهيثم يبرهن على ذلك بطريقة أخرى .

وذلك أنه قد تبين في تعاكس النقطتين عن سطح الكرية المقعرة أنهما لا تتعاكسان إلا من قوسي القطاعين الأول والثاني ونظراً لأن الأول وهو ب ه ع في هذه الحالة ليس من المرآة ، اتضح أن أية نقطة على ه ع أو امتداده من جهة ع لا تنعكس إلى م إلا من قوس القطاع ا ه د ولا تنعكس إلا من نقطة واحدة . وابن الهيثم يبرهن بعد ذلك ببرهان الخلف على أن نقطة انعكاس أية نقطة مثل س ( بين ص و ح ) إلى نقطة م لا تقع على قوس ا ف ولا على قوس > د فتكون حتما على قوس ف > فيقطع الواصل بينها وبين م نصف القطر ا ه على نقطة بين ك و ل . وعلى أي الوجهين يتضح أن خيالي طرفي المبصر المستقيم ح ص بالنسبة إلى بصر م هما نقطتا ك و ل على الترتيب .

وابن الهيثم ينتقل من هذه الحالة إلى أخرى (١) .

فاذا رسمت قوس مثل ح ن ص ( شكل ١٥٦ ) ، غير قاطعة المستقيم ( ح ) (٢) وتحدها يلي الجزء العاكس من سطح المرآة وأخذنا نقطة مثل م على خط ص ح ، فمن البين أن م تنعكس من ط فيما بين ف و ح إلى م . فان وصل م ط وقطع القوس ح ن ص على نقطة ن ، فمن الواضح

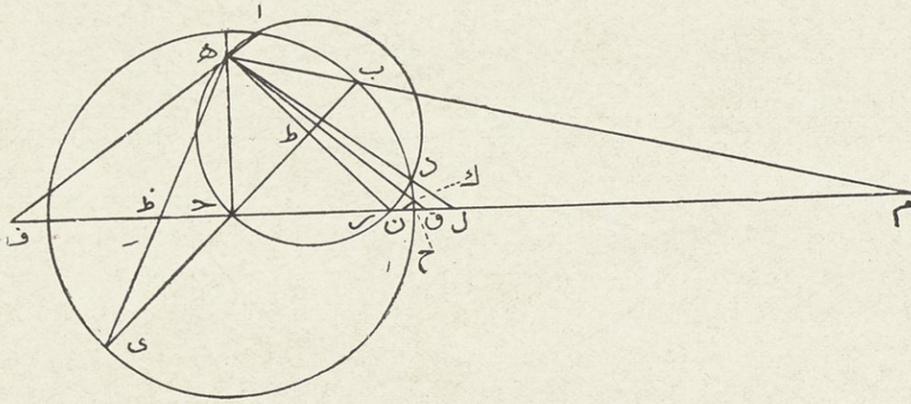
(١) و (١٠٤) ، و (١٠٥) المقالة السادسة من المناظر .

(٢) كذا في الأصل والأصوب أن يقال « ف ح » .



وسنكتفي هنا بشرح إحدى هاتين الحالتين<sup>(١)</sup> كمثال نوضح به هذه الفكرة الأساسية ونبين به النتائج التي توصل إليها أو أراد أن يبينها ووجهة نظره في كل ذلك .

فلنفرض دائرة مركزها  $\alpha$  ( شكل ١٥٧ ) . وقطرها  $ب ي$  ولناخذ نقطة مثل  $ط$  على  $\alpha$  بحيث يكون  $\alpha$   $ط$  أعظم من  $ط ب$  ، ونرسم دائرة مركزها  $ط$  ، ونصف قطرها  $ط \alpha$  ، فهي تقطع الأولى على نقطتين ولتكونا  $ا$  و  $د$  ثم نقيم عند  $ط$  عمودا على  $\alpha ب$  ونخرجه من طرفيه حتى يلقى محيط الدائرة الثانية على نقطتين ولتكونا  $هـ$  و  $س$



(شكل ١٥٧)

فمن السهل بيان أن نقطتي  $هـ$  و  $س$  تتعاكسان عن قوس القطاع الأول من نقاط  $ا$  و  $ب$  و  $د$  ، وعن قوس القطاع الثاني من نقطة  $ي$  . فإذا كانت  $س$  نقطة مبصرة حدث لها أربعة خيالات ، إحداها على سمت  $د هـ$  ، وآخر على سمت  $ب هـ$  ، وآخر على سمت  $ا هـ$  ، والرابع على سمت  $ي هـ$  ، وعلى حسب قاعدة ابن الهيثم يكون مواضع هذه الخيالات حيث يلقى السمت القطر المار بنقطة  $س$  . فان رمزنا لنقاط التلاقى بالحروف  $ل$  و  $م$  و  $ف$  و  $ظ$  بالترتيب ، كانت هذه النقاط في زعم ابن الهيثم الخيالات التي يدركها البصر عند  $هـ$  لنقطة  $س$  .

وقد اثبت ابن الهيثم أنه بحسب العمل الهندسي المذكور تكون زاوية

(١) و (١٠٥) — و (١٠٧) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

س ح ه قائمة وإذن ه ب و ح س يلتقيان إذا إخرجنا الأول من جهة ب والثاني من جهة س فيكون موضع الخيال م كالمبين بالشكل . واستدل أيضاً على مواضع الخيالات الأخرى ل و ظ و ف .

وقد سبق أن بينا رأيه فيما يدركه البصر إدراكاً محققاً وفيما يدركه إدراكاً غير محقق من هذه الخيالات .

ثم إذا رمزنا لنقطة التقاء ح س بمحيط الدائرة الأولى بالحرف ح ، وأخذنا نقطة ما مثل ك على قوس د ح ، ووصلنا ه ك ، ورسمنا ك ن بحيث تكون

$$\Delta \text{ ح ك ن } = \Delta \text{ ه ك } >$$

أمكن إثبات أن المستقيم ك ن يلقي ح ح على نقطة تقع بين س و ح ولتكن نقطة ن كالمبين بالشكل .

فتكون ك نقطة انعكاس ن إلى ه . وإذا أخرج ه ك حتى يلقي امتداد ح ح على نقطة ولتكن ق ، كانت نقطة ق خيال ن بالنسبة إلى البصر ه وذلك أيضاً وفقاً للقاعدة .

كل أولئك مقدمات يعنى ابن الهيثم بتوضيحها وبيانها بالتفصيل ويتخذها توطئة إلى تعيين موضع المبصر وشكله وبيان مواضع خيالاته التي يدركها البصر ه وأشكالها . وهو في سلوك هذا السبيل إلى غرضه أمكنه أن يلم بكل الأمور الهندسية المتعلقة بانعكاس الأشعة الصادرة من المبصر عن مواضع مختلفة من السطح الكرى المقعر، ومرورها بعد الانعكاس بنقطة ه . واستطاع سرد عناصر هذه المسألة على صورة سهلة بسيطة ، هي في ذاتها جديرة بالتقدير ، نوردها فيما يلي بالفاظه مع توضيحها بالرسم .

قال « وتوهم سطحا خارجا من خط م ح ف قائماً على سطح دائرة ا ب د على زوايا قائمة ونخرج من نقطة ر ( شكل ١٥٨ ) خطاً في هذا السطح قائماً على خط ح ر على زوايا قائمة ، وننفذه في الجهتين . وليكن خط س ر ص . ونجعل نقطة ح مركزاً وندير بيعد ح ن قوساً من دائرة



المرموز لها بالرمز ك<sub>٢</sub> في الشكل) من الدائرة التي يحدتها سطح ه - ح ع  
ينعكس منها خطان على زوايا متساوية فيما بين نقطتي ه ، ص .

وخطوط - ح س ، - ح ن ، - ح ص متساوية . وخطوط - ح ش ،  
- ح ق ، - ح ع متساوية . ونقطة ق هي خيال ( لنقطة ن )<sup>(١)</sup> ، فنقطة ش  
هي خيال نقطة س ونقطة ع هي خيال نقطة ص .

فخيال قوس س ن ص المحذب الذي تحديه يلي سطح المرآة هو قوس  
ش ق ع المقعر الذي تقعيره يلي البصر . »

ويقول « ونقطة ل هي خيال نقطة ر ، ونقطتا ش ، ع هما خيالا  
نقطتي س ، ص فخيال خط س ر ص المستقيم هو خط يمر بنقط  
ش ، ل ، ع . والخط الذي يمر بنقط ش ، ل ، ع ، هو خط مقعر  
تقعيره يلي البصر<sup>(٢)</sup> . »

ولما كان ه ب ، ح ( شكل ١٥٧ ) يتلاقيان على م ، وابن الهيثم  
يعد نقطة م خيال م بالانعكاس عن ب فهو يذهب إلى أن المبصر س ر ص  
( شكل ١٥٨ ) يدرك له أيضا خيال آخر ش م ع . وكذلك يدرك له  
خيال ثالث هو ش ف ع ، وخيال رابع هو ع ظ ش . وينص صراحة  
على أن الخيالات الأربعة للمبصر المستقيم س ر ص التي يدركها البصر ه  
( في زعمه ) تكون مقعرة ( بالنسبة إلى مركز البصر ) ، وهو في نهاية هذا البحث  
يلخص النتيجة التي يريدتها حيث يقول « فقد تبين مما بيناه في هذا الشكل أن  
الخط المستقيم قد يدركه البصر في المرايا الكرية المقعرة مقعرا ، وأن الخط  
المحذب قد يدركه البصر في هذه المرايا مقعرا ، وأن الخط المستقيم قد يكون له  
في هذه المرايا عدة صور مقعرة . وذلك ما أردنا أن نبين<sup>(٣)</sup> . »

على هذا المنوال نهج ابن الهيثم لبيان تقوس خيال المبصر المستقيم واختلاف

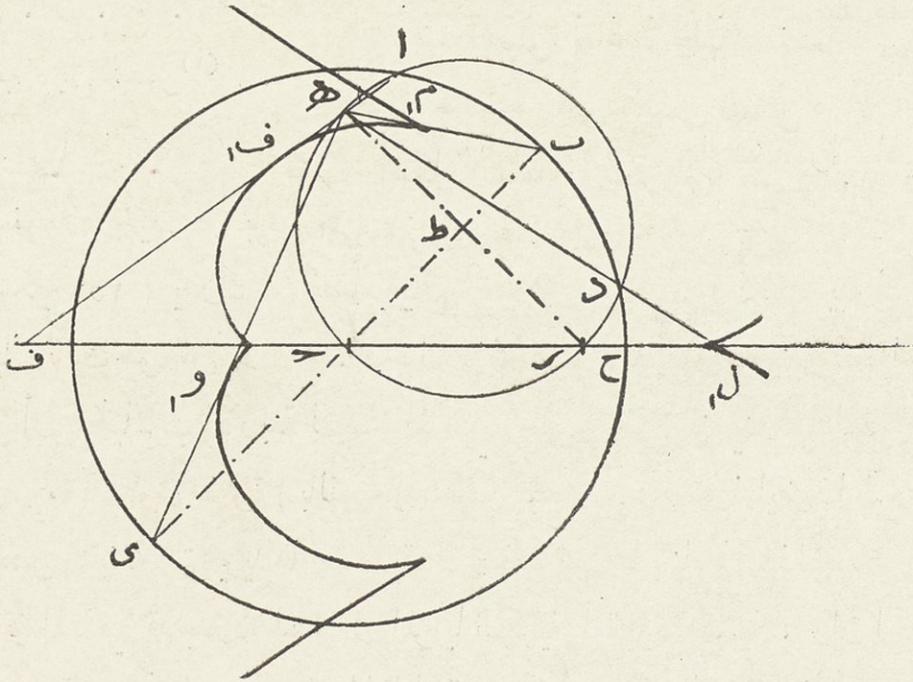
(١) الوارد في الأصل « لنقطتي س ، ب » وهو تحريف .

(٢) و (١٠٦) ، و (١٠٧) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

(٣) و (١٠٧) من مخطوط المقالة السادسة من المناظر .

تقوس الخيالات المختلفة التي يمكن إدراكها بانعكاس الضوء من مواضع مختلفة من السطح الكروي للمرآة . فان كانت النتائج التي توصل إليها على وجه عام ليست صحيحة ولا تتفق والواقع فان مصدر الخطأ فيها مرجعه هنا أيضا تطبيق قاعدته لتعيين خيال النقطة فيما لا يصح تطبيقها فيه .

ويتضح السبب بالرجوع إلى ( شكل ١٥٩ ) فغلاف الأشعة المنعكسة في مستوى الشكل عن سطح المرآة والواردة من نقطة م هو كالمبين بالشكل . فاذا كان مركز البصر نقطة ه نخيال م الذي يرى بورود الشعاع المنعكس من نقطة د يكون عند نقطة تماس ه د والغلاف فهو وضع خيال م ليس على القطر المار بنقطة م بالضبط وإنما هو نقطة مثل ل الميمنة بالشكل . وأيضا الخيال الذي يرى بالشعاع المنعكس من ب موضعه نقطة تماس ه ب



( شكل ١٥٩ )

بالغلاف وهي نقطة م . وبالمثل الخيال الذي يرى بالشعاع المنعكس من ا موضعه ف والذي يرى الشعاع المنعكس من ي موضعه و . فلا تكون مواضع الخيالات على القطر المار بنقطة م أو امتداده كما يزعم ابن الهيثم اللهم إلا خيال نقطة ن لقرب نقطة انعكاسها إلى ه من القطب ح فهو يكاد لا ينحرف عن القطر المذكور .

## ١٩٠ - كلمة عامة

وابن الهيثم يتهج على النهج نفسه الذي فصلناه بانتقاء الحالات التي شرحناها فيما سبق ، في تفصيل آرائه في الخيالات التي ترى في المرايا الأسطوانية والمخروطية المحدبة والمقعرة . وهي التي تدور حولها المباحث الباقية التي تتضمنها المقالة السادسة من المناظر . وهذه المباحث بوجه عام لا تخرج عناصرها الأساسية عن حدود الفكر التي بينها فيما قبل فلم نر ضرورة إلى الإطالة في تفصيلها . ولا شك في أن بحوث ابن الهيثم عن الخيالات التي ترى بالانعكاس وإن كان يعيبها من الجانب الطبيعي منها تعميم القاعدة التي اتبعها لتعيين موضع خيال النقطة دون قيد أو شرط ، فهي مع ذلك تتضمن العناصر الأساسية اللازمة لعلاج الموضوع في الحالات التي يصح تطبيق القاعدة عليها . ولعلَّ أجدر ما في هذه البحوث بالتقدير ناحيتها الهندسية . فهي تتضمن مسائل في الهندسة الفراغية ليس من السهل تصور أشكالها العامة . ولكن ابن الهيثم كما تبين من بحوثه عن خيالات الكرية المحدبة والمقعرة ، سلك في شرحها طريقة ألانت صلابتها ، فاستطاع تبسيطها وشرح المستعصى منها شرحا واضحا وافيا جديرا حقا بالاعجاب والتقدير .

# الباب السابع

في

أحكام الانعطاف وما يتعلق بالانعطاف عند السطوح المستوية

## الفصل الأول

في

أحكام الانعطاف

### ١٩١ - أعظم الكيف في الانعطاف

أول ما يعنى ابن الهيثم بالبحث عنه فيما يتعلق بالانعطاف الضوء تحقيق الكيفية التي ينعطف عليها الضوء عند نفوذه من وسط مشف إلى وسط مشف آخر يختلف شفيفه عن شفيف الأول . وهو يعتمد في ذلك على التجارب ويستخلص منها أحكاما أسميناها هنا أحكام الكيف في الانعطاف ، هي بمثابة المبادئ الأساسية العامة في الموضوع . وهو يمهّد إليها في موضع من مقالاته السابعة (١) حيث يقول بلفظه :

« فتبين من جميع ما بيناه بالاعتبار وبالقياس أن كل ضوء في جسم مضى ، ذاتيا كان الضوء أو عرضيا ، قويا كان الضوء أو ضعيفا ، فإن كل نقطة منه ( أى من الجسم ) يمتد منها ضوء ، في الجسم المشف المماس لها ، على كل خط مستقيم يصح أن يمتد منها ، هواء كان الجسم المماس لها أو ماء أو حجرا مشفا . وإذا صادفت الأضواء الممتدة في الجسم المماس للضوء الذي هو مبدؤها

(١) و (٢٨) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

جسماً مخالف الشفيف لشفيف الجسم الذى هى فيه ، فان ما كان منها على خطوط قائمة على سطح الجسم الثانى امتد على استقامته فى الجسم الثانى ، وما كان منها على خطوط مائلة على سطح الجسم الثانى انعطف فى الجسم الثانى ولم ينفذ على استقامته ، وامتد فى الجسم الثانى على سموت خطوط مستقيمة غير الخطوط الأولى التى كان ممتدا عليها فى الجسم الأول .

وابن الهيثم يسمى الزاوية التى يحيط بها امتداد الخط الذى يمتد عليه الضوء فى الجسم الأول والخط الذى يمتد عليه فى الثانى « زاوية الانعطاف » .  
ثم هو فى موضع آخر<sup>(١)</sup> من مقالته السابعة ينص على هذه الأحكام حيث يقول بلفظه :

« إن كل ضوء ينعطف من جسم مشف إلى جسم آخر فان انعطافه أبداً يكون فى السطح القائم على سطح الجسم الثانى على زوايا قائمة »  
« وإن كان الجسم الثانى أغلظ من الجسم الأول فان الانعطاف يكون إلى جهة العمود الخارج من موضع الانعطاف ، القائم على سطح الجسم الثانى على زوايا قائمة ، ولا ينتهى إلى العمود . وإن كان الجسم الثانى أطف من الجسم الأول فان الانعطاف يكون إلى ضد الجهة التى فيها العمود الخارج من موضع الانعطاف القائم على سطح الجسم الثانى على زوايا قائمة ، على اختلاف أشكال سطوح الأجسام المشفة . »

« إن الضوء إذا انعطف من جسم مشف إلى جسم ثان مشف ومن جسم ثان إلى جسم ثالث ، فانه ينعطف أيضاً عند سطح الجسم الثالث إذا كان الجسم الثالث مخالف الشفيف لشفيف الجسم الثانى . وإن كان الجسم الثالث أغلظ من الجسم الثانى كان انعطاف الضوء إلى جهة العمود الخارج من موضع الانعطاف القائم على سطح الجسم الثالث على زوايا قائمة . وإن كان الجسم الثالث أطف من الجسم الثانى كان انعطاف الضوء إلى ضد الجهة التى فيها العمود وكذلك إن انعطف الضوء إلى جسم رابع وخامس وأكثر من ذلك . »

(١) و (٣٤) ، و (٣٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر.

وابن الهيثم يلم في هذه الأحكام التي ذكرها بالكيفية التي ينعطف عليها الضوء الماما عاما . ولو أن أكثر هذه الأمور كان معروفا من قبله وذكرها بطليموس في كتابه في المناظر ، فإنه من المتفق عليه بإجماع الآراء أن ابن الهيثم قد زاد على ما كان يعلم السابقون النص الصريح على معنى القانون الذي يعرف الآن بقانون الانكسار الأول وهو الذي ينص على أن الشعاع الساقط والعمود من نقطة السقوط والشعاع المنعطف في مستوى واحد .

وابن الهيثم في النص على هذا المعنى قد أدرك حقا خطورته وأدرك أنه ركن أساسي ، لا تتم بدونه دراسة المسائل الخاصة بالانعطاف .  
وشأن هذا القانون لدى ابن الهيثم كشأن القانون النظير له في الانعكاس لديه . فهو قد عنى عناية خاصة بتحقيقه من الناحية العملية ، وجعله أساساً من الأسس التي بنى عليها مباحثه في الانعطاف .

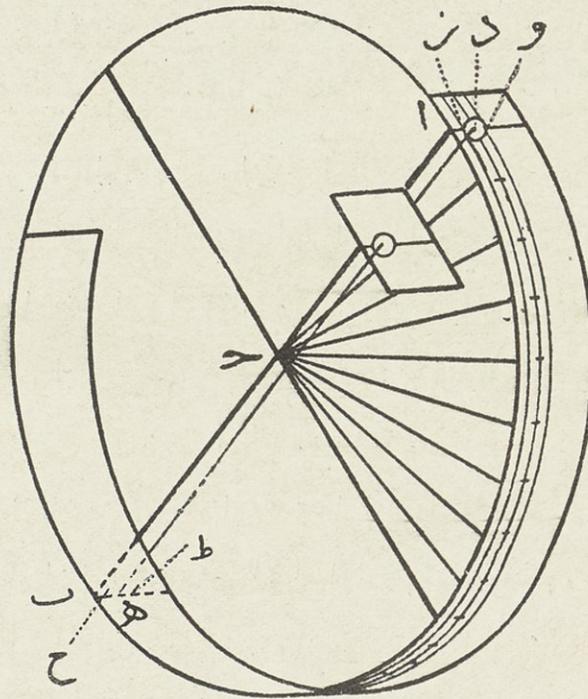
وابن الهيثم في بحوثه في الانعطاف يجتنب<sup>(١)</sup> ذكر لفظ الشعاع فيها ، وبالرغم من أنه يتناول في كثير من المناسبات ذكر ما نسميه الآن « زاوية السقوط » فهو لم يطلق عليها اسماً معيناً . أما فيما يختص « بزاوية الانكسار » فهو يطلق عليها « الباقية » لأنها زيادة زاوية السقوط على زاوية الانعطاف ، وهو أحياناً يعبر عن الشعاع الساقط « بخط الامتداد » إلى موضع الانعطاف أو « خط الاستقامة » ويعبر عن الشعاع المنكسر بخط الامتداد من موضع الانعطاف أو « خط الانعطاف » . والوسط المشف الذي يمتد فيه الضوء يعبر عنه دائماً « بالجسم » . وقد زاد الفارسي على هذا بعض الاصطلاحات فزاوية السقوط يسميها زاوية العطف والوسط الذي يمتد فيه الضوء الساقط يسميه « جسم الضوء » والوسط الثاني الذي ينعطف فيه الضوء يسميه « الجسم المخالف » وكثيراً ما يضيف الجسم إلى البصر أو المبصر فيعني بذلك الجسم الذي يكون البصر أو المبصر فيه ، وهو يسمى المستوى الذي يشمل الشعاع الساقط والعمود من نقطة السقوط والشعاع المنعطف « سطح الانعطاف »

(١) أنظر فقرة (٢٢) من الجزء الأول من هذا الكتاب .

ويسمى الفصل المشترك بين سطح الانعطاف و سطح المخالف « فصل الانعطاف » .

### ١٩٤ - آلة الانعطاف التي اعتبر بها ابن الهيثم

وقد حقق ابن الهيثم الأحكام الخمسة التي اجملناها فيما سبق عمليا . واستعان لذلك بآلة اتخذها عني كعادته عناية تامة بوصف أجزائها وكيفية صنعها وشرح استعمالها للأغراض التي يريد<sup>(١)</sup> ونسبها آلة الانعطاف . وهي تتركب من قرص من النحاس ( شكل ١٦٠ ) ذي سمك مقتدر يبلغ قطره



( شكل ١٦٠ )

حوالي ٣٤ سنتيمترا ، ويحيط بثلاثة أرباع محيط القرص إطار قائم على مستوى القرص ومصنوع من النحاس وسمكه مقتدر يبلغ عرضه حوالي ٤,٥ من السنتيمترات ، ومرسوم على السطح الأسطوانى لهذا الإطار من الداخل ثلاثة خطوط موازية بالتام لسطح القرص يبعد الخط الأوسط بمقدار سنتيمتر بالتقريب عن سطح القرص والآخران عن

جنبيه يبعد كل منهما عن الأوسط بقدر نصف بعد الأوسط من سطح القرص . وواضح أن هذه الخطوط هي مقاطع ثلاثة مستويات موازية لسطح القرص

(١) يستغرق وصف الجهاز وشرح كيفية استعماله لتحقيق أحكام الكيف جل ماورد من و (٣) إلى و (٣٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر . والصورة الفتوغرافية التي لدينا من مخطوط مكتبة القاع ينقصها صورة الورقة الثالثة من هذا المخطوط فأتمنا النقص بالرجوع الى مخطوط أيا صوفيا وكتاب التنقيح .

وعلى أبعاد متساوية، بالسطح الأسطوانى الداخلى للإطار ، ولما كان الاطار مقطوعاً منه رבעه فكل خط منها هو ثلاثة أرباع محيط دائرة .

ويوجد بالإطار على بعد لا يقل عن سنتيمترين من أحد طرفيه ثقب مستدير مركزه ( نقطة د بالشكل ) على الخط الأوسط ، ونصف قطره مثل بعد الأوسط عن كل من الخطين اللذين عن جنبيه . فمحيط الثقب يسمهما على نقطتين ( ولتكن النقطتان و و ص ) وقد قسم الخط الأوسط أقساماً متساوية ابتداء من مركز الثقب ، كل قسم منها قوس قدرها درجة ، وابن الهيثم يفضل أن تقسم الدرجة أيضاً أجزاءً .

وقد أخرج على سطح الإطار من الداخل المستقيم المار بمركز دائرة الثقب عموداً على مستوى القرص فهو يمر بنقطتى التماس المذكورتين . ورسم على وجه القرص قطره الذى أحد طرفيه النقطة التى يلقى عليها المستقيم المذكور وجه القرص ( وليكن القطر ا ب ) . ومن الطرف الآخر للقطر أخرج على السطح الداخلى للإطار ، المستقيم القائم على سطح القرص . فهو يوازى المستقيم الأول المار بمركز الثقب ويقطع الخطوط الثلاثة على نقاط ثلاثة ( ولتكن ح و ه و ط ) تكون الوسطى منها مقابلةً بالتمام لمركز الثقب بحيث يكون الواصل بينهما ( وهو د ه ) موازياً لقطر القرص وموازياً لسطحه ، وقطراً للدائرة الموازية لسطح القرص التى تمس السطح الأسطوانى الداخلى للإطار على الخط الأوسط المدرج ، وهى الدائرة التى يسميها ابن الهيثم أحياناً الدائرة « الوسطانية » ونسُميها الدائرة الوسطى . ويكون الواصل د ه هو أيضاً سهم الأسطوانة القائمة المتوهمة التى إحدى قاعدتها دائرة الثقب ، وقاعدتها الأخرى دائرة مثلها مركزها النقطة الوسطى المذكورة ( أى نقطة ه ) . وتتضمن بعض التجارب التى ذكرها ابن الهيثم واستعان فيها بهذه الآلة أن يكون ربع محيط القرص الحادث من إخراج نصف قطره القائم على القطر المذكور من الجهة التى يحيط بها الأطار مدرجاً أيضاً ، بحيث تكون قوس الزاوية القائمة الحادثة مقسمة تسعة أقسام متساوية وتكون الأقطار المخرجة من كل قسم منها مبيّنة على وجه القرص . وعلى هذه الصفة تكون الزاوية التى

يحيط بها كل اثنين متجاورين عشر درجات . وتسهيلا للشرح سنسمى فيما يلي القطر الأول المذكور آنفا وهو ١ ب ( شكل ١٦٠ ) القطر الأول للقرص ، أما الأقطار الأخرى المرسومة على سطحه فنسئمها الأقطار المائة .

والآلة صفيحة من النحاس مقتدرة السمك مستطيلة الشكل عرضها كعرض الإطار وطولها ليس بأقل منه قد رسم على أحد سطحها خط مستقيم يمر بمنتصفي ضلعها اللذين هما بمثابة الطول منها ، فيكون موازيا لعرض الصفيحة ويقسمها قسمين متساويين . وهذه الصفيحة ثقب قطره كقطر ثقب الأطار ومركزه على هذا الخط المذكور وبُعدّه عن أحد ضلعها المنتصفين كبعد مركز ثقب الإطار عن سطح القرص . والصفيحة ملتصقة بوجه القرص التصاقا ثابتا بحيث ينطبق منتصف ضلعها الأقرب إلى الثقب على منتصف نصف قطر القرص المرسوم على وجهه مما يلي ثقب الأطار ، ويكون عمودا عليه وبحيث يكون مستوى الصفيحة عمودا على وجه القرص كما هو مبين بالشكل . ويتضح من هذا الوضع أن قطر الدائرة الوسطى الموازي للقطر الأول للقرص يمر بمركز ثقب الصفيحة وأن الاسطوانة المتوهمة التي سهمها هذا القطر وإحدى قاعدتيها يحيط دائرة ثقب الأطار يمس سطحها يحيط دائرة ثقب الصفيحة .

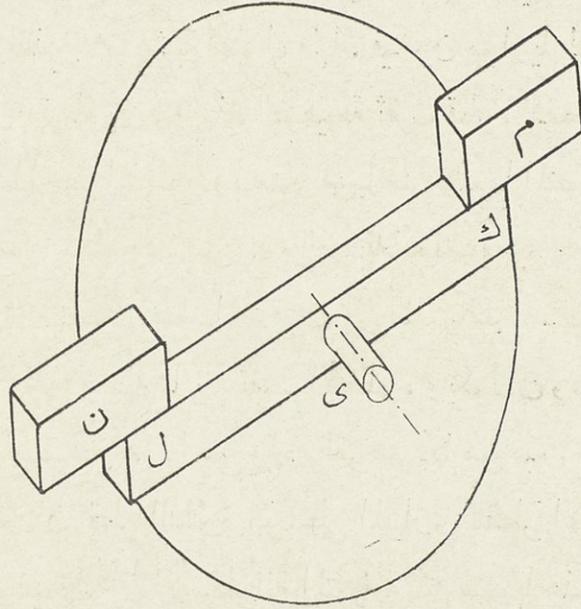
ولكي يتيسر تهيئة الآلة على الأوضاع المختلفة التي تتطلبها التجارب يوجد بظهر القرص كما هو مبين بشكل (١٦١) شخص أسطوانى (ى) طوله لا يقل عن ستة سنتيمترات وهو ملتحم بظهر القرص بحيث يكون سهم اسطوانته عمودا على مستوى القرص ومارا بمركزه . ويركب هذا الشخص فى ثقب فى منتصف قضيب (١) من النحاس مقطعه مربع ، طوله كقطر القرص وكل من عرضه وسمكه أربعة سنتيمترات بحيث « يتهندم فيه » ( أى فى ثقب الساق ) الشخص الذى على ظهر الآلة تهندما مستحكما .

ومركب على طرفى القضيب عارضتان ( م و ن ) من جنسه ملتحمتان به تبرزان إلى الخارج من الناحيتين كما هو مبين بالشكل ، حتى إذا وضعت

(١) يسمى ابن الهيثم هذا القضيب « مسطرة » ولكننا فضلنا تجنب هذا الاسم معنا لما

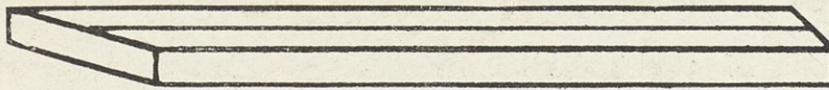
قد يحدث بعد من الالتباس .

العارضتان على قائمين راسيين أو على طرف إناء اجوف ارتكزتا على القائمين أو على حرف الإناء بحيث يكون مستوى القرص رأسياً وبحيث يتيسر إدارة القرص حول نفسه وهو على هذا الوضع .  
والآلة مسطرة صحيحة من النحاس ( شكل ١٦٢ ) طولها أكبر من نصف



( شكل ١٦١ )

قطر القرص وأصغر من ثلاثة أرباع قطره ، وعرضها ضعف قطر كل من الثقبين ، وسمكها مثل قطره ، وأحد طرفيها مدبب بحيث يصنع طول المسطرة مع حدها عند هذا الطرف زاوية حادة كالمبينة بالشكل ، ومرسوم على أحد وجهي المسطرة خط يوازي طولها ويمر بمنتصف عرضها .



( شكل ١٦٢ )

وهذه المسطرة يمكن تركيبها على وجه قرص الجهاز إما منبسطة على سطحها الموازي للوجه المرسوم عليه الخط المذكور فيكون هذا الخط في مستوى الدائرة الوسطي وإما قائمة على حدها فيكون في هذه الحالة أيضا في مستوى تلك الدائرة .

تلك هي الآلة التي اعتبر ابن الهيثم بها في بحوثه عن الانعطاف . وقد يكون من المناسب تسهيلا لشرح كيفية استخدامها للأغراض التي أرادها منها ابن الهيثم أن نستعير من الفارسي تسمية الصفيحة ذات الثقب القائمة على وجه القرص « الهدف » ، والمستقيم الواصل بين مركزي الثقبين « خط الثقبين » ، والخط المرسوم على وجه المسطرة « خط المسطرة » .

ويجدر بنا أن نذكر هنا أن ابن الهيثم في وصف هذه الآلة حدد إلا يكون قطر القرص بأقل من ثلثي ذراع وأن يكون عرض الأطار أصبعين وقطر كل من الثقبين طول شعيرة<sup>(١)</sup> وأن يكون بعد ثقب الأطار عن حرفه أصبعا وإن يكون طول الشخص الأسطواني بظهر القرص ثلاثة أصابع وأن يكون عرض الساق التي يتهدم في ثقبها الشخص أصبعين وكذلك سمكها . وأن يكون طولها في الأصل ليس بأقل من ذراع . ثم يهدم الشخص في ثقب في وسطها ويدخل الشخص في الثقب إلى أن ينطبق السطح الخلفي للقرص على سطح الساق ، ثم يقطع ما يفضل من طرفها على قطر القرص وتركب الفضلتان من فوق طرفي ما يبقى من الساق بحيث يكون ما يركب من كل من الفضلتين عليها قدر أصبع واحدة . فيكون تنوء كل من العارضتين بقدر ثلاث أصابع . إما طول المسطرة فيحدد ابن الهيثم إلا يكون أقل من نصف ذراع .

وابن الهيثم يشرح شرحا مسهبا كيفية استعمال هذه الآلة للتحقق من الأحكام التي ذكرها في الانعطاف وكذلك لتعيين زوايا الانعطاف المختلفة التي تقابل كل منها زاوية سقوط معلومة . وهو يتخذ في جميع التجارب التي يوردها إناء قائم الحروف ، سطح حرفه الأعلى مستوى أفقي يتسع لدخول آلة الانعطاف فيه « كحوض من حجر أو ما يمثله » بحيث إذا أدخل الجهاز فيه ارتكزت عارضتا الساق الخلفية على حرف الإناء وصار الإناء كالحامل للآلة ، ثم يضع الإناء موضعا تشرق عليه الشمس ويضع فيه آلة الانعطاف

(١) يلاحظ هنا أنه ينص صراحة على أنه يعني طول شعيرة . وإن كان الأفضل أن يكون القطر أقل من ذلك كعرض شعيرة وهو يساوي ٠,٣٤ من السنتيمتر - أنظر رسالة محمود باشا الفيلسفي في المقاييس والمكاييل المصرية .

على الوضع المذكور ، فيكون مستوى قرص الآلة رأسياً وأكثر من نصفه الأسفل في داخل الإناء . ويدير الآلة حول حرف الإناء ثم يدير القرص حول نفسه إلى أن يحاذي ثقب لاطار جرم الشمس فينفذ ضوءها منه إلى ثقب الهدف ، ويكون سهم الضوء النافذ من الثقبين وهو المستقيم الواصل بين مركزيهما منطبقاً على قطر الدائرة الوسطى ، والضوء الممتد على استقامة هذا المستقيم هو الذي يقابل عندنا ما نسميه الشعاع الساقط وهو الذي يكون مسيره على « خط الثقبين » .

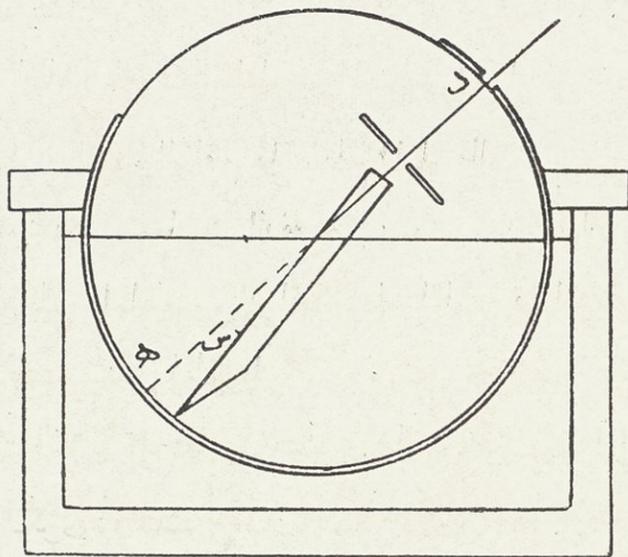
وتجارب ابن الهيثم التي استخدم فيها هذه الآلة متنوعة كثيرة ، جعلها تشمل الانعطاف عند نفوذ الضوء من الهواء إلى الماء ومنه إلى الزجاج ومن الزجاج إلى الهواء ومنه إلى الماء ، وراعى فيها الانعطاف عند السطح المستوي وعند السطح الكرى . وسنشرح فيما يلي مباحثه العملية في كل ذلك وما تضمنته من ملاحظات دقيقة وما ورد فيها من وسائل سهلة بسيطة اتخذها زيادة في التحقق من نتائج تلك الاعتبارات . وسنبتدىء أولاً بذكر ما يتعلق منها بالناحية الوصفية في الانعطاف . ثم نتناول بعد ذلك مباحثه فيما يتعلق بالناحية الكمية .

### ١٩٣ - بيان كيفية الانعطاف عند نفوذ الضوء من الهواء إلى الماء

بدأ ابن الهيثم بحوثه العملية بالبحث عن كيفية انعطاف الضوء عند نفوذه من الهواء إلى الماء . وهو في هذه الاعتبارات<sup>(١)</sup> يسكب في الإناء ماءً حتى يصل سطحه إلى مركز القرص بالضبط ويهيء وضع الآلة حتى ينفذ ضوء الشمس من الثقبين ويقع على سطح الماء فيكون المقطع المار بالدائرة الوسطى كالمبين بشكل (١٦٢) . ويصف بالدقة ما يشاهد على سطح الماء وعلى باطن الجزء المغمور في الماء من إطار الآلة إذا نظر من الربع الخالي الذي لا يحيط به الإطار .

فموقع الضوء على باطن الاطار من الجزء المغمور منه وإن كان مستديراً (بالنسبة إلى الحس) ومركزه على محيط الدائرة الوسطى فانه يتجاوز الخطين

المرسومين على باطن الإطار اللذين عن جنبتى محيط هذه الدائرة . وهو قد سبق أن بين فى بحوثه عن إمتداد الضوء على سموت الخطوط المستقيمة السبب



( شكل ١٦٣ )

فى أن ضوء الشمس إذا نفذ من ثقب ضيق نفذ منخرطاً إلى الأتساع (١) . وأيضاً فإن مركز هذا الضوء وإن كان على محيط الدائرة الوسطى فإنه لا يوجد عند طرف قطرها المار بمركزى الثقيبين ( أى لا يوجد عند نقطة هـ فى الشكل ) وإنما يوجد منعطفاً إلى جهة العمود المقام من مركز تلك الدائرة على سطح الماء .

ولعل ابن الهيثم يرى أن التجربة إذا اكتفى فيها بما ذكر لا تكون دقيقة فهى لا تدل بالدقة على أن الضوء الممتد على خط الثقيبين يلقى سطح الماء على نقطة ثم ينعطف عند هذه النقطة نافذاً فى الماء على إمتداد خط مستقيم يكون هو وخط الثقيبين والعمود القائم على سطح الماء من تلك النقطة فى مستوى واحد . لذلك نجده يستعين بخلافة رفيعة ياصقها بظاهر ثقب الإطار بحيث تكون كالقطر له . فإذا نظر إلى الضوء الذى يرى على سطح الماء ونظر إلى الضوء الذى يرى على باطن الإطار روى ظل الخلافة فى كل منهما كالقطر له . « وكذلك إن جعلت الخلافة

(١) أنظر الباب الأول من الجزء الأول من هذا الكتاب .

نصف قطر فانه ( أى المعبر ) يحد ظلها كذلك فطرف ظلها على مركزى الضوءين . وعلى هذا المنوال يبين أن الضوء الواصل إلى مركز الضوء الظاهر على إطار الآلة يصل من مركز الضوء الظاهر على سطح الماء ، والواصل إلى مركز الضوء الظاهر على سطح الماء هو الممتد في الهواء على خط الثقبين .

وقد لا يكون الضوء الواقع على سطح الماء ظاهراً بوضوح وقد يجدر زيادة التحقق ويجدر الإمعان في الدقة حتى يستبين بجلاء أن الانعطاف يحدث عند النقطة التي يلقي عليها الضوء الساقط سطح الماء لا قبلها ولا بعدها ، وأن الضوء متى انعطف يمتد في الماء على سمت مستقيم حتى يقع على إطار الآلة ، وأن المستقيمت الثلاثه تقع فعلا في مستوى واحد . لذلك نجد ابن الهيثم يستعين أيضا بالمسطرة فير كبتها على سطح القرص قائمة على حدها بحيث يكون وجهها الذى عليه الخط منطبقا على سطح الماء وموجها إلى أعلى فيكون خط وجهها وهى على هذا الوضع في مستوى الدائرة الوسطى . فيرى موقع الضوء على سطح الماء ظاهرا بوضوح على وجه المسطرة ويرى مركزه على خطها . وإذا استعين بالخلافة كما ذكر آنفا أمكن التأكد من أن الضوء الممتد على خط الثقبين يقع على سطح الماء عند مركز الضوء الظاهر عليه وأن هذه النقطة في مستوى الدائرة الوسطى ، بل وأنها هى مركز هذه الدائرة . ثم إذا ركبت المسطرة بعد ذلك منبسطة على ظهرها بحيث يكون وجهها في هذا الوضع في مستوى الدائرة الوسطى ، وجعلت على القرص بحيث كان حرفها ذو الطرف المدبب من وجهها الملتصق بسطح القرص مارا بمركزه وقرنة المسطرة التي هى الطرف المدبب من ضلع وجهها الذى عليه الخط ، عند مركز الضوء الواقع على الإطار ( كما هو مبين بشكل ١٦٢ ) كان هذا الضلع ممتدا على استقامة قطر من أقطار الدائرة الوسطى . فاذا جيء بخلافة طويلة ودوخلت في الماء وجعل رأسها على نقطة من الضلع المذكور كنقطة س مثلا ، وحرك على هذا الضلع ، وجد ظل الخلافة قاطعا الضوء الواقع على إطار الجهاز ، ووجد رأسه أبدا عند قرنة المسطرة التي هى مركز ذلك الضوء .

وبهذه الكيفية بين ابن الهيثم أن الضوء الذي يمتد على خط الثقبين على استقامة نصف قطر من أقطار الدائرة الوسطى ويقع على سطح الماء عند مركز هذه الدائرة يمتد في الماء على استقامة نصف قطر من أقطارها، فيقع على باطن الإطار عند نقطة على محيط الدائرة الوسطى. وعلى هذا المنوال يوضح أن المستقيمت الثلاث المذكورة واقعة في مستوى واحد

وابن الهيثم يشير في هذا الاعتبار إلى أن الانعطف لا يحدث إلا إذا كان خط الثقبين مائلاً على سطح الماء لاقاماً عليه، وأنه إذا كان خط الثقبين عموداً على سطح الماء وكانت الشمس عند سمت الرأس نفذ الضوء في الماء على سمتة الأول من غير انعطاف.

وينبه عند بيان الانعطف في الماء إلى وجوب تجنب الوقت الذي تكون فيه الشمس على سمت الرأس في المواضع من سطح الأرض وفي الأوقات التي يتأتى فيها ذلك ويقول بلفظه « وأكثر المواضع المعمورة من الأرض ليس تمر الشمس بسمت رؤوس من فيها وهذه المواضع يتم فيها هذا الاعتبار في كل وقت (١) ».

ولا يخفى أنه من الميسور أن يهياً الجهاز بحيث يكون خط الثقبين رأسياً فيكون عموداً على سطح الماء ويؤتى بمرآة مستوية مثلاً وتوضع في الوضع المناسب بحيث تنعكس عن سطحها أشعة الشمس وتنفذ من ثقب الجهاز وتقع عمودية على سطح الماء. فيتيسر التحقق من هذا الأمر أيضاً، غير أنه لم يعن بذلك في اعتباره الخاصة بالماء.

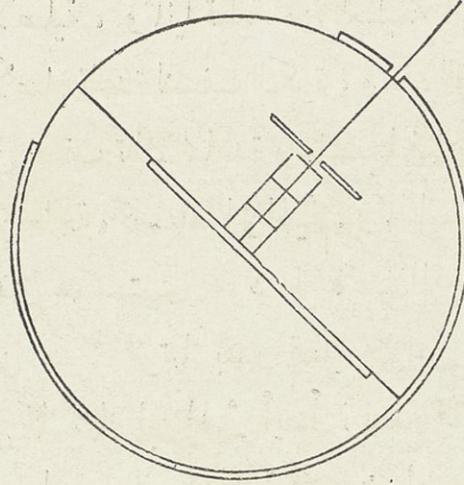
### ١٩٤ - الاستدلال على عدم انعطاف الضوء الواقع عموداً على السطح

ولعل إغفاله بيان هذا الأمر عند نفوذ الضوء من الهواء إلى الماء جعله يعنى عناية خاصة ببيانه عند نفوذ الضوء في الزجاج، إذ له تجارب عدة يوضح بها هذا الأمر وحده. والذي يجدر ذكره في هذا الصدد أنه إن أراد مثلاً أن يبين أن الضوء إذا وقع عموداً على السطح عند نفوذه من الهواء في الزجاج،

فانه ينفذ في جسم الزجاج على استقامته الأولى ، إن أراد أن يبين هذا تجنب أن تتضمن التجربة نفوذ الضوء بعد ذلك من الزجاج إلى الهواء ، أو أن يكون لنفوذه من الزجاج إلى الهواء شأن في التدليل . وموقفه هذا جدير بالتقدير . فاذا قيل مثلاً أن الشعاع من الضوء إذا وقع على أحد سطوح قطعة من الزجاج على شكل متوازي مستطيلات عموداً عليه فانه ينفذ من السطح الموازي خارجاً منها على استقامته الأولى فان هذا في نظر ابن الهيثم لا يصح أن يتخذ دليلاً مقنعاً على أن الضوء الواقع عموداً على سطح الزجاج ، امتداده في جرم الزجاج على استقامة امتداده في الهواء قبل وقوعه على سطح الزجاج أو هو على استقامة امتداده في الهواء بعد نفوذه من الزجاج . لذلك نجده يبحث عن الوسيلة لبيان كل واحد من هذين الأمرين على حدته أولاً وليبين أن الأمر كذلك سواء كان سطح الزجاج مستوياً أو مقعراً .

فهو يتخذ فيما يختص بالسطوح المستوية قطعاً مكعبة متساوية من الزجاج (١) ضلع كل منها ضعف قطر الثقب سطوحها مسواة ومجلوة ، ويركها على سطح القرص بين مركزه وبين الهدف مبتدئاً من المركز بحيث تكون متلامسة ويكون القطر الأول للقرص ماراً بمنتصفي ضلعين متوازيين من قاعدة كل منهما وعموداً عليهما ، فيكون خط الثقبين عموداً على سطوحها العمودية على القطر الأول وماراً بمنتصفات هذه السطوح كما هو مبين في شكل (١٦٤) ثم يركب المسطرة على حدها بحيث يكون وجهها الذي عليه الخط ملامساً لوجه الزجاج الأولى فيصير خط المسطرة في مستوى الدائرة الوسطى . فعلى هذا الوضع إذا نفذ ضوء الشمس من الثقبين يوجد مركز الضوء الظاهر على وجه المسطرة على خطها . وابن الهيثم يستعين هنا أيضاً بخلاصة دقيقة لزيادة التأكد . فاذا وضعت بحيث يكون طرفها على مركز ثقب الاطار رؤى ظل طرفها عند مركز الضوء على وجه المسطرة وعلى خط وجهها . وهو في هذا الموضع يطالب بأن يعين موضع ظل طرف الخلالة على وجه المسطرة بنقطة تنقط بالسواد ،

ثم تثبت المسطرة اعلى هذا الموضع . فاذا وضعت الخلالة بحيث يكون طرفها



( شكل ١٦٤ )

على مركز ثقب الهدف وجد على وجه المسطرة ظل طرفها في موضعه الأول . وكذلك إذا وضع طرف الخلالة على مركز الضوء الظاهر على سطح الزجاج مما يلي الهدف ، أو إذا نقت بالاسود نقطة على مركز هذا الضوء ، وكذلك إذا قلعت الزجاجات مما يلي الهدف واحدة واحدة وأعيدت هذه الاعتبارات في كل حالة .

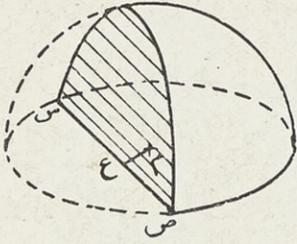
على هذه الصفة وبمثل هذا الترتيب يشرح ابن الهيثم الاعتبار ، ويقول « فيتبين من ذلك أن الضوء ينفذ في جسم الزجاج ويمتد في جسم الزجاج من بعد نفوذه على سموت خطوط مستقيمة . ويتبين من ذلك أيضاً أن الضوء المار بمركزي الثقبين قد امتد في جسم الزجاج على استقامة الخط الذي عليه امتد في الهواء قبل نفوذه في الزجاج ، والخط الذي عليه امتد هذا الضوء في الهواء هو عمود على سطح الزجاج المقابل للثقب » (١) .

أما فيما يختص بالسطوح الكرية فهو يتخذ قطعة من البللور (٢) كالمبينة بشكل (١٦٥) مقطوعة من نصف كرة ، نصف قطرها أصغر قليلاً من البعد بين مركز قرص الجهاز وبين الهدف ، بحيث يكون سطح القطع مستوياً عموداً على قاعدة نصف الكرة ، ويبعد عن مركز الكرة بقدر قطر كل من ثقبي الجهاز . فاذا كانت نقطة م (شكل ١٦٥) مركز كرة الزجاج وكان س ص خط تقاطع قاعدة نصف الكرة ومستوى القطع فإن المستقيم م ع الواصل من المركز إلى منتصف س ص يكون عموداً عليه ويكون مساوياً قطر كل

(١) و (١٨) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (١٨) — و (٢٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

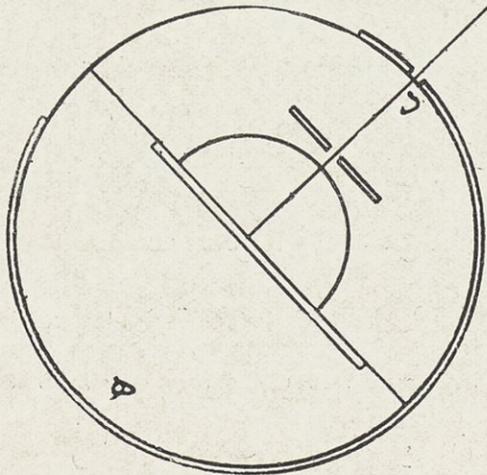
من الثقبين ، وتكون حدود قطعة الزجاج أولاً جزءاً من سطح نصف الكرة الأصلية ، وثانياً قطعة من العظيمة التي كانت في الأصل قاعدة لنصف الكرة ، وهذه القطعة أعظم من نصف تلك القاعدة وسميها فيما يلي « قاعدة الزجاج » كما سماها ابن الهيثم . وثالثاً سطح القـطـع الذي هو مستوى عمود على قاعدة الزجاج ويبعد



( شكل ١٦٥ )

عن مركز كرتها بقدر قطر كل من الثقبين . وسمي هذا المستوى فيما يلي كما سماه ابن الهيثم أيضاً « سطح القـطـع » . ونسمى خط تقاطعه وقاعدة الزجاج « الفصل المشترك » بينهما .

وتركب هذه الزجاج على قرص الجهاز بحيث ينطبق سطح القطع على سطح القرص ويكون الفصل المشترك عموداً على القطر الأول للقرص ، ومتصفه عند مركز القرص ، وتكون حدة الزجاج مما يلي الهدف . فيكون المقطع المار بمستوى الدائرة الوسطى كالمبين بشكل (١٦٦) ويقطع الزجاج على نصف دائرة مركزها مركز كرة الزجاج وينطبق على مركز الدائرة الوسطى . وعلى هذا الوضع يكون خط الثقبين عموداً على السطح الكروي للزجاج ماراً بمركز كرتها . وابن الهيثم يستعين أيضاً بالمسطرة ويركبها قائمة على حدها ووجهها الذي عليه الخط



( شكل ١٦٦ )

ملاص لقاعدة الزجاج ويعيد اعتباراته بالخلالة ومشاهداته كما في الحالة السابقة مدلاً على أن الضوء الممتد على خط الثقبين يقع على السطح الكروي للزجاج عموداً عليه وينفذ في جرمها على استقامته الأولى دون أن ينعطف .

ثم هو يمضي بعد ذلك لبيان أن الضوء إذا وقع في جرم الزجاج عموداً

على السطح نفذ إلى الهواء على استقامة دون أن ينعطف . وهو يدل على هذا بما يشاهد إذا رفعت المسطرة من وضعها المذكور . فالضوء الممتد على خط الثقبين النافذ في جرم الزجاج يقع على قاعدة الزجاج عموداً عليها فيوجد مركز الضوء الواقع على باطن الاطار على طرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركزى الثقبين ( أى نقطة ه فى الشكل ) . وهو يتناول أيضاً الحالة (١) التى يعكس فيها وضع الزجاج فتوضع بحيث ينطبق سطح القطع على سطح القرص ويكون الفصل المشترك عموداً على القطر الأول ومنتصفه على هذا القطر ولكن قاعدة الزجاج مما يلي الهدف . فالضوء الممتد فى الهواء على خط الثقبين يقع عموداً على قاعدة الزجاج فينفذ فى جرم الزجاج على استقامة ثم يقع عموداً على سطحها الكرى وينفذ خارجاً منه إلى الهواء . فيوجد مركز الضوء الواقع على الاطار على طرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركزى الثقبين .

هذا فيما يتعلق بنفوذ الضوء من الزجاج إلى الهواء . وهو أيضاً يتناول الأمر فيما يتعلق بنفوذ الضوء الخارج من الزجاج منه إلى الماء سواءً كان سطح الزجاج الخارج منه الضوء إلى الماء مستوياً أو كريباً . ويدل على ذلك بتركيب الزجاج فى وضعها المذكورين آنفاً كل على حدته . فاذا سكب فى الاناء ماء والزجاج فى الوضع الأول (٣) حتى يتجاوز سطحه مركز القرص قليلاً ، أو سكب فى الاناء ماء والزجاج فى الوضع الثانى (٢) حتى يبلغ سطحه حداثتها دون أن يصل إلى موقع الضوء على قاعدتها المستوية ، وجد الأمر كذلك أيضاً .

١٩٥ — بيان كيفية الانعطاف فى كل من الوسطين الهواء والزجاج

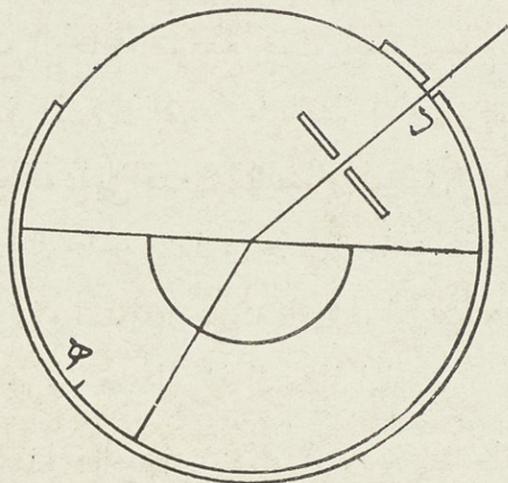
والماء والزجاج

وابن الهيثم إذ يفرغ من تحقيق أن الضوء الواقع عموداً على السطح ينفذ فى الوسط الثانى على استقامته دون أن ينعطف يتناول بيان كيفية الانعطاف

- 
- (١) و (٢١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .
  - (٢) و (٢٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .
  - (٣) و (٢٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

عند نفوذ الضوء ( أولاً ) من الهواء في الزجاج أو من الزجاج في الهواء ،  
و ( ثانياً ) من الزجاج في الماء إذا لم يكن وقوعه على السطح الفاصل بين  
الوسطين عموداً عليه سواء كان هذا السطح مستوياً أو كريباً .

فللبحث عن كيفية الانعطاف من الهواء إلى الزجاج عند السطح المستوي (١)



( شكل ١٦٧ )

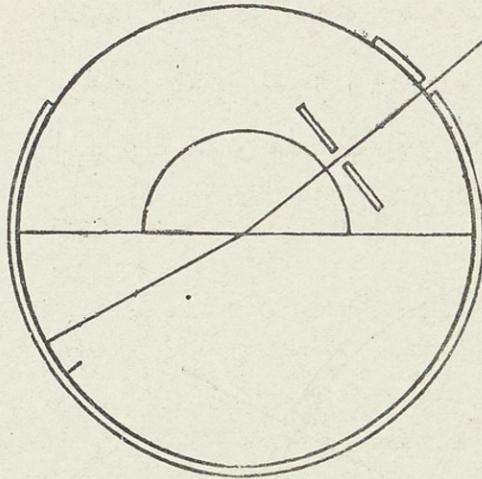
تركب الزجاج بـحيث يُطبق  
سطح القطع على سطح القرص  
وبحيث تكون قاعدتها بما يلي  
الهدف ومنتصف الفصل  
المشترك على القطر الأول (٢)  
والفصل المشترك يميل عليه  
بزواوية ليست قائمة ، فيكون  
المقطع المار بمستوى الدائرة  
الوسطى كالمبين بشكل (١٦٧)

ففي هذا الوضع يقع الضوء الممتد على خط الثقبين على القاعدة المستوية للزجاج  
ويلقاها على مركز كرة الزجاج ، فيمتد في جرم الزجاج على استقامة نصف  
قطر من أقطارها ، فيقع على سطحها الكري عموداً عليه وينفذ خارجاً إلى الهواء  
على استقامة امتداده في جرم الزجاج ، ويقع عند مركز الضوء الظاهر على إطار  
الجهاز . وإن كان مركز الضوء الظاهر على إطار الجهاز يوجد في هذا الاعتبار  
أيضاً على محيط الدائرة الوسطى فإنه لا يوجد عند طرف قطرها المار بمركز  
الثقبين وإنما يوجد منعطفاً نحو العمود المقام من نقطة وقوع الضوء على السطح  
المستوى لقاعدة الزجاج عموداً عليه كما هو مبين بالشكل .

(١) و (٢٠) - و (٢٣) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) لم يتقيد ابن الهيثم في وصفه لهذا الاعتبار بأن يكون منتصف الفصل المشترك عند  
مركز القرص ولو فعل لكان انصب ، إذ تكون الزاوية التي يوترها البعد بين طرف خط  
الثقبين من الدائرة الوسطى وبين مركز الضوء الحاصل على الاطار ، تكون الزاوية التي يوترها  
هذا البعد عند مركز الدائرة الوسطى هي زاوية الانعطاف كما هو مبين بالشكل الذي أوردناه .

وللبحث عن كيفية الانعطاف من الزجاج إلى الهواء عند السطح المستوي  
تركب الزجاج بحيث يُطبق سطح القطع على سطح القرص وبحيث تكون



( شكل ١٦٨ )

حدبتها مما يلي الهدف<sup>(١)</sup>. وهو يُحدد في هذا الاعتبار أن يكون منتصف الفصل المشترك عند مركز القرص ولكن الفصل المشترك يميل بزاوية ليست قائمة على القطر الأول للقرص ، فيكون المقطع المار بمستوى الدائرة الوسطى كالمبين بشكل ( ١٦٨ ) ، ويكون مركز الزجاج عند مركز

الدائرة الوسطى . فالضوء الممتد على خط الثقبين يقع عموداً على السطح الكرى للزجاج فينفذ في جرمها على استقامة حتى يقع على السطح المستوي لقاعدتها عند مركز كرتها ، فينفذ خارجاً إلى الهواء ويوجد في هذه الحالة مركز الضوء الظاهر على إطار الجهاز عند محيط الدائرة الوسطى ، ولكنه ليس عند طرف قطرها المار بمركزى الثقبين ، وإنما منعطفاً إلى ضد جهة العمود كما هو مبين بالشكل .

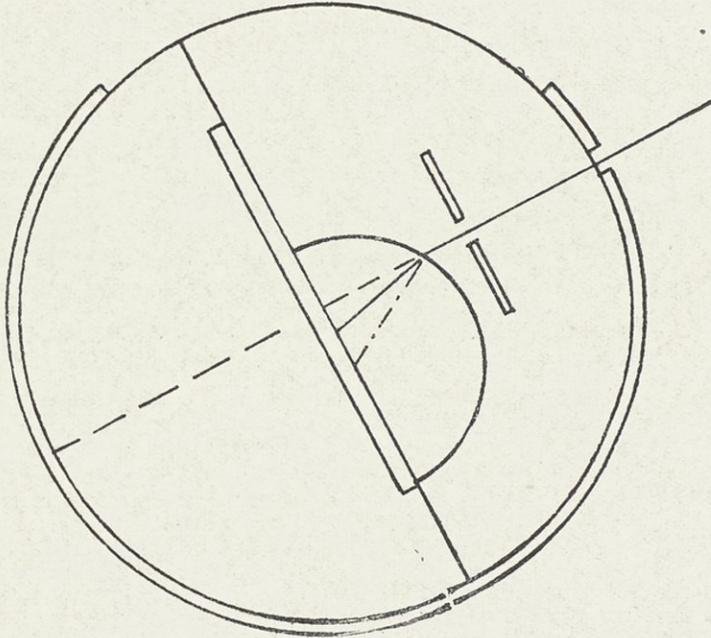
ويستخدم ابن الهيثم هذا الوضع لبيان كيفية انعطاف الضوء من الزجاج إلى الماء عند السطح المستوي<sup>(٢)</sup> . فإذا سكب في الإناء ماء حتى يبلغ سطحه مركز القرص ثم يتجاوزه قليلاً ، فإن انعطاف الضوء الممتد في جرم الزجاج على خط الثقبين يحدث عند السطح المستوي الفاصل بين الزجاج والماء . ويوجد أيضاً إلى ضد جهة العمود ولكن مقداره في هذه الحالة يكون أقل مما هو في الحالة السابقة .

وللبحث عن كيفية الانعطاف من الهواء إلى الزجاج عند السطح الكرى

(١) و (٢٣) — و (٢٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (٢٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

يجعل الزجاجة على سطح القطع بحيث تكون حديتها مما يلي الهدف والفصل المشترك عموداً على القطر الأول للقرص وماراً بمركزه ، ولكن منتصفه ليس عند مركز القرص بل عن جنبه منه بحيث يكون المقطع المار بمستوى الدائرة الوسطى كالمبين بشكل ( ١٦٩ ) . ومركز كرة الزجاجة يكون في هذا الوضع أيضاً في مستوى هذه الدائرة ولكنه عن جنبه من مركزها فهو غير منطبق عليه (١) .

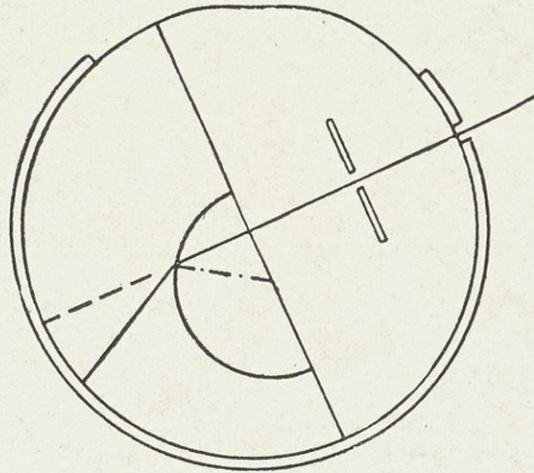


( شكل ١٦٩ )

وابن الهيثم يستعين في هذه التجربة بالمسطرة ويركبها على حدها بحيث يكاد ينطبق وجهها الذي عليه الخط على قاعدة الزجاجة ويكاد يكون خط وجهها في مستوى الدائرة الوسطى . وقد يكون من الأنسب في هذه الحالة أن يخط على وجه المسطرة خط عمود على خط وجهها يلقاه على نقطة ، فإذا ماركت المسطرة على حدها يلاحظ أن يكون طرف هذا الخط منطبقاً على مركز القرص فتكون النقطة التي يلقى عليها هذا الخط خط المسطرة عند مركز الدائرة الوسطى بالضبط ، فبتحديد موضع مركز الدائرة الوسطى على هذه الصفة يسهل ادراك الغرض الذي يرمى إليه ابن الهيثم .

فالضوء الممتد على خط الثقبين في هذه الحالة يقع على حدبة الزجاج بحيث يحيط مع العمود على السطح ( وهو نصف القطر المنتهي إلى نقطة وقوع الضوء ) بزاوية ليست قائمة ، فاذا تؤمل الضوء الظاهر على وجه المسطرة وجد مركزه على خط وجهها ولكنه ليس عند مركز الدائرة الوسطى بل عن جنبه منه من الجهة التي فيها مركز كرة الزجاج (١) . فالضوء ينعطف عند نفوذه من الهواء الى الزجاج عند السطح الكرى للزجاج إلى جهة العمود .

وللبحث عن كيفية الانعطاف من الزجاج الى الهواء عند السطح الكرى أيضاً يجعل ابن الهيثم الزجاج على سطح القطع بحيث تكون قاعدتها مما يلي الهدف ويكون الفصل المشترك عموداً على القطر الأول للقرص وماراً بمركزه ولكن منتصفه عن جنبه من المركز أيضاً ، فيكون المقطع المار بمستوى الدائرة الوسطى كالمبين بشكل (١٧٠) ويكون الضوء الممتد على خط الثقبين نافذاً في جرم الزجاج



( شكل ١٧٠ )

على استقامته حتى يلقي حدبة الزجاج حيث يحيط مع نصف قطرها المنتهي إلى نقطة الالتقاء بزاوية ليست قائمة ، فينفذ خارجاً إلى الهواء . ويوجد مركز الضوء الظاهر على إطار الجهاز لا عند طرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركز الثقبين بل منعطفاً

إلى الجهة التي فيها مركز كرة الزجاج ، دالاً ذلك على أنه ينعطف عند نفوذه

(١) يجعل ابن الهيثم في هذا الاعتبار المسطرة موازية لقاعدة الزجاج وجهها الذي عليه الخط يبعد قليلاً عنها ، ويقول عن الضوء الخارج من السطح المستوي للزجاج « وهذا الضوء عند خروجه من سطح الزجاج المستوي يكون منعطفاً إلا أنه إذا كانت المسطرة الدقيقة قريبة جداً من سطح الزجاج فليس يكون ميل مركز الضوء الذي في المسطرة عن استقامة الخط الذي هو ممتد في جسم الزجاج ميلاً يخفى من أجله انعطاف الضوء في جسم الزجاج أو تخفى جهته » وواضح أنه إن لم تكن المسطرة الدقيقة قريبة جداً من سطح الزجاج ، كما يقول ، فإن الانعطاف عند خروج الضوء من الزجاج إلى الهواء يضاف تأثيره إلى التأثير المقصود في التجربة .

من الزجاج إلى الماء إلى ضد جهة العمود<sup>(١)</sup> . ويلاحظ في هذا الوضع أن القوس المحدودة بطرف خط الثقبين ومركز الضوء الواقع على إطار الجهاز لا يتعين بها زاوية الانعطاف .

وابن الهيثم يتناول وصف ما يشاهد في هذه الحالة أيضاً إذا سكب في الاناء ماء بحيث يغمر الزجاج إلى ما فوق موضع الانعطاف دون أن يبلغ سطحه موقع الضوء على قاعدتها المستوية<sup>(٢)</sup> .

تلك هي تجارب ابن الهيثم عن كيفية الانعطاف . وقد التزمنا في الشرح هنا أن نورد جميع الآراء التي ضمنها أقواله في هذه التجارب ونلم بجميع المعاني والأغراض التي أرادها دون أن نخرج أو نعيد عن الطريق الذي سلكه إلى ذلك .

وتجاربه توضح الأحكام الوصفية التي ذكرها في الانعطاف وهو يشير إلى أن الضوء الذي أجريت عليه هذه التجارب وإن كان ضوء الشمس وحده ، فإن الأحكام التي بينتها هذه التجارب عامة تنطبق على جميع الأضواء ذاتها وعرضها قوتها وضعيفها ، ثم يقول « ومع ذلك فإنه قد يمكن أن تعتبر الأضواء العرضية بالآلة التي وصفناها وبالطرق التي شرحناها إذا اعتمدنا المعبر بيتاً يدخل إليه ضوء النهار من ثقب مقتدر ولا يدخل إليه الضوء إلا من ذلك الثقب ، وأغلق المعبر الباب وركب الآلة في قبالة الثقب وتأمل الضوء الذي في داخل الماء من وراء الزجاج ، وفي حرف الآلة إذا خرج من جسم الزجاج إلى جسم الهواء وسلك الطرق التي بيناها في اعتبار ضوء الشمس الخ<sup>(٣)</sup> »

وابن الهيثم بعد كلام له يعود فيتناول<sup>(٤)</sup> بالشرح المسهب ما يتعلق من هذه الاعتبارات ببيان أن الشعاع الساقط والشعاع المنعطف والعمود من نقطة الانعطاف يقع جميعها في مستوى واحد وهو القانون الذي يعود إليه الفصل في النص عليه واستيفاء تحقيقه عملياً .

(١) و (٢٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (٢٦) — و (٢٧) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٣) و (٢٧) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٤) الفصل الثالث من المقالة السابعة و (٣٢) — و (٣٥) من مخطوط المقالة .

## ١٩٦ - الناحية الكمية من بحوث ابن الهيثم العملية عن الانعطاف

والناحية الكمية من بحوث ابن الهيثم تشمل قياس زوايا الانعطاف المقابلة لزوايا سقوط معينة عند نفوذ الضوء من الهواء في الماء ومنه في الزجاج وبالعكس ، وعند نفوذه من الزجاج في الماء أيضاً . وقد راعى في الأحوال التي اعتبر فيها بالزجاج الانعطاف عند السطح المستوي وعند السطح الكروي بل وضمن بحوثه اعتبارات في الانعطاف عند السطح الاسطوانى أيضاً .

وبحوثه الكمية هذه لا تختلف من حيث الفكرة الأساسية التي أنبتت عليها عن البحوث الوصفية التوضيحية التي أجمالناها فيما سبق . ولكنها تمتاز في أن ابن الهيثم راعى فيها تخير الأوضاع التي كفلت له قياس الزوايا التي أراد قياسها وحاول أن يتخذ قياسها وسيلة إلى كشف العلاقة بين زاوية السقوط وبين زاوية الانعطاف .

ونحن في عرض هذه البحوث فيما يلي رأينا تقسيمها لثلاثة أقسام . نتناول في القسم الأول ما هو خاص منها بانعطاف الضوء عند نفوذه من الهواء في الماء ، ونتناول في القسم الثاني ما هو خاص منها بانعطاف الضوء في كل من الوسطين الهواء والزجاج والماء إذا كان السطح الفاصل بين الوسطين مستوياً ، ونتناول في القسم الثالث ما هو خاص منها بانعطاف الضوء في كل من الوسطين المذكورين إذا كان السطح الفاصل بينهما كروياً أو اسطوانياً .

## ١٩٧ - البحوث الكمية المتعلقة بالانعطاف عند نفوذ الضوء من

الهواء الى الماء

وتتلخص الطريقة (١) التي سلكها في هذه البحوث في أن توضع الآلة في داخل الإناء كما في الاعتبار الوصفية وأن يسكب الماء في الإناء إلى أن يبلغ سطحه مركز القرص ، ثم أن يهيا القرص في الوضع الذي ينطبق فيه أحد أقطاره المائلة على سطح الماء بالتمام . وقد بدأ بحسب الوصف الوارد بالقطر الذي

(١) و (٣٦) - و (٣٨) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

يحيط مع القطر الأول من جهة الثقب بزاوية قدرها عشر درجات . وأخذ عدته للأمر وقت طلوع الشمس ووجه الآلة بحيث كان ثقب إطارها نحو الشرق ، حتى إذا ما ارتفعت الشمس فوق الأفق بالقدر المناسب نفذ ضوءها من الثقبين وسقط على سطح الماء ، وكانت زاوية سقوط الضوء الممتد على خط الثقبين ثمانين درجة . ولبت مترقياً يراعى الشمس ، حتى إذا ما نفذ ضوءها من الثقبين عين موضع مركز الضوء الواقع على باطن الإطار من الجزء المغمور منه في الماء . فالقوس التي يحددها مركز هذا الضوء من جهة وطرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركز الثقبين من جهة أخرى ، توتر عند مركز هذه الدائرة زاوية الانعطاف التي تقتضيها زاوية سقوط قدرها ثمانون درجة . ثم أعاد مثل هذا العمل مع جعل قطر القرص الذي يحيط مع قطره الأول بزاوية قدرها عشرون درجة منطبقاً على سطح الماء فأمكنه تعيين زاوية الانعطاف التي تقتضيها زاوية سقوط قدرها سبعون درجة وهكذا .

بهذه الكيفية استطاع ابن الهيثم تعيين مقادير زوايا الانعطاف في الماء التي تقتضيها زوايا سقوط في الهواء جعل مقاديرها تتفاضل بعشر درجات فعشر ، مبتدئاً بزاوية سقوط قدرها ثمانون درجة ومنتهاً بزاوية سقوط قدرها عشر درجات .

وابن الهيثم يعقب على شرحه هذا الأمر قائلاً بلفظه « وإن أحب المعتبر أن يعتبر الزوايا خمسة أجزاء خمسة أجزاء ، فعل ذلك على مثل ما تقدم شرحه . وإن أحب أن يعتبر ما هو أدق من خمسة أجزاء فعل ذلك على الترتيب الذي رتبناه<sup>(١)</sup> . وأغلب الظن أن ابن الهيثم نفسه كما يُستدل مما سيأتي بيانه فيما بعد أكتفى في بحوثه بالاعتبار بالزوايا التي تتفاضل بعشر درجات فعشر .

## ١٩٨ - البحوث السكينية المتعلقة بالانعطاف عند السطح المستوي لكل

من الوسطين الهواء والزجاج والزجاج والماء

استعان ابن الهيثم في هذا القسم من بحوثه بقطعة الزجاج المقطوعة

(١) و (٣٨) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

من نصف الكرة التي سبق ذكرها في التجارب الوصفية . وطريقته لقياس زوايا الانعطاف عند نفوذ الضوء من الهواء إلى الزجاج<sup>(١)</sup> أن تركيب الزجاج على سطح القطع بحيث تكون قاعدتها مما يلي الهدف ، وبحيث ينطبق الفصل المشترك على القطر الذي يحيط مع القطر الأول للقرص بزواوية قدرها عشر درجات ، وبحيث يكون منتصف الفصل المشترك عند مركز القرص بالضبط ، ( انظر شكل ١٦٧ ) ويُجرى العمل كما في الحالة السابقة . فيتسنى هنا أيضا تعيين زوايا الانعطاف في الزجاج التي تقتضيها زوايا سقوط في الهواء مقاديرها ثمانون درجة وسبعون الخ .

وطريقته لتعيين زوايا الانعطاف عند نفوذ الضوء من الزجاج إلى الهواء<sup>(٢)</sup> أن تركيب الزجاج المذكورة على سطح قطعها بحيث تكون حداثتها مما يلي الهدف والفصل المشترك منطبقا على قطر من الأقطار المائلة ومنتصفه عند مركز القرص ( كما هو مبين بشكل ١٦٨ ) ويجرى العمل كما مر . فيتسنى تعيين زوايا الانعطاف في الهواء التي تقتضيها زوايا سقوط في الزجاج مقاديرها تلك المقادير المذكورة أيضا .

وابن الهيثم في الاعتبار بالزجاج على الوضعين المذكورين يقول « وإذا أعتبر المعتبر الزجاج على الوضعين اللذين ذكرناهما تبين له أن مقدار زوايا الانعطاف من الهواء إلى الزجاج ومن الزجاج إلى الهواء تكون أبدا متساوية ، إذا كانت الزاوية التي يحيط بها الخط الذي امتد عليه الضوء إلى موضع الانعطاف مع العمود ، في الانعطاف من الهواء إلى الزجاج [ مساوية للزاوية التي يحيط بها الخط الذي امتد عليه الضوء إلى موضع الانعطاف مع العمود في الانعطاف من الهواء إلى الزجاج ]<sup>(٣)</sup> مساوية للزاوية التي يحيط بها الخط الذي امتد عليه الضوء من موضع الانعطاف مع العمود ، في الانعطاف من الزجاج<sup>(٤)</sup> . ويقصد طبعاً الانعطاف من الزجاج إلى الهواء .

(١) و (٣٨) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (٣٨) — و (٣٩) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٣) وردت هذه الجملة في الأصل وهي من أخطاء النسخ .

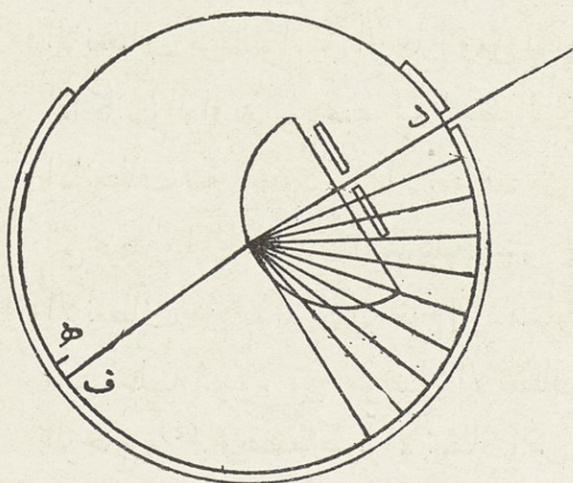
(٤) و (٣٩) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

والوضع الثاني المذكور للزجاجة يصلح كما يشير ابن الهيثم نفسه في موضع آخر من بحوثه لتعيين زوايا الانعطاف عند نفوذ الضوء من الزجاج إلى الماء<sup>(١)</sup> ويتسنى ذلك إذا سكب في الإناء ماء والزجاجة مركبة على الوضع المبين حتى يتجاوز سطح الماء مركز القرص قليلاً .

### ١٩٩ - البحوث الكمية المتعلقة بالانعطاف عند السطح المنحني لسكل من

#### الوسطين الهوائي والزجاجي والزجاجي والمائي

ينوع ابن الهيثم تجاربه في هذا القسم من بحوثه . فلتعيين زوايا الانعطاف عند نفوذ الضوء من الزجاج إلى الهواء يستعين بالزجاجة المذكورة أيضاً<sup>(٢)</sup> ويركها بحيث ينطبق سطح القطع على سطح القرص وبحيث يكون مستوى قاعدتها مما يلي الهدف ومنتصف الفصل المشترك على أحد أقطار القرص المائلة مما يلي الهدف (وليكن أولاً القطر الذي يحيط مع القطر الأول بزاوية قدرها عشر درجات) وبحيث يكون بعد منتصف الفصل المشترك عن مركز القرص بقدر نصف قطر كرة الزجاج ، ثم يهبط وضع الزجاج بحيث يكون القطر الأول عموداً على الفصل المشترك . فيكون المقطع المار بمستوى الدائرة



(شكل ١٧١)

الوسطى كالمبين بشكل (١٧١) ، ويمر هذا المقطع بمركز كرة الزجاج ويلقى سطحها الكروي على نصف دائرة يمر محيطها بمركز الدائرة الوسطى ، ويكون خط الثقبين عموداً على مستوى قاعدة الزجاج . وإذن ينفذ الضوء الممتد على هذا الخط في جرم الزجاج على استقامة حتى

(١) و (٤١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

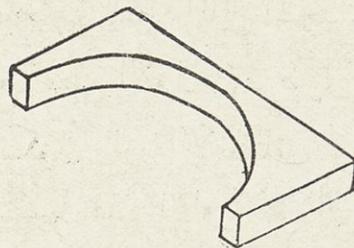
(٢) و (٣٩) - و (٤١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

يلقى سطحها الكرى عند مركز الدائرة الوسطى ، فتكون زاوية سقوطه عليه مثل الزاوية التي يحيط بها القطر المائل للقرص مع قطره الأول (وهي في هذه الحالة عشر درجات) فينعط الضوء خارجاً إلى الهواء ملازماً المستوى نفسه ويقع على إطار الجهاز. فالقوس المحدودة بطرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركزى الثقبين (وهو نقطة ه في الشكل) ومركز الضوء الواقع على الاطار (وهو نقطة ف في الشكل) توتر زاوية الانعطاف في الهواء التي تقتضيها زاوية السقوط المذكورة. وباعادة هذا العمل على كل واحد من الأقطار المائة الأخرى تتبين زوايا الانعطاف التي تقتضيها زوايا سقوط مقاديرها ٢٠ و ٣٠ و ٤٠ و ٥٠ و ٦٠ و ٧٠ و ٨٠ درجة .

وكذلك إذا سكب في الاناء ماء حتى يتجاوز سطحه مركز القرص أمكن تعيين زوايا الانعطاف عند نفوذ الضوء من الزجاج إلى الماء .

وابن الهيثم لا يقنع من البحث بهذه الحالة التي يكون فيها الضوء خارجاً من السطح المحدب للزجاج . لذلك نجده يمضى إلى قياس زوايا الانعطاف في أحوال يكون خروج الضوء فيها من سطح مقعر لقطعة من الزجاج<sup>(١)</sup> حتى يلم بحالتي التحديد والتقعير ولا يكون بحثه مقصوراً على الأولى فحسب .

وابن الهيثم في هذا القسم من بحوثه يتخذ قطعة من الزجاج كالمبين بشكل (١٧٢) يصفها قائلاً بلفظه « فليتخذ (أى المعتبر) زجاجة مقعرة تقعيراً اسطوانياً على مقدار نصف اسطوانة قائمة وليكن شكل جملة الزجاج شكلاً متوازى السطوح يكون طوله يزيد على نصف قطر الزجاج الكرية (أى التي اتخذت في التجارب السابقة) بمقدار شعيرة ويكون عرضها مثل ذلك ويكون



(شكل ١٧٢)

سمكها بمقدار ضعف قطر الثقب الذي في حرف الآلة، وليكن التقعير في أحد جوانبها، وتكون قاعدة التقعير الأسطوانى في سطحى الزجاج المربعين ويكون طول الاسطوانة في سمك الزجاج، وليكن نصف قطر قاعدة الاسطوانة



ومركز الضوء الواقع على الإطار كما هو موضح بشكل (١٧٣) .  
وبإعادة وضع الزجاج في مثل الوضع المذكور بالنسبة إلى كل واحد من  
الأقطار المائلة يتيسر تعيين مقادير زوايا الانعطاف في الهواء التي تقتضيها زوايا  
سقوط في الزجاج مقاديرها تتفاضل بقدر عشر درجات فعشر كما سبق .  
وأیضا إذا سكب في الأناء ماء حتى يتجاوز سطحه مركز القرص دون أن  
يبلغ موقع الضوء على السطح المواجه للهدف أمكن تعيين زوايا الانعطاف  
في الماء التي تقتضيها زوايا السقوط المذكورة في الزجاج .

### ٢٠٠ - أمطام السك الثمانية في الانعطاف

يتوصل ابن الهيثم من الاعتبارات المذكورة إلى أحكام كمية في الانعطاف  
يحدد بها العلاقة بين زاوية السقوط أو زاوية العطف كما سماها الفارسي ، وبين  
زاوية الانعطاف . ولا يخفى أن صنع آلة الانعطاف وتدرجها لقياس الزوايا  
وأعداد اجزائها الإضافية كقطع الزجاج المختلفة الأشكال بالأبعاد التي يجب  
أن تكون عليها وصقل هذه القطع ، كل ذلك وما إليه ليس من الأمور الهينة ،  
فضلا عن أن الاعتبارات على الصفة التي وصفها ابن الهيثم تتطلب إذا أريد  
الاعتماد على نتائجها عناية دقيقة وجهدا غير يسير . فبحوثه الكمية من الناحية  
العملية لم تكن سهلة هينة . والذي يدعو إلى التقدير والإعجاب أن الصعوبات  
العملية في هذه البحوث لم تعجزه عن المضي فيها ومتابعتها إلى استنباط الأحكام  
التي قررها ، والتي نجدها بوجه عام في حدود التجارب التي أجراها والمواد المشفة  
التي اعتبر بها ، صحيحة ، أصلح واتم من الأحكام التي تنسب سواء بحق أو  
بغير حق إلى بطليموس ، وينسب غير واحد من المؤرخين فضل إصلاحها إلى  
علماء أوروبا في القرن الخامس عشر والسادس عشر مثل كبلر وغيره ممن عنوا  
بدراسة علم الضوء والتأليف فيه .

وقد لخص ابن الهيثم النتائج التي استنبطها من اعتباراته المذكورة في الجزء  
الأخير من الفصل الثالث من مقالته السابعة في المناظر ونورد فيما يلي هذه  
النتائج كما ذكرها بلفظه وقد قسمناها ثمانية أقسام ليسهل تمييز المعاني المختلفة

التي تتضمنها واسميناها أحكام الحكم في الانعطاف .

الحكم الأول : « كل زاويتين <sup>(١)</sup> يحيط بكل واحدة منهما الخط الأول الذي امتد عليه الضوء والعمود الخارج من موضع الانعطاف ، القائم على سطح الجسم المشف على زوايا قائمة ، يكونان في جسمين باعيانهما مشفين وتكون الزاويتان مختلفتين ، فان زاوية الانعطاف عن الزاوية العظمى منهما تكون أعظم من زاوية الانعطاف عن الزاوية الصغرى » <sup>(٢)</sup> .

الحكم الثاني : « وتكون زيادة زاوية الانعطاف ( أى الأولى ) على زاوية الانعطاف ( أى الثانية ) أقل من زيادة الزاوية العظمى التي يحيط بها الخط الأول والعمود ، على الزاوية الصغرى التي يحيط بها الخط الأول والعمود » <sup>(٣)</sup> .

الحكم الثالث : « وتكون نسبة زاوية الانعطاف عن الزاوية العظمى إلى الزاوية العظمى ، أعظم من نسبة زاوية الانعطاف عن الزاوية الصغرى إلى الزاوية الصغرى » <sup>(٤)</sup> .

الحكم الرابع : « ويكون الباقي بعد زاوية الانعطاف من الزاوية العظمى ، أعظم من الباقي بعد زاوية الانعطاف من الزاوية الصغرى » <sup>(٥)</sup> .

الحكم الخامس : « وتوجد <sup>(٦)</sup> زاوية الانعطاف إذا كان الضوء خارجا من الجسم الألف إلى الجسم الأغلظ ، أبدا ، أقل من نصف الزاوية التي يحيط بها الخط الذي امتد عليه الضوء إلى موضع الانعطاف والعمود الخارج من موضع الانعطاف » <sup>(٧)</sup> .

الحكم السادس : « وإذا كان الضوء خارجا من الجسم الأغلظ إلى الجسم الألف كانت زاوية الانعطاف ( أقل من ) نصف مجموع الزاويتين <sup>(٨)</sup> » .

(١) في الأصل « كل زاوية » .

(٢) و (٤٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٣) و (٤٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٤) » » » »

(٥) » » » »

(٦) في الأصل « وتعد »

(٧) و (٤٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٨) و (٤٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر ، ولم ترد عبارة « أقل من » في الأصل

الحكم السابع : « إذا كانت زاويتان متساويتان يحيط بكل واحدة منهما الخط الأول الذى امتد عليه الضوء والعمود الخارج من موضع الانعطاف ، إحداهما بين الجسم الألف وبين جسم أغلظ منه ، والأخرى بين ذلك الجسم الألف بعينه وبين جسم أغلظ من الجسم الغليظ الأول ، فإن زاوية الانعطاف التى فى الجسم الأكثر غلظا تكون أعظم من زاوية الانعطاف التى فى الجسم الأغلظ الذى هو أقل غلظا (١) » .

الحكم الثامن : « كذلك إن كان الانعطاف من الجسم الأغلظ إلى الجسم الألف تكون أبداً زاوية الانعطاف التى من الجسم الأغلظ إلى الجسم الألف ، الذى هو أشد لطفاً ، أعظم من زاوية الانعطاف التى من ذلك الجسم الأغلظ بعينه إلى الجسم الألف الذى هو أقل لطفاً (٢) » .

### ٢٠١ - مناقشة أحكام الحكم الثمانية

وهذا المجمل الذى عنى ابن الهيثم بذكره يتضمن ثمانية أحكام تبين العلاقة بين مقادير الزوايا المختلفة بعضها ببعض .  
فالحكم الأول ينص على أن مقادير زوايا الانعطاف تختلف بحسب مقادير زوايا السقوط لكل وسطين وكلما عظمت زاوية السقوط عظمت زاوية الانعطاف وبالعكس .

\* \* \*

والحكما السابع والثامن ينصان على أن زوايا الانعطاف تختلف أيضاً بحسب شفاف الجسم المنعطف فيه الضوء ويحددان كيفية ذلك الاختلاف . فعند نفوذ الضوء من وسط واحد بعينه كالهواء إلى وسط آخر يختلف عنه فى

لا فى مخطوط أيا صوفيا ولا فى مخطوط الفاتح ولعله سهو من الناسخ والا تناقض هذا الحكم والحكم السابق . أما الفارسي فقد أورده بالمعنى الذى أوردهنا هنا ، كذلك فألفظ « مجموع » . حرف الى « جمع »

(١) و (٤٤) ، و (٤٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (٤٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

الشفيف كالماء ، ومن الأول إلى وسط آخر يختلف شفيفه عن شفيف الثاني كالزجاج ، فانه إذا كانت زاوية السقوط في الحالتين واحدة فزاوية الانعطاف تختلف بحسب « درجة » غلظ الوسط الذي ينعطف فيه الضوء أو « درجة » لطفه . فكما كان الوسط المنعطف فيه الضوء أشد غلظاً ( لو كان أغلظ من الوسط الذي يسقط فيه الضوء ) أو أشد لطفاً ( لو كان ألطف منه ) كانت زاوية الانعطاف أعظم .

\*\*\*

والحكم الثاني يقرر أنه إذا زادت زاوية السقوط بمقدار معين زادت زاوية الانعطاف بمقدار أصغر . وهذا الحكم لا يصح على وجه الاطلاق إلا إذا كان الانعطاف من وسط لطيف في وسط غليظ . وقد اعترض الفارسي في التنقيح عليه . ولربما يبدو أول وهلة أن من التعتت القول بأن ابن الهيثم أراد به حكماً عاماً يشمل أيضاً أحوال الانعطاف من الوسط الغليظ في الوسط اللطيف لولا أنه قد طبقه في أحد بحوثه في خيال النقطة التي ترى بالانعطاف من الوسط الغليظ في الوسط اللطيف كما سنبين فيما بعد .

ويتضح حقيقة الأمر فيما يتعلق بهذا الحكم إذا راعينا حالتى الانعطاف من الألف في الأغلظ ومن الأغلظ في الألف كلا على حدتها .

فإذا رمز لزاوية السقوط بالحرف  $\theta$  ولزاوية الانكسار بالحرف  $\mu$  ولعامل الانكسار بالحرف  $n$  فوفقاً لقانون الانكسار على صورته المعروفة الآن يكون

$$n \sin \theta = n' \sin \mu$$

وباستعمال رموز التفاضل يكون

$$n \cos \theta \frac{d\theta}{dt} = n' \cos \mu \frac{d\mu}{dt}$$

وأيضاً يكون

$$\frac{\text{ح}^2}{(1 - \text{م}^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{\text{و}^2}{\text{و}^2} = \frac{\text{و}^2}{\text{و}^2}$$

ففي حالة الانعطاف من الألف في الأغظ إذا رمز لزاوية الانعطاف الحرف ف يكون

$$ف = \text{و} - \text{م}$$

$$(1) \dots \frac{\text{و}^2}{\text{و}^2} - 1 = \frac{\text{و}^2}{\text{و}^2} - 1 = \frac{\text{و}^2}{\text{و}^2}$$

$$\frac{\text{و}^2}{\text{و}^2} - \frac{\text{و}^2}{\text{و}^2} = \frac{\text{و}^2}{\text{و}^2}$$

$$(2) \dots \frac{\text{و}^2}{(1 - \text{م}^2)^{\frac{1}{2}}} =$$

ولما كانت قيمة م في هذه الحالة أعظم من الواحد، يتضح من المعادلة (٢) أن المشتقة الثانية لزاوية الانعطاف قيمتها أبداً موجبة. وإذن معدل تغير زاوية الانعطاف بتغير زاوية السقوط يزداد ازدياداً مطرداً تبعاً لزيادة زاوية السقوط. ومن المعادلة (١) يتبين أنه إذا كانت قيمة و صفرأ يكون

$$\frac{1}{\text{م}} - 1 = \frac{\text{و}^2}{\text{و}^2}$$

وإذا كانت و قائمة يكون

$$1 = \frac{\text{و}^2}{\text{و}^2}$$

وإذن يتبين أن قيمة  $\frac{\text{و}^2}{\text{و}^2}$  ولو أنها تزداد باطراد تبعاً لزيادة زاوية

السقوط، فإنها في النهاية التي تبلغ عندها زاوية السقوط قيمة القائمة تؤول إلى الواحد.

فليس يتأتى في حالة الانعطاف من الألف في الأغظ أن تكون تفاضلات زوايا الانعطاف أكبر من تفاضلات زوايا السقوط التي تقتضيها . وإذن يستقيم في هذه الحالة حكم ابن الهيثم .

أما في حالة الانعطاف من الأغظ في الألف ، فاذا رمز لزاوية الانعطاف بالحرف  $\nu$  يكون

$$\nu = \mu - \theta$$

$$(3) \quad \dots \dots 1 - \frac{\sqrt{1 - \mu^2}}{\mu} = 1 - \frac{\nu}{\theta} = \frac{\nu}{\theta}$$

$$(4) \quad \frac{\mu^2}{(1 - \mu^2)^{3/2}} = \frac{\nu^2}{\theta^2}$$

ولما كانت قيمة  $\mu$  في هذه الحالة موجبة وأصغر من الواحد ، وقيمة  $\nu$  لا تتجاوز قيمة الزاوية الحرجة ، أي  $\mu$  ليست تكون أعظم من  $\mu$  ، يتضح في حالة الانعطاف من الأغظ في الألف أيضاً أن معدل تغير زاوية الانعطاف بتغير زاوية السقوط يزداد ازدياداً مطرداً تبعاً لزيادة زاوية السقوط .

ومن المعادلة (3) يتبين أنه إذا كانت قيمة  $\nu$  صفراً يكون

$$(5) \quad \dots \dots \frac{\mu - 1}{\mu} = 1 - \frac{\nu}{\theta} = \frac{\nu}{\theta}$$

وإذا كانت قيمة  $\nu$  تساوى الزاوية الحرجة أي

$$\mu = \theta$$

يكون

$$\frac{\nu}{\theta} = \text{ما لا نهاية}$$

ويتبين من المعادلة (5) أنه إذا كان

$$م - ١ > م$$

$$أى م > \frac{١}{٣}$$

فلا يتأتى البتة أن تكون تفاضلات زوايا الانعطاف أصغر من تفاضلات زوايا السقوط التي تقتضيها، فينتفى إطلاقاً حكم ابن الهيثم عند الانعطاف من الأغظ في الألف .

أما إذا كان

$$م - ١ < م$$

$$أى م < \frac{١}{٣}$$

فانه يتضح من المعادلة (٣) أن

$$١ = \frac{و ف}{و و}$$

إذا كان

$$٠٤ = \frac{١ - ح٢ و}{م٢ - ح٢ و}$$

أى إذا كان

$$ح و = \sqrt{\frac{١ - م٢ و}{٣}}$$

وإذن يتبين عند الانعطاف من الأغظ في الألف أنه إذا كان معامل الانكسار من الأغظ في الألف أعظم من نصف، وكانت زاوية السقوط في الأغظ أصغر من

$$ح١ = \left( \frac{١ - م٢ و}{٣} \right) \sqrt{}$$

فان تفاضلات زوايا الانعطاف تكون أصغر من تفاضلات زوايا السقوط .

وفي هذه الحدود يستقيم حكم ابن الهيثم . أما عند الانعطاف من الأغلظ في الألف في الألف فيما عدا ذلك فليس يستقيم الحكم .  
ولما كانت الأجسام المشففة التي اعتبر بها ابن الهيثم في بحوثه هي الهواء والماء والزجاج ، فإن أحوال الانعطاف من الأغلظ في الألف التي تعرض في هذه التجارب هي الانعطاف من الماء أو الزجاج في الهواء ومن الزجاج في الماء . ومعامل الانكسار من الأغلظ في الألف في جميع هذه الأحوال أكبر من النصف . وإذن فإن الأحوال التي يتبنى فيها الحكم على وجه الإطلاق لا تعرض في حدود التجارب التي أجراها . وإنما يعرض في حدود تلك التجارب الأحوال التي يكون الحكم فيها صحيحاً في حدود معينة لا تتجاوزها زاوية السقوط في الأغلظ . ومن السهل تبيان أن حكم ابن الهيثم يصح عند الانعطاف من الزجاج في الهواء إذا كانت زاوية السقوط في الزجاج أقل من  $30,6^\circ$  بالتقريب ويصح عند الانعطاف من الماء في الهواء إذا كانت زاوية السقوط في الماء أقل من  $40,2^\circ$  بالتقريب ويصح عند الانعطاف من الزجاج في الماء إذا كانت زاوية السقوط في الزجاج أقل من  $58,1^\circ$  بالتقريب . فكان حكم ابن الهيثم يصح في حدود التجارب التي أجراها عند الانعطاف من الأغلظ في الألف في الأحوال التي لا تكون فيها زاوية السقوط في الأغلظ بوجه عام كبيرة .

\* \* \*

والحكم الثالث ينص على أن نسبة زاوية الانعطاف إلى زاوية السقوط لوسطين معينين ليست ثابتة بل تزداد تبعاً لزيادة زاوية السقوط . وقد كان من المتواتر أن بطليموس ذهب إلى القول بثبوت نسبة زاوية الانكسار إلى زاوية السقوط ، وهذا يتضمن ثبوت نسبة زاوية الانعطاف إلى زاوية السقوط ، ومن المعلوم الآن كما قال ابن الهيثم ان هذه النسبة ليست ثابتة ، وأنها تزداد كلما زادت زاوية السقوط ، وإن كان معدل زيادتها ليس هو الآخر ثابتاً كما اتضح مما ذكرناه آنفاً .

\* \* \*

والحكم الرابع معناه أن زاوية الانكسار تزيد تبعاً لزيادة زاوية السقوط . وهذا الحكم لا شبهة فيه . وكان الأولى به من وجهة نظرنا الحديثة أن يسبق أحكامه الأخرى . فالحكم العام الذى يتضمن جميع الأحكام الخاصة بعلاقة زاوية السقوط بزاوية الانعطاف وبزاوية الانكسار هو الذى ينص على العلاقة الصحيحة بين زاويتي السقوط والانكسار أو بين زاويتي العطف والباقية بحسب الاصطلاح القديم . ولكن ابن الهيثم لم يوجه جل عنايته إلى زاوية الانكسار بل وجهها إلى زاوية الانعطاف ، وعنى بأن ينص على العلاقة بين زاويتي السقوط والانعطاف ، فلم يوفق إلى الكشف عن قانون عام يتضمن فى صيغة موجزة بسيطة هذه العلاقة على تصاريح الأحوال . وما يدل على انصراف ابن الهيثم عن العناية بزاوية الانكسار أن حكمه الرابع هو الوحيد بين أحكامه العدة ، الذى عنى بأن يذكر فيه شيئاً يتعلق بهذه الزاوية .

\* \* \*

والحكما الخامس والسادس ينصان على أن الوسط الثانى إذا كان أغلظ كانت زاوية الانعطاف أبداً أقل من نصف زاوية السقوط . وإذا كان اللطف كانت زاوية الانعطاف أقل من نصف مجموع الزاويتين .

والحكمان فى الحقيقة مرتبطان أحدهما بالآخر وما يقال على أحدهما يمس الآخر ولذلك تناقشهما هنا مجتمعين .

وابن الهيثم يطلق حكميه الخامس والسادس إطلاقاً وليس يصح إطلاقهما إطلاقاً عاماً على الصورة التى أرادها .

ولكى يتيسر بسهولة مناقشة هذين الحكمين نرى أن نؤدى المعنى الذى يقصده ابن الهيثم بصورة أخرى . فالحكم الخامس يؤدى إلى القول بأن زاوية الانكسار تكون أعظم من نصف زاوية السقوط إذا كان الانعطاف فى الوسط الأغلظ . وطبقاً للحكم السادس تكون زاوية الانعطاف أصغر من زاوية السقوط إذا كان الانعطاف فى الألفظ ، وبما أن زاوية الانكسار فى هذه الحالة هى مجموع زاويتي السقوط والانعطاف فإن حكم ابن الهيثم السادس

معناه كما أشار إلى ذلك الفارسي أن زاوية الانكسار تكون أصغر من ضعف زاوية السقوط اذا كان الانعطاف في الوسط الألف ، ويتفق ومدلول الحكم الخامس كما تقضى بذلك قاعدة قبول العكس .

ونحن إذ نعلم الآن حقيقة الارتباط بين زاوية السقوط وبين زاوية الانكسار نستطيع بسهولة تحديد الحالات التي ينطبق فيها حكما ابن الهيثم ، بل ونستطيع أيضاً معرفة السبب الذي حال دون أن ينتبه ابن الهيثم إلى قصور حكميه عن الإحاطة بجميع الأحوال .

فعلاقة زاوية السقوط بزاوية الانكسار هي وفق المعادلة

$$ج ا و = م ج ا م .$$

فان كان الانعطاف في الوسط الأغلظ فان قيمة م أكبر من الواحد ولكن لا يتحتم من ذلك أن تكون قيمة م أبداً أعظم من  $\frac{1}{2}$  و في  $\frac{1}{2}$  قد تكون أعظم من  $\frac{1}{2}$  ، وقد تساوى  $\frac{1}{2}$  ، وقد تكون أصغر من  $\frac{1}{2}$  ، وذلك بحسب قيمة م وبحسب قيمة و أيضاً .

$$\text{وبما أن } م = \frac{ج ا و}{ج ا م}$$

فشرط أن تكون م أعظم من  $\frac{1}{2}$  هو أن تكون

$$م أصغر من \frac{ج ا و}{ج ا م} .$$

أى أن تكون م أصغر من  $\frac{2}{2}$  جتا  $\frac{2}{2}$  ،

وزاوية السقوط عند الانعطاف في الأغلظ تختلف قيمتها بين الصفر

$$\text{وبين القائمة . فمقدار } \frac{2}{2} \text{ جتا } \frac{2}{2} \text{ يختلف ما بين } 2 \text{ و } 2\sqrt{2} .$$

فان كانت قيمة م أقل من  $2\sqrt{2}$  توافر الشرط أياً كانت قيمة زاوية السقوط ، وإذن في جميع الأحوال التي ينعطف فيها الضوء عند نفوذه من

وسط لطيف إلى وسط غليظ ، ويكون معامل الانكسار أقل من  $\frac{3}{4}$  أى أقل من ١,٤١٤ ، بالتقريب ، تكون زاوية الانكسار أعظم من نصف زاوية السقوط ويكون حكماً ابن الهيثم صحيحين .

وإن كانت قيمة م أعظم من ٢ ، لا يتوافر الشرط البتة وتكون زاوية الانكسار أبداً أصغر من نصف زاوية السقوط ويكون حكم ابن الهيثم باطلاً على الإطلاق .

أما إن كانت م أصغر من ٢ وأعظم من  $\frac{3}{4}$  فالشرط يتوافر في حالات معينة ويبطل في حالات أخرى وذلك تبعاً لقيمة زاوية السقوط نفسها . فالشرط المذكور أن يكون

$$٢ \text{ جتا } \frac{٥}{٢} \text{ أعظم من م .}$$

أى أن تكون ٥ أصغر من ٢ جتا  $\frac{١}{٤}$  ( م ) أى يجب أن تكون زاوية السقوط أصغر من ضعف الزاوية التى جيب تمامها نصف معامل الانكسار . وابن الهيثم فى اعتباراته الكمية التى استخرج منها أحكامه اعتبر أولاً بالماء . والمعروف أن معامل انكسار الضوء من الهواء فى الماء يساوى بالتقريب ١,٣٣ فهو أقل من  $\frac{3}{4}$  وإذن ينطبق الشرط اللازم لى تكون زاوية الانكسار فى الماء أعظم من نصف زاوية السقوط فى الهواء أياً كانت قيمة زاوية السقوط . ثم هو اعتبر بالزجاج . فإذا فرضنا معامل انكسار الضوء من الهواء فى الزجاج ١,٥ بالتقريب فقيمة م فى هذه الحالة أقل من ٢ وأعظم من  $\frac{3}{4}$  فالحكم لا ينطبق على هذين الوسيطين على تصاريح الأحوال . فإن كانت زاوية السقوط فى الهواء مساوية

$$٢ \text{ جتا } \frac{٣}{٤} = ٨٢,٨^\circ \text{ بالتقريب ،}$$

أو أعظم من ذلك فزاوية الانكسار فى الزجاج ليست أعظم من نصف زاوية السقوط . وإن كانت زاوية السقوط فى الهواء أصغر من ٨٢,٨ بالتقريب فإن زاوية الانكسار فى الزجاج أعظم من نصف زاوية السقوط . وابن الهيثم قد أجرى أيضاً تجارب اعتبر فيها بالانعطاف من الماء فى

تصف القائمة كلما اقتربت قيمة زاوية السقوط في الألف من القائمة ، فتكون الزاوية التي نسميها الآن الزاوية الحرجة نصف قائمة ، أو بالأحرى لا تتجاوز هذا القدر . ونحن إن لم نجد من أقوال ابن الهيثم قولاً صريحاً يفيد أنه يرى هذا الرأي فإننا لم نجد له أيضاً قولاً يمس معنى الزاوية الحرجة أو ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي المرتبطة بها . وسنرى فيما بعد أن تتالى بعض الآراء وتدرجها في بعض بحوثه ، وإن كانا يُفَضِّيان في الأحوال المعتادة إلى المساس بمعنى الزاوية الحرجة فإنه لم يتعرض إلى هذا المعنى ولم يُدِل فيه برأى .

### ٢٠٢ - قاعدة قبول العكس

تلك هي أحكام ابن الهيثم الثمانية كما هو منصوص عنها في المجلد الوارد في ختام الفصل الثالث من مقالته السابعة من كتاب المناظر .

ولابن الهيثم حكم تاسع أورده ضمن أقواله في شرح تجاربه الكمية في انعطاف الضوء من الهواء في الزجاج وانعطافه من الزجاج في الهواء وقد سبق أن ذكرناه بألفاظ ابن الهيثم <sup>(١)</sup> . وهذا الحكم معناه أن الشعاع النافذ من وسط لطيف إلى وسط غليظ إذا نفذ في الوسيطين نفسيهما في الاتجاه المضاد أى من الغليظ إلى اللطيف وكانت زاوية السقوط في الحالة الثانية هي عين زاوية الانكسار في الأولى كانت زاوية انعطافه في الحالتين واحدة ، أو بالأحرى كان خط مسيره فيهما هو هو .

ولكن ابن الهيثم لم يذكر هذا الحكم مرفقاً بأحكامه الثمانية التي فصلناها آنفاً ، وإن هو قد اتخذ في مواضع أخرى من كتابه أساساً بنى عليه شرحه كيفية إدراك المبصرات بالانعطاف .

وقد عني الفارسي بأن يودع هذا الحكم صراحة ضمن أحكام ابن الهيثم الكمية في الانعطاف . والفارسي في هذا الصدد لم يتقيد في عرض هذه الأحكام بألفاظ ابن الهيثم كما هي واردة في أصول المناظر . وإن هو لم يخرج فيها عن المعاني التي قصدتها ابن الهيثم نفسه فقد تصرف في عرضها كثيراً وصاغها في

(١) ص (٧٠٥) من هذا الكتاب .

الزجاج ، فان معامل انكسار الضوء في هذه الحالة يساوى بالتقريب ١,١٢٥ ، فهو أقل من  $\sqrt{2}$  . واذن فزاوية الانكسار في الزجاج أعظم من نصف زاوية السقوط في الماء أياً كانت زاوية السقوط في الماء .

ومن هذا يتبين أن حكيم ابن الهيثم فيما يختص بالوسطين الهواء والماء وفيما يختص بالوسطين الماء والزجاج صحيحان أياً كانت زاوية السقوط ، ولكنهما فيما يختص بالوسطين الهواء والزجاج صحيحان في حدود التجارب التي أجراها . أو بالأحرى في حدود المقادير التي اعتبر بها في تلك التجارب ، لأنه كما سبق أن بينا اعتبر بزوايا سقوط متفاوتة بعشر درجات أى كانت أكبر زاوية سقوط اعتبر بها ثمانين درجة ، فلم تتجاوز زاوية السقوط في تجاربه هذه ، الحد الذي يبطل عنده أن تكون زاوية الانعطاف في الزجاج أصغر من نصف زاوية السقوط في الهواء . أى أن النتائج التي حصل عليها من هذه التجارب متفقة ونتائج التجارب الأخرى . ولو أنه اعتبر فيها بزوايا سقوط تتفاضل بخمس درجات أو أقل لكان في مقدوره أن يتبين أن زاوية الانعطاف في الزجاج إذا كانت زاوية السقوط في الهواء ٨٥ درجة مثلاً ليست بأقل من نصف زاوية السقوط بل بالعكس أعظم . أو لو أنه اعتبر أيضاً بانعطاف الضوء من الهواء في أوساط أغلظ من الزجاج بحيث يكون معامل انكسار الضوء من الهواء فيها أعظم كثيراً مما هو من الهواء في الزجاج المعتاد ، لكان في مقدوره أيضاً أن يتبين أن حكميه السابقين ليسا صحيحين على الإطلاق .

فان كان الحكمان الخامس والسادس ليسا من الأحكام العامة التي تنطبق على تصاريح الأحوال فإن بحوث ابن الهيثم العملية من حيث أنواع الأجسام المشقة ومن حيث مقادير زوايا السقوط التي اعتبر بها جاءت في حدود الأحوال التي ينطبق عليها الحكمان .

ومن المرجح أن قصور هذين الحكمين قد أخفى عن ابن الهيثم أمراً من أهم أمور الانعطاف . فان كانت زاوية الانعطاف في الاغلط أقل أبداً من نصف زاوية السقوط في اللطف فوذى هذا أن زاوية الانعطاف تقرب قيمتها من

صيغ من عنده تختلف عن صيغها الأصلية . وقد ذكر الفارسي هذا الحكم التاسع في موضعين من كتابه التنقيح أحدهما في صدد أقواله عن أحكام الحكم في الانعطف والآخر في صدد كيفية إدراك المبصرات بالانعطف ، وصاغه في الموضوعين في صيغتين مختلفتين آثرنا أن نوردتهما فيما يلي بالفاظ الفارسي .

ففي الموضوع الأول قال « زاوية الانعطف التي يقتضيها عطفيته من جسم اللطف في مخالف ، مثل التي يقتضيها عطفيته من المخالف في الجسم الأول إذا كانت العطفية في الثاني مثل الباقية في الأول (١) » .

وفي الموضوع الثاني قال « إذا كانت نقطتان مضيئتان في الجسمين فان السمتين اللذين يمتد عليهما ضوء الأولى إلى الثانية هما اللذان يمتد عليهما ضوء الثانية إلى الأولى » (٢) .

ولعل النص الثاني أوضح في أداء المعنى وأبين .

وهذا الحكم التاسع صريح في تضمنه معنى القاعدة المعروفة الآن « بقاعدة قبول العكس » فيما يتعلق بالانعطف . ولا شك في أن ابن الهيثم قد أدرك معنى هذه القاعدة فيما يتعلق بالانعكاس وحسبه تعبيراته الشائعة في مباحث الانعكاس كقوله « النقطتين المتعاكستين » وقوله « النظيرين » . وإن كانت قاعدة قبول العكس فيما يتعلق بالانعكاس يستلزمها قانون الانعكاس بشطريه المعروفين فهي فيما يتعلق بالانعطف مرتبطة بمعنى « معامل الانكسار » وثبوتها لكل وسطين معينين . وهذان المعنيان مرتبطان بثبوت نسبة جيب زاوية السقوط إلى جيب زاوية الانكسار لكل وسطين ، وثبوت هذه النسبة ظل مجهولا إلى أوائل القرن السابع عشر .

فورود هذا الذي أسميناه الحكم التاسع في كتاب المناظر ، يثبت لابن الهيثم فضل السبق إلى إدراك معنى قاعدة قبول العكس إدراكا تاماً في حالتي الانعكاس والانعطف . والحكم التاسع هو حكم عام يرتبط به الحكمان الخامس والسادس بحيث إذا صح أحدهما لزم الآخر .

(١) ص (١٣٤) من النسخة المطبوعة من الجزء الثاني من التنقيح .

(٢) ص (١٤٩) من النسخة المطبوعة من الجزء الثاني من التنقيح .

## الفصل الثاني

في

خيال النقطة المبصرة الذي يرى بالانعطاف

٢٠٣ - شرح ابن الهيثم كيفية ادراك صور المبصرات بالانعطاف

يتناول ابن الهيثم في مباحثه في الانعطاف شرح كيفية إدراك البصر المبصرات الموجودة في أوساط مشفة كالماء أو الزجاج المخالفة الشفيف للوسط الموجود فيه البصر ، وهو الهواء عادة . وابن الهيثم يستعين في بيان آرائه في هذا الشأن باعتبارات يبين بها أن البصر يرى نقاط المبصر في مثل هذه الأحوال من السموت التي ينعطف عليها الضوء الصادر من تلك النقاط . وأنه إذا كان الضوء الوارد من إحدى نقاط المبصر عموداً على السطح الفاصل بين الواسطين فإن البصر يرى صورة هذه النقطة من سمت هذا العمود .

الاعتبارات التوضيحية :

وابن الهيثم يستعين بآلة الانعطاف التي سبق وصفها في توضيح هذه الأمور عملياً ويرى في هذه الاعتبارات أن يكون ثقباً الآلة ضيقين وأن يوضع بينهما أنبوب دقيق يحرر سهمه على خط مركزى الثقبين وتركب الآلة في إناء كما سبق وتوضع في موضع مضنيء . وهو يعتبر أولاً بالماء وثانياً بالزجاج .

وللاعتبار بالماء<sup>(١)</sup> يسكب في الإناء ماء حتى يبلغ سطحه مركز القرص ثم يهياً وضع الآلة حتى يصير القطر الأول للقرص عموداً على سطح الماء فيكون خط الثقبين كذلك ، ثم يؤتى بخلاصة بيضاء تخمر في الماء ويجعل رأسها عند

(١) و (٥٠) - و (٥٢) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

طرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركزى الثقبين وينظر إليها من ثقب الاطار بأحدى العينين . فيرى الناظر رأس الخلالة دالاً ذلك على أن البصر يدرك صورة رأس الخلالة فى هذه الحالة على سمت العمود الخارج منه على سطح الماء . وإذا أدير قرص الآلة لكي يصير خط الثقبين مائلاً على سطح الماء وجعل رأس الخلالة عند الموضع نفسه فالناظر لا يرى رأس الخلالة . فاذا حرك رأس الخلالة من مكانه قليلاً قليلاً على محيط الدائرة الوسطى إلى جهة العمود المتوهم الخارج من مركز الوسطى قائماً على سطح الماء فان الناظر يرى رأس الخلالة إذا بلغ موضعاً معيناً من محيط تلك الدائرة . وقد يتطلب هذا الاعتبار أن يستعين المعتبر بشخص آخر يعاونه . وابن الهيثم يذكر أن موضع رأس الخلالة عندما تدرك صورته بالنظر من ثقب الاطار يوجد على محيط الدائرة الوسطى بين طرفي قطرها المار بمركزى الثقبين وبين طرف العمود المتوهم المذكور . ولتوكيد الانعطاف عند مركز الدائرة الوسطى يرى ابن الهيثم أن يؤتى بعود متوسط الغلظ ويوضع طرفه عند مركز هذه الدائرة فيشاهد أنه يجب رأس الخلالة إذا نظر إليها من ثقب الاطار وهو فى الموضع المذكور .

أما للاعتبار بالزجاج<sup>(١)</sup> فهو يستعين بكتلة الزجاج المقطوعة من نصف الكرة والتي مر ذكرها فيما قبل . فتركب الزجاج على القرص بحيث يطبق سطح القطع على سطح القرص ، وبحيث يكون القطر الأول للقرص ماراً بمنتصف الفصل المشترك عموداً عليه . وذلك فى وضعين أحدهما بحيث تكون قاعدة الزجاج مما يلي الهدف ، وثانيهما بحيث تكون حذبتها مما يلي الهدف . فاذا وضع رأس الخلالة فى كل من هذين الوضعين عند طرف قطر الدائرة الوسطى المار بمركزى الثقبين يرى الناظر خلال ثقب الاطار رأس الخلالة على سمت هذا القطر . والقطر فى الوضعين عمود على سطحى الزجاج الكرى والمستوى .

كذلك تركيب الزجاج بحيث يطبق سطح القطع على سطح القرص وتكون

(١) و (٥٢) — و (٥٦) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

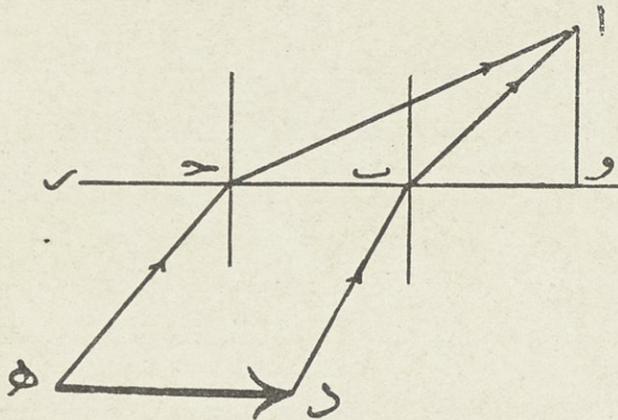
قاعدتها مما يلي الهدف ومنتصف الفصل المشترك عند مركز القرص ، والفصل المشترك يحيط بزاوية مع القطر الأول ، فيكون المقطع المار بمستوى الدائرة الوسطى كالمبين بشكل ( ١٦٧ ) . فاذا وضع رأس الخلالة عند القطر المار بمركزى الثقبين ( أى عند هـ في الشكل المشار إليه ) فالناظر خلال الثقب لا يراه . أما إذا حرك رأس الخلالة حول محيط الوسطى نحو العمود المتوهم الخارج من مركز الوسطى عموداً على قاعدة الزجاجة أمكن رؤيته إذا ما بلغ موضعاً معيناً على المحيط ، فينفذ الشعاع الوارد من رأس الخلالة على استقامة إلى مركز الزجاجة ثم ينعطف في الهواء على سمت خط الثقبين إلى البصر . وفي هذه الحالة أيضاً يندكر ابن الهيثم أن الانعطاف يحدث عند مركز الزجاجة ويمكن التأكد من ذلك بعود يوضع طرفه عند المركز كما سبق في الاعتبار بالماء .

ويرى ابن الهيثم أيضاً أن تركيب الزجاجة بحيث تكون حذبتها مما يلي الهدف وبحيث يكون منتصف الفصل عند مركز القرص والفصل يحيط بزاوية مع القطر الأول . فيكون المقطع المار بمستوى الدائرة الوسطى كالمبين بشكل ( ١٦٨ ) . ففي هذه الحالة يوجد موضع رأس الخلالة عندما تدرك صورته بالنظر خلال ثقب الإطار على محيط الدائرة الوسطى في موضع منعطف إلى خلاف جهة العمود المتوهم الخارج من مركز الزجاجة عموداً على قاعدتها ، حيث يقع الشعاع الوارد من رأس الخلالة على قاعدة الزجاجة فينعطف فيها نحو العمود ويمتد على سمت خط الثقبين إلى البصر .

ويكتفى ابن الهيثم من التمهيد العملي بالاعتبارات المذكورة . وقد يبدو أول وهلة أن هذه الاعتبارات من قبيل تحصيل الحاصل . ولكن إذا تذكرنا أن الآراء عن كيفية الإبصار كانت في عصر ابن الهيثم مضطربة مشتبهة ، تتنازعها مذاهب متباينة ، ينقض بعضها الآخر ، تبين أن الاعتماد على التجربة لبيان أن البصر إذا أدرك صورة نقطة في مخالف فانه يدركها فعلاً على السمت الذي ينعطف عليه الضوء الوارد منها ، لم يكن عبثاً ، وهو على نقيض من ذلك أمر جاد جدير بالتقدير .

وابن الهيثم يبين (١) كيفية ادراك صورة المبصر بالانعطاف على أساس نظرية الورود ويستعين في ذلك بحكمه التاسع الذي يتضمن معنى قاعدة قبول العكس .

وتتضح الفكرة الأساسية التي بنى عليها ابن الهيثم شرحه إذا فرضنا نقطة مضيئة ولتكن ١ ( شكل ١٧٤ ) ولتكن في وسط مشف من ورائه وسط مشف أعظم، وليكن و مر على السطح الفاصل بين الوسطين . فالشعاع الوارد



( شكل ١٧٤ )

من ١ إلى نقطة مثل ب على السطح قريبة من مسقط العمود من ١ عليه ينعطف عند ب إلى جهة العمود وليكن على سمت ب د والشعاع الوارد من ١ إلى نقطة

مثل ح أبعد عن مسقط العمود من ب ينعطف عند ح وليكن على استقامة ح هـ . وتكون زاوية انعطاف الثاني أعظم من زاوية انعطاف الأول وفقاً لما تبين من الأحكام، وهكذا . فيتشكل بين النقطة ١ وبين أي جزء من أجزاء السطح مثل ب ح مخروط من الضوء رأسه نقطة ١ وقاعدته هذا الجزء من السطح ومقطعه بمستوى الشكل المستقيمان ١ ب و ١ ح ، ويسميه الفارسي « مخروط الاستقامة » . ويتشكل من انعطاف الأشعة التي يلتئم منها هذا المخروط في الوسط الثاني مخروط ناقص قاعدته العليا الجزء المذكور من السطح ويمتد متسعاً في الوسط الثاني . ومقطعه في مستوى الشكل المستقيمان ب د و ح هـ .

(١) و (٤٥) — و (٥٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر وقد أعاد ابن الهيثم توضيح هذه الفكرة في الفصل السادس من المقالة من و (٩٢) إلى و (٩٥) من المخطوط .

فاذا فرضنا مبصراً في الوسط الثاني محيطه على سطح هذا المخروط الناقص وليكن المبصر د ه ، فطبقاً لقاعدة قبول العكس يتبين أن الشعاع الوارد من د إلى ب ينعطف إلى ١ والشعاع الوارد من ه إلى ح ينعطف إلى ١ وهكذا . فجميع الأضواء الواردة على سموت المستقيمت التي يلتئم منها المخروط الناقص ينعطف على سموت المستقيمت التي يلتئم منها المخروط الذي رأسه نقطة ١ . فان كانت نقطة ١ مركز البصر أدرك البصر صورة المبصر ، وأدركه على امتداد المخروط الأخير . وابن الهيثم يحمل هذه الفكرة حيث يقول بلفظه بعد كلام له « فيلزم من هذه الحال أن تكون كل نقطة من الهواء بينها وبين كل مبصر من المبصرات التي في الأجسام المشفة المخالفة الشفيف لشفيف الهواء مخروط منعطف ، رأسه النقطة التي في الهواء وقاعدته ذلك المبصر ، وانعطافه عند سطح الجسم المشف المخالف الشفيف لشفيف الهواء . وكل مبصر في جسم مشف مخالف الشفيف لشفيف الهواء إذا أدركه البصر فانما يدركه من الصورة الممتدة في المخروط المنعطف المجتمعة عند النقطة التي عند مركز البصر . فعلى هذه الصفة يدرك البصر المبصرات بالانعطاف » (١) .

## ٢٠٤ — الخيال المرئى بالانعطاف

ويتناول ابن الهيثم في بحوثه في الانعطاف بيان كثير من الأمور المرتبطة بالخيالات التي ترى بالانعطاف ، كمواضع هذه الخيالات وصفاتها العامة بالاضافة إلى المبصر . فيتناول مثلاً الوضع ويبحث عما إذا كان الخيال منكوساً أو مستويماً بالنسبة إلى المبصر ، ويتناول العظم فيبحث عما إذا كان مكبراً أو مصغراً ويتناول الشكل فيبحث عما إذا كان مقوساً أو مستقيماً وما إلى ذلك من الأمور التي بحث عن أمثالها في خيالات المرايا .

وهو يستهل هذه البحوث بشرح ما يعنيه بالخيال في هذا الصدد ويورد للخيال تعريفاً فيقول « الخيال هو صورة المبصر الذي يدركه البصر من وراء جسم

(١) و (٩٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

مشف مخالف الشفيف لشفيف الهواء ، إذا كان البصر مائلا عن الأعمدة التي تخرج من ذلك المبصر إلى سطح ذلك الجسم المشف (١) . ويزيد هذا التعريف تفصيلا فيقول « وذلك أن الصورة التي يدركها البصر في الجسم المشف للبصر الذي من وراء ذلك الجسم المشف إذا كان (البصر) (٢) مائلا عن الأعمدة الخارجة من ذلك المبصر إلى سطح الجسم المشف ليس هي المبصر نفسه ، لأن البصر إذا كان مائلا عن الأعمدة الخارجة من المبصر إلى سطح الجسم المشف فليس يدرك ذلك المبصر في موضعه ولا على هيئته بل إنما يدركه في غير موضعه وعلى صفة مخالفة لصفته . . ويدركه بالانعطاف وهو مع ذلك يدركه في مقابلته . والصورة التي يدركها البصر للمبصر الذي بهذه الصفة تسمى الخيال » (٣)

وهو يدل على ذلك بدليلين أحدهما نظري والآخر عملي فيقول بعد ذلك « وهذا المعنى يدرك بالقياس ويدرك بالاعتبار » . ويقصد بالقياس البرهان النظري إذ هو قد بين من قبل أن المبصر الذي يرى من وراء جسم مشف يدرك بالانعطاف ، فهو لا يدرك على سمت خط الضوء الممتد إلى موضع الانعطاف ويخيل للبصر أنه يدرك المبصر على استقامة لأنه لا يحس بأن ادراكه إنما هو بالانعطاف . وإذن فهو يدركه في غير موضعه . (٤)

فوضع الخيال ليس هو موضع المبصر . فالخيال شيء متميز عن المبصر ليس هو المبصر بالذات . ذلك هو البرهان النظري .

أما الدليل العملي فالاعتبار . والإعتبار الذي أورده لا يزال هو الذي يدل به في كتب الضوء المدرسية في الوقت الحاضر . وكان معروفاً من قبله ، ذكره بطليموس في مقالته الخامسة في المناظر وسبقه إلى ذكره « كليمنديس » من قبل (٥) . وابن الهيثم يعيده لا على أساس فكرة بطليموس في أن الشعاع

(١) و (٦١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) في الأصل « المبصر » وهو تحريف

(٣) و (٦١) ، و (٦٢) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٤) و (٦٢) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٥) « Cleomedes » انظر في كتاب Histoire Des Sciences Antiquité تأليف

Mieli وBrunet النبذة المنقولة عن كليمنديس من كتابه في الحركة المستديرة للأجرام السماوية .

الذي يبصر به المبصر خارج من البصر ، بل على أساس نظريته في الابصار .  
والاعتبار (١) يتلخص في أنه إذا اتخذ إناء ذو حرف قائم ووضع فيه مبصر  
« كالخاتم أو البيضة أو ماجرى مجراهما » ووقف المعبر بحيث يرى المبصر في  
قرار الاناء ، ثم تأخر قليلا قليلا إلى أن يحتجب المبصر عن بصره بحرف الاناء ،  
وعند أول ما يستتر المبصر عن بصره يقف في موضعه لا يغيره ، وكان يعاونه  
شخص آخر فيسكب بعد ذلك في الاناء ماءً ابرفق لئلا يزاح المبصر عن موضعه  
في الاناء إلى أن يمتلئ الاناء ، فان المعبر « يرى المبصر بعد ن كان لا يراه  
ويراه في مقابلته » ويقول بعد إيراد هذا الاعتبار « فيتبين من هذا الاعتبار أن  
الصورة التي رآها في الماء للمبصر الذي في الاناء ليس هي في موضع المبصر »  
وواضح أنها قد ارتفعت عن الموضع الحقيقي للمبصر نفسه فلم يحجبها حرف  
الاناء عن البصر .

#### ٢٠٥ - القاعدة التي طبقها ابن الهيثم لتعيين موضع خيال النقطة المبصرة

رأينا عند عرض بحوث ابن الهيثم عن خيالات المرايا أنه بنى تلك البحوث  
على قاعدة تنص على أن نقطة التقاء الشعاع المنعكس إلى البصر هو أو امتداده  
بالعمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح الذي يحدث عنده الانعكاس ،  
هي موضع خيال النقطة . وله في الخيالات التي ترى بالانعطاف قاعدة نظرية  
لهذه تنص على أن نقطة التقاء الشعاع المنعطف إلى البصر هو أو امتداده  
بالعمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح الفاصل بين الوسطين هي خيال  
النقطة . وهو ينص على هذا المعنى حيث يقول بلفظه « فأقول إن خيال كل  
نقطة يدركها البصر بالانعطاف هي على النقطة التي هي الفصل المشترك بين  
الخط الذي عليه تصل الصورة إلى البصر (٢) ( وبين ) (٣) العمود الخارج من  
تلك النقطة المبصرة القائم على سطح الجسم المشف على زوايا قائمة . (٤) »

(١) و (٦٢) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) ويعني خط الشعاع الممتد من موضع الانعطاف إلى البصر .

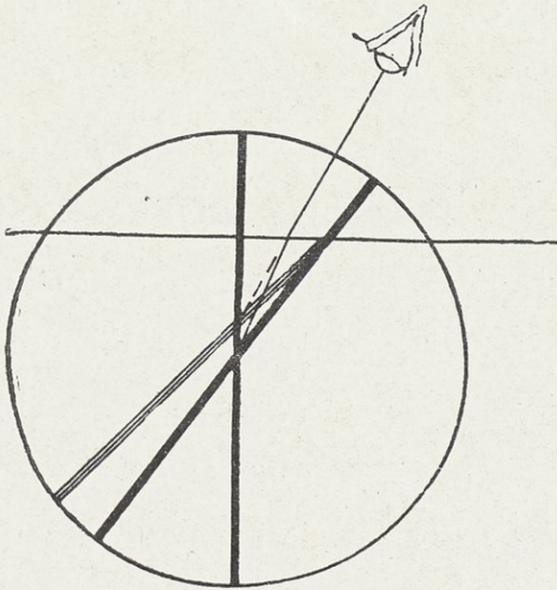
(٣) في الأصل « وهو » .

(٤) و (٦٣) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

وابن الهيثم يدل على صحة هذه القاعدة بالاعتبار ويذكر في ذلك اعتبارين يدلل بالأول على موضع خيال النقطة عند نفوذ الضوء من وسط غليظ إلى وسط لطيف ويدلل بالثاني على موضع خيال النقطة عند نفوذ الضوء من وسط لطيف إلى وسط غليظ .

### الاعتبار الأول (١)

والاعتبار الأول يتلخص في أن يؤتى بقرص من الخشب يبلغ قطره نصف متر أو يكون قطره كما يقول هو « ليس بأقل من ذراع » ومرسوم على احد وجبيه أقطار متقاطعة بخطوط غلاظ واضحة . ويغمر القرص في الماء ومستواه رأسى إلى أن يصل مركزه إلى ما تحت سطح الماء دون أن يغمر الماء القرص كله . ويهياً وضعه بحيث يكون أحد أقطاره عموداً على سطح الماء ويكون قطر من الأقطار الأخرى بارزاً جزءاً منه فوق سطح الماء كما هو مبين بشكل (١٧٥) . فاذا نظر المعبر إلى سطح الماء وتأمل مركز القرص رأى المركز



(شكل ١٧٥)

على استقامة القطر العمود على سطح الماء . وإذا تأمل القطر الآخر وجد الجزء المغمور منه في الماء مستقيماً، ولكنه لا يرى على سمت الجزء البارز منه . بل يوجد محيطاً معه بزاوية منفرجة مما يلي القطر الأول كما هو مبين بالشكل . وبالمثل لو أعيد

الاعتبار وجعل القطر المائل قائماً والآخر مائلاً وهكذا .

وابن الهيثم يستدل من هذا على أمرين .

الأول هو بلفظه « إن كل نقطة من الجزء الذي في داخل الماء من القطر المائل مرتفعة عن موضعها ». وهذا يتبين كما يقول « من انحناء القطر المائل عند سطح الماء ( ويعني من ظهوره للبصر كأنه منكسر ) واستقامة ما في داخل الماء من القطر المائل واتصاله » .

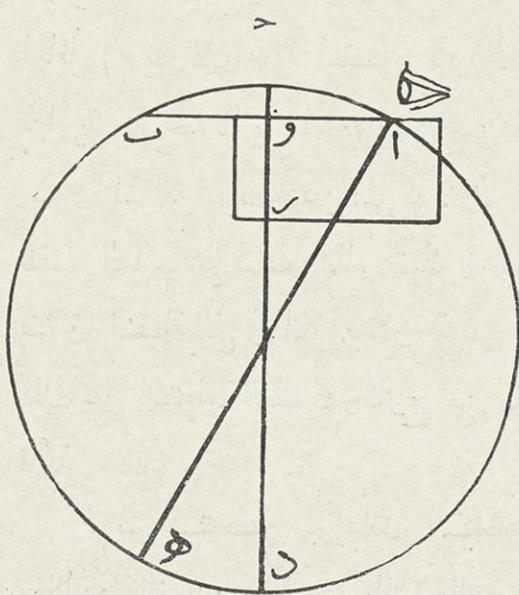
والثاني هو بلفظه « إن صورة النقطة التي هي مركز الدائرة ( ويعني القرص ) أعنى الصورة التي يدركها البصر ليس هي عند مركز الدائرة ، لأنها لو كانت عند مركز الدائرة لكانت على استقامة القطر المائل لأنها على الحقيقة كذلك . فإذا كان البصر يدرك هذه النقطة خارجة عن استقامة القطر المائل ( ويدرك الجزء المعنوم من القطر المائل محيطاً مع الجزء البارز منه بزواية منفرجة مما يلي الجزء البارز من القطر القائم )<sup>(١)</sup> فإن النقطة التي هي صورة المركز مرتفعة عن المركز . ولأن البصر يدرك هذه النقطة على استقامة القطر القائم على سطح الماء ، تكون هذه النقطة التي يدركها البصر التي هي صورة النقطة التي في المركز خارجة عن المركز ومرتفعة عن المركز ، وهي مع ذلك على استقامة العمود الخارج من المركز القائم على سطح الماء على زوايا قائمة » .

ثم هو يستخلص من ذلك النتيجة التي يريد بها ويزيدها توضيحاً فيقول « فالنقطة التي يدركها البصر بالانعطاف يدركها في مقابلته ، وعلى استقامة الخط المستقيم الذي عليه ترد الصورة إلى البصر . وهذا المعنى يتبين عند اعتبار إدراك المبصرات بالانعطاف بالآلة التي تقدم شرحها ( ويعني آلة الانعطاف ) لأنه إذا سد المعبر الثقب الثاني الذي في الآلة لم يدرك المبصر الذي كان يدركه بالانعطاف ، وإذا سد الثقب الثاني فأنما يكون قد قطع الخط المستقيم المتوهم الخارج من مركز البصر إلى موضع الانعطاف » . ثم يقول إن البصر يدركها على استقامة العمود فهو « يدركها على النقطة التي هي الفصل المشترك بين الخط الذي عليه تصل الصورة إلى البصر وبين العمود الخارج من النقطة المبصرة القائم على سطح الجسم المشف الذي يلي البصر على زوايا قائمة » .

(١) العبارة المحصورة بين القوسين جاءت في الأصل منقوصة مضطربة .

الاعتبار الثاني (١)

أما الاعتبار الثاني فيتلخص في أن يتخذ المعتبر قرصاً وليكن القرص السابق نفسه ويخط في ظهره وترأ مثل ١ ب (شكل ١٧٦) طوله أصغر من نصف قطر القرص . ثم يرسم على سطح القرص القطر ح د المار بمنتصف الوتر ، فيكون عموداً عليه ، والقطر ١ ه المار بأحد طرفيه ويكون الأول باللون الأبيض والثاني باللون الأحمر . ويأتي بقطعة من الزجاج على شكل متوازي مستطيلات طولها أصغر من طول الوتر وأكبر من نصفه وعرضها



(شكل ١٧٦)

وسمكها مثل نصف طولها . وثبتت الزجاج على سطح القرص بحيث ينطبق أحد وجوهها المستطيلة عليه ، وبحيث ينطبق أيضاً ضلع هذا الوجه الذي هو بمثابة الطول من المستطيل على الوتر ١ ب . ويكون جسم الزجاج مائلياً للمركز . ويكون بروز حرف الزجاج خارج محيط القرص عند طرف القطر المائل أكثر منه مما يلي منتصف

الوتر من الجهة الأخرى كما هو مبين بالشكل (٢) .

وشرح ابن الهيثم لكيفية الاعتبار يتلخص في أن تجعل إحدى العينين قريبة جداً من الزجاج عند طرف القطر المائل وينظر في سطح الزجاج القاطع لسطح القرص على الوتر ١ ب وتكون العين الأخرى في الجهة التي

(١) و (٦٥) — و (٦٨) من مخطوط المقالة السابعة المناظر .

(٢) يعتمد ابن الهيثم في وصف هذه الأمور على ذكر الأبعاد فقطر القرص ليس بأقل من ذراع وطول الوتر عشر أصابع وطول الزجاج ثمانى أصابع ، وكل من عرضها وسمكها أربع وتواء الزجاج عن طرف القطر المائل أصبعان وعن منتصف الوتر من الجهة الأخرى اصبع واحدة .

فيها جسم الزجاج . ويستمر ما يقابل العين الثانية من سطح الزجاج بقطعة من الورق حتى لا يتسنى رؤية القطر المائل ١ هـ بهذه العين ، ولكن يتسنى بها رؤية القطر ح د العمود على الوتر . وابن الهيثم يرمى من وراء ذلك إلى أربعة أغراض .

( أولاً ) أن ترى العين الأولى جزأى القطر المائل ، الجزء الذي تحت الزجاج والجزء الذي خارجها من الجهة التي فيها مركز القرص . ولأنه يفرض العين قريبة جداً من سطح الزجاج تنكاد تلتصق به ، فهو يعدها كأنها في الزجاج ترى الجزء الذي من تحت الزجاج رأساً أو بالاستقامة وترى الجزء الخارج بالانعطاف من الهواء في الزجاج .

( ثانياً ) أن ترى العين الأولى أجزاء القطر القائم الثلاثة . ونظراً لشدة قربها من سطح الزجاج فهو يعدها ترى الجزء و م الذي من تحت الزجاج رأساً من غير انعطاف كأنها في الزجاج . وترى الجزء الخارج من جهة المركز وهو م د بالانعطاف من الهواء في الزجاج . وترى الجزء و ح الخارج من الجهة الأخرى أي من جهة المحيط رأساً أو بالاستقامة ، ولأنها في الهواء تنظر إليه فتراه من غير انعطاف .

( ثالثاً ) ألا ترى العين الثانية القطر المائل كله أو جزءاً منه .

( رابعاً ) أن ترى العين الثانية أجزاء القطر القائم الثلاثة . وهي في الهواء ليست قريبة جداً من سطح الزجاج . فترى الجزء و ح رأساً من غير انعطاف وترى الجزء و م الذي من تحت الزجاج بالانعطاف من الزجاج في الهواء وترى الجزء م د بالانعطاف من الهواء في الزجاج ثم من الزجاج في الهواء فتراه بانعطافين .

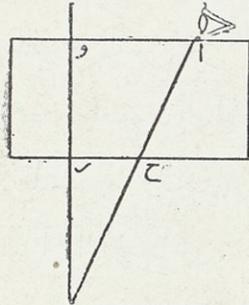
وابن الهيثم يصف ما يشاهد عندئذ . فالقطر العمودي على الوتر يُرى وفقاً لأقواله مستقيماً إذا نظر إليه بالبصرين أحدهما أو كليهما . فهو يقول بلفظه « فالبصران جميعاً يدركان هذا القطر ( يعنى القائم ) مستقيماً وإن ستر المعبر بالبصر الآخر ونظر بالبصر الذي يلي الزجاج فإنه يدرك القطر القائم مستقيماً .

وإن رفع المعبر بصره من الزجاج وتأمل القطر القائم من وراء الزجاج فانه ، يدركه مستقيماً مع إدراكه له بالانعطاف . والعلة في ذلك أن كل نقطة من القطر القائم إذا أدركها البصر بالانعطاف ، فانه يدركها في غير موضعها إلا أنه يدركها في موضع هو على استقامة العمود الخارج منها القائم على سطح الزجاج « والعمود المذكور هو القطر . أما القطر المائل وهو المقصود خاصة في الاعتبار ، فان العين الأولى ترى كلاماً من جزأيه مستقيماً ولكن يبدو لها الجزء الخارج من تحت الزجاج من جهة المركز ، لا على سمت الجزء الذي من تحتها وإنما محيطاً معه بزواوية منفرجة مما يلي الناظر . وإذا تأملت العين نقطة المركز ظهرت لها على امتداد القطر العمود على الوتر وأبعد من سطح الزجاج من موضعها الحقيقي .

ذلك هو اعتبار ابن الهيثم على الصورة التي ذكرها . وما يجدر الإشارة إليه هنا أنه ليس من المتيسر بادية الأمر تحقيق الأغراض التي يريد ابن الهيثم من التجربة . إذ الانعكاس الداخلي الكلي عن سطح الزجاج الملتصق بسطح القرص يحول دون رؤية جزأى القطرين اللذين من تحت الزجاج إذا نظر إليهما بالبصر الأول وهو في الوضع المذكور ، إلا إذا عني بأن يكون التصاق الزجاج بسطح القرص أو على الأقل بالقطرين التصاقاً تاماً يتمتع معه وجود الطبقة الهوائية التي تدعو في مثل هذه الأحوال إلى حدوث هذا الانعكاس . وما يلفت النظر في هذا الصدد قول ابن الهيثم وهو يصف كيفية إعداد القرص بعد ذكر رسم القطرين « ويملاء القطر القائم بجسم أبيض ويملاء القطر الآخر بجسم أحمر ثم تتركب الزجاج .. » وهو في الاعتبار الأول يرى أن تخط الأقطار « بالحديد لتزل في جسم الخشب ولتكن الخطوط غلاظاً لتكون بيّنة ولتملاء هذه الخطوط بجسم أبيض وليكن اسفيداجاً معجوناً بالك . » فان كان يريد من ملء القطرين في التجربة الثانية أن يملاء الجسم ملون فيه شيء من الرخاوة كالاسفيداج المعجون بالشمع أو كالشمع الملون باللون الأحمر بحيث يكون القطران بارزين قليلاً عن مستوى القرص فان ذلك كفيل بأن يكون التصاق الزجاج بالجسمين الرخوين المائلين للقطرين التصاقاً تاماً يجعل من

المتيسر رؤية جزأى القطرين اللذين من تحتها من غير أن يحول الانعكاس الكلى دون رؤيتهما .

ومن السهل إعادة هذه التجربة لبيان الغرض الذى يريد ابن الهيثم بشيء من التعديل ، فيخط على أحد وجوه كتلة من الزجاج على شكل متوازى مستطيلات خطان بقلم ملون أحدهما و مر ( شكل ١٧٧ ) عمود على حرف طولها والآخر ح مائل عليه كالمبين بالشكل ، وبحيث تكون نقطة ١ على



( شكل ١٧٧ )

بعد سنتيمترين أو أكثر قليلا من حرف الزجاج ثمة يرسم الشكل الرباعى ١ و مرح بالضبط على قطعة من الورق المقوى ويخرج ضلعه النظير للضلع ح على استقامة من جهة ح والآخر على استقامة من جهته وتعين نقطة التقائهما . ثم تثبت الزجاج بحيث يكون

وجها الذى عليه الخطان منطبقا على سطح الورقة وكل من خطيها و مر ١ ح منطبق على نظيره ، وطرفاهما كذلك بالضبط ، فيكون الخطان المرسومان على الورقة منطبقين على الخطين المخطوطين على سطح الزجاج . فاذا نظر بأحد البصرين وهو قريب جدا من نقطة ١ نحو سطح الزجاج العمود على مستوى الورقة أمكن رؤية جزأى الخط المائل وأجزاء الخط القائم وتيسر التأمل فى أوضاع هذه الأجزاء بعضها بالنسبة إلى الآخر .

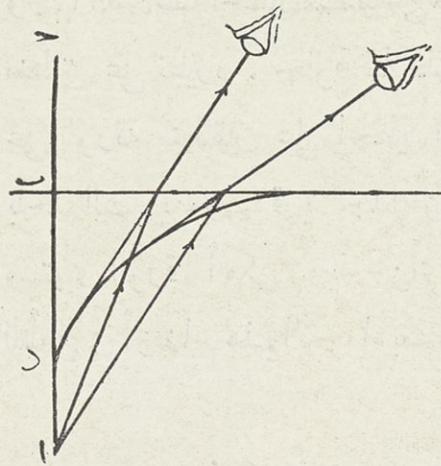
## ٢٠٦ - قصور قاعدة ابن الهيثم لتعيين موضع خيال النقطة

يريد ابن الهيثم من مثل هذه الاعتبارات أن يجعل قاعدته لتعيين خيال النقطة حقيقة عملية تؤيدها التجارب أو الاعتبارات وهو يعقب على هذين الاعتبارين بتلخيص موقفه ويقول « فقد تبين من جميع ما بيناه فى هذا الفصل أن كل مبصر يدركه البصر من وراء جسم مشف مخالف الشفيف لشفيف الجسم الذى يلي البصر إذا كان البصر مائلا عن الأعمدة الخارجة من ذلك المبصر القائمة على سطح الجسم المشف الذى يلي البصر ، فان خيال كل نقطة

من ذلك المبصر هي على (الفصل) (١) المشترك بين الخط الذي عليه تصل صورة تلك النقطة إلى البصر وبين العمود الخارج من تلك النقطة القائم على سطح الجسم المشف الذي يلي (البصر) ، كان الجسم المشف الذي يلي البصر أطف من الجسم المشف الذي يلي المبصر (٢) أو كان الجسم المشف الذي يلي البصر أعظم من الجسم المشف الذي يلي المبصر « (٣) .

والقاعدة ليست صحيحة على الاطلاق . وهي لا تصح إلا إذا كانت زاوية سقوط الضوء من النقطة المبصرة صغيرة جداً حيث يكون مركز البصر على سمت العمود الواقع منها على السطح أو قريباً جداً منه . وابن الهيثم في تعميم القاعدة قد وقع في مثل الخطأ الذي وقع فيه من قبل في تعميم القاعدة النظرية لها في الانعكاس .

فاذا فرضنا نقطة مضيئة ولتكن ١ ( شكل ١٧٨ ) في وسط غليظ كالزجاج



(شكل ١٧٨)

مثلاً وأخرجنا منها العمود ١ ب على السطح ومددناه على استقامة إلى > فمن المعلوم أن امتدادات الأشعة المنعطفة في الهواء إذا روعي ما يقع منها في مستوى الشكل « تغلف » منحنيًا ذا شطرين يتلاقيان في نقطة مثل د على العمود ١ ب وإذا ثبت ١ ب وأدير الشكل حوله تكون من دوران المنحني

سطح منحن هو الذي تمسه امتدادات جميع الأشعة المنعطفة في الوسط اللطيف وهو السطح الغلافي للأشعة المنعطفة . وهذا السطح يمثل المحل الهندسي لمواضع خيالات نقطة ١ التي يدركها البصر في أوضاعه المختلفة في الوسط اللطيف فكلما بعد البصر عن العمود ١ ب > ، تحرك الخيال على السطح الغلافي

(١) في الأصل « الجسم »

(٢) في الأصل « المبصر »

(٣) و (٦٨) ، و (٦٩) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

مبتعداً من نقطة د ومقترباً إلى السطح الفاصل بين الوسطين .  
ومن الواضح وفقاً لشرط قانون الانكسار الذي ينص على أن الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود من نقطة السقوط في مستوى واحد ، أن امتداد الشعاع المنعطف أيا كان يلقي حتماً العمود ١ ب على نقطة . فالبصر يبدو له في أي وضع من أوضاعه أن الضوء يرد إليه على سمت خط مستقيم يلقي العمود المذكور . أي يبدو له كأن خيال النقطة واقع على هذا العمود . ولكن إذا أزيح البصر قليلاً عن موضعه في الاتجاه العمود على مستوى الشكل بدا له « اختلاف المنظر » وتبين عندئذ أن خيال النقطة لا يقع حقيقة على العمود ١ ب وإنما هو ( في حالة الانعطف في الوسط الألف ) فيما بين العمود وبين البصر . فان عدنا بعد هذا إلى اعتبارى ابن الهيثم ، ورأى البصر أن خيال المركز على امتداد العمود الواقع منه على السطح الذي يحدث عنده الانعطف ، فان إزاحة البصر قليلاً في أحد الجانبين يبين أن ظهور الخيال على هذا العمود لا يعنى وقوعه فعلاً عليه . إذ يبدو عندئذ كما أشرنا « اختلاف المنظر » ، ويكون هذا الاختلاف أبين وآكد كلما بعد البصر عن سمت العمود الواقع على السطح ، ولكنه يكاد يزول إذا كان البصر قريباً جداً من سمت هذا العمود ، ويزول قاطبة إذا كان البصر على سمت العمود نفسه .

وما قد سبق أن علقنا به على القاعدة النظرية لهذه في الانعكاس ينطبق في جوهره على هذه القاعدة أيضاً . فالغرض الأساسى في نظرية ابن الهيثم في الابصار وهو أن إدراك البصر لصورة نقطة ناشئ عن ورود شعاع واحد من هذه النقطة هو الوارد على سمت العمود على سطح البصر ، هذا الفرض يخفى كما سبق أن ذكرنا ما يذبه الذهن إلى مصدر الخطأ في تعميم القاعدة .

٢٠٧ - غموض رأى ابن الهيثم في موضع خيال النقطة إذا كان البصر

على سمت العمود الواقع منها على السطح  
وهناك مسألة لم يدل ابن الهيثم فيها برأى واضح ، إذ لم نجد من أقواله في مجموعها ما يصح أن نستخلص له منها قولاً واحداً قاطعاً فيها ، بل إن من بعض

أقواله ما يفيد رأياً معيناً ومن بعضها الآخر ما يفيد نقيض هذا الرأى .  
وسنكتفى بالإشارة إليها هنا مرجئين العودة إليها كلما عرضت فى بحوثه التى  
سنتناولها فيما بعد فى مناسباتها .

فتعريف ابن الهيثم للخيال ذلك التعريف الذى نقلناه بلفظه فى مستهل هذا  
البحث<sup>(١)</sup> يتضمن شرطاً منصوباً عليه بتمام الوضوح هو أن يكون البصر  
مائلاً عن العمود الخارج من النقطة المبصرة قائماً على السطح الذى يحدث عنده  
الانعطاف .

فهل يريد ابن الهيثم من ذلك أنه إذا كان البصر على سمت العمود حيث  
ينفذ الشعاع الوارد إليه من النقطة المبصرة على استقامة من غير انعطاف ،  
فليس ما يدركه البصر هو خيال النقطة وإنما هو النقطة نفسها فى موضعها الذى  
هى عليه فى الحقيقة ؟ هل يريد أن يقول إن إدراك الموضع فى غير ما هو  
عليه يشترط فيه حدوث الانعطاف ، ويبطل إذا ما نفذ الشعاع على استقامة ؟  
إن من أقواله ما يفيد هذا المعنى ضمناً وصرحاً ومنها ما يفيد الضد من  
ذلك . فهو من جهة يكاد فى جميع بحوثه التى يرد فيها ذكر الخيال يشترط  
الانعطاف . وهو فى اعتباره الأول الذى يدل به على كيفية الابصار بالانعطاف .  
تفيد أقواله إنه إذا وضع رأس الخلالة على طرف قطر الدائرة الوسطى المار  
بمركزى الثقبين ونظر إليه من ثقب الاطار ، روى رأس الخلالة فى ذلك الموضع .  
وهو فى بعض بحوثه عن الخيالات يقول صراحة إن البصر إذا كان على سمت  
العمود الخارج من النقطة المبصرة على السطح أدرك النقطة فى موضعها .<sup>(٢)</sup>  
وهو فى بعضها الآخر يحتاط للأمر فى تعبيره ، واحتياطه جائز أن يكون تأويله  
استمسكه بهذا الرأى<sup>(٣)</sup> . وأقواله فى بعضها الآخر يفيد الضد من الرأى  
المذكور<sup>(٤)</sup> . والذى يجعل لهذه المسألة أهميتها فى نظرنا أن الفارسى فى التفتيح

(١) انظر فقرة (٢٠٤) من هذا الكتاب .

(٢) انظر الفقرة التالية من هذا الكتاب .

(٣) انظر فقرة (٢١١) من هذا الكتاب .

(٤) انظر فقرة (٢٢٨) من هذا الكتاب .

يقول بهذا الرأي صراحة (١). فالمسألة لم تكن في عصر ابن الهيثم واضحة جلية بل كان يكتنفها شيء غير قليل من الغموض والابهام. وإذا استشهدنا بالفارسي اتضح أن الآراء حتى في القرنين اللذين يليان عصر ابن الهيثم اتجهت إلى القول بأن موضع خيال النقطة في هذه الحالة هو موضعها الذي هي عليه في الحقيقة.

ولو أننا نرجح على الوجه العام أن ابن الهيثم ذهب إلى أن موضع خيال النقطة إذا كان مركز البصر على العمود الخارج منها قائماً على السطح هو موضع النقطة نفسها فان بعض بحوثه في الوقت نفسه يدل سياق التفكير فيها وتدل أيضاً بعض النصوص الواردة فيها على نقيض من هذا الرأي.

### ٢٠٨ - حكم ابن الهيثم في خيال النقطة المدرك بالانعطاف عند

#### السطح المستوي

ويبنى ابن الهيثم جميع بحوثه عن الخيالات التي ترى بالانعطاف على أساس قاعدته التي شرحناها آنفاً لتعيين موضع خيال النقطة. وهو يرمى من هذه البحوث إلى إقرار أحكام معينة بشأن هذه الخيالات يستنبطها جميعاً براهين هندسية. ومن أحكامه الأساسية أنه لا يدرك للنقطة المبصرة بالانعطاف عند السطح الواحد إلا خيال واحد وهو ينص عليه قائلاً بلفظه «إن كل مبصر يدركه البصر من وراء جسم مشف مخالف الشفيف لشفيف الجسم الذي يلي البصر إذا كان الجسم المشف من الأجسام المألوفة فليس يكون له إلا خيال واحد فقط» (٢) وابن الهيثم يعني بالأجسام المشفة المألوفة السماء والماء والهواء والزجاج والأحجار المشفة، ويذكر أنها إما أن تكون سطوحها مستوية أو كرية، أو

(١) حاول الفارسي في ذيل التنقيح أن يعزز هذا الرأي بأقوال غامضة ذهب فيها إلى أن حقيقة موضع الخيال هو مركز البصر وقد ذهب أيضاً في بعض بحوثه إلى أن المبصر المستقيم في الجسم الأغظ إذا كان موازياً للسطح ونظر إليه من سمت العمود الواقع من منتصفه قائماً على السطح فان نقطة المنتصف ترى في موضعها ولكن طرفي المبصر يريان أقرب إلى السطح فيظهر البصر كخطين يحيطان بزاوية منفرحة مما يلي السطح.

(٢) و (٧٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر.

يكون المؤلف منها ذا سطوح مستوية أو كرية . فقوله إذن منصب على الانعطاف عند السطوح المستوية أو الكرية . وهو يعيد النص على هذا المعنى بدقة أكبر فيقول « إن كل جسم مشف يكون سطحه المقابل للبصر سطحاً واحداً ويكون السطح المستوي القائم على سطحه إذا قطعه أحدث في سطحه خطأ مستقيماً أو خطأ مستديراً ، فان كل نقطة يدركها البصر من وراء ذلك الجسم المشف ومن وراء السطح الذي حددناه فليس يكون لها إلا خيال واحد ولا يدركها البصر إلا نقطة واحدة فقط » . (١)

وحكمه هذا يشمل الانعطاف عند السطح المستوي وعند السطح الكري أيضاً ، ولكننا في هذا المقام سنقتصر على شقه الخاص بالانعطاف عند السطح المستوي مرجئين الشق الآخر منه إلى ما بعد .

ولاثبات أن خيال النقطة واحد يتناول ابن الهيثم حالتى الانعطاف فى الوسط الألف وفى الوسط الألف (٢) . والفكرة التى يقوم عليها البرهان فى الحالتين واحدة وتستبين إذا أوردنا البرهان مع شىء طفيف من التعديل على المنوال الآتى .

لتكن نقطة ١ (شكل ١٧٩) مركز البصر ولتكن نقطة ب النقطة المبصرة وبما أن الشعاع الساقط والشعاع المنعطف والعمود من نقطة السقوط فى مستوى واحد فليكن هو مستوى الشكل ، وليكن تقاطعه والسطح الفاصل بين الوسطين خط ح د . ولنخرج من ١ عموداً عليه وليلقه على ح ولنمده إلى س ولنفرض أن نقطة ب ليست على امتداد هذا العمود ، ولنخرج منها ب د عموداً على ح د وليلقه على د .

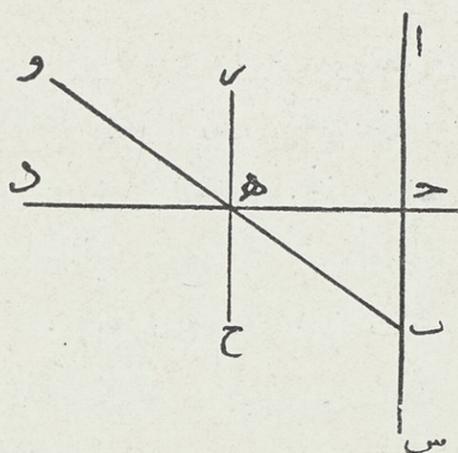
وبما أن الضوء الوارد من ب إلى ١ من المحال أن ينعطف من نقطة من غير خط ح د فلنفرض أنه ينعطف من نقطة ه عليه ، ولنخرج من ه العمود و ه س على ح د . فان كان الانعطاف فى الوسط الألف فهو إلى ضد جهة العمود من ه . فاذا مُد المنعطف ١ ه فهو يلقي حتماً ب د

(١) و (٧١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (٧١) — و (٧٦) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .



ويعالج هذه الحالة أيضاً بـبرهان الخلف وهو قد أوردته في صدد الانعطاف في الوسط الأغظ (١). فلكي يبرهن على أن الضوء الوارد من ب إلى ا



ينفذ على استقامة العمود ب > ا  
يفرض أنه ينعطف من نقطة  
ولتكن هـ على > د ، ولنخرج من  
هـ العمود س هـ > على > د ونصل  
ب هـ وننقله إلى و .

فالشعاع ب هـ لا ينفذ على

( شكل ١٨٠ )

استقامة هـ و ، وإنما ينعطف عند هـ

إلى ضد جهة العمود إذا كان الانعطاف في الألف والى جهة العمود إذا كان  
الانعطاف في الأغظ فلا يصل المنعطف في كلتي الحاليتين إلى نقطة ا .

فان كانت النقطة المبصرة على العمود الواقع من مركز البصر على السطح  
فان الشعاع الوارد منها إلى البصر يرد على استقامة هذا العمود .

والذي يجدر الإشارة إليه بصفة خاصة النتيجة التي يقررها ابن الهيثم  
بشأن خيال النقطة في هذه الحالة لعلاقتها بالغموض الذي يكتنف رأيه الذي  
بيناه في الفقرة السابقة . فهو يقول بلفظه « فان بصر ا يدرك نقطة ب على  
استقامة ومن غير انعطاف » ، ويضيف بعد ذلك قوله « فبصر ا يدرك نقطة  
ب في موضعها وعلى استقامة خط ا > ب » (٣). وقوله هذا صريح الدلالة  
على ذهابه إلى أن خيال النقطة ينطبق في هذه الحالة على النقطة نفسها . في حين  
أن الأمر ليس كذلك . فالخيال وإن كان على سمت العمود فعلا ، فهو  
أقرب إلى السطح إذا كان الانعطاف في الوسط الألف ، وأبعد عن السطح  
إن كان الانعطاف في الوسط الأغظ . وقاعدة ابن الهيثم هي الوسيلة لتعيين

(١) أورد الفارسي في التنقيح البرهان في الحاليتين .

(٢) و (٧١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

موضع الخيال في هذه الحالة . وهذه الحالة بالذات هي الحالة التي يصح فيها تطبيق القاعدة حيث يكون مخروط الأشعة الواردة إلى البصر ضيقاً ومواضع سقوط الأشعة التي يلتئم منها المخروط قريبة جداً من مسقط العمود ( أي نقطة  $\gamma$  ) فتكاد تكون امتدادات الأشعة المنعطفة متلاقية جميعها على نقطة واحدة من عمود  $\beta$  ، وتكون نسبة بعد نقطة الالتقاء عن  $\gamma$  إلى بعد  $\beta$  عن  $\gamma$  كمعامل انكسار الضوء عند نفوذه من الوسط الموجود فيه النقطة المبصرة إلى الوسط الموجود فيه البصر .

# الفصل الثالث

في

خيالات المبصرات المدركة بالانعطاف عند السطح المستوي

٢٠٩ - مجمل بحوث ابن الهيثم عن أغلاط البصر التي من أجل

الانعطاف

تناول ابن الهيثم دراسة خيالات المبصرات التي ترى بالانعطاف بشيء غير قليل من الاسهاب مبيناً وجوه الاختلاف بين الخيال الذي يرى وبين المبصر نفسه ، من حيث الموضع ومن حيث العظم ومن حيث التشوه . وهو يعد هذه الاختلافات من أغلاط البصر الناشئة عن الانعطاف في ذاته . فالانعطاف على حسب وجهة نظره شأنه شأن الانعكاس يسبب نوعاً خاصاً من الأغلاط تضاف إلى الأغلاط التي تحدث عند إبصار المبصر بالاستقامة . وهو يعني بتوضيح هذه الفكرة . فان أدرك البصر مبصراً بالانعطاف فهو يدركه في موضع الخيال وليس موضع الخيال هو موضع المبصر نفسه ، وليس بعده عن البصر هو بعد المبصر نفسه . كما أن نفوذ الضوء خلال الوسط المشف الموجود فيه المبصر قد يغير من لون المبصر نفسه . وأيضاً لما كان البصر يدرك المبصر في موضع الخيال على سمت الشعاع المنعطف إلى مركز البصر فان إدراك المبصر بالانعطاف هو إدراك الخيال بالاستقامة ، فجميع أغلاط الاستقامة تعرض هاهنا أيضاً . ولما كان الانعطاف يضعف الضوء كما يقول ابن الهيثم وخروج الضوء عن عرض الاعتدال من أسباب الغلط ، فأغلاط الاستقامة التي تعرض عند إدراك الخيال تكون أكثر وأشد و«آكد» . وابن الهيثم يشير أيضاً إلى عوامل أخرى يعرض من أجلها الغلط وهي



يطبق قاعدته في أن خيال النقطة هو نقطة التقاء امتداد الشعاع المنعطف  
الواصل إلى مركز البصر بالعمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح .  
وبحوته من الناحية الهندسية تكاد جميعها تكون صحيحة لا عيب فيها . ولكنها  
من الناحية الطبيعية ليست سليمة على الإطلاق . لأن نتائجها لا تمثل الواقع  
بالضبط إلا إذا كانت كل واحدة من نقاط الانعطاف قريبة جداً من مسقط  
العمود الخارج من النقطة المبصرة على السطح كما أشرنا إلى ذلك من قبل . وهو  
قد أغفل ما ينتج عن « الزيف الكرى » ، في حين أنه تناول في بحوثه حالات  
يعرض فيها ولاشك هذا الأمر .

وابن الهيثم في هذه البحوث يتخذ المبصر خطأ مستقيماً أو هو بالأحرى  
يراعى من المبصر قطراً من أقطاره ، ويبحث عن خيال كل من طرفيه . فيكون  
خيالا طرفيه نهايتي خيال قطر المبصر . ويبحث عن خيالي طرفيه والبصر في  
وضعين مختلفين بالنسبة إلى المستوى العمود على السطح الفاصل بين الوسطين  
والمار بهذا الخط المبصر . وكأنه يقسم بحوته قسمين أساسيين يتناول في القسم  
الأول البحث عن الخيال إذا كان مركز البصر واقعاً في هذا المستوى ، ونسمى  
وضعه في هذه الحالة الوضع الأول . ويتناول في القسم الثاني البحث عن الخيال  
إذا كان مركز البصر خارجاً عن هذا المستوى ، ونسمى وضعه في هذه الحالة  
الوضع الثاني . وهو في بحوثه جميعاً يتوخى فروضاً يسهل بها تبسيط الشرح  
والبرهان كما سيتضح فيما يلي .

### ٢١١ - خيال المبصر المستقيم والبصر في الوضع الأول

الحالة الأولى : المبصر مواز للسطح الفاصل بين الوسطين (١) .  
ليكن المبصر ب - (شكل ١٨١) وليكن في وسط أعظم . وليكن أولاً  
موازياً للسطح الفاصل بين الوسطين ، ولنخرج من طرفيه ب ٦ - العمودين  
ب د ٦ - ه على السطح وليلقياه على نقطتي د ٦ ه على الترتيب . وانزاع الحالة  
التي يكون فيها مركز البصر الواقع في هذا المستوى على امتداد العمود المنصف

(١) و (١٠٩) - و (١١١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .



ما يفيد أن  $ل ك$  خيال للمبصر  $ب ح$  ، وإنما يقول « وخط  $ل ك$  هو قطر خيال خط  $ن ح$  فصورة خط  $ب ح$  ترى على خط  $ل ك$  » (١)

وليس من السهل استقصاء الغرض الذي يرمى إليه من مثل هذا القول . فهو يحتمل وجهين أحدهما أن نفسر المعنى على أساس قوله إن النقطة التي تبصر على سمت العمود الواقع منها على السطح تبصر بالاستقامة في موضعها الحقيقي (٢) .

فيكون الغرض من الحذر والاحتياط أن يأتي قوله متفقاً والقول بأن نقطة  $ن$  التي هي منتصف  $ب ح$  تدرك في موضعها ، فيكون الخيال ماراً بنقطة  $ن$  وإن كان منتهياً بنقطتي  $ل و ك$  ، ويكون على هذه الصفة قوساً شديدة التقوس تقعرها مما يلي السطح الفاصل بين الوسطين . والوجه الثاني أن نفسر المعنى على أساس أنه كلما بعدت النقطة المبصرة عن العمود الواقع من مركز البصر فإن نقطة التقاء امتداد المنعطف إلى البصر بالعمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح تكون أقرب إلى السطح . فإن عدت وفقاً لقاعدته هذه النقطة موضع الخيال كان خيال النقطة الأبعد عن العمود البصرى أقرب إلى السطح . فإن كانت  $ب$  خيالها  $ل$  فنقطة من  $ب ح$  فيما بين  $ب و ن$  خيالها أبعد قليلاً عن السطح من بعد  $ل$  عنه ، وخال النقطة  $ن$  يكون أبعد خيالات نقاط المبصر عن السطح . فيكون الخيال قوساً أيضاً وتغيرها مما يلي السطح ولكنها ليست شديدة التقوس كما يكون الأمر على الوجه الأول . ولا شك أن لهذا الأمر علاقة بغموض رأى ابن الهيثم بشأن خيال النقطة التي تبصر من سمت العمود الواقع منها على السطح ولا سبيل لنا لبيت فيه برأى قاطع .

وابن الهيثم يستنبط من هذا البحث أن المبصر يدرك في هذه الحالة أعظم مما هو عليه في الواقع . فزاوية رؤية الخيال أي الزاوية التي يوترها  $ل ك$  عند  $ل$  أعظم من الزاوية التي يوترها  $ب ح$  وهي زاوية رؤية المبصر . ومن أجل هذا يدرك الخيال أعظم .

والذي يدعو إلى التقدير أن ابن الهيثم يتناول في هذا الصدد علة أخرى

(١) و (١١١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) أنظر فقرة (٢٠٧) من هذا الكتاب .

يعرض من أجلها الغلط لا تتناولها نحن بالذكر في بحوثنا الطبيعية في الوقت الحاضر. فالضوء النافذ من الوسط الموجود فيه المبصر يضعف كما يقول ابن الهيثم من أجل الانعطاف، فصورة المبصر التي يدركها البصر بالانعطاف «أضعف من صورته التي يدركها على استقامة وإذا ضعفت الصورة شهبها البصر بصورة المبصر الذي يرى من بعد أكبر.» فالانعطاف اذن يؤدي إلى ادراك البعد أعظم مما هو عليه في الواقع. فان كان البصر يُقدَّر بعد الخيال أعظم من حقيقته فان ذلك وحده يؤدي إلى إدراكه أعظم.

وإذن يدرك البصر المبصر في هذه الحالة أعظم مما هو عليه في الواقع لا من أجل عظم الزاوية فحسب بل من أجل الغلط في ادراك البعد أيضاً. وابن الهيثم يمضى إلى استيفاء بحث هذه الحالة في موضع آخر من مقالته<sup>(١)</sup>، ويتناول في بحثه بيان ما نسميه الآن «تشوه الصورة». فاذا رمزنا لنقطة تقاطع  $n$  والمستقيم الواصل بين نقطتي  $l$  و  $k$  بالحرف  $e$  كانت نقطة  $e$  منتصف  $l$  ك. وهو محتاط هنا أيضاً في التعبير، وبدلاً من أن نجده يقول إن  $l$  ع خيال  $n$  نجده يقول «ونقطة  $n$  ترى على نقطة  $e$  نخط  $n$  يرى على خط  $l$  ع.» ويدرك إذن نصف المبصر وهو  $n$  أعظم من حقيقته.

كذلك إذا أخذت نقطة مثل  $m$  على  $n$  وأخرجنا منها عموداً على السطح الفاصل بين الوسطين كان خيالها نقطة مثل  $s$  واقعة على هذا العمود (طبقاً لقاعدته) وتكون نقطة  $s$  «أما على خط  $l$  ع أو قريبة منه»، ونحن نعلم أنه إذا كانت نقطة  $m$  قريبة جداً من  $n$  عد خيالها  $s$  واقعاً فعلاً على  $l$  ع.

وحيث أن ابن الهيثم يعد نقطة  $s$  في حكم الواقعة على خط  $l$  ع يكون  $l$  س =  $m$ .

وهو يمضى بعد ذلك لإثبات غرضه ببرهان القياس المنطقي. فهو يقدم بأن خيال  $n$  يرى بالانعطاف أعظم. وخیال النصف  $n$  يرى

(١) و (١١٥) و (١١٧) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر.

بالانعطاف أعظم أيضاً . وعلة العظم في الرؤية هي الانعطاف فكما زاد الانعطاف زاد العظم المترتب عليه ، وانعطافات الأضواء الواردة من النقاط البعيدة عن العمود الواقع من مركز البصر على السطح ، أعظم من انعطافات الأضواء الواردة من النقاط القريبة . وإذن العلة التي توجب العظم في إدراك  $\beta$  من بالانعطاف أعظم من العلة التي توجب العظم في إدراك  $\alpha$  من بالانعطاف . وإذن نسبة العظم في إدراك الجزء  $\beta$  من أعظم منها في إدراك الجزء  $\alpha$  من . تلك وجهة نظره . وتفكيره يؤدي حتماً إلى إقرار تشوّه الصورة التي يدركها البصر ، ولو أنه لا يذكر ذلك صراحة فنتيجة أقواله أن صورة المبصر  $\beta$  > تدرك مكبرة ولكن نسبة التكبير لأجزائه الطرفية أعظم منها لأجزائه المتوسطة .

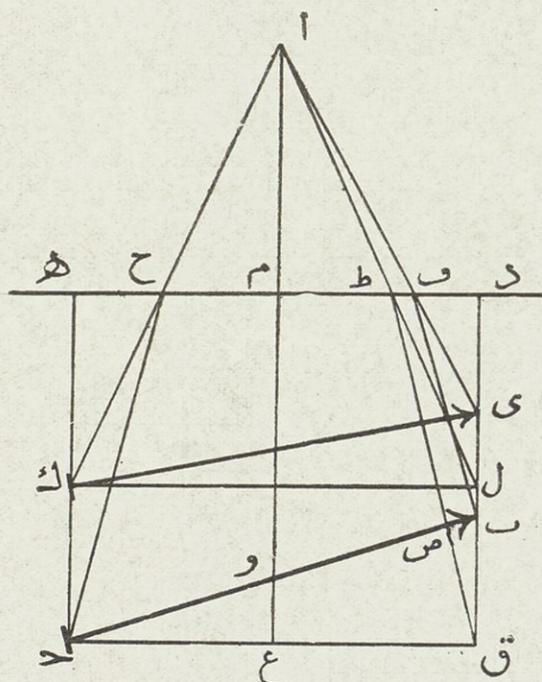
والغرض الذي يرمى إليه ابن الهيثم من بيانه أن البصر يدرك كلا من نصفي المبصر أعظم ويدرك أيضاً الجزء  $\beta$  من منه أعظم ، أن يتضمن برهانه الأحوال التي لا يكون فيها مركز البصر على العمود الواقع من منتصف المبصر على السطح . فإذا ثبت أن المبصر  $\beta$  من يدركه البصر  $\alpha$  مكبراً كان معنى هذا أن المستقيم المبصر إذا كان موازياً للسطح الفاصل بين الوسطين ، وكان مركز البصر واقعاً في المستوى المار به عموداً على السطح ، سواء كان على امتداد العمود الواقع من منتصف المستقيم المبصر على السطح ، أو لم يكن ، فإن البصر يدركه أعظم مما هو عليه في الواقع .

الحالة الثانية: المبصر غير مواز للسطح الفاصل بين الوسطين (١)

ويتدرج ابن الهيثم من الحالة التي يكون فيها المبصر موازياً للسطح إلى الحالة التي لا يكون فيها المبصر موازياً للسطح . وهو يبدأ البرهان هنا أيضاً بفرض أن البصر على امتداد العمود الواقع على السطح من منتصف المستقيم المبصر . فليكن المبصر  $\beta$  > ( شكل ١٨٢ ) وليكن في وسط أعلاظ ولتكن نقطة و منتصفه . ولنخرج من نقاط  $\beta$  و  $\beta$  و  $\beta$  > الأعمدة  $\beta$  د و م و  $\beta$  .

(١) و (١١٢) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

ح ه على السطح . وليكن مركز البصر نقطة ا على امتداد و م . ولنخرج  
من ا بعد طرفي ب ح عن السطح ، اى من نقطة ح المستقيم ح ق موازياً  
ه د فهو يلقي امتداد د ب على نقطة ق . ويليق امتداد ا و المستقيم  
ح ق على ع . فمن الواضح أن نقطة ع هي منتصف ح ق . ولنفرض



(شكل ١٨٢)

أن الشعاع ق ط ينعطف من  
ط إلى ا ، وكذلك الشعاع ح  
ينعطف من ح إلى ا ، وليكن  
كما في الحالة الأولى ل و ك  
طرفي خيال ق ح ، فالمستقيم  
ق ط يلقي ب ح على نقطة  
ولتكن ص . فمن الواضح أيضاً  
أن نقطة ط هي نقطة انعطاف  
ص إلى ا ، وإذن تكون نقطة  
انعطاف ب إلى ا فيما بين

نقطتي د و ط فلتكن نقطة ف . ولنصل ا ف ونمده حتى يلقي ب د  
على نقطة ي فتكون نقطة ي خيالا لنقطة ب .

وإذن ي و ك طرفا خيال المبصر ب ح .

وبما أن نقطة ف تقع حتماً بين نقطة د وبين النقطة التي يلقي عليها ب ا  
المستقيم د ح ، فمن السهل بيان أن زاوية رؤيوية ي ك أعظم من زاوية رؤيوية  
ب ح ، فيثبت أن البصر يدرك المبصر ب ح أعظم مما هو عليه في الواقع .  
وابن الهيثم يشير إلى إمكان تطبيق البرهان الذي أوردناه في الحالة السابقة  
ليبين أن البصر يدرك كلا من نصفي ب ح أعظم ، وكذلك أى جزء من  
أجزائه . ويتحرر على هذه الصفة من قيد فرضه وقوع البصر على امتداد العمود  
الخارج من منتصف المستقيم المبصر على السطح .

ومما يلاحظ في هذه الحالة أن ابن الهيثم يعد المستقيم ي ك موازياً

٧٥٢ الباب السابع. الفصل الثالث: في خيالات المبصرات المدركة بالانعطاف عند السطح المستوي

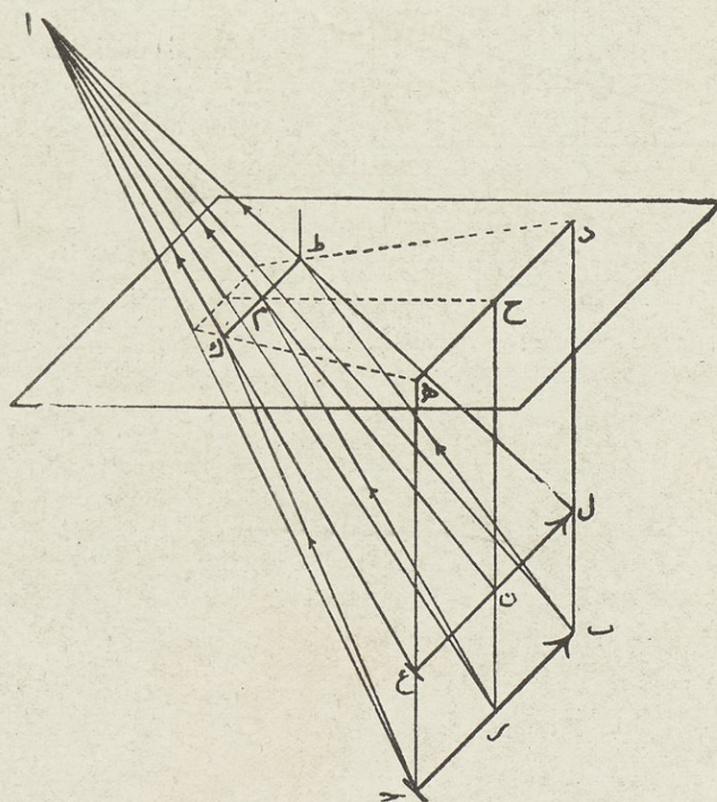
للمستقيم ب - أو هو في حكم الموازي. والحقيقة أنهما غير متوازيين كما أشار إلى ذلك الفارسي وبينه في التنقيح. ومن الواضح أن اعتبار ابن الهيثم المستقيمين في حكم المتوازيين لا يؤثر في برهان العظم في هذه الحالة.

### ٢١٢ - خيال المبصر المستقيم والبصر في الوضع الثاني

نتناول في هذا القسم بيان بحوث ابن الهيثم عن خيال المبصر المستقيم إذا كان مركز البصر خارجاً عن المستوى المار بالمستقيم المبصر عموداً على السطح الفاصل بين الوسطين. وابن الهيثم يراعى في هذا القسم من بحوثه أيضاً حالتين يفرض في الأولى منهما المستقيم المبصر موازياً للسطح. وينتقل منها إلى الحالة التي لا يكون فيها كذلك.

#### الحالة الأولى (١)

ليكن المبصر ب - (شكل ١٨٣) ولنخرج من طرفيه العمودين



(شكل ١٨٣)

ب د ٦ > ه على السطح الفاصل بين الوسطين وليلقياه على د ٦ ه فيكون  
ب > فرضاً موازياً د ه . ولننصف ب ح على م ولنخرج من  
م عموداً على السطح وليلق د ه على ح . وابن الهيثم يبتدىء هذه الحالة  
بفرض أن مركز البصر إذا وصل بمنصف المستقيم المبصر كان الواصل  
عموداً على هذا المستقيم .

أى إذا فرضنا مركز البصر نقطة ا فانه يفرض بادىء ذى بدء أن ا م  
عمود على ب ح . ولنفرض أن نقطة ب تنعطف من ط إلى ا فنقطة  
ط تقع حتماً ( وفقاً للحكم الثالث من أحكام الكيف التي أثبتها ) في مستوى  
د ب ا . فاذا أخرج المنعطف ط ا فانه يلقى ب د على نقطة ولتكن ل .  
كذلك فنقطة انعطاف ح إلى ا واقعة في مستوى ه ح ا ولتكن  
نقطة ك وليلق امتداد ا ك المستقيم ح ه على ع  
فيكون ل ٦ ع طرفي خيال المبصر ب ح .

كذلك فان نقطة انعطاف م إلى ا تقع في مستوى ح م ا ، فاذا  
فرضناها نقطة م وأخرجنا ا م فانه يلقى م ح على نقطة ولتكن ن  
تكون هي خيال م .

ولما كان ابن الهيثم يفرض أن ا م عمود منصف للمستقيم ب ح ، يكون  
وضع كل من نقطتي ب ٦ ح ، بالنسبة إلى ا واحداً ، وكذلك بعد كل منهما  
عن ا . وهذا التماثل يقتضى أن يكون وضع كل من نقطتي ط ٦ ك وبعد  
كل منهما من ا واحداً أيضاً ، وكذلك وضع كل من نقطتي ل ٦ ع وبعدها .  
ومن هذا يستنبط أن ب ل = ح ع .

وإذن ب ح يوازي ل ع ويساويه .

وأيضاً فان الزاوية التي يحيط بها الشعاع ط ا والعمود على السطح من  
نقطة ط زاوية حادة ( لأنها زاوية الانكسار ) وهي تساوى زاوية د ل ا .

إذن زاوية ا ل ب منفرجة .

وإذن ا ب أعظم من ا ل .

وبالمثل ا ح أعظم من ا ع .



«ولنعد الصورة ( أى الشكل السابق ) وليكن ب ح غير مواز لخط د ه ، ونخرج ح ف موازياً لد ه ( أى لخط د ه ) ، ونصل ا ف ولتكن نقطة ط هي النقطة التي تتعطف منها صورة نقطة ف إلى بصر ا . ولتتعطف صورة نقطة ب إلى بصر ا من نقطة ق . ونصل ا ق وننفذه إلى س . فتكون نقطة س أرفع من نقطة ل ، لأن نقطة ب من وراء خط ( ا ف )<sup>(١)</sup> ، فخط ا س من وراء خط ا ل ، فنقطة س أرفع من نقطة ل . ونصل س ع ، فيكون س ع قطر خيال ب ح ، ويكون س ع أعظم من ل ع ، ويكون ا س أصغر من ا ل ، وخطا ا س ، ا ع في سطحين متقاطعين ، وهما سطحا ا س ف ، ا ع ح . والفصل المشترك بين هذين السطحين يمر بنقطة ا ( وهو العمود ا و الواقع من نقطة ا على السطح الفاصل بين الوسطين ) ، والخطان الخارجان من نقطة ا القائمات على الفصل المشترك بين هذين السطحين ( أى العمودان ا ي و ا م الخارجان من نقطة ا أولهما في المستوى الأول والثاني في المستوى الثاني ) أرفع من خطي ا س ، ا ع . فزاوية س ا ع أعظم من زاوية ب ا ح . وبعدها س ع ، ب ح عن بصر ا ، ليس بينهما اختلاف مؤثر . فخط س ع إما أن يكون موازياً لخط ب ح أو ليس بينه وبين الموازي اختلاف مؤثر في وضعه عند بصر ا .

فزاوية س ا ع أعظم من زاوية ب ا ح ، ووضع س ع عند بصر ا شبيه بوضع ب ح عند بصر ا ، وليس بين بعدى س ع ، ب ح عن بصر ا اختلاف مؤثر في العظم ، فخط س ع يرى أعظم من خط ب ح كما تبين فيما تقدم . و ا س ع هو خيال خط ب ح ، فخط ب ح يرى أعظم مما هو . وذلك ما أردنا أن نبين .

وهذا الذي أورده ابن الهيثم يتضمن أمرين متتاليين ، أولهما أن الزاوية

(١) في الأصل « ف » ، ولعله يقصد بقوله هنا « إن شيئاً من وراء شيء آخر » أن الأول يبدو للبصر أبعد من الثاني ، فكان موضع في الامتداد المكاني بالنسبة إلى البصر يلي موضع الثاني .

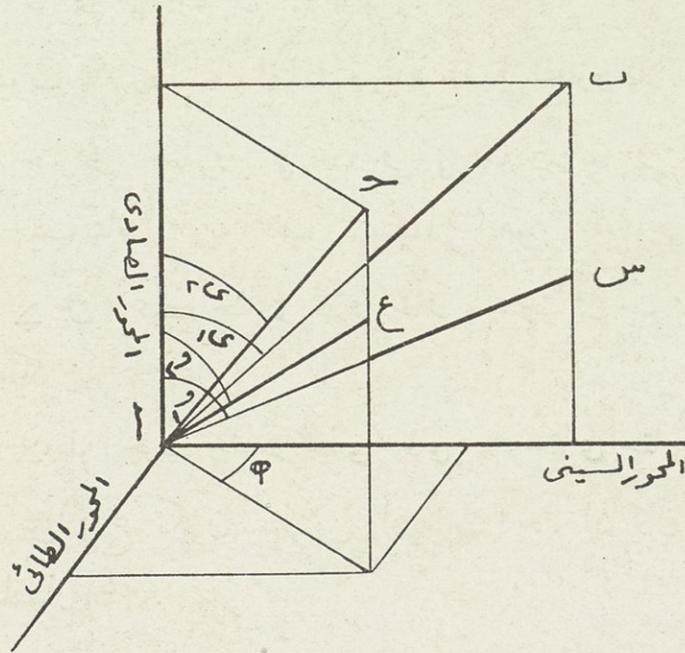
التي يوترها الخيال س ع عند البصر أعظم من الزاوية التي يوترها المبصر ب > عند البصر ، والثاني فرض أن المبصر وخياله في حكم المتوازيين وأن بعديهما عن البصر في حكم المتساويين وبما أن المبصر وخياله محدودان بالعمودين ب د و ه القائمين على السطح الفاصل بين الوسطين ، وهما أي المبصر وخياله في حكم المتوازيين فاذا هما أيضاً في حكم المتساويين .

وهذا البرهان قد اعترض عليه الفارسي في التنقيح . قال بلفظه « ليس هذا الاستلزام كلياً ( أي استلزام أن زاوية س ا ع أعظم من زاوية ب ا > ) وذلك أنه إنما يكون عند توازي س ع ، ب > . يكون س ع حيثئذ مثل ب > س ا أصغر من ب ا و ع ا أصغر من ا > . فاذا توهمنا أن نقطة ا من مثلثي س ا ع ، ب ا > ثابتة ، وهما منعطفان بحيث ينطبق ا س على ا ب فاع ( أي يخط ا ع ) إما أن ينطبق على ا > ، أو يقع داخلاً ، أو خارجاً . على الأولين ( أي إن انطبق أو وقع داخلاً ) يكون ب > أعظم من س ع ، وهو محال . وعلى الثالث تكون زاوية س ا ع أعظم من زاوية ب ا > . فان لم يكن س ع موازياً لب > ( أي للمستقيم ب > ) فلا يلزم ذلك مطرداً . »

ويبدو لنا من سياق برهان ابن الهيثم أنه لم يقصد أن يكون برهانه على أن زاوية س ا ع أعظم من زاوية ب ا > مبنياً على اعتبار أن س ع و ب > في حكم المتوازيين المتساويين . بل لعل ابن الهيثم رأى بصفة عامة أن المستويين المتقاطعين مثل ا ي ف و ا م و ا > و إذا قطعهما مستوى عمود عليهما يلقى الأول على ا ي ، ويلقى الثاني على ا م ، ثم قطعهما مستويان يمران بنقطة ا عن جنبه من المستوى العمود عليهما واحدهما يلقى الأول على ا س ويلقى الثاني على ا ع ، والآخر يلقى الأول على ا ب ويلقى الثاني على ا > ، فانه إذا كانت زاوية ا ي س أصغر من زاوية

ي ١ ب ، أو زاوية س ١ و أكبر من زاوية ب ١ و ، وكانت زاوية  
م ١ ع أصغر من زاوية م ١ > ، أو زاوية ع ١ و أكبر من زاوية  
> ١ و ، فإن زاوية س ١ ع تكون أعظم من زاوية ب ١ > .  
نقول يبدو لنا أن ابن الهيثم أراد هذا المعنى ولكنه هو أيضاً لا يتردد  
لزومه على تصاريف الأحوال .

ولسهولة توضيح هذا الأمر نتوهم ثلاثة محاور ديكارتية متعامدة متلاقية  
في نقطة ، ولتكن على الترتيب السيني والصادي والطائي ولنرمز لنقطة الأصل  
بالحرف ١ (شكل ١٨٥) .



( شكل ١٨٥ )

ولنتوهم في مستوى المحورين السيني والصادي مستقيماً ١ س يمر بنقطة  
الأصل وزاوية ميله على المحور الصادي حادة ولتكن  $\omega$  ، ولنتوهم مستقيماً  
آخر ١ ع يمر بنقطة الأصل خارج مستوى المحورين السيني والصادي بحيث  
يصنع المستوى الذي يتعين بهذا المستقيم والمحور الصادي ( ولنسمه المستوى  
المائل ) ، زاوية قدرها  $\theta$  مع مستوى المحورين السيني والصادي ، وزاوية  
ميل هذا المستقيم على المحور الصادي حادة ، ولتكن  $\phi$  . والفكرة الواردة في



$$2 \text{ حتا } \Delta \text{ س } 1 \text{ ع} = (1 + \text{حتا ه}) \text{ حتا } (1 - 1) \\ + (3) \dots (1 + 1) \text{ حتا } (1 - 1) \text{ حتا ه}$$

وبالمثل يكون  $2 \text{ حتا } \Delta \text{ ب } 1 >$

$$= (1 + \text{حتا ه}) \text{ حتا } (1 - 1) \text{ حتا ي}$$

$$+ (4) \dots (1 + 1) \text{ حتا } (1 - 1) \text{ حتا ه}$$

والذي يقتضيه أمر انعطاف الضوء من الأغظ إلى الألف هو أن يكون

$$1 < 1 \text{ ي} \text{ و } 1 < 1 \text{ و} \\ \text{أى أن يكون}$$

حتا  $(1 + 1) > \text{حتا } (1 + 1)$  .  
وهذا وحده لا يُلزم أن يكون المقدار (٣) أصغر من المقدار (٤) ،  
وإنما يتطلب هذا الالتزام أن يكون أيضاً

$$\text{حتا } (1 - 1) > \text{حتا } (1 - 1) \\ \text{أى أن يكون}$$

$$1 - 1 < 1 - 1 \text{ ي}$$

فاذا ما توافر هذا الشرط أيضاً يكون

$$\text{حتا } \Delta \text{ س } 1 \text{ ع} > \text{حتا } \Delta \text{ ب } 1 >$$

ويكون

$$\Delta \text{ س } 1 \text{ ع} < \Delta \text{ ب } 1 >$$

هذا هو تفصيل الأمر من وجهته العامة .

وأيضاً فنظراً لأن انعطاف الضوء من الأغظ إلى الألف يقتضى أن يكون

$$1 < 1 \text{ ي} \text{ و } 1 < 1 \text{ و}$$

فانه يُلزم أن يكون

$$\text{حا } 1 \text{ و } \text{حا } 1 \text{ و} < \text{حا } 1 \text{ و } \text{حا } 1 \text{ و}$$

$$\text{حا } 1 \text{ و } \text{حا } 1 \text{ و} > \text{حا } 1 \text{ و } \text{حا } 1 \text{ و}$$

وبما أنه ينتج من (١) و (٢) أن

حنا > ب ١ > - حنا > س ١ ع  
= حناه (حاي حاي - حاو حاو) + (حتاي حاي - حتاو حتاو)  
= (حتاي حاي - حتاو حتاو) - حناه (حاو حاو - حاي حاي)  
يتضح أنه في الأحوال التي تكون فيها قيمة ه بن القائمة وبين القائمتين  
حيث يكون

حنا ه مقداراً يقع بين الصفر وبين - ١ ، يكون  
حنا > ب ١ > - حنا > س ١ ع = مقداراً موجباً .  
وإذن يكون

حنا > ب ١ > < حنا > س ١ ع ،  
أى تكون

> س ١ ع < > ب ١ > .  
فاذا عدنا بعد هذا إلى شكل ( ١٨٤ ) يتبين مما تقدم أنه إذا كانت الزاوية  
بين المستويين اى ف و و ١ ٦ م > و تقع بن القائمة وبين القائمتين  
فنظراً لأن خطى ا س ١ ٦ ع كما يقول ابن الهيثم أرفع من خطى ا ب  
١ ٦ > فان زاوية س ١ ع تكون كما يقول أعظم من زاوية ب ١ > .  
أما في الحالة العامة أياً كانت قيمة الزاوية بين المستويين فلا يكفي كون خطى  
ا س ١ ٦ ع أرفع من خطى ا ب ١ ٦ > ، سبباً يوجب أن تكون  
زاوية س ١ ع أعظم من زاوية ب ١ > ، بل يتطلب الأمر أيضاً أن يكون  
د س ١ و - د ع ١ و أعظم من د ب ١ و - د س ١ و .

٢١٣ - الاستدلال بالاعتبار على أن المبصر الذى يدرك بالانعطاف

من الماء الى الهواء يدرك أعظم

رأى ابن الهيثم أن زيادة العظم عند إدراك المبصر بالانعطاف من الأغلاظ  
فى الألف قد تكون صغيرة تخفى عن الحس ، وقد يكون المبصر كله فى الجسم  
الأغلظ فلا يتيسر للمبصر المقابلة بين صورته التى تدرك بالانعطاف وبين صورته  
التي تدرك بالاستقامة إذا كان المبصر فى الهواء ، لى يقدر الحس على تمييز

الاستدلال بالاعتبار على أن المبصر يدرك بالانعطاف من الماء إلى الهواء أعظم ٧٦١

التفاوت . فهو عقب بحوثه التي بين بها أن البصر يدرك المبصر بالانعطاف من الأغلاظ في الألف عند السطح المستوي وعند السطح الكرى المحذب الذي مركزه من وراء المبصر بالنسبة إلى البصر ، أعظم من حقيقته ، أورد<sup>(١)</sup> اعتباراً ينصب في الواقع على الانعطاف عند السطح المستوي ، نورده فيما يلي .

وهو يتلخص في أن يؤتى بجسم أبيض غليظ ، اسطوانى الشكل أو على شكل متوازى السطوح ، وتكون له قاعدة مستوية يمكن أن يرتكز عليها . ويغمر الجسم في وسط إناء متسع به ماء بحيث يرتكز قائماً على قاعدة الإناء ، ويكون بعضه في داخل الماء وبعضه خارجاً منه . فاذا تأمله المعتبر رأى الجزء المغمور منه في الماء أغلظ من الجزء الخارج .

ويجدر بنا أن نشير هنا إلى أن ابن الهيثم مهد إلى ذكر هذا الاعتبار بأقوال ذكر فيها أن سطح الماء كرى محدبه يلي البصر ومركز سطح الماء من وراء المبصرات التي يدركها البصر في داخله . فكأنه يُعزى زيادة العظم في هذا الاعتبار إلى الانعطاف عند السطح الكرى المحذب لا عند السطح المستوي . ولنا عودة إلى هذا الأمر فيما بعد .

(١) و (١٢٠) - و (١٢١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

# البَابُ الثَّامِنُ

في

الانعطاف عند السطوح الكرية

وما يترتب على الانعطاف من الظواهر الجوية

## الفصل الأول

في

الانعطاف عند السطوح الكرية بوجه عام

٢١٤ - مجل بحوث ابن الهيثم عن الانعطاف عند السطوح الكرية

يرى ابن الهيثم أن النقطة المبصرة التي تدرك بالانعطاف عند السطح المستوي أو عند السطح الكروي لا يكون لها إلا خيال واحد ولا يدركها البصر إلا نقطة واحدة . وقد تناولنا فيما سبق ما يتعلق من بحوثه بالانعطاف عند السطح المستوي ، وسنتناول هنا ما يتعلق منها بالانعطاف عند السطح الكروي . وابن الهيثم في بحوثه الواردة في كتاب المناظر حاول أن يبرهن على أن الانعطاف من النقطة المبصرة إلى النقطة الموجودة فيها مركز البصر لا يكون إلا من نقطة واحدة . ولما كان التقاء إمتداد المنعطف بالعمود الخارج من النقطة المبصرة على السطح هو وفقاً لقاعدته موضع الخيال فان ما يؤول إليه البرهان على أن نقطة الانعطاف واحدة ، هو أن الخيال واحد . فالمعاني الطبيعية التي يستخلصها ابن الهيثم من بحوثه قائمة على أساس القاعدة المذكورة في تعيين

موضع الخيال . ومما يلاحظ في هذا الصدد أن ابن الهيثم حاول الاستدلال على هذه القاعدة باعتبارات قد سبق بيانها اعتبار فيها بالانعطاف عند السطوح المستوية ، لكنه لم يعن على حسب ما يتبين من كتاب المناظر بالاستدلال عليها بمثل هذه الاعتبارات فيما يتعلق بالانعطاف عند السطوح الكرية . وقد تنبه الفارسي إلى هذا وحاول أن يتم في كتابه التنقيح هذا النقص بتجارب ذكرها من عنده .

وبجوت ابن الهيثم الواردة في كتاب المناظر عن الانعطاف عند السطوح الكرية يمكن تقسيمها قسمين أساسيين ، راعى ابن الهيثم في أحدهما انعطاف الضوء من الوسط الأغظ في الوسط الألف إذا كان تحذب السطح مما يلي مصدر الضوء ، وراعى في الثانى انعطافه من الألف في الألف أيضاً ولكن إذا كان تقعر السطح مما يلي مصدر الضوء ، وهو يستعين بقاعدة قبول العكس فى توسيع دائرة النتائج التى توصل إليها من بجوت القسمين . ومما تجدر الإشارة إليه هنا أن ابن الهيثم يسم السطح الذى يحدث عنده الانعطاف بحسب هيئته بالنسبة إلى النقطة التى يرد إليها الضوء المنعطف ، لا بحسب هيئته بالنسبة إلى النقطة المضيئة التى هى مصدر الضوء . ولعل ذلك من جراء انصراف عنايته فى موضوعات الانعطاف أيضاً إلى الناحية الشخصية أكثر منه إلى الناحية الموضوعية . فالنقطة التى يرد إليها الضوء يتصورها دائماً مركزاً للبصر فان كان تحذب السطح مما يليها عنده محدبا ، وإن كان تقعره مما يليها عنده مقعرا .

وابن الهيثم يقدم لبجوته هذه بتمهيد هندسى يستعين به فى براهينه . نوره أولاً فيما يلي .

### ٢١٥ - التمهيد الهندسى لبجوت الانعطاف عند السطوح الكرية

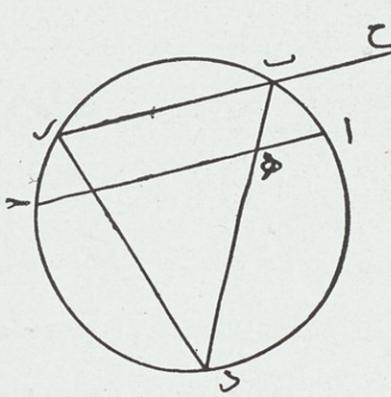
والتمهيد الهندسى يشمل مقدمتين .

المقدمة الأولى هى بلفظه :

« أن كل وترين يتقاطعان فى دائرة فان الزاوية التى عند تقاطعهما مساوية

لزاوية التي عند محيط الدائرة التي توترها القوسان اللذان يفصلهما ذانك الوتران (١) . «

وابن الهيثم يورد لهذه المقدمة برهاناً يتناول جميع الأحوال المحتملة .  
وليكن الوتران  $ا ب$  و  $ج د$  (شكل ١٨٦) وليتقاطعا على  $ه$  . فالمطلوب



( شكل ١٨٦ )

إثباته (أولاً) أن زاوية  $ا ه ب$  ، أو المقابلة لها بالرأس تساوي الزاوية المحيطة التي توترها قوس مساوية لمجموع قوسى  $ا ب$  و  $ج د$  .

ولإثبات ذلك يخرج ابن الهيثم من نقطة  $ب$  المستقيم  $ب ح$  موازياً للوتر  $ا ب$  .

فتكون  $ا ه ب = ب ح د = د ه ب$  ،

وتساوى الزاوية المحيطة التي توترها قوس  $ج د$  . وبما أن قوس  $ج د$  تساوى قوس  $ا ب$  ، فقوس  $ج د ه$  هى مجموع قوسى  $ا ب$  و  $ج د$  . وهو المطلوب .

(ثانياً) ان زاوية  $ا ه د$  أو المقابلة لها بالرأس تساوى الزاوية المحيطة التي توترها قوس مساوية لمجموع قوسى  $ا ب$  و  $ج د$  .  
ولإثبات ذلك يصل ابن الهيثم  $ج د$  .

فزاوية  $ا ه د = د ح ب = د ح ج + ج د ب = د ح ج + ج د ب$  .  
 $ج د ح$  هى المحيطة التي توترها قوس  $ا ب$  أى القوسان  $ا ب$  و  $ج د$  .

$ج د ب$  هى المحيطة التي توترها قوس  $ب ح$  ،

أى قوس  $ب ح$  - قوس  $ج د$  .

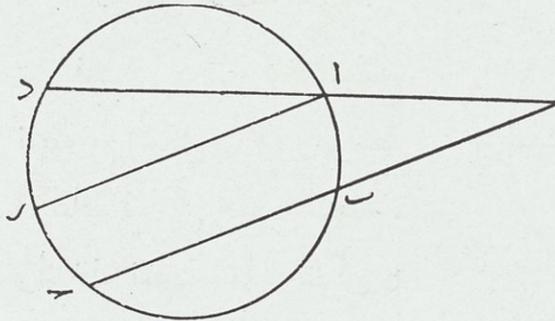
وبما أن قوسى  $ا ب$  و  $ج د$  متساويتان ثبت المطلوب .

وابن الهيثم يتناول أيضاً في هذا الصدد الحالة التي يكون فيها المستقيم الخارج من ب موازياً للوتر  $ا$  ، مماساً للدائرة غير قاطع لها . ويورد برهاناً يتفق وهذه الحالة وهو سهل بسيط لا ضرورة لذكره .

والمقدمة الثانية هي بلفظه :

« كل خطين يقطعان دائرة ويتقاطعان خارج الدائرة فان الزاوية التي عند تقاطعهما مساوية للزاوية التي عند محيط الدائرة التي توترها زيادة أعظم القوسين اللذين يفصلهما ذانك الخطان على الآخر (١) » .

وليكن الخطان  $هـ ا$  و  $د ب$  ( شكل ١٨٧ ) وليتقاطعا على  $هـ$



( شكل ١٨٧ )

فالمطلوب إثباته أن  $د هـ > ا هـ$

تساوى الزاوية المحيطة التي توترها قوس تساوى الفرق بين قوسى  $د > ا ب$  .

وابن الهيثم لا يثبت هذا

يخرج من  $ا$  المستقيم  $ا م$

موازياً  $هـ ب$  ، وليقطع محيط الدائرة على  $م$  .

والبرهان سهل . فزاوية  $د هـ > ا د م$  وهذه هي المحيطة

التي توترها قوس  $د م$  .

وبما أن قوس  $ا ب =$  قوس  $م ب$  ، فقوس  $د م$  هي زيادة

الكبرى  $د م >$  على الصغرى  $ا ب$  (٢) .

(١) و (٧٦) من المخطوط والوارد في الأصل « التي يؤثرها بزيادة أعظم من القوسين

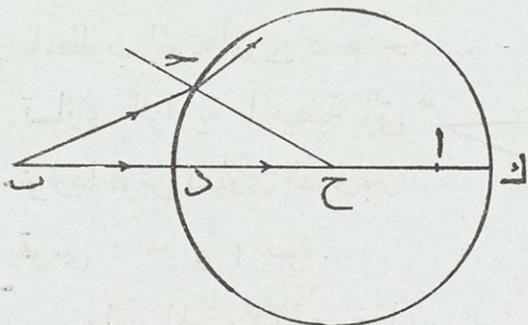
الذين يفصلهما ذانك الخطان على الآخر » .

(٢) ورد البرهان على هاتين المقدمتين في الورقات من و (٧٦) — و (٧٨) من المخطوط .

## ٢١٦ - الانعطاف من الأغلظ الى الألفظ اذا لم تحرب السطح

مما يلي مصدر الضوء

يتناول ابن الهيثم في هذا القسم من بحوثه (١) بيان كيفية انعطاف الأشعة الواردة من نقطة مضيئة في وسط مشف أغلظ ، عند نفوذها إلى وسط مشف آخر ألفظ ، إذا كان السطح الفاصل بين الوسطين كريا حديته تلي النقطة المضيئة . ويعنى ابن الهيثم في هذه البحوث ببيان هل من الممكن أن ينعطف الشعاع من النقطة المضيئة في الوسط الأول ، إلى نقطة ما في الوسط الثاني ، من أكثر من نقطة واحدة .



( شكل ١٨٨ )

فليكن مركز كرة السطح نقطة ح (شكل ١٨٨) والوسط الأغلظ فيما يلي محدب السطح ، ولناخذ نقطة ما ولتكن ا في الوسط الألفظ ، ولنخرج

القطر المار بهذه النقطة وليكن ك ح د ، ولتكن النقطة المضيئة نقطة مثل ب في الأغلظ . فنظراً لأن الشعاع الساقط والمنعطف والعمود على السطح من نقطة الانعطاف في مستوى واحد فمستوى الانعطاف من ب إلى ا هو المستوى المار بنقطة ب والقطر المخرج ، وهو يلقى السطح الفاصل بين الوسطين على محيط دائرة كالمبين بالشكل .

وشرح ابن الهيثم يشمل تفصيل الحالات المختلفة

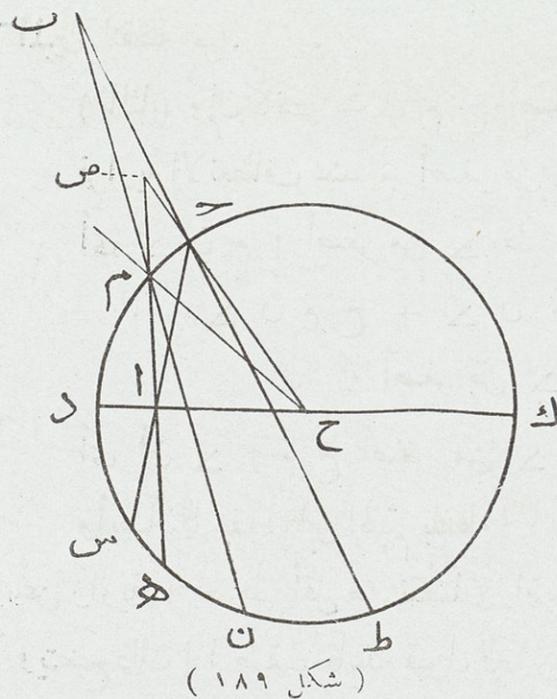
(أولاً) لنفرض أن نقطة ب المضيئة على امتداد القطر المخرج . فالضوء الوارد منها إلى ا وهي نقطة على هذا القطر إنما يرد على استقامة هذا القطر دون أن يعاني انعطافاً ما . وبرهانه على ذلك أنه إذا فرض أن الضوء ينعطف من نقطة مثل ح فانعطافه إنما يكون إلى ضد جهة العمود فلا يمكن أن يمر

الشعاع المنعطف بنقطة تقع على القطر المذكور .

( ثانياً ) لنفرض أن نقطة ب ليست على القطر المخرج . فنقطة ا المفروضة على القطر إما أن تكون عند المركز ح أو فيما بين ح و د أو فيما بين ح و ك أو خارج حدود السطح الكروي فيما يلي ك من ح إذا كان الوسط الألف متصلًا ممتدًا في هذه الجهة دون أن ينفصل أو ينقطع بالسطح الكروي .

فإن كانت نقطة ا عند المركز ح فالواصل من ب إلى ح يكون عموداً على السطح، فيرد الضوء من ب إلى ا على استقامة هذا العمود ولا ينعطف . وإن كانت ا فيما بين ح و د فلينعطف الشعاع ب ح ( شكل ١٨٩ ) من ح إلى ا . ولنفرض أن الانعطاف من ب إلى ا يمكن من نقطة أخرى ، فهي حتماً على محيط الدائرة .

ولتكن نقطة مثل م في الوضع المبين ( بشكل ١٨٩ ) بين نقطتي ح و د ، وهو الوضع الذي تخيره ابن الهيثم فعلاً في البرهان الوارد .



( شكل ١٨٩ )

نخرج ب ح حتى يلتقي محيط الدائرة على ط و ا ح حتى يلتقي على س ، وكذلك ب م و م ا حتى يلتقياه على ن و ه على الترتيب . فنظراً لأن الانعطاف من الأغاظ في

الألف فالمنعطف ينعطف حتماً إلى ضد جهة العمود ، فالمستقيم ح ط يقسم حتماً زاوية ح س . وكذلك المستقيم م ن يقسم حتماً زاوية ح م ه . وتكون د ط ح هي المقابلة بالرأس لزاوية السقوط عند ح و

د ط > ا هي زاوية الانعطاف . وكذلك د ن م ح هي المقابلة بالرأس لزاوية السقوط عند م و د ن م ا هي زاوية الانعطاف . وابن الهيثم ينظر في زاويتي ن م ح و ط ح . فهما إما أن تكونا متساويتين أو أن تكون الأولى أعظم أو تكون الأولى أصغر .  
(أولاً) فان كانتا متساويتين فزاويتي الانعطاف متساويتان .

$$\therefore \text{د ن م ا} = \text{د ط ح ا} .$$

$$\text{فتكون د ا م ب} = \text{د ا ب} .$$

وهذا خلف .

(ثانياً) وإن كانت د ن م ح أعظم من د ط ح ، فزاوية الانعطاف عند م أعظم من زاوية الانعطاف عند ح . فتممة الأولى من قائمتين أصغر من متممة الثانية من قائمتين .  
 $\therefore$  د ا م ب أصغر من د ا ب . وهذا خلف أيضاً في الوضع الملبين لنقطة م .

(ثالثاً) وإن كانت د ن م ح أصغر من د ط ح ، فزاوية الانعطاف عند م أصغر من زاوية الانعطاف عند ح .  
أى د ن م ا أصغر من د ط ح ا .

$$\therefore \text{د ن م ح} + \text{د ن م ا} .$$

$$\text{أصغر من د ط ح} + \text{د ط ح ا} .$$

$$\text{أى أن د ا م ح أصغر من د ا ب} .$$

وأيضاً كما يقول ابن الهيثم بلفظه (١) « ويكون نقصان زاوية ا م ن عن زاوية ا ح ط أقل من نقصان زاوية ا م ح عن زاوية ا ح ح » ويتضح ذلك إذا طبقت قاعدة قبول العكس مع الحكم الثاني من أحكام الحكم في الانعطاف (٢) ، حيث يراعى الحكم الثاني حال الانعطاف من الألف إلى الأغظ .

(١) و (٨٨) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) أنظر أيضاً فقرة (٢٠١) من هذا الكتاب .

إذن  $\angle 1 > \angle 2$  -  $\angle 1 > \angle 2$  ح

أعظم من  $\angle 1 > \angle 2$  ط -  $\angle 1 > \angle 2$  م ن .

فاذا رمزنا لنقطة التقاء  $\angle 1$  م  $\angle 2$  ح  $\angle 3$  بالحرف ص فزاوية ص في المثلثين م ص ح  $\angle 3$  ص  $\angle 1$  مشتركة .

$\therefore \angle 1 > \angle 2$  ح -  $\angle 1 > \angle 2$  ح =  $\angle 1 > \angle 2$  م -  $\angle 1 > \angle 2$  ح >

ولكن  $\angle 1 > \angle 2$  م  $\angle 3$  تساوى المحيطية التي توترها قوس هي مجموع قوسى

م  $\angle 3$  س ه .

$\angle 1 > \angle 2$  م  $\angle 3$  تساوى المحيطية التي توترها قوس تساوى ضعف قوس م >

$\therefore \angle 1 > \angle 2$  م -  $\angle 1 > \angle 2$  م ح  $\angle 3$  تساوى المحيطية التي توترها

قوس س ه - قوس م >

وهي أصغر حتما من الزاوية التي توترها

قوس س ه + قوس م >

$\therefore \angle 1 > \angle 2$  ح -  $\angle 1 > \angle 2$  م ح أصغر من  $\angle 1 > \angle 2$  م >

ولكن  $\angle 1 > \angle 2$  ط -  $\angle 1 > \angle 2$  م ن أصغر من

$\angle 1 > \angle 2$  ح -  $\angle 1 > \angle 2$  م ح

$\therefore \angle 1 > \angle 2$  ط -  $\angle 1 > \angle 2$  م ن أصغر من  $\angle 1 > \angle 2$  م >

إذن زيادة متممة  $\angle 1$  م ن من قائمتين على متممة  $\angle 1$  ط من قائمتين،

أصغر من  $\angle 1 > \angle 2$  م >

$\therefore \angle 1 > \angle 2$  م -  $\angle 1 > \angle 2$  م ب أصغر من  $\angle 1 > \angle 2$  م >

وهذا خلف لأن الفرق بينهما يساوى

$\angle 1 > \angle 2$  م +  $\angle 1 > \angle 2$  م ب >

بهذه الكيفية يثبت ابن الهيثم أنه من المحال أن ينعطف الضوء الوارد

من ب إلى نقطة 1 الواقعة بين ح و د من أكثر من نقطة انعطاف واحدة .

ولكنه أجمل في البرهان أموراً إذا هو كان قد فصلها لأغناء التفصيل عن

متابعة أحوال مواضع نقطة 1 المختلفة المذكورة فيما سبق، وفيما تناوله من

الأحوال الأخرى، وتكرار العناصر الأساسية في البرهان الهندسى المذكور



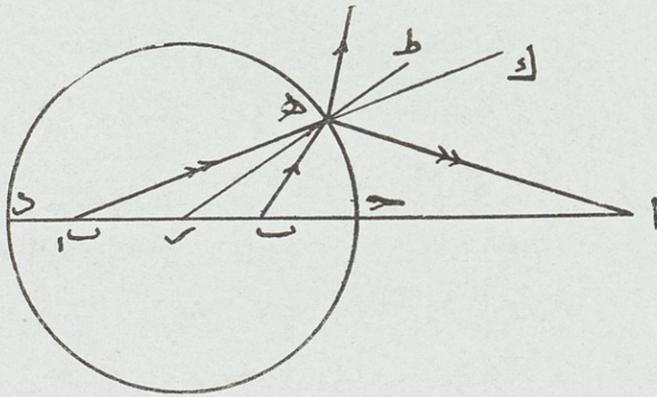
بعد البرهان الذي ذكرناه وهما الحالة التي تكون فيها نقطة  $ا$  بين  $ح$  و  $ك$ ،  
والحالة التي تكون فيها على امتداد  $ح ك$ .

٢١٧ - الانعطاف من الأغظ إلى الألف إذا كان تقع السطح مما

يلي مصدر الضوء

تناول ابن الهيثم في هذا القسم من بحوثه بيان كيفية انعطاف الأشعة الواردة  
من نقطة مضيئة في وسط مشف أغظ عند نفوذها إلى وسط مشف ألف  
إذا كان السطح الفاصل بين الوسطين كروياً تقع على النقطة المضيئة. وهو في  
هذا القسم من بحوثه أيضاً يرمى إلى إثبات أن الانعطاف لا يمكن أن يكون  
من أكثر من نقطة واحدة.

فليكن مركز كرة السطح نقطة  $مر$  (شكل ١٩١) والوسط الألف مما



(شكل ١٩١)

يلي محدب السطح. ولناخذ نقطة ما ولتكن  $ا$  في الوسط الألف، ولنخرج  
القطر المار بهذه النقطة، وليلق السطح الكروي على النقطتين  $ح$  و  $د$ ، ولتكن  
نقطة  $ب$  النقطة المضيئة في الوسط الأغظ. فكما تبين في الحالة السابقة يكون  
المستوى الذي يشمل القطر المخرج ونقطة  $ب$  أيما كان موضعها هو مستوى  
الانعطاف وهو يلقي كرة السطح على دائرة ولتكن هي المبينة بالشكل.

وابن الهيثم في هذا القسم من بحوثه أيضاً يفصل الحالات المختلفة بحسب  
مواضع نقطة  $ب$ .

فاذا فرضنا (أولاً) أن النقطة المضيئة  $ب$  (شكل ١٩١) على القطر المخرج.

فهي قد تكون عند المركز  $س$  ، وفي هذه الحالة كل شعاع يخرج منها إلى سطح الكرة ينفذ على استقامته من غير انعطاف .

وقد تكون فيما بين  $س$  و  $ب$  وفي هذه الحالة من المحال أن ينعطف الضوء الوارد من  $ب$  إلى  $ا$  من أية نقطة من محيط الدائرة بل ينفذ من  $ب$  إلى  $ا$  على استقامة  $ب ا$  .

ولاثبات هذا يفرض ابن الهيثم أن  $ب$  تنعطف من نقطة مثل  $هـ$  ويصل  $س هـ$  ويخرجه إلى  $ط$  . فالشعاع  $ب هـ$  عند انعطافه في الوسط الألف ينعطف إلى ضد جهة العمود  $س هـ ط$  فلا يصل إلى نقطة  $ا$  .

وأيضاً قد تكون النقطة المضئية فيما بين  $س$  و  $د$  ،  
ولتكن النقطة في هذه الحالة  $ب$  . فمن المحال أيضاً أن ينعطف الضوء الوارد منها من أية نقطة من محيط الدائرة بل ينفذ من  $ب$  إلى  $ا$  على استقامة .  
ولاثبات هذا يفرض أن  $ب$  تنعطف من نقطة مثل  $هـ$  ، ويصل  $ب هـ$  ويخرجه إلى  $ك$  . فالشعاع  $ب هـ$  عند انعطافه في الوسط الألف ينعطف إلى ضد جهة العمود  $س هـ ط$  . فليقطع فرضاً امتداد  $د هـ$  من جهة  $هـ$  على نقطة  $ا$  ،

فتكون  $د ك هـ ا$  هي زاوية انعطافه .

ولكن  $د ك هـ ا$  خارجة في المثلث  $هـ ب ا$  فهي أعظم من  $د هـ ب$  . وبما أن  $ب$  تقع بين  $س$  و  $د$  فرضاً ، فإن  $س ب$  أصغر من  $س هـ$  ، وإذن في المثلث  $هـ ب ا$   $س$  تكون

$د هـ ب$   $س$  أعظم من  $د ب هـ$   $س$  .

فتكون  $د ك هـ ا$  أعظم من  $د ب هـ$   $س$  .

أى إن زاوية الانعطاف في الوسط الألف أعظم من زاوية السقوط في الوسط الأغظ . أو بتعبير آخر تكون زاوية الانكسار في الألف وهي زاوية  $ط هـ ا$  أعظم من ضعف زاوية السقوط في الأغظ وهي  $ب هـ س$  . وابن الهيثم يعتبر هذه النتيجة خلفاً وذلك وفقاً لحكمه السادس من أحكام الكم في الانعطاف . وهو يقول بلفظه « فتكون زاوية  $ك هـ ا$  هي زاوية

الانعطاف وزاوية ك ه ط هي الزاوية التي يحيط بها الخط الذي عليه امتدت الصورة والعمود الخارج من موضع الانعطاف، فزاوية ك ه ١ أصغر من زاوية ك ه ط « (١).

وإذن يكون من المحال أن تنعطف نقطة ب من أية نقطة من محيط الدائرة إلى نقطة ١ .

ويلاحظ في هذا، أن برهان ابن الهيثم وقد انبنى على الحكم السادس قد بطلت عنه صفة البرهان العام. فهو لا ينطبق إلا في الأحوال التي يصح فيها ذلك الحكم.

فإن راعينا الأجسام التي عنى ابن الهيثم بالاعتبار بها وجدنا البرهان يصح فيما يختص بالانعطاف من جسم كرة من الماء إلى الهواء، ومن جسم كرة من الزجاج إلى الماء وذلك بلا قيد ولا شرط يتعلقان بقدر زاوية السقوط في الوسط الغليظ. أما فيما يختص بالانعطاف من جسم كرة من الزجاج إلى الهواء فشمة شرط يشترط في قدر زاوية السقوط في جسم الزجاج وهو ألا يتجاوز قدرها المقدار

$$\text{جتا}^{-1} \left( \frac{1}{2} m \right) = 41,4^\circ \text{ بالتقريب ، حيث } m = \frac{3}{4} .$$

فكأن برهان ابن الهيثم المذكور يصح إذا كانت زاوية السقوط في جسم كرة الزجاج أصغر من هذا المقدار. ومن الانصاف القول بأن تجاوز زاوية السقوط في كرة من الزجاج هذه القيمة لا يتأتى إلا إذا كانت النقطة المبصرة ب قريبة جدا من نقطة د، وتكون نقطة ه في هذه الحالة قريبة من نقطة التقاء العمود المقام من المركز على القطر > د بمحيط الدائرة، وتكون زاوية الانكسار في هذه الحالة قريبة جداً من القائمة فيكاد يكون الشعاع المنعطف في الهواء موازياً للقطر > د، وهو وإن لقيه فأنما يلقاه من جهة ١ على نقطة بعيدة جداً من القطب > (٢).

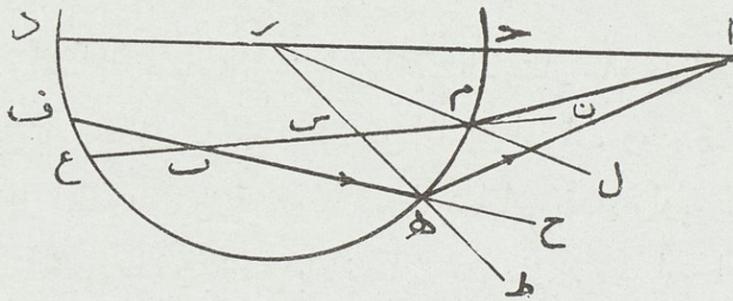
(١) و (٨٠) من مخطوط المقالة الخامسة من المناظر .

(٢) إذا فرضنا أن نقطه ب عند د وكانت زاوية السقوط  $41,4^\circ$  فزاوية الانكسار في هذه الحالة ضعف هذه القيمة ومن السهل إثبات أن المنعطف في الهواء يكون موازياً للقطر > د فلا يلقاه . ومن المعلوم أن الزاوية الحرجة في الزجاج  $41,8^\circ$  بالتقريب وإذا بلغت زاوية السقوط في الزجاج هذه القيمة خرج المنعطف في الهواء على المماس واحاط مع القطر بزاوية قدرها  $6,4^\circ$  بالتقريب ولا يخفى أن الحالة الحرجة نفسها لا يعتد بها عملياً . إذن التغيير =

وبرهان ابن الهيثم وإن لم يكن برهاناً عاماً يصبح على جميع الاجسام المشففة على الاطلاق فقد شاءت الظروف أو المصادفات أن يكون صحيحاً بالنسبة إلى الاجسام المشففة المألوفة التي يعنى بها ومنها الزجاج في الاحوال التي يعتد بها من الوجهة العملية .

\*\*\*

(ثانياً) لنفرض أن النقطة المضئية خارجة عن القطر المار بنقطة ١ .  
فلتكن النقطة المضئية ب (شكل ١٩٢) والقطر المار بنقطة ١ هو د ج ١ .



( شكل ١٩٢ )

فمستوى الانعطاف هو المار بالقطر د ج ونقطة ب ، وهو يقطع كرة السطح على دائرة . وبما أن الانعطاف من وسط أعلاظ في وسط أطف فيكون المطلوب إثباته أن نقطة ب لا تنعطف إلى ١ إلا من نقطة واحدة من محيط الدائرة .

وابن الهيثم لاثبات ذلك يطبق برهان الخلف .  
فلنفرض أن ه هي نقطة انعطاف ب إلى ١ ولنفرض أن ب تنعطف إلى ١ من نقطة أخرى ولتكن م كالمبين بالشكل .

من حالة الشعاع الذي يخرج موازياً للقطر إلى حالة الشعاع الذي يخرج ويصنع مع القطر زاوية  $6,4^\circ$  سريع يصحبه الانعكاس الكلى .

وأيضاً إذا فرضنا أن نقط ب ١ على بعد عشر نصف القطر مثلاً من د فن السهل بيان أن الزاوية ه ب ١ تساوى حا  $1 - \left(\frac{9}{10}\right)$  (ح ٤١,٤) عند ما تكون زاوية السقوط  $41,4^\circ$  . وهذا المقدار يساوى  $47,3^\circ$  بالتقريب فيكون ميل المماس على القطر  $1,3^\circ$  بالتقريب ويكون ميل المنعطف على المماس  $90 - 82,8 = 7,2^\circ$  بالتقريب وإذن فان المنعطف لا يلقى القطر من جهة ١ . وأيضاً إذا كانت زاوية السقوط هي الزاوية الحرجة نفسها ونقطة ب ١ على هذا الوضع فان ميل المماس على القطر يبلغ  $0,4^\circ$  من الدرجة بالتقريب .

نخرج  $ر ه$  إلى  $ط و$   $م$  إلى  $ل و$   $ب م$  إلى  $ن$  .  
 فمن الواضح أن  $د ب ه م$  هي زاوية سقوط  $و د ح ه ا$  هي  
 زاوية الانعطاف التي تقتضيها  $و د ب م$  تكون هي أيضا زاوية  
 سقوط  $و د ن م$  زاوية الانعطاف التي تقتضيها .

$$و د ب ه م = د ح ه ط ،$$

$$و د ب م = م د ن ل .$$

فابن الهيثم ينظر في زاويتي  $ح ه ط و$   $ن م ل$  فهما إما أن تكونا  
 متساويتين أو تكون الأولى أصغر من الثانية أو تكون الأولى أعظم من الثانية .  
 فعلى الوجه الأول تكون زاويتي السقوط  $ب ه م و$   $ب م م$   
 متساويتين وإذن تكون زاويتي الانعطاف متساويتين .

وإذن تكون  $د ا ه ب = ا م ب$  . وهذا خلف .

وعلى الوجه الثاني تكون زاوية السقوط عند  $ه$  أصغر منها عند  $م$  فتكون

زاوية الانعطاف  $ح ه ا$  أصغر من زاوية الانعطاف  $ن م ا$  .

فتكون  $د ا ه ب$  أعظم من  $ا م ب$  . وهذا خلف أيضاً .

فلم يبق إلا الوجه الثالث وهو أن تكون  $د ح ه ط$  أعظم من

$د ن م ل$  . ولنخرج  $ه ب$  حتى يلقى محيط الدائرة على  $ف و م ب$

حتى يلقاه على  $ع$  .

ولنرمز لتقاطع  $م ب و$   $م ر ه$  بالحرف  $س$  .

ففي المثلثين  $م س ر و$   $س ب س$  زاوية  $س$  في الأول تساوى زاوية  $س$

في الثاني (١) ،

$و د س ه ب$  في الثاني أعظم من  $د س م م$  في الأول ،

وذلك لأن  $د ح ه ط$  أعظم من  $د ن م ل$  فرضاً .

∴  $د م م ر ه$  أعظم من  $د م ب ه$  .

(١) جعل ابن الهيثم في هذا الشكل نقطة  $م$  فيما بين  $ه ، و$  في حين أنه في الشكل النظير

لهذا في الحالة التي راعى فيها أن يكون تقعر السطح مما يلي نقطة  $ا$  جعل نقطة  $م$  فيما

يلي  $ه$  من  $و$  .

وبما أن  $\Delta م ب ه + \Delta م ب ه = \Delta م ب ه + \Delta م ب ه$

$\therefore \Delta م ب ه - \Delta م ب ه = \Delta م ب ه - \Delta م ب ه$  .

ولكن  $\Delta م ب ه$  تساوى الزاوية المحيطية التي توترها قوس  $م ه$  و  $ع ف$

$\Delta م م ه$  تساوى الزاوية المحيطية التي توترها ضعف قوس  $م ه$

$\therefore \Delta م م ه - \Delta م ب ه$  تساوى الزاوية المحيطية التي توترها

قوس تساوى  $٢ م ه - (م ه + ع ف) = م ه - ع ف$  .

ومنه ينتج أن

$\Delta م م ه - \Delta م ب ه$  أصغر حتما من  $\Delta م ب ه$  ،

$\therefore \Delta م م ه - \Delta م ب ه$  أصغر من  $\Delta م ب ه$  .

أى أن زيادة زاوية السقوط عند  $ه$  على زاوية السقوط عند  $م$  أصغر

من زاوية  $م ب ه$

وزيادة زاوية الانعطاف التي تقتضيها زاوية السقوط الأولى على زاوية

الانعطاف التي تقتضيها زاوية السقوط الثانية هي وفقاً للحكم الثانى أقل من

زيادة زاوية السقوط الأولى على زاوية السقوط الثانية .

إذن تكون  $\Delta ح ه ا - \Delta ن م ا$  أصغر من  $\Delta م ب ه$  ،

وإذن  $\Delta م ا ب - \Delta ا ه ب$  أصغر من  $\Delta م ب ه$  .

وهذا خلف لأن

$\Delta م ا ب - \Delta ا ه ب = \Delta م ب ه + \Delta م ا ه$  .

وبما أن ابن الهيثم يبنى البرهان على أساس حكمه الثانى من أحكام الكم

فمما اتضح فى فقرة (١٩٨) وبما أن الانعطاف مفروض أنه من الوسط الأغلظ

فى الوسط الألف يتبين أن الخلف المذكور لا يقع إلا إذا كانت زاوية

السقوط فى الوسط الأغلظ أقل من

$$\frac{١}{٢} (٤ م - ١)$$

أو إن أردنا التعميم فان برهان ابن الهيثم لا ينطبق إلا إذا كانت زاوية

السقوط صغيرة نسبياً .

## ٢١٨ - الانعطاف من الألف إلى الأغظ عند السطوح الكرية

وابن الهيثم يستنبط من نتيجة بحثه السابقين ما يحدث إذا كان الانعطاف من الوسط الالطف في الوسط الأغظ . فاذا فرض أن انعطاف الضوء الوارد من ب في الأغظ إلى ١ في الألف لا يكون إلا من نقطة واحدة فقاعدة قبول العكس تلزم أن يكون انعطاف الضوء الوارد من ١ في الألف إلى ب في الأغظ لا يكون إلا من نقطة واحدة أيضاً، وإلا إذا جاز أن يكون من نقطة أخرى فوفقاً لقاعدة قبول العكس جاز أن يكون انعطافه من ب في الأغظ إلى ١ في الألف ممكناً أيضاً من هذه النقطة الأخرى (١).

ويتبين مما سبق أن برهان ابن الهيثم على عدم إمكان انعطاف الضوء الوارد من ب في الأغظ إلى ١ في الألف في الحالة التي يكون فيها تحذب السطح مما يلي مصدر الضوء أي يكون الضوء فيها ساقطاً على السطح المحذب لا يتضمن من أحكام ابن الهيثم في الانعطاف شيئاً مما لم يسلم ابن الهيثم من الخطأ فيه . أما برهانه على عدم إمكان انعطاف الضوء الوارد من ب في الأغظ إلى ١ في الألف إذا كان الضوء ساقطاً على السطح المقعر فليس الأمر فيه كذلك . وخطأه فيه يترتب عليه خطأ في الحكم الذي ينسب عليه .

ومما يلاحظ في هذا الصدد أنه يمكن بمثل برهان الخلف الذي أورده ابن الهيثم إثبات أن الضوء الوارد من نقطة في وسط ألف إلى نقطة في وسط أغظ إذا كان سقوطه على السطح الكرى المقعر لا ينعطف من أكثر من نقطة واحدة . فهذه القضية التي يمكن أيضاً أن يتوصل إليها بتطبيق قاعدة قبول العكس على نتيجة بحثه عن الانعطاف من الأغظ في الألف إذا كان تحذب السطح يلي مصدر الضوء ، أي على نتيجة بحثه في الحالة التي سلم فيها البرهان من الخطأ ، يمكن إثباتها ببرهان الخلف الذي أورده . في حين أنه إذا طبق البرهان نفسه على الانعطاف من الألف في الأغظ إذا كان سقوط الضوء

(١) و (٨٣) ، و (٨٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر ، وأيضاً و (٩١) .

على السطح الكرى المحذب فانه لا يلزم وقوع الخلف .  
ومن المرجح جداً أن ابن الهيثم نفسه قد أدرك أن في الأمر التباسا . فقد  
عودنا في بحوثه على أن نجده يطبق البرهان الذي يورده في أمر ما على جميع  
الأحوال الممكنة ، ولكنه في هذا الصدد طبق البرهان الذي أوردناه على  
الانعطاف من الأغلظ في الألف واجتنبه في حالة الانعطاف من الألف  
في الأغلظ مستعينا بقاعدة قبول العكس .

وقد تناول ابن الهيثم في كتاب المناظر نفسه بحثاً عن الانعطاف من  
الأغلظ في الألف في حالة يكون فيها الضوء ساقطاً على السطح الكرى المقعر ،  
خرج منه بنتيجة تتعارض وقوله باستحالة الانعطاف من أكثر من نقطة  
واحدة (١) . وهو في بحثه هذا اعتبر الوسط الأغلظ متصلاً من الجهة المقابلة للسطح  
الذي يسقط عليه ضوء النقطة المضئية ، بحيث يتسنى أن يكون بعدها عن قطب  
القطعة التي يحدث عندها الانعطاف أعظم من قطر الكرة ، فلعله أراد أن يكون  
حكمه باستحالة الانعطاف من الأغلظ إلى الألف عند السطح الكرى المقعر  
من أكثر من نقطة واحدة ، منصباً على الحالة التي تكون فيها النقطة المضئية  
في داخل كرة من الوسط الأغلظ ، ولكن هذا أيضاً لا يستقيم على تصاريح  
الأحوال .

وكذلك فإن مقالته في الكرة المحرقة تتضمن بحثاً عن انعطاف الأشعة  
المتوازية عند نفوذها في كرة من الزجاج تشير هي أيضاً إلى ما ينقض الحكم  
المذكور . ولكننا لم نجد له فيما وقع بين أيدينا عودة إلى بحث هذا الموضوع  
على ضوء بحوثه التالية بحثاً يصحح فيها موقفه السابق . (٢)

(١) أنظر فقرة (٢٢٠) من هذا الكتاب .  
(٢) لا يخفى أن البحوث العلمية متمسكة متشابكة كثيراً ما يؤدي التالى منها إلى إعادة  
النظر في أمور قد سبق بحثها والبت فيها برأى . وإن كنا لا نجد لابن الهيثم عودة إلى  
بحث هذا الموضوع فليس ذلك يدل على أنه لم يعد إلى بحثه ، خصوصاً إذا تذكرنا الظروف التي  
كان يعمل فيها هو وأمثاله في العصور السابقة من حيث مشقة النسخ وضيق الدائرة التي كانت  
تنتشر فيها كتبهم ومخطوطاتهم ثم ضياع كثير منها من بعد ذلك . وقد سبق أن أشرنا إلى مؤلف  
له في المناظر سابق لكتابه حذر القارىء من الاعتماد عليه وأيضاً إلى كتب أخرى له تناول  
فيها موضوعات من هذا العلم .

٢١٩ - المعاني التي يستنبطها ابن الهيثم من بحوثه المذكورة ووجه

الخطأ فيها

وابن الهيثم يستنبط من بحوثه المذكورة نتائج مختلفة . فاذا ثبت أن نقطة الانعطاف عند نفوذ الضوء الوارد من نقطة ب في وسط إلى نقطة ا في وسط يختلف شفيفه عن شفيف الأول ، نقطة واحدة ، فليس ينعطف من النقطة المبصرة في وسط مشف إلى مركز البصر في وسط مشف آخر إلا شعاع واحد فلا يدرك البصر للنقطة المبصرة إلا خيالا واحداً . وهذه النتيجة بحسب ما يتبين مما سبق وبحسب ما سيتبين أيضاً فيما بعد ليست صحيحة على الإطلاق . ومصدر الخطأ فيها أن برهان ابن الهيثم على أن الضوء الوارد من النقطة المبصرة في الوسط الأغظ إلى نقطة في الوسط الألف إذا كان تقع السطح الكرى مما يلي مصدر الضوء ينعطف من نقطة واحدة ، ليس برهاناً سليماً خطأ حكم الانعطاف الذي انبنى عليه البرهان . وابن الهيثم يذكر النتيجة التي يستنبطها من برهانه المذكور قائلاً بلفظه « فليس تنعطف صورة نقطة ب إلى بصر ا من نقطة غير نقطة هـ ( انظر شكل ١٩٢ ) وذلك ما أردنا أن نبيِّن . وإذا كانت صورة نقطة ب ليس تنعطف إلى بصر ا إلا من نقطة واحدة فليس يكون لها إلا خيال واحد » (١)

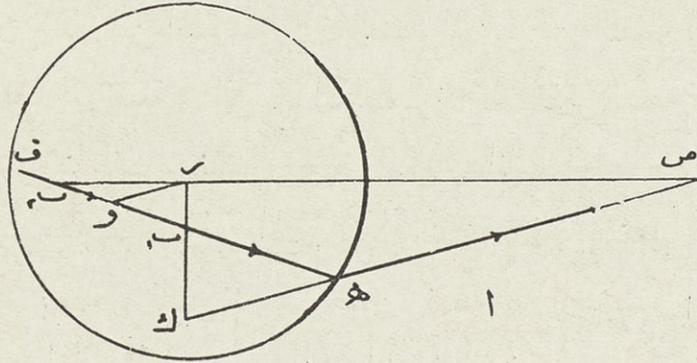
وقد علق الفارسي في كتابه التنقيح على هذا القول وقال « العيان يخالف هذه الدعوى » وبين بالاعتبار كيف يمكن رؤية خيالين لمبصر موجود في كرة من الزجاج . (٢)

(١) و (٨٢) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) الجزء الثاني من النسخة المطبوعة ص (١٧٢) . ويتلخص اعتبار الفارسي في أن يؤتى بقطعة صغيرة من الورق الأبيض ويرسم على سطحها نقطة مقتدرة الحجم بلون مشرق ، ثم تلتصق الورقة بكرة من الزجاج . فاذا نظر إلى النقطة « من وسط القطعة المقابلة » حيث يكون البصر على امتداد الواصل من النقطة إلى مركز الكرة أدرك البصر تلك النقطة . ثم يقول « فاذا أدركها حرك ( أى العتبر ) الكرة يمنة أو يسرة أو علواً أو سفلاً برفق فيرى النقطة متحركة بحسب ذلك إلى طرف القطعة . فاذا قاربت الطرف ظهرت من نهاية الطرف صورة لتلك النقطة ثانية . وبحسب تلك الحركة تتباعد عن الطرف إلى الأولى فيتقاربان إلى أن ينتقيا ثم =

وأيضاً ابن الهيثم يرى أن نقطة التقاء الشعاع المنعطف بالعمود الخارج من النقطة المبصرة على السطح هي موضع الخيال . وخطاً تعميم هذا الرأي دون قيد أو شرط يجره إلى اخطاء أخرى . فهو يراعى المواضع المختلفة التي يلقى فيها المنعطف إلى البصر العمود الخارج من النقطة المبصرة قائماً على السطح ، وينسب إلى اختلاف هذه المواضع بالنسبة إلى مركز البصر معاني طبيعية شبيهة بالمعاني الطبيعية النظيرة لها في الانعكاس عن السطوح المنحنية .

ولبيان هذا<sup>(١)</sup> نفرض أن الشعاع ف ه ( شكل ١٩٣ ) ينعطف من ه إلى ا ، وليكن ا مركز البصر و م مركز الكرة .



( شكل ١٩٣ )

ولنخرج من المركز م المستقيم م و موازياً ا ه و ليلق ف ه على و . فان كانت النقطة المبصرة ب فيما بين ه و فان امتداد ا ه يلتقي الواصل منها إلى المركز ( وهو العمود على السطح ) على نقطة ك قدام مركز البصر . وهذه النقطة بحسب رأى ابن الهيثم هي خيال النقطة المبصرة . ويرى ابن الهيثم أن البصر يدرك النقطة المبصرة في هذه الحالة ادراكاً بئناً محققاً لأن الخيال أمام البصر .

أما إذا كانت النقطة المبصرة عند و فالمنعطف لا يلتقي العمود م و

= ينمحقا . وكذلك لو فصل من الكرة قطعة صغيرة جداً بسطح مستو ثم ألصقت الجزأة ( أى قطعة الورق ) بقاعدة القطعة العظيمة وتجعل النقطة المرسومة قريبة جداً من طرف قاعدة القطعة فانه يجد الأمر كذلك . والأيين في الاعتبار أن ترسم النقطة على نفس الكرة والقاعدة .

لأنهما متوازيان . ويفسر ابن الهيثم هذا بأن الخيال لا يكون محدوداً ، ويذهب إلى أن البصر يدركه عند موضع الانعطاف .

أما إذا كانت النقطة المبصرة مثل  $B$  بحيث يلتقي امتداد  $B$  من امتداد  $h$  على نقطة مثل  $ص$  تكون من وراء نقطة  $a$  فابن الهيثم يذهب إلى مثل مذهبه في الانعكاس ويرى أن البصر يدرك المبصر قدامه ولكن الإدراك يكون مشتبهاً غير يبين ولا محقق .

إلا أن هذه المعاني كمنظائرهما في الانعكاس ليست صحيحة أو هي لا تتفق والواقع من الناحية الطبيعية . والسبب في الحالتين واحد . فابن الهيثم يعتبر موضع الخيال على العمود الواقع من النقطة المبصرة على السطح عند نقطة التقاء المنعكس إلى البصر أو المنعطف إليه بالعمود المذكور . وليس هذا صحيحاً إلا في الانعكاس عند السطوح المستوية . أما في الانعكاس عن غيرها من السطوح أو في الانعطاف ، سواء عند السطوح المستوية أو غير المستوية فلا يصح إلا إذا كانت نقاط السقوط قريبة جداً من مسقط العمود الخارج من مركز البصر قائماً على السطح ، وقد سبق بيان ذلك بما فيه الكفاية .

وبما يجدر ذكره في هذا المقام الإشارة إلى خطأ آخر وقع فيه ابن الهيثم في تعيين موضع خيال النقطة إذا كانت النقطة المبصرة على القطر المار بمركز البصر ، حيث يرد منها إلى مركز البصر ضوء على امتداد القطر ، ينفذ من أحد الوسطين إلى الآخر دون أن يعانى انعطافاً ما . فابن الهيثم لا يكتفى بأن يكون عدم الانعطاف معناه أن البصر يدرك النقطة على سمت هذا القطر ، بل يذهب في تأويله إلى أن البصر يدرك النقطة في موضعها الحقيقي على ما هو عليه في الواقع ، في حين أنها لا تدرك كذلك إلا إذا كانت عند مركز تكور السطح . وقد أشرنا إلى غموض رأيه في مثل هذا الأمر من قبل .

## ٢٢٠ - اصراع ابن الهيثم بعصر أخطاء وإشارته في المناظر الى

## ظاهرة الزيغ الكرى

راعى ابن الهيثم بوجه عام في بحوثه التي بينهاها فيما سبق عن انعطاف الضوء من الوسط الأغظ في الوسط الألف إذا كان تقع السطح مما يلي النقطة المضئية، أن تكون النقطة التي هي مصدر الضوء داخل كرة السطح يحيط بها سطح الكرة من جميع الجهات بحيث إذا أخرج مستوى الانعطاف ولقى السطح الكرى على محيط دائرة كانت النقطة المضئية داخل محيط هذه الدائرة التي هي فصل الانعطاف .

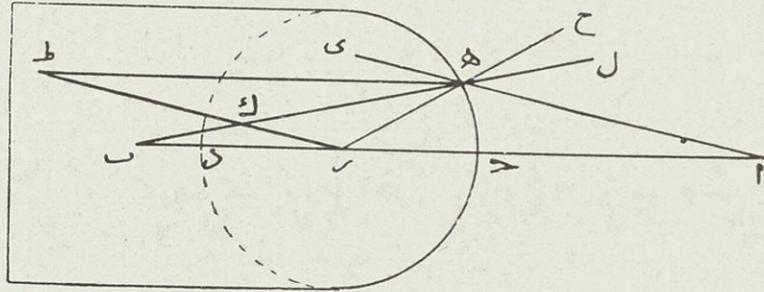
ولكنه يتناول بعد تلك البحوث في كتابه المناظر بحثاً لم يتقيد فيه بهذا الأمر (١) . بل فرض الوسط الأغظ الموجود فيه النقطة المضئية متصلاً ممتداً من الجهة المقابلة للقطعة التي يقع عليها ضوء النقطة بحيث يمكن أن يبلغ بعد النقطة المضئية عن القطعة التي يقع عليها ضوءها أى قدر شئنا من العظم . وهو في هذا البحث يكاد يصلح إصلاحاً جزئياً بعض الخطأ الذي وقع فيه ، فيما يتعلق بقوله بعدم إمكان الانعطاف من أكثر من نقطة . وما يزيد في قيمة هذا البحث الطريقة التي سلكها ابن الهيثم في عرض الموضوع . فقد درس الموضوع في حدود أحكام الانعطاف التي ذكرها ، وهي في مجموعها لم تسلم من الأخطاء ، وهي في مجموعها أيضاً ضيقة مقيدة للبحث ، ولكنه استطاع أن يضمّن أقواله معاني جديدة بالذكر وكاد يلمس فيها ظاهرة عظيمة الخطورة هي ظاهرة الزيغ في الانعطاف عند السطوح الكرية .

وابن الهيثم وإن كان حقاً يعرض هذه الظاهرة في كتابه المناظر على صورة مبتورة يعوزها الايضاح ، فقد توسع كما سنبين فيما بعد في دراسة ناحية منها توسعاً جديراً بالتقدير والاعجاب .

فلنفرض جسماً مشفأً أحد جوانبه سطح كرى محدب مركزه نقطة م

اصلاح ابن الهيثم بعض أخطائه و اشارته في المناظر إلى ظاهرة الزيغ الكرى ٧٨٣

(شكل ١٩٤) وليكن الجسم ممتداً من الجانب الآخر . وليكن منتصف سطحه المحذب نقطة  $\gamma$  ولنخرج الواصل من  $\gamma$  إلى  $\alpha$  من جهته فهو المحور في اصطلاحنا الحديث . وليكن مستوى الشكل مقطع الجسم المشف بمستوى مار



( شكل ١٩٤ )

بهذا المحور ولتم دائرة القوس التي يلقي عليها هذا المستوى السطح الكرى المحذب ويليق محيطها المحور على نقطة  $\delta$  .

فابن الهيثم في بحثه يفرض نقطة على هذه القوس ولتكن  $\epsilon$  ويخرج منها  $\epsilon \tau$  موازياً للمحور ويصل  $\alpha \epsilon$  ويمده إلى  $\zeta$  . ويقول بلفظه « ولتكن نسبة زاوية  $\alpha \epsilon \zeta$  (شكل ١٩٤) إلى ضعف زاوية  $\alpha \epsilon \delta$  ط أعظم نسبة تكون للزاوية التي يحيط بها الخط الذي يمتد عليه الضوء والعمود، إلى زاوية الانعطاف التي توجهها تلك الزاوية بالقياس إلى الحس<sup>(١)</sup> » ويعقب على ذلك بشرح موجز فيقول « وذلك أن كل جسمين مشفين مختلفي الشفيف فان زوايا الانعطاف التي تحدث بينهما للضوء النافذ فيهما تختلف . ويكون لاختلافهما ( كذا ) بالقياس إلى الحس غاية إذا تجاوزها لم يدرك الحس مقدار الانعطاف . أعني أنه يدرك الحس مركز الضوء النافذ في الجسمين كأنه على استقامة الخط الذي امتد عليه الضوء ، أعني عند اعتباره بالآلة . » ولكنه لا يزيد الأمر بعد ذلك تفصيلاً أو توضيحاً .

والمعنى الذي يريده ابن الهيثم يظهر أول وهلة مبهما . ولكن ينكشف

(١) و (٨٤) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

الابهام مع قليل من الامعان . فهو في حكمه الثالث من أحكام الحكم يقرر أن نسبة زاوية الانعطاف إلى زاوية السقوط تزداد كلما كبرت زاوية السقوط . وإذن وفقاً لهذا الحكم فإن نسبة زاوية السقوط إلى زاوية الانعطاف تزداد كلما صغرت زاوية السقوط . فهي أعظم ما يمكن إذا كادت زاوية السقوط أن تؤول إلى العدم . ولكن كيف السبيل إلى تعيين أعظم قيمة تبلغها هذه النسبة والحس لا يدرك الانعطاف ولا يستطيع قياسه عملياً بوساطة جهاز الانعطاف إذا بلغت زاوية السقوط من الصغر حداً كبيراً ؟ ابن الهيثم نفسه يشير إلى السبيل . فلكى يمكن تعيين هذه النسبة يجب أن يكون الاعتبار بزوايا سقوط ولو أنها صغيرة إلا أنها لا تبلغ من الصغر حداً يخفى الانعطاف نفسه عن الحس .

ويقول «ونجعل زاوية د س ط مثل زاوية ط ه ك . فتكون زاوية س ك ه ضعف زاوية ك ه ط فتكون نسبة زاوية س ه ك إلى زاوية س ك ه هي أعظم نسبة تكون بين الزاوية التي يحيط بها الخط الأول ( أى الشعاع الساقط ) والعمود وبين زاوية الانعطاف . وخط ( ه ك ) (١) يلتقي خط ا د فليلقه على نقطة ب . ونخرج من نقطة ه خطاً موازياً لخط س ط فهو يلتقي خط د ح خارج الدائرة بما يلي نقطة ح فليلقه على نقطة ا . ونخرج ب ه إلى ل فتكون زاوية ل ه ا مساوية لزاوية س ك ه . وزاوية ل ه ح مساوية لزاوية س ه ك . فتكون زاوية ل ه ا هي زاوية الانعطاف التي توجهها زاوية ل ه ح .

فاذا كانت نقطة ب في مبصر من المبصرات وكان الجسم المشف الذي محده يلي نقطة ا متصلاً ملتئماً من نقطة ه إلى نقطة ب وغير منفصل عند محيط دائرة ح ه د بما يلي نقطة ب ، فإن صورة نقطة ب تمتد على خط ب ه ، وتنعطف على خط ه ا ، ويدركها بصر ا من سمت خط ا ه . وفحوى هذا أن يخرج من نقطة ه المفروضة المستقيم ه ط موازياً

(١) الوارد في المخطوط ( ه ح ) وهو تحريف .

للمحور ويرسم ه ب بحيث تنقسم زاوية م ه ط قسمين هما م ه ب و  
ب ه ط بحيث تكون نسبة

$$\frac{\Delta م ه ب}{\Delta ب ه ط}$$

$$\frac{\Delta م ه ب}{\Delta ب ه ط}$$

أعظم نسبة تكون لزاوية السقوط إلى زاوية الانعطاف التي تقتضيها .  
ثم نخرج من م المستقيم م ط قاطعا ه ط على ط بحيث تكون  
 $\Delta م ط ب = \Delta ب ه ط$  .

فان أخرجنا من ه المستقيم ه ا موازيا ط م قاطعا المحور على  
نقطة ا ، فان الشعاع الممتد من ب إلى ه ينعطف عند ه على استقامة ه ا .  
وبرهانه على ذلك هو مجرد اثبات أن نسبة

$$\frac{\Delta ب ه م}{\Delta ل ه ا}$$

$$\frac{\Delta ب ه م}{\Delta ل ه ا}$$

تساوى أعظم نسبة تكون لزاوية سقوط إلى زاوية الانعطاف التي  
تقتضيها

وواضح أنه ينقصه أن يشترط فيه أن تكون زاوية السقوط ب ه م  
صغيرة جدا بحيث يمكن أن نعد نسبتها إلى زاوية الانعطاف أعظم ما تكون  
تلك النسبة للوسطين المفروضين .

وإن لم يكن ابن الهيثم في البرهان الذي أورده قد ذكر هذا الفرض  
صراحة فأقواله التي بينا معانيها آنفا تبرر لنا أن نفرضه . فالبرهان على أن  
الشعاع ب ه ينعطف عند ه مارا بنقطة ا لا يستقيم إلا بالشرط المذكور  
وإلا فغاية ما يؤديه البرهان أن تكون زاوية انعطاف الشعاع الوارد من ب  
إلى ه عندخروجه إلى الوسط الثاني أعظم من زاوية ل ه ا حتى تكون نسبة  
زاوية سقوطه ( وهي ب ه م ) إلى زاوية انعطافه أصغر من نسبة زاوية  
ب ه م إلى زاوية ل ه ا . وإذن فهو ينعطف ملاقيا المحور على نقطة  
ليست هي نقطة ا بالذات وإنما هي نقطة أخرى تقع بين ا و ب . وعلى  
كلا الوجهين فان الشعاع ب ه ينعطف عند ه ملاقياً المحور على نقطة .

فان ذهبنا إلى أنها نقطة ١ بالذات كما يريد ابن الهيثم بحسب نص قوله تطلب ذلك أن تكون زاوية السقوط ب ه ح صغيرة جدا تكاد تؤول إلى العدم. وإذن تكون نقطة ه قريبة جدا من نقطة ح التي هي القطب في اصطلاحنا الحديث .  
بهذه الكيفية يبين ابن الهيثم أن الشعاع ب ه ينعطف عند ه على استقامة ه ١ ماراً بنقطة ١ .

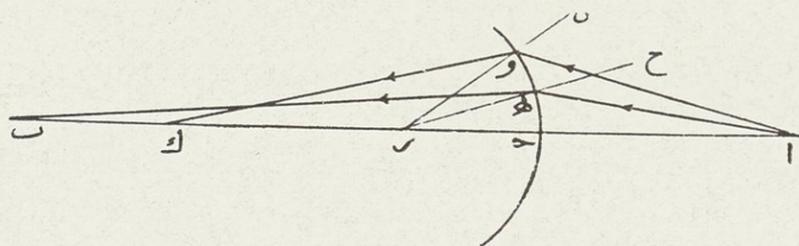
ويلى هذا البيان قوله « وتكون زاوية ل ه ح ونظائرها تنقسم بنسب كثيرة من النسب التي بين زوايا الانعطاف والزوايا التي تحيط بها الأعمدة والخطوط الأولى، التي تحدث بين الجسمين المشفين . فيكون على خط د ب نقط كثيرة تمتد صورها ( أي أضواؤها ) إلى قوس ح ه ، وتنعطف إلى نقطة ١<sup>(١)</sup> وهو يكتفي في المناظر بذكر هذه الأقوال دون أن يزيدها توضيحاً أو تفصيلاً . ولكنها صريحة في الافادة بأنه إذا كان الشعاع ب ه ينعطف من نقطة مثل ه على قوس ح ه ماراً بنقطة ١ ، فهناك نقاط على المحور أدنى إلى قوس ح ه من نقطة ب ، تنعطف الأشعة الواردة منها من قوس ح ه بحيث تمر بعد انعطافها بنقطة ١ أيضاً . فان استرسلنا قليلا في الشرح وطبقنا قاعدة قبول العكس ، واتخذنا ١ نقطة مضيئة وكان الشعاع الساقط منها على استقامة ا ه ينعطف عند ه ماراً بنقطة ب . فكان ابن الهيثم يريد القول بأن شعاعاً آخر يرد من ١ وينعطف من نقطة على قوس ح ه لا يلقى المحور بعد انعطافه على نقطة ب وإنما يلقاه على نقطة أقرب إلى قوس ح ه من نقطة ب نفسها . ولكن قول ابن الهيثم « تمتد صورها إلى قوس ح ه » غامض مبهم لأنه ربما يكون قد أراد أن يكون الانعطاف من نقاط تقع على قوس ح ه فيما بين نقطتي ح ه ، وخصوصاً سنرى فيما بعد أنه قد تناول في موضع آخر من كتاب المناظر بحثاً عن إدراك صورة للبصر بالانعطاف خلال كرة مشفة أغلظ من الهواء بناه على نتيجة بحثه<sup>(٢)</sup> هنا ، وقد ورد الشكل الملحق به على ما يتفق وهذا المعنى .

(١) و (٨٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) أنظر فقرة (٢٢٦) من هذا الكتاب .

ولكن على الرغم من ذلك فإنه إن تعينت نقطتا ١ ٦ ب وفقاً للفروض الهندسية التي ذكرناها بحيث ينعطف الشعاع ب ه على استقامة ه ١ فإن نقطة ه تكون قريبة جداً من نقطة > ، فإن روعى بعد ذلك انعطاف شعاع آخر سواء كان وارداً إلى نقطة ١ أو وارداً من نقطة ١ ، إن روعى انعطافه من نقطة أخرى غير نقطة ه فالسياق يدل على أن المقصود أن تكون نقطة انعطافه فيما يلي ه من > ، لا أن تكون فيما بين > ٦ ه .

فإذا كان الأمر كذلك وفرضنا أن الشعاع الساقط من نقطة ١ على امتداد ١ ه (شكل ١٩٥) ينعطف من نقطة ه (القريبة جداً من القطب) على امتداد ه ب بحيث يقطع المحور على ب ، فإن شعاعاً آخر يرد من ١ إلى نقطة



(شكل ١٩٥)

مثل و ، مما يلي ه من > ، يقطع المحور بعد انعطافه من و على نقطة ليست هي نقطة ب ولكنها أدنى إلى القوس > ه من ب نفسها ، وفي هذا تصحيح لموقفه فيما يتعلق بأن الانعطاف من نقطة مبصرة في وسط أغلظ عند السطح الكرى المقعر لا يكون من أكثر من نقطة واحدة . وفيه فضلاً عن ذلك معنى الزيغ الكرى في الحالة التي تكون فيها الأشعة الضوئية صادرة من نقطة مضيئة . وسنرى فيما بعد أن ابن الهيثم قد عالج موضوع الزيغ الكرى في حالة الأشعة المتوازية في مقالته عن الكرة المحرقة .

ولا شك أن ابن الهيثم اكتفى في هذا المقام بالإشارة والتلخيص دون التفصيل والتوضيح . وهو في نظرنا معذور لأن الوسائل التي بين يديه لا تمكنه من البرهان على المعنى الذي يريده .

ولبيان هذا بشيء من التفصيل لنفرض أن الشعاع ١ و ينعطف عند و

قاطعاً المحور على نقطة ولتكن ك ثم نصل م و ونخرجه إلى و .

ففي المثلث ا و م

$$\frac{ا م}{ا و} = \frac{جا د ا و م}{جا د و م ا}$$

وفي المثلث ك و م

$$\frac{ك و}{ك م} = \frac{جا د ك م و}{جا د ك و م}$$

وإذن يكون

$$\frac{ا م}{ا و} \cdot \frac{ك و}{ك م} = \frac{جا د ا و م}{جا د و م ا} \cdot \frac{جا د ك م و}{جا د ك و م}$$

ولكن بما أن د ك م و هي المتممة الزاوية و م ا من قائمتين

فجيباهما متساويان . وكذا فان جا د ا و م = جا د ا و م .

$$\frac{ا م}{ا و} \cdot \frac{ك و}{ك م} = \frac{جا د ا و م}{جا د ك و م}$$

أى يساوى نسبة جيب زاوية السقوط عند و إلى جيب زاوية الانكسار

عند و . وبحسب قانون « سنل » فان هذه النسبة ثابتة لكل وسطين . فان رمز

لها بالحرف م

$$\frac{ا م}{ا و} \cdot \frac{ك و}{ك م} = م$$

= مقداراً ثابتاً أينما كانت نقطة الانعطاف و .

$$\frac{ا م}{ا و} \cdot \frac{ك و}{ك م} = م \quad (١)$$

وبالرمز لنصف القطر بالرمز ن يتضح من مثلث ك و م أن

$$ك و = ك م + م و + م ك$$

$$\therefore \frac{\overline{ك و}^2}{\overline{ك م}^2} = 1 + \frac{\overline{و م}^2}{\overline{ك م}^2} + \frac{\overline{ك م}^2}{\overline{ك م}^2} \text{ جتا } \Delta \text{ و } \overline{م ح} >$$

$$\therefore \frac{\overline{ك م}^2}{\overline{ك م}^2} = \left( 1 + \frac{\overline{و م}^2}{\overline{ك م}^2} + \frac{\overline{ك م}^2}{\overline{ك م}^2} \text{ جتا } \Delta \text{ و } \overline{م ح} > \right) = \text{مقداراً ثابتاً .}$$

فاذا صغرت نسبة  $\overline{ك م}^2$  إلى  $\overline{ك م}^2$  زاد المقدار المحصور بين القوسين .  
ومنه يتبين أنه كلما بعدت نقطة  $و$  عن القطب  $ح$  وزاد تبعاً لذلك البعد  $\overline{ك م}$ ، كان حتماً أن يقل البعد  $\overline{ك م}$  تبعاً لذلك . أى أن الشعاع المنعطف من النقطة  $أ$  أكثر بعداً عن القطب  $ح$  يقطع المحور على نقطة  $أ$  أكثر قرباً إلى المركز  $م$  (١) .

غير أن مثل هذا البرهان يقوم على قانون «سنل» أى قانون ثبوت نسبة جيبى زاويتي السقوط والانكسار . وابن الهيثم لم يتوصل إلى الكشف عن هذا القانون ، وغاية ما أدت إليه تجاربه في الانعطاف وفقاً للحكم الثالث من أحكام الكم أنه إذا رمز لزاوية السقوط بالحرف  $و$  ولزاوية الانعطاف بالحرف  $ف$  فإن نسبة

$$\frac{ف}{و} \text{ تزداد تبعاً لزيادة } و .$$

وبالرمز لزاوية الانكسار بالحرف  $م$  فإن  $ف = و - م$  ، عند الانعطاف من الألف في الأغظ .

(١) اقتصرنا هنا على ما يتفق والفروض الهندسية التي اتخذها ابن الهيثم . وإلا فلو كانت الأشعة الساقطة على السطح المحدب ملمومة (في نقطة خلف السطح) بحيث تعد نقطة  $أ$  تقديرية . فمن الممكن أن يتشابه المثلثان  $أ و م$  ، و  $ك م$  فيكون

$$\overline{ك م} = \overline{م م} = \overline{و م}^2$$

وإذن تكون نقطة  $ك$  ثابتة لا تتغير بحسب بعد  $و$  عن القطب أو قربها منه — أنظر البصريات ص (٢٣٨) للمؤلف .

وإذن  $\frac{u}{v} = \frac{r}{u}$  تزداد عندئذ تبعاً لزيادة  $u$  .

أى  $1 - \frac{r}{u} = \frac{r}{u}$  تزداد .

∴  $\frac{r}{u}$  تقل .

أو  $\frac{u}{r}$  تزداد .

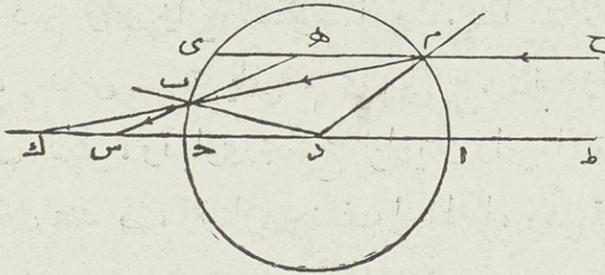
فمعلومات ابن الهيثم عن العلاقة بين زاويتي السقوط والانكسار لا تتجاوز العلم بأن نسبة زاوية السقوط إلى زاوية الانكسار عند الانعطاف من الألف في الأغظ تزداد بحسب زيادة زاوية السقوط ، ولا يستلزم هذا أن تكون نسبة الجيبين ثابتة حتى يمكن إثبات النتيجة المطلوبة ببهان هندسى سليم .

### ٢٢١ - مفاة ابن الهيثم في الكرة المحرقة

لابن الهيثم بحوث عن كيفية انعطاف أشعة الشمس المتوازية عند نفوذها في كرة من الزجاج ، أوردها في مقالته في الكرة المحرقة . وهو يتتبع بحث هذا الأمر على أساس أحكامه في الانعطاف التى سبق بيانها . ولكنه إذ يراعى الانعطاف في كرة من الزجاج يستعين أيضا بمعلومات خاصة بانعطاف الضوء من الهواء في الزجاج تشمل مقادير زوايا الانعطاف التى تقتضيه زوايا سقوط معينة . وكما يقول الفارسى في تحرير هذه المقالة فإن ابن الهيثم قد أحال الأمر فيما يتعلق بهذه المقادير على ما بينه بطليموس في المقالة الخامسة من كتابه في المناظر . ومن أهم تلك المعلومات تعيين الحد الأدنى لمقدار زاوية انعطاف الضوء من الهواء في الزجاج بالنسبة إلى زاوية السقوط في الهواء . فأبن الهيثم يقرر فى حكمه الخامس أن زاوية انعطاف الضوء من الوسط الألف فى الوسط الأغظ أصغر من نصف زاوية السقوط . وقد سبق أن ناقشنا هذا الحكم بما فيه الكفاية .

وهو هنا يضيف إلى هذا أنها في الزجاج أكبر من ربع زاوية السقوط في الهواء. فهو إذن يعد قدر زاوية الانعطاف في الزجاج أكبر من ربع زاوية السقوط في الهواء وأصغر من نصفها. وإن كان من الخطأ تعميم الشرط الثاني فيما يتعلق بهذه القضية، فالشرط الأول منها صحيح فيما يختص بالأشكال المعتادة من الزجاج التي يتخذ معامل انكسار الضوء فيها حوالى ١,٥ .  
وقد تناول ابن الهيثم في هذه المقالة توضيح أمور كثيرة على جانب عظيم من الخطورة والقيمة نفصلها فيما يلي .

٢٢٢ - بيان كيفية تجمع الأشعة المتوازية بعد نفوذها من كرة من الزجاج  
يبدأ ابن الهيثم أولاً بذكر فروضه الأساسية. فليكن مركز الكرة نقطة د (شكل ١٩٦) د ح قطر أ من أقطارها ولنخرجه من طرفيه إلى ط و ك .



( شكل ١٩٦ )

وليكن مركز الشمس على امتداد ا ط فيكون ط ك ما نسميه المحور في اصطلاحنا الحالي، ونقطة ا قطب السطح المواجه للشمس.  
وليكن ح م شعاعاً من أشعة الشمس موازياً للمحور يلقى سطح الكرة على نقطة م. فإذا أخرج مستوى ط ك و ح م فإنه يقطع سطح الكرة على محيط دائرة ولتكن هي المبينة بالشكل. نخرج ح م حتى يلقى محيط الدائرة على ي ونصل د م. فالشعاع ح م ينعطف عند م إلى جهة العمود د م .

ومن السهل بيان أن زاوية السقوط عند م تساوى الزاوية التي توترها عند المركز د قوس ي ح . وهذه القوس توتر عند محيط الدائرة زاوية

تساوى نصف زاوية السقوط . فإن كانت زاوية الانعطاف أصغر من نصف زاوية السقوط فالمنعطف من م يلقى القوس  $\gamma$  على نقطة فيما بين  $\gamma$  و  $\delta$  ولتكن نقطة  $\beta$  . وإن كانت زاوية الانعطاف أعظم من ربع زاوية السقوط فنقطة  $\beta$  أقرب إلى  $\gamma$  منها إلى  $\delta$  .

على هذه الصفة يعين ابن الهيثم أن المنعطف من م يمتد على م ب بحسب الوضع المذكور .

وعند يعانى الشعاع انعطافا ثانيا وهو يخرج إلى الهواء ، ويكون انعطافه هذا إلى ضد جهة العمود . وبما أن

$$\angle \beta \delta \gamma = \angle \beta \delta \alpha ،$$

فزاوية انعطافه الثانى كزاوية انعطافه الأول . فإذا انعطف على  $\beta$  س كانت الزاوية التى يحيط بها المنعطف وامتداد  $\delta \beta$  كالزاوية التى يحيط بها  $\gamma \delta \beta$  وامتداد  $\delta \beta$  وهى زاوية السقوط الأول . فإذا مد م  $\beta$  حتى يلقى المحور على ك ، ومد س  $\beta$  حتى يلقى م  $\gamma$  على ه ، كانت زاوية  $\gamma \delta \beta$  زاوية الانعطاف الكلى ، وتساوى مجموع الزاويتين زاوية الانعطاف عند م وزاوية الانعطاف عند  $\beta$  ، وتساوى ضعف إحداهما ، وهى تساوى

$$\angle \beta \delta \gamma .$$

بهذه الكيفية يبين ابن الهيثم أن الشعاع ح م يخرج من الكرة بحيث يلقى المحور على نقطة ، ويعانى عند نفوذه فى الكرة انعطافين متساويين وتكون زاوية انعطافه الكلى ضعف زاوية أحد هذين الانعطافين :

ثم هو يبين أيضاً أنه إذا توهمنا أن مستوى الشكل قد أدير حول المحور ط ك دورة كاملة ، أحدثت كل من نقطى م  $\gamma$  و  $\beta$  على سطح الكرة محيط دائرة ، وجميع الأشعة المتوازية التى تلقى الكرة على محيط الدائرة التى تحدث عن دوران نقطة م ، تنعطف داخل الكرة إلى النقاط المقابلة من محيط الدائرة التى تحدث عن دوران نقطة  $\beta$  ، ثم تنعطف مرة أخرى إلى نقطة س . وبالمثل بالنسبة إلى أى شعاع آخر من أشعة الشمس يسقط موازيا للمحور . وابن الهيثم

ينص على هذه النتيجة فيقول بحسب رواية الفارسي<sup>(١)</sup> « كل كرة من الزجاج والبللور وما أشبههما إذا قوبل بها جرم الشمس فإن شعاعها ينعطف عن محيط دائرة في الكرة إلى نقطة واحدة خارج الكرة على الخط الواصل بين مركزيهما » .

٢٢٣ - بيانه الزبيغ الكرى الذي يحدث عند نفوذ الأشعة المتوازية

### من كرة من الزجاج

وابن الهيثم بعد إثبات النتيجة التي ذكرناها آنفاً يتناول موضوع « الزبيغ الكرى » ويعرضه على أساس أحكامه في الانعطاف . والطريقة التي عالج بها الموضوع جديدة بالتقدير . فعلى الرغم من قصور الوسائل التي بين يديه وهي لا تتجاوز أحكامه التي ذكرناها في الانعطاف ، فإنه قد استطاع أن يبين الزبيغ الكرى بياناً واضحاً . وعلاوة على ذلك نجده قد ضمن هذه البحوث معلومات في حساب المثلاثات تشير إلى ما كان له من الحظ الأوفر في هذا الفرع من فروع الرياضة . وابن الهيثم يجعل الغرض الذي يرمى إليه من بحوثه في هذا الموضوع إثبات أنه إذا انعطف شعاع يوازي المحور مثل ح م ماراً بنقطة س فمن المحال أن ينعطف شعاع آخر يوازيه من نقطة ليست على محيط الدائرة التي تحدث عن دوران م حول المحور بحيث يمر بنقطة س ، وإن كان الشعاع الآخر أبعد عن القطب فليس يمر بنقطة فيما يلي نقطة س من الكرة .

ولبيان طريقة ابن الهيثم للوصول إلى هذه النتيجة ، لنفرض أن ح م ( شكل ١٩٧ ) شعاع يسقط موازياً للمحور و لينعطف على م ب ثم على ب س قاطعاً المحور على نقطة س . ثم لنفرض أن ه ن يوازيه وأبعد عن القطب و ينعطف على ن ع داخل الكرة ، فإذا عانى الانعطاف الثاني عند نقطة ع فابن الهيثم يفرض أولاً أنه ينعطف ماراً بنقطة س نفسها ويثبت استحالة هذا الفرض ببرهان الخلف ، ثم يفرض ثانياً أنه ينعطف قاطعاً المحور على نقطة أبعد عن الكرة من نقطة س ويثبت استحالة هذا الفرض ببرهان الخلف أيضاً .

(١) الجزء الثاني من التنقيح ص (٢٨٦) النسخة المطبوعة .



$$\dots \frac{2 \text{ ف}}{2 \text{ ر} - 1 \text{ و}} \text{ أعظم من } \frac{2 \text{ ف}}{2 \text{ ر} - 1 \text{ و}}$$

فاذا عدنا إلى شكل (١٩٧) وأخرجنا م د حتى يلتقي محيط الدائرة على و يتبين أن :

$$2 \text{ و} = 2 \text{ د} > 2 \text{ و}$$

$$2 \text{ و} = 2 \text{ د} > 2 \text{ و}$$

$$\text{فيكون } 2 \text{ ر} - 1 \text{ و} = 2 \text{ و} > 2 \text{ د}$$

٢ ف = ٢ ب س د كما تبين في الفقرة السابقة .

$$\text{وبالمثل } 2 \text{ ر} - 1 \text{ و} = 2 \text{ و} > 2 \text{ د}$$

$$2 \text{ ف} = 2 \text{ و} > 2 \text{ د}$$

$$\text{وإذن } \frac{2 \text{ و} \text{ س د}}{2 \text{ و} \text{ د}} \text{ أعظم من } \frac{2 \text{ و} \text{ ب س د}}{2 \text{ و} \text{ د}}$$

ونظراً لأن زاوية الانعطاف من الهواء في الزجاج يعدها ابن الهيثم أصغر من نصف زاوية السقوط وأعظم من ربعها، يتضح كما تبين في الفقرة السابقة أنه إذا مد ه ن حتى يلتقي المحيط على ي فان نقطة ع تقع على قوس ي ح بحيث يكون ي ع أعظم من ع ح .

فالزاوية المركزية التي توترها قوس ي ع أعظم من الزاوية المركزية التي توترها قوس ع ح قوس ي ع توتر عند المحيط زاوية الانعطاف ف فهي توتر عند المركز ضعفها . وإذن يكون ٢ ف أعظم من ٢ ع د ح .

$$\text{أى تكون } 2 \text{ و} \text{ س د} > 2 \text{ و} \text{ ب س د}$$

$$\text{وبالمثل تكون } 2 \text{ و} \text{ ب س د} > 2 \text{ و} \text{ ب س د}$$

نركز بعد ذلك في نقطة س ونرسم دائرة نصف قطرها س ع ولتقطع المحور على ك ومحيط الأولى على ت ومنعاً لالتباس الشكل ليسكن ذلك مبيناً (بشكل ١٩٨) فيما سبق يتبين أن

$$2 \text{ و} \text{ س د} > 2 \text{ و} \text{ ب س د}$$

$$2 \text{ و} \text{ ب س د} > 2 \text{ و} \text{ ب س د}$$



بيان الزيع الكرى الذى يحدث عند نفوذ الأشعة المتوازية من كرة من الزجاج ٧٩٧

صدر مقالته فى الكرة المحرقة مقدمة إلى هذا البحث ، وأحال أمرها على كتاب  
له فى خطوط الشعاعات . والنظرية بالنص الذى أورده الفارسى نقلا عن هذا  
الكتاب هى « إذا فصل من دائرة قوسان مختلفتان وقسم القوسان على نسبة  
واحدة ، وكان القسم الأعظم من القوس العظمى ليس بأعظم من ربع دائرة ،  
فإن نسبة جيب القسم الأعظم من القوس الصغرى إلى جيب القسم الأصغر  
منها ، أعظم من نسبة جيب القسم الأعظم من القوس العظمى إلى جيب  
القسم الأصغر منها » (١) .

وخلاصة هذه النظرية أنه إذا كانت النسبة بين زاويتين ثابتة فإن نسبة  
جيب العظمى إلى جيب الصغرى تقل كلما زادت الزاويتان ما دامت العظمى  
أصغر من قائمة .

فما سبق يتضح أن النسبة بين الزاويتين ل س ت و ل س ع كالنسبة  
بين الزاويتين ب د ت و ب د ع ، وأن كلا من الزاويتين الأوليين أعظم  
من نظيرتها من الآخرين ، وأن زاوية ل س ت أعظم من زاوية ل س ع ،  
وزاوية ل س ت أصغر من قائمة (٢) ، فىكون .

$$\frac{\text{جاد ل س ت}}{\text{جاد ل س ع}} \text{ أصغر من } \frac{\text{جاد ب د ت}}{\text{جاد ب د ع}}$$

أى أن

$$\frac{\text{ت خ}}{\text{خ ع}} \text{ أصغر من } \frac{\text{ت ش}}{\text{ش ع}}$$

وهذا خلف .

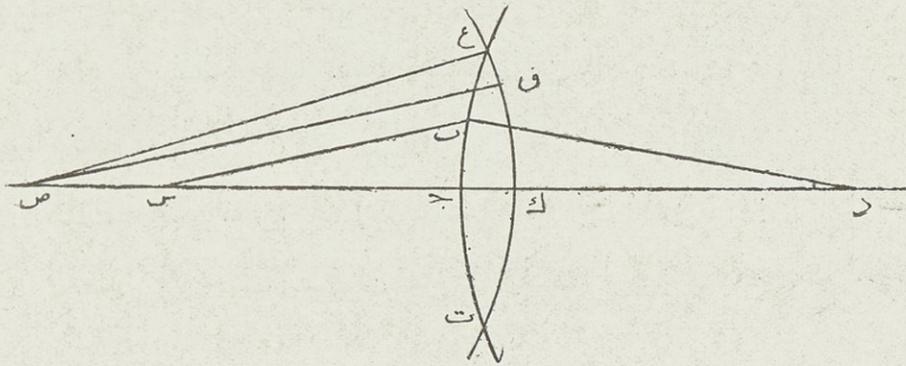
فلا يمكن أن يتلاقى المنعطفان بعد نفوذهما من الكرة على نقطة س .

(١) يذكر الفارسى أنه عثر على كتاب خطوط الشعاعات الذى ألفه ابن الهيثم وأصاب  
منه هذه النظرية . ثم يقول « ثم لما كانت النسخة سقيمة جداً لم أقدر على حلها فاكثفت بإيراد  
الدعوى وإن اتفق حلها بعد ، أضيفها محررة إلى هذا المقام إن شاء الله تعالى » ص (٢٨٥) ،  
ص (٢٨٦) من النسخة المطبوعة من الجزء الثانى . وأشار الفارسى إلى أن التأمل فى جداول  
الجيوب بين صحة هذه النظرية .

(٢) أضاف الفارسى من عنده بيان هذا .

فلنفرض إذن أن المنعطف من ع يلقى المحور على نقطة ولتكن ص  
فيما يلي س من > (شكل ١٩٩) فبمثل البرهان السابق يمكن إثبات أن

$$\frac{\text{د ع ص د}}{\text{د ع د >}} \text{ أعظم من } \frac{\text{د ب س د}}{\text{د ب د >}}$$



(شكل ١٩٩)

وان > ع ص د أعظم من > ع د > . فاذا أخرج من ص المستقيم  
ص ق موازياً س ب قاطعاً محيط الدائرة التي مركزها ص ونصف قطرها  
ص ع على ق ، أمكن كما سبق إثبات أن

$$\frac{\text{قوس ع ك}}{\text{قوس ك ق}} \text{ أعظم من } \frac{\text{قوس ع >}}{\text{قوس ب >}}$$

وبمثل خطوات البرهان السابق يقع الخلف أيضاً .  
فلا يمكن أن ينعطف الشعاع من ع قاطعاً المحور على نقطة أبعد عن الكرة  
من نقطة س .

وبما أن الشعاع من ع ينعطف قاطعاً المحور على نقطة ولا يمكن أن تكون  
هذه النقطة هي نقطة س نفسها ولا نقطة أبعد من س ، فالنتيجة التي يخرج  
بها ابن الهيثم من هذا البحث أن النقطة التي يلقى عندها المنعطف من ع المحور  
هي أقرب إلى الكرة من نقطة س ، فهو يثبت بهذا البرهان أن الأشعة المتوازية  
التي يلتئم منها سطح اسطوانى سهمه ينطبق على المحور تنفذ من الكرة متجمعة  
في نقطة على المحور ، وكلها صغر نصف قطر هذا السطح الأسطوانى بعدت النقطة

التي تتجمع فيها الأشعة عن الكرة ، أو كلما عظم نصف قطر هذا السطح  
الأسطوانى قربت تلك النقطة من الكرة .

ولا شك أن في هذا بيانا شاملا لظاهرة الزيغ الكرى كما نعلمها الآن . وتلك  
النقطة التي تتجمع فيها الأشعة المتوازية بعد نفوذها من الكرة نسميها الآن  
البؤرة ، ويعبر عنها ابن الهيثم أحيانا بالنهاية ويطلق الفارسي عليها فعلا هذا الاسم .  
فبحوث ابن الهيثم تؤدي صراحة إلى أن بعد تلك النقطة عن الكرة يأخذ في  
القصر كلما بعدت نقاط سقوط الأشعة المتوازية عن قطب السطح الكرى .

### ٢٢٤ - تعيين مواضع نقاط الانعطاف الثواني

ولم يقصر ابن الهيثم بحوثه في مقالة الكرة المحرقة على ما ذكر . بل نجده  
يتناول أيضا تفصيل أوضاع الأشعة الممتدة بين نقاط الانعطاف داخل الكرة .  
الزجاجية ، بعضها بالنسبة إلى الآخر . وهو يحيل على بطليموس في مقالته الخامسة  
من كتاب المناظر ثلاث مقدمات جعلها أساسا بنى عليه هذا البحث (١) .

المقدمة الأولى - إن زاوية السقوط التي قدرها أربعون درجة تقتضى  
انعطافا من الهواء فى الزجاج قدره خمس عشر درجة .

والثانية - إن زاوية السقوط التي قدرها خمسون درجة تقتضى انعطافا من  
الهواء فى الزجاج قدره عشرون درجة .

والثالثة - إنه إذا كانت زاوية السقوط أعظم من خمسين درجة وزادت  
زاوية السقوط بمقدار معين فإن زاوية الانعطاف تزيد بمقدار أعظم من  
نصف زيادة زاوية السقوط . وينص على هذا المعنى بقوله نقلا عن الفارسي  
« إن زيادة الانعطافية على الانعطافية من بعد الخمسين تكون أعظم من نصف  
تفاضل العظفيتين » .

وقد تبين فى صدد أحكام ابن الهيثم السابقة أن زاوية الانعطاف تزداد تبعاً  
لزيادة زاوية السقوط ، ولكن ليس معدل الزيادة ثابتا بل هو يزداد . فابن الهيثم

(١) أظن فقرة (١٥) من الجزء الأول من هذا الكتاب .

يجد من مقادير الزوايا التي أوردها بطليموس في كتابه أنه إذا زادت زاوية السقوط في الهواء من ٤٠ درجة إلى الخمسين حيث يكون تفاضل الزاويتين عشر درجات، تزيد زاوية الانعطاف من خمس عشر درجة إلى العشرين فيكون تفاضل زاويتي الانعطاف خمس درجات أى نصف تفاضل زاويتي السقوط . ولكن إذا كانت زاوية السقوط في الهواء أعظم من خمسين درجة فإن تفاضل زاويتي الانعطاف يكون أعظم من نصف تفاضل زاويتي السقوط . ولا شك أنه فيما دون الأربعين أصغر من النصف ، لا طراد الزيادة بحسب زيادة زاوية السقوط .

\*\*\*

وهذه المقدمات يمكن استنباطها من قانون الانكسار على صورته التي نعلمها في الوقت الحاضر .

فقد تبين في فقرة (٢٠١) أن

$$\frac{س ف}{و و} = \frac{١ - جا٢ و}{م ٢ - جا٢ و}$$

فإن جعلنا  $\frac{س ف}{و و} = \frac{١}{٤}$  ،

يكون  $\frac{١ - جا٢ و}{م ٢ - جا٢ و} = \frac{١}{٤}$  .

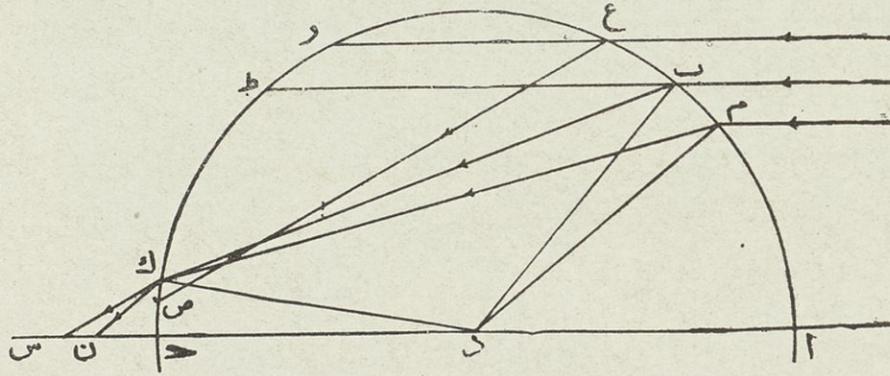
وإذا اعتبرنا معامل الانكسار م مساويا ٢ تبين أن زاوية السقوط التي يكون فيها تفاضل زاوية الانعطاف نصف تفاضل زاوية السقوط هي  $\frac{٤}{٩}$  درجة بالتقريب .

\*\*\*

وعلى حسب المقادير المذكورة يبين ابن الهيثم أنه إذا أخرج نصف القطر د م (شكل ٢٠٠) بحيث تكون د م د ١ = ٤٠° وأخرج نصف القطر د ك بحيث تكون د ك د > = ١٠ درجات ، فالشعاع الذي يسقط على الكرة موازيا المحور ٢ > ، إذا انعطف من م

يمتد على استقامة م ك داخل الكرة الزجاجية حيث تكون كل من زاويتي د م ك و د ك م مساوية ٤٠ - ١٥ أى ٢٥° .

وأيضاً إذا أخرج نصف القطر د ب بحيث تكون د ب د مساوية



(شكل ٢٠٠)

٥٠° فالشعاع الموازى للمحور المنعطف من ب يمتد على ب ك إلى نقطة

ك نفسها، حيث تكون كل من زاويتي د ب ك و د ك ب تساوى

$$٥٠ - ٢٠ = ٣٠° .$$

ويلاحظ في هذه الحالة أن زيادة زاوية الانعطاف عند ب على زاوية

الانعطاف عند م تساوى زاوية ب ك م ، وهى المحيطية التى توترها قوس

ب م ، وتساوى نصف المركزية التى توترها هذه القوس ، والمركزية هذه

هى زيادة زاوية السقوط عند ب على زاوية السقوط عند م .

أما إذا روعى انعطاف شعاع آخر يوازى المحور وزاوية سقوطه أعظم

من ٥٠° ، كالشعاع الساقط عند نقطة ع ، وأخرج ع و ب ط موازيين

للمحور ، تكون

$$\text{قوس ب ع} = \text{قوس و ط} .$$

والمحيطية التى توترها قوس ب ع هى نصف تفاضل زاويتي السقوط

عند ع و ب . فيكون تفاضل زاويتي الانعطاف عند ع و ب أعظم من

المحيطية التى توترها قوس ب ع ، أو قوس و ط . فالمنعطف من ع لا يلقى

محيط الدائرة على ك ولا على نقطة فيما بين ك و ، بل يلقاه على نقطة

مثل ص من تحت نقطة ك .

فاذا سمينا القطعة من سطح الكرة التي تسقط عليها الأشعة المتوازية « القطعة الأولى » ونقاط الانعطاف عندها « نقاط الانعطاف الأول » ، وسمينا القطعة التي تنتهي إليها الأشعة المنعطفة في الكرة « القطعة المقابلة » ونقاط الانعطاف عندها « نقاط الانعطاف الثواني » ، فابن الهيثم يوضح على هذه الصورة أنه إذ أخذت نقاط الانعطاف الأول تبعد بالتدريج عن قطب القطعة الأولى أخذت نقاط الانعطاف الثواني تبعد بالتدريج عن قطب القطعة المقابلة ، حتى إذا بلغت زاوية السقوط على سطح القطعة الأولى ٥٠ درجة بلغت نقاط الانعطاف الثواني أبعد مداها عن قطب القطعة المقابلة ، وإذا زادت زاوية السقوط إلى ما فوق الخمسين أخذت نقاط الانعطاف الثواني تتحول متحركة إلى الاتجاه المضاد .

### ٢٢٥ - محاولة ابن الهيثم تعيين البعد البؤري لكرة من الزجاج

ويحاول ابن الهيثم في مقالة الكرة المحرقة تعيين أبعاد النقاط التي على المحور والتي تتجمع فيها الأشعة المتوازية بعد نفوذها من الكرة . ولما كانت هذه النقاط كما يتضح من بحوثه السابقة لا حصر لعددها وتزداد قربا إلى قطب القطعة المقابلة كلما كان السطح الاسطوانى الذى يلتئم من الأشعة المتوازية الساقطة على الكرة أكثر اتساعا ، فهو يصرف عناية خاصة إلى تعيين موضع تلك النقطة بالنسبة إلى الأشعة التي تكون زوايا سقوطها ٥٠ درجة ، فتعطف انعطافها الثانى من محيط الدائرة التي تحدث عن دوران نقطة ك ( شكل ٢٠٠ ) حول المحور .

فاذا فرضنا أن الشعاع الموازى للمحور يسقط عند ب وزاوية السقوط ٥٠ درجة وكانت نقطة ك نقطة انعطافه الثانى ، وأخرجنا من المركز د ( شكل ٢٠١ ) عموداً على ب ك ، وأخرجناه حتى يلقى امتداد الشعاع الساقط عند ب على نقطة م ، ووصلنا م ك وأخرجناه على استقامته حتى يلقى المحور على ن ، فنظراً لأن مثلث م ب ك متساوى الساقين فزاويتاه عند ب ك متساويتان ، وكل منهما تساوى إحدى زاويتي الانعطاف ، فتكون

$$د ط م ك = ٢ د م ب ك = د ك ن ح .$$



$$6 \text{ ش د} = 6 \text{ جتا د ك د ج} ،$$

$$6 \text{ د ك د} > = 10 \text{ درجات} .$$

ومنه يتبين أن

$$\text{ن ش} = 0,2068 \text{ ن}$$

$$6 \text{ ن د} = 1,1916 \text{ ن}$$

$$\therefore \text{ن} > = 0,1916 \text{ ن} .$$

ويتضح من هذا أن بعد النقطة ن عن قطب القطعة المقابلة ، وإن كان أصغر من خمس نصف قطر الكرة فعلا ، فإنه يساوى خمس نصف قطر الكرة بالتقريب .

وابن الهيثم لا يتتبع بالضبط هذه الخطوات ولكن برهانه لا يختلف في مضمونه عن هذه المعاني ، وقد أورده على صورة أخرى ناهجا على النهج القديم في اصطلاحات حساب المثلثات .

فقد كان المتبع أن يقسم نصف قطر الدائرة ستين جزءاً بالتساوى ، وكان جيب الزاوية يعرف بنصف وتر ضعفها مقيساً بتلك الأجزاء . فبحسب هذا الاصطلاح يكون .

$$\text{ك ش} = 60 \text{ جا } 10^\circ = 10 \frac{1}{4} \text{ من هذه الأجزاء بالتقريب} .$$

وابن الهيثم يعد خط ش > أكثر من نصف جزء ، ويستنبط من أن نسبة

$$\frac{\text{ل د}}{\text{ك ش}} = \frac{\text{د ن}}{\text{ن ش}}$$

أن طول ن > أقل من ١٢ جزءاً<sup>(١)</sup> أى أقل من خمس نصف القطر د > .  
والبرهان في الحقيقة غير مفصل ومقتضب نورده فيما يلي بلفظه نقلا عن

(١) الوارد في الأصل الذي أورده الفارسي ( ص ٢٩٦ من الجزء الثاني من النسخة المطبوعة ) « فخط ن > أقل من عشرة أجزاء » وصلوبه أقل من ١٢ جزءاً .

التنقيح . قال « ويخرج عمود ك ش عليه ( أى على القطر ١ > ) فيكون عشرة ونصف تقريبا ، إذ هو جيب ك د > ، ونسبة ل د إلى ك ش كنسبة د ن إلى ن ش ، وخط ش > أكثر من نصف جزء ، نخط ن > أقل من عشرة أجزاء ( كذا ) فهو أقل من سدس ن د . فن > ( أى نخط ن > ) أقل من خمس د > (١) » .

ويلاحظ أن طول ش > وإن كان أعظم من نصف فهذا وحده لا يكفي لبيان المقصود . وذلك لأنه إذا كان أعظم من نصف فطول د ش يكون أصغر من ٥٩ جزءاً ونصف جزء .

وبما أن

$$\frac{60}{10\frac{1}{4}} = \frac{ل د}{ك ش} = \frac{ن د}{ن ش}$$

$$\frac{٤٩\frac{1}{2}}{10\frac{1}{4}} = \frac{ن د - ن ش}{ن ش} \quad \text{اتضح أن}$$

$$\frac{٤٩\frac{1}{2}}{10\frac{1}{4}} = \frac{د ش}{ن ش} \quad \text{وإذن}$$

فعلى فرض أن ش > أعظم من نصف جزء فان د ش يكون أصغر من ٥٩ ½ من هذه الأجزاء .

$$\text{وإذن ن ش أصغر من } \frac{10\frac{1}{4}}{٤٩\frac{1}{2}} \times ٥٩\frac{1}{2}$$

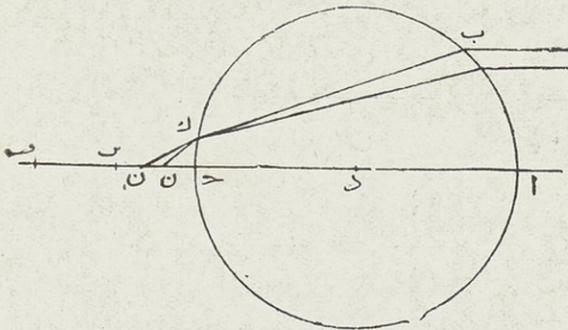
أى أن ن ش أصغر من ١٢ ¼ . ولكن كسر قيمته هى أيضا أعظم من النصف ، فلا يكون ن > أصغر من ١٢ إلا إذا تبين أن ش > أعظم من قيمة هذا الكسر .

وابن الهيثم وإن لم يوضح هذا فهو الواقع ، كما يتبين بتطبيق نظرية فيثاغورس

مثلاً . ولكن على الرغم من هذا فإن النتيجة التي توصل إليها وسياق التفكير في البرهان الذي أورده جديران بالذكر والتنويه . ولعل الأصل الذي نقل عنه الفارسي لم يسلم من خطأ النسخ ، كما أشار الفارسي فعلاً في موضع آخر من المقالة . ويتضح من هذا أن ابن الهيثم يقدر بعد النقطة التي تتجمع فيها الأشعة المتوازية التي زاوية سقوطها  $50^\circ$  ، عن قطب القطعة المقابلة يساوى بالتقريب خمس نصف قطر الكرة ، وليس هو أكبر من خمس نصف قطرها .

ولكنه لم يقنع بهذا القدر . بل نجده يحاول البرهان على أن إحراق الكرة يكون على ربع القطر من قطب القطعة المقابلة . أى أن المواضع التي يحدث فيها الاحراق من تجمع الأشعة المتوازية الواردة من الشمس تمتد إلى مسافة تبعد عن قطب القطعة المقابلة بقدر ربع قطر الكرة .

فان كانت نقطة ك (شكل ٢٠٢) هي نقطة الانعطاف الثاني فقد تبين فيما



(شكل ٢٠٢)

سبق أن زاوية ك ن د ونظائرها أعظم من زاوية ك د ن ونظائرها . ويستنبط ابن الهيثم من هذا أن المستقيم ك ن ونظائره أصغر أبداً من نصف القطر د ح . وإذن

ح ن ونظائره أصغر أبداً من نصف قطر الكرة الزجاجية ، فان أخذنا على امتداد المحور نقطة ث بحيث يكون ح ث مساوياً لنصف القطر ، فان أبعد نقطة تتلاقى عليها الأشعة المتوازية تكون أقرب إلى ح من نقطة ث نفسها . ويتناول بالذکر أيضاً الأشعة المتوازية التي زاوية سقوطها  $40^\circ$  ، فهي تتجمع بعد نفوذها من الكرة على نقطة تكون كما تبين فيما سبق أبعد من نقطة ن ، التي تتجمع فيها الأشعة التي زاوية سقوطها  $50^\circ$  ولنرمز لها بالرمز ن . وابن الهيثم لم يقدر البعد ح ن ، ولكن من السهل بيان أنه يساوى بالتقريب  $17,14$  من أجزاء الستين التي هي نصف قطر الكرة ، وذلك بحسب البيانات الواردة .

وتتمة برهان ابن الهيثم لاثبات أن الاحراق يكون على ربع القطر، لا يفي بالمقصود، ونورده فيما يلي. قال:

« وننصف (ث) (١) على س، فالشعاعات المنعطفة إلى س > أكثر بكثير من المنعطفة إلى س ث > س > أقرب إلى نقطة الانعطاف من س ث. فالحرارة عند س > أكثر منها عند (س ث) (٢). فالاحراق إنما يكون على س >، الذى هو ربع القطر. وذلك ما أردناه.»

وسياق الأقوال يدل على ثلاثة أمور لعلها تتضمن خلاصة رأى ابن الهيثم فى هذا الموضوع، هى بايجاز

الأول: أن الأشعة المتوازية التى تسقط على القوس التى تمتد من القطب ١ إلى زاوية قدرها  $٤٠^\circ$  تتلاقى على المحور على نقاط تمتد من نقطة ن<sub>١</sub> إلى ما دون ث من >. أما الأشعة المتوازية التى تسقط على نقاط مما يلي الأربعين من قوس التسعين فإنها تتلاقى أو بالأحرى يكاد جميعها يتلاقى على المحور فيما بين نقطتي ن<sub>١</sub> و ن<sub>٢</sub>.

الثانى: أن الاشعاع المتجمع على خط > ن<sub>١</sub> وهو الساقط على قوس طولها يكاد يكون  $٥٠^\circ$ ، أشد من الاشعاع المتجمع على ما يقع بين نقطة ن<sub>١</sub> وبين ما دون ث من >، وهو الساقط على قوس الأربعين.

الثالث: أن الاحراق الناتج عن تجمع الأشعة التى تسقط على النقاط القريبة من القطب ١ أضعف من الاحراق الناتج عن تجمع الأشعة التى تسقط على النقاط البعيدة، وذلك فى نظره لأن نقاط التجمع فى الأولى أقرب إلى نقاط الانعطاف، وإن شئنا قلنا لأن الأشعة الأولى تخترق من كتلة الزجاج سمكا أعظم.

والذى يريد ابن الهيثم أن يستنبطه من هذه الأمور الثلاثة، أن الاحراق على > ن<sub>١</sub> أشد كثيراً من الاحراق على الجزء من المحصور بين نقطة ن<sub>١</sub>

(١) فى الأصل « ن > » وقد صححه الفارسى وقال فى هذا الصدد « وقد تصفحت نسختين من مقالته هذه فوجدته فىهما على ما أوردته، فأوردت ما وجدته ونهت على ما فيه الخ.»

(٢) فى النسخة المطبوعة « سى » وهو تحريف.

وبين ما دون نقطة  $\theta$  من  $\theta$  ، وهو الجزء الذي ينتهي إليه الاحراق ولا يتجاوزه بحال من الأحوال . وليس تستلزم هذه الأمور الثلاثة النتيجة التي أرادها ابن الهيثم ونص عليها صراحة وهي أن يكون الاحراق على ربع القطر . ولما كانت هذه النتيجة صحيحة فيما يتعلق بالكرة الزجاجية (على فرض أن معامل انكسار الضوء من الهواء في الزجاج  $\frac{3}{2}$ ) فمن المحتمل أن ابن الهيثم وجد الأمر على هذه الصفة عملياً ، أي أنه قد تبين له بالاعتبار أن أبعد نقطة تتجمع عليها الأشعة المتوازية بعد نفوذها من الكرة الزجاجية يكون بعدها عن قطب القطعة المقابلة بقدر ربع قطر الكرة . وإن أعوز ابن الهيثم البرهان على هذا الأمر لقصر المعلومات التي كانت في متناوله في عصره ، فمن السهل الآن كما هو معلوم البرهان عليه .

### ٢٢٦ - بيان وتعليق على مقالة ابن الهيثم في الكرة المحرقة

ابن الهيثم في بحوثه التي أوردتها في مقالة الكرة المحرقة راعى انعطاف الأشعة المتوازية بعد نفوذها من الكرة ، وقد بين بما ليس يدعو إلى الشك الزيف الكرى فيما يختص بهذه الأشعة التي تعاني عند نفوذها انعطافين . والذي تجدر الإشارة إليه هنا أنه وإن لم يبحث بصفة خاصة عن انعطاف الأشعة المتوازية انعطافاً واحداً عند سطح القطعة الأولى إلا بالقدر اللازم للغرض الذي يرمى إليه من بيان تجمع هذه الأشعة بعد انعطافها الثاني وموضع تجمعها ، فإن هذا القدر وحده فيه الكفاية لبيان كيفية انعطاف الأشعة المتوازية التي تسقط على السطح الكرى المحدب لجسم من الزجاج ، وتشغل نصف سطح كرتة إذا كان ذلك الجسم ممتداً متصلاً دون أن ينقطع أو ينفصل بالنصف الآخر من سطح الكرة ، وفيه الكفاية لبيان الزيف الكرى فيما يتعلق بهذه الأشعة أيضاً .

وبحوث ابن الهيثم تدل دلالة واضحة على أن الأشعة المنعطفة انعطافاً واحداً قد تتلاقى . فالشعاع الذي زاوية سقوطه  $40^\circ$  ينعطف في الزجاج ملاقياً على ك (انظر شكل ٢٠٠) الشعاع المنعطف الذي زاوية سقوطه  $50^\circ$  . ولا شك أن

الشعاع الذي زاوية سقوطه أعظم من الخمسين ينعطف ملاقياً انعطافات الأشعة التي زاوية سقوطها ٤٠ أو مادون الأربعين في داخل كرة الزجاج . ولكن التقاء هذه الأشعة المتوازية بعد انعطافها عند السطح المحدب لم يترتب عليه كما أشرنا من قبل أن راجع ابن الهيثم مذهبه الذي ذهب إليه في كتابه المناظر ، في أن الانعطاف عند السطح الكروي لا يكون إلا من نقطة واحدة .

وإن كان ابن الهيثم قد بين في هذا الصدد أن الشعاع الذي نقطة انعطافه الأول مثل النقطة ع ( شكل ٢٠٠ ) وزاوية سقوطه أعظم من ٥٠ درجة يلقي القطعة المقابلة تحت نقطة ك في الشكل ، إلا أنه لم يشر إلى أن نقطة الالتقاء هذه قد تكون فيما يلي نقطة ح من ك ، بحيث إذا نفذ الشعاع خارجاً من الكرة لا يمر فعلاً بنقطة على المحور وإنما يلقي امتداده المحور على نقطة . وإن رجحنا كما ذكرنا من قبل (١) أن حكمه الخامس من أحكام الكم يجعله يرى أن زاوية الانعطاف في الأغظ تؤول قيمتها إلى نصف القائمة إذا آلت زاوية السقوط في الألف إلى القائمة ، صح لنا أن نستنبط أنه يرى أن الشعاع الساقط على الكرة بزواوية سقوط قدرها قائمة ينعطف انعطافه الثاني من مركز القطعة المقابلة .

وثمة أمر آخر يجدر الإشارة إليه هنا . فابن الهيثم راعى في بحثه هذا الانعطاف في كرة من الزجاج ، ولكنه في ختام مقاله حاول التعميم ، قال « فكل كرة من البلور وما شابهه صحيحة الكرية شديدة الشفيف إذا قوبل بها جرم الشمس فانها تحدث إحراقاً في خلاف جهة الشمس ، عند بُعد من الكرة يكون أقل من ربع القطر (٢) » . ومثل بالقارورة المملوءة بالماء . فإن أراد بذلك أن يكون الإحراق دائماً على بعد يساوى ربع القطر أو أقل منه ، فقد أخطأ . فإحراق القارورة الرقيقة المملوءة بالماء التي مثل بها يكون على بعد يساوى بالتقريب نصف القطر لاربع القطر كما يستفاد من ظاهر قوله .

(١) أنظر فقرة (٢٠١) من هذا الجزء .

(٢) ص (٣٠٢) من الجزء الثاني من النسخة المطبوعة من التفتيح .

## الفصل الثاني

في

الخيالات التي ترى بالانعطاف عند السطوح الكرية

٢٢٧ - اجتناب ابن الهيثم التوسع في دراسة خيالات المبصرات التي

ترى بالانعطاف عند السطوح الكرية

لم يتوسع ابن الهيثم كثيراً في بحوثه عن الخيالات التي ترى بالانعطاف عند السطوح الكرية ، وقد سبق أن ذكرنا أنه اكتفى من ذلك بنبذ عن أمور يتفق حدوثها في الواقع ، ضارباً صفيحاً عن تفصيل أشياء رأى أن الانسان قلما يشاهدها في الحياة . وهو يعيد الاشارة إلى موقفه هذا في هذا القسم من بحوثه أيضاً<sup>(١)</sup> وفي أكثر من موضع واحد ، ويضرب لذلك الأمثال . فيمثل بالجسم الكري المشف الغليظ الذي محده يلى البصر إذا كان المبصر من وراء مركز سطحه الكري فيقول « لأن ذلك ليس يكون إلا إذا كان الجسم الكري من الزجاج أو حجراً من الأحجار المشفة وكان ذلك الجسم الكري مصمتاً وكان المبصر في داخله ، أو يكون الجسم الكري قطعة من كرة أعظم من نصف كرة ويكون المبصر ملتصقاً بقاعدته . وهذان الوضعان قل ما يتفقا . فليس الذي بهذه الصفة من المبصرات المألوفة ، فلذلك لا ينبغي أن نشتغل بذكر ما يعرض في هذه المبصرات من الأغلاط<sup>(٢)</sup> » . ويضرب مثلاً آخر فيقول « وليس في المبصرات المألوفة شيء يدركه البصر من وراء جسم مشف كرى أغلظ من الهواء يكون مقعره يلى البصر . لأن ذلك إن كان من الزجاج أو حجراً من

(١) الفصل السابع من المقالة السابعة وهو آخر فصول كتاب المناظر .

(٢) و (١٢١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

اجتناب التوسع في دراسة الحيات التي ترى بالانعطاف عند السطوح الكرية ٨١١

الأحجار ، فيجب أن يكون ذلك قطعة من كرة جوفاء ويكون المبصر في داخل تلك الكرة ، أو يكون سطحه الذي من وراء التقعير مستوياً ويكون المبصر ملتصقاً به ، وهذان الوضعان لا يوجدان . وإن وجدا فليس يكونان إلا فداً نادراً . فلا وجه للاشتغال بهما (١) .

وإحجام ابن الهيثم عن التوسع في دراسة هذه الأمور وأشباهاها ، قد أتاح لمن جاء من بعده من العلماء فرصة البحث في موضوع بكر متسع مشمر ، جلب عليهم نخر الكشف عن فعل العدسات واستعمالها في الأغراض المختلفة التي أدت في النهاية إلى اختراع النظارات ، التي تصلح بها عيوب العين ، وأنواع المناظير المستعملة لرؤية المبصرات البعيدة والمبصرات الصغيرة وما إلى ذلك . وإحجام ابن الهيثم عن التوسع في دراسة هذه الموضوعات ، ربما لم يكن سببه الوحيد زهده عن الانصراف إلى أمور ظن أن ليس فيها فائدة ترجى ، ورآها بعيدة عن الاتصال بشؤون الحياة . فربما كان له سبب آخر هو تعقد هذه المسائل عليه وخروجها عن طاقته . ونحن لا نريد هنا أن ننفي نفيًا قاطعاً مثل هذه الاحتمالات ، وإن كنا نرى حقاً أنه كان في مقدوره بحث كثير من هذه المسائل ، كالمثالين اللذين أوردناهما هنا بألفاظه وأشباهاهما ، قياساً على المسائل التي تناول بحثها ، وبمثل ما اتبعه من طرق البحث فيها .

ومن الانصاف أيضاً أن نقول إن العدسات لم يكن أمرها معروفاً في عصر ابن الهيثم . وإن تبين بالبحث عن الآثار والتنقيب عنها ، أن عدسة استكشفت في مقبرة رومانية قديمة أو أن عدسة ثانية أو ثلاثة قد وجدتاً إحداهما في إنجلترا والأخرى في مدينة «مميبي» (٢) أو تبين أنه من المحتمل أن الكلدانيين قد كان لهم علم بالعدسات ، فليس ذلك يدل على أن العدسات كانت معروفة أو شائعة أو كانت تصنع في عصر ابن الهيثم ، ومن الثابت الآن أن العدسات أول ما ورد ذكر استعمالها كمنظارات لإصلاح عيوب العين ، كان في العام الأخير من القرن

(١) و (١٢٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) ماك في كتابه The Principles of Physical Optics الفصل الخامس .

الثالث عشر<sup>(١)</sup>، أى بعد عصر ابن الهيثم بثلاثة قرون .

وإن كانت الكرات الزجاجية أو الأجسام الزجاجية التي على هيئة قطعة من كرة ذات قاعدة مستوية، كان أمرها معروفا وقد استخدمت في المدينيات القديمة في أغراض مختلفة، وتوجد في المتاحف نماذج كثيرة منها، فتلك هي التي نسج ابن الهيثم بحوثه حولها . فبحوث ابن الهيثم تشمل حالتين الأولى أن يكون المبصر في جسم مشف كرى أغلظ من الهواء سطحه الكرى المحذب مما يلي البصر . والثانية أن يكون المبصر من وراء كرة من جسم مشف أغلظ من الهواء ويكون منفصلا عنها والبصر على امتداد الواصل من المبصر إلى مركز الكرة في الجانب الآخر منها . والقدر الذي أورده من بحوثه في الحالتين لا يستهان به بحال من الأحوال . وفيه المبادئ الأساسية التي يمكن النهج على منوالها لدراسة حالات أخرى . وفضلا عن ذلك فهو في خلال هذه البحوث يشير إجمالا إلى كيفية دراسة الحالة العامة وسنبين ذلك في موضعه بعد<sup>(٢)</sup> .

وقد اتبع ابن الهيثم في بحوثه طريقته المألوفة . فهو يعين خيال كل من طرفي مبصر على حسب قاعدته لتعيين موضع خيال النقطة المبصرة ، ويستنبط من ذلك ما يريد أن يستنبط من أمور تتعلق بالعظم والهيئة .

٢٢٨ - خيال المبصر الموجود في مشف أغلظ من الهواء محذب

سطح الكرى مما يلي البصر

يتناول ابن الهيثم في هذه الحالة<sup>(٣)</sup> تفصيل الأوضاع المختلفة التي يكون عليها المبصر ، على مثل المنوال الذي اتبعه في بحثه عن خيال المبصر الذي يدرك بالانعطاف عند السطح المستوي ، فيفرض المبصر خطأ مستقيما ، ويفرض مركز السطح الكرى من ورائه بالنسبة إلى البصر ، ويتوهم المستوي الذي يمر به

(١) Geschichte der Optik, Vol. I تأليف Wilde وقد استشهد به ماك في كتابه .

(٢) أنظر ختام الفقرة التالية .

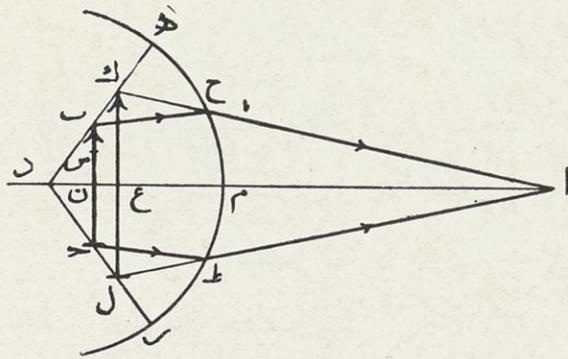
(٣) و ١١٧ - و (١٢١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

خيال المبصر الموجود في مشف أغلظ من الهواء محدب سطحه الكرى مما يلي البصر ٨١٣

وبمركز السطح الكرى ، ويفرض أولاً مركز البصر واقعاً في هذا المستوى ثم يفرضه بعد ذلك خارجاً عنه .

( أولاً ) ليكون مركز البصر في مستوى الخط المبصر ومركز الكرة .

ولنفرض أن المبصر هو خط ب - ح ( شكل ٢٠٣ ) ومركز الكرة د ،



( شكل ٢٠٣ )

ولنخرج مستوى ب - د فهو

يلقى سطح الجسم المشف على

دائرة ولتكن الميمنة بالشكل .

ولتكن ن منتصف ب - ح .

ولنفرض أن الواصل بين د و

ن عمود على ب - ح ، ولنفرض

أيضاً أن مركز البصر أ على

امتداد د ن . نصل أ د وليقطع محيط الدائرة على م .

ونخرج د ب و د - ح حتى يلقيا المحيط على ه و م على الترتيب .

فالشعاع الوارد من ب إلى أ ينعطف من نقطة من قوس م ه ولتكن

ح ، وانعطافه إلى ضد جهة العمود . فاذا أخرج أ ح فهو يلقى د ه على

نقطة ولتكن ك ، فتكون ك وفقاً للقاعدة خيال ب .

وبالمثل إذا انعطف الشعاع الوارد من - ح من نقطة ط من قوس م م ،

وأخرج أ ط حتى يلقى د م على ل ، كانت نقطة ل خيال - ح .

فيكون ك و ل طرفي خيال المبصر ب - ح .

ومن التماثل يتضح أن أ ك و أ ل متساويان ، ويتبين أن ك ل أعظم

من ب - ح ويوازيه ، وزاوية ك أ ل أعظم من زاوية ب أ - ح .

وبما أن زاوية ك أ ل أعظم من زاوية ب أ - ح ، ووضع ك ل شبيه

بوضع ب - ح ، وليس بين بعدى ب - ح و ك ل عن البصر اختلاف يؤثر

في عظم ب - ح ، فخط ك ل كما يقول بلفظه « يرى أعظم من خط ب - ح و

ك ل هو خيال خط ( ب - ح )<sup>(١)</sup> . فخط ب - ح يرى مقداره أعظم من مقداره

(١) في الأصل « ب د » .

الحقيقي، لأن خياله أعظم منه، ولأن صورته أضعف من صورته الحقيقية<sup>(١)</sup>» .  
ويقصد بالضعف ضعف الضوء عند الانعطاف .

ويستنبط ابن الهيثم من هذا أن المبصر يدرك أعظم مما هو عليه للسببين  
المذكورين في فقرة ( ٢١١ ) في الانعطاف عند السطوح المستوية .

كذلك إذا رمزنا للنقطة التي يلتقى عليها د ا و ك ل بالحرف ع ، فإن  
البصر يدرك نصف المبصر أى ( ب ن ) على ك ع ، فيدرك نصفه أعظم  
من حقيقته ، وبمثل ما تبين في الانعطاف عند السطوح المستوية إذا أخذت نقطة  
مثل س على النصف ب ن ، فإن البصر يدرك الجزء ب س من المبصر  
أيضاً أعظم من حقيقته .

بهذه الكيفية بين ابن الهيثم أن البصر وهو في مستوى الخط المبصر ومركز  
الكرة يدرك المبصر أعظم من حقيقته إذا كان الواصل بين مركز الكرة  
عموداً على المبصر ، سواء مر بمنتصفه كما لو كان المبصر ب ح ، أو مر بأحد  
طرفيه كما لو كان المبصر ب ن ، أو قطع امتداد المبصر لا المبصر نفسه كما  
لو كان المبصر الجزء ب س ، أو قياساً على هذا ( وإن لم يذكر ذلك  
ابن الهيثم ) إذا لقي الواصل المبصر على نقطة ليست منتصفه كما لو كان المبصر  
س ح مثلاً .

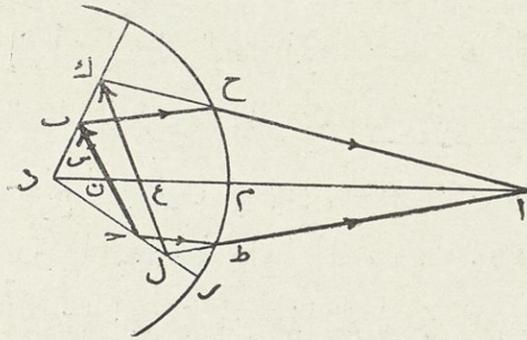
ثم يشرح ابن الهيثم على مثل هذه الطريقة الحالة التي لا يكون فيها الواصل  
بين د ا و د عموداً على المبصر أو على امتداده . ويبدأ هنا أيضاً بفرض أن  
الواصل بين مركز البصر ومركز الكرة يمر بمنتصف المبصر . ففي هذه الحالة  
أيضاً يكون طرفا خيال المبصر ب ح نقطتين مثل ك و ل ( شكل ٢٠٤ ) .  
وإن لم يكن ك ل في هذه الحالة موازياً ب ح فهو أعظم منه ، وزاوية  
رؤية ك ل أعظم من زاوية رؤية ب ح ، فالبصر ا يدرك ب ح في  
هذه الحالة أيضاً أعظم من حقيقته .

خيال المبصر الموجود في مشف أغلظ من الهواء محدب سطحه الكرى مما يلي البصر ٨١٥

وبمثل ماتبين يوضح ابن الهيثم أنه إذا روعي نصف المبصر أى ب ن ،  
أو جزء من نصفه مثل ب س ، فكلاهما يدركه البصر أعظم .

( ثانياً ) ليكن مركز البصر خارجاً عن مستوى خط المبصر ومركز المرآة .

وإذا كان البصر ١ خارجاً عن مستوى ب ح د فابن الهيثم يقيس  
الأمر على ما قد سبق بيانه في حالة السطح المستوي، وإن كان برهانه الذي



( شكل ٢٠٤ )

أورده في تلك الحالة لم يكن

سليماً كما بينا، فهو هنا يشير إلى

الفرق بين الحالتين حيث يقول

« وفي هذا الوضع زيادة على

الوضع الأول (يريد حالة السطح

المستوي) وهو أن ك ل الذي

هو خيال ب ح ، أعظم من ب ح

على الحقيقة ك ع أعظم من ب ن . وهذان الخيالان في الموضع الأول

أعنى إذا كان السطح المشف سطحاً مستوياً مساوياً للمبصرين . فخيال

ك ل و خيال ك ع هما في الزاوية أعظم من المبصرين، وهما على الحقيقة

أعظم من المبصرين «<sup>(١)</sup> في حين أنه في البرهان في حالة السطح المستوي يعد

الواصل بين طرفي الخيال والواصل بين طرفي المبصر في حكم المتساويين .

وبما أن ك ل في هذا الموضع أعظم من ب ح ، وأيضاً زاوية رؤيته

أعظم ، فالبصر يدرك ب ح أعظم .

وابن الهيثم يستنبط من كل ذلك النتيجة التي يريدتها ويقول بلفظه « فيتبين

من جميع ما بيناه في هذا الشكل أن البصر إذا أدرك مبصراً من المبصرات

وكان ذلك المبصر من وراء جسم مشف أغلظ من الهواء، وكان سطح الجسم

المشف كريباً محدبه يلي البصر، وكان مركز السطح الكرى من وراء المبصر

بالقياس إلى البصر، فإن البصر يدرك ذلك المبصر أعظم مما هو، كان البصر

(١) و (١١٩) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

على عمود من الأعمدة الخارجة من (المبصر)<sup>(١)</sup> القائمة على السطح الكرى ، أو كان خارجاً عن جميع الأعمدة الخارجة من جميع المبصر القائمة على السطح الكرى ، كان الخط الخارج من مركز البصر إلى وسط المبصر قائماً على المبصر أو كان مائلاً على المبصر . وهذه المعاني هي التي قصدنا لتبيينها في هذا الشكل « (٢) .

ونُعيد أن ابن الهيثم أورد الاعتبار الذي ذكرناه في فقرة (٢١٠) لبيان إدراك البصر للمبصر أعظم من حقيقته عقب بحثه هذا ، وصدّره بالإشارة إلى أن إدراك البصر للمبصر أعظم على الوجه المذكور ، أي بالانعطاف عند السطح الكرى في الوضع المبين فيما سبق ، يعرض فيما يرى في الماء « لأن سطح الماء كرى محدبه يلي البصر ومركز سطح الماء من وراء المبصرات التي يدركها البصر في داخل الماء » (٣) . ولا يخفى أن اعتبار سطح الماء كريباً في الاعتبار التي من هذا القبيل من المغالاة التي لا يعتد بها . ولعلّ ابن الهيثم يريد أن يتخذ رؤية الأجسام المغمورة في الماء مثلاً عملياً تعرض عليه في الطبيعة الحالة التي بحثها ، ويبرر به بحثه الذي أورده في هذا الصدد .

وإن اكتفى ابن الهيثم يبحث هذه الحالة فلم يفته في موضع آخر من المناظر<sup>(٤)</sup> أن يبين أن المبصر أياً كان موضعه ، إذا أخرجت المستقيمت الواصلة من نقاطه المختلفة إلى المركز حدث منها مخروط رأسه المركز ، أو مخروطان متقابلان رأسهما المركز . فان اعتبرنا أن موضع خيال النقطة هو نقطة التقاء المنعطف بالعمود ، فخيال المبصر يقع حتماً في حدود أحد هذين المخروطين . فهو قد يكون أعظم من المبصر أو أصغر منه أو مساوياً له ، وذلك بحسب ما إذا كان المبصر في الجسم الأغلظ والبصر في الألفظ أو بالعكس ، وبحسب ما إذا كان السطح الذي يلي المبصر محدباً أو مقعراً ، وبحسب موضع المبصر نفسه من المركز . وبهذه الكيفية يشير ابن الهيثم إجمالاً إلى الطريقة التي يمكن

(١) في الأصل « البصر » .

(٢) و (١٢٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٣) و (١٢٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٤) و (٩٥) — و (٩٦) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

يها البحث عن الأحوال الأخرى التي يدرك فيها المبصر بانعطاف واحد بما لم يتناوله هو نفسه بالشرح .

## ٢٢٩ - خيال المبصر الموجود من وراء كرة مشفة من مادة أغلظ

عن الهواء

هذه الحالة هي أقرب الحالات التي بحثها ابن الهيثم إلى حالة العدسة المحدبة الوجهين . وهو يقتصر في بحثه على وضع واحد للمبصر هو الوضع الذي تحدث له فيه ما نسميه الآن « صورة تقديرية » . وبحثه في الواقع يتناول انعطاف الأشعة الا المحورية، التي تسقط لا على امتداد المحور بل بعيداً عنه بالقرب من الحافة ، ويترتب على انعطافها ما ينجم عنه تشوه الصورة .

وابن الهيثم يصدر بحثه هذا بما يبرره ، ويذكر السبب في قصره البحث على الوضع المذكور للمبصر دون غيره من الأوضاع ، ويقول « إلا أنه قد يكون في المبصرات المألوفة ما يرى من وراء جسم مشف كرى أغلظ من الهواء ويكون محدبه يلي المبصر إذا كان المبصر من وراء الكرة من البلور أو الزجاج أو ما يجرى مجراهما ، وكان ذلك المبصر في الهواء لا في داخل الكرة . وأوضاع المبصرات التي بهذه الصفة أيضاً كثيرة وكثيرة الفنون ، إلا أن هذه المبصرات قل ما يدركها البصر وإذا أدركها فقل ما يتأملها ويميز اختلاف صورها . فليس في ذكر جميع فنونها كثير حظ . إلا أنا نقتصر على وضع واحد مخصوص من أوضاعها ، وهو أن يكون البصر والمبصر على عمود واحد قائم على سطح الجسم الكرى (١) . »

ولبيان طريقة ابن الهيثم في معالجة هذا الموضوع (٢) لنفرض أن مركز الكرة نقطة ه (شكل ٢٠٥) ولنخرج القطر ب ه د من جهتيه وليلق أحد المستويات المارة به سطح الكرة على الدائرة المبينة بالشكل . فاذا فرضنا أن الجسم المشف الأغلظ متصلًا ممتدًا إلى جميع النقاط التي تلي د من المركز ه ،

(١) و (١٢٢) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) و (١٢٢) — و (١٢٣) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

غير منقطع بمحيط الدائرة من هذه الجهة، فان بحث ابن الهيثم الذي أوردناه في فقرة ( ٢١٧ ) يدل على أنه إذا أخذت نقطة مثل ط ( شكل ٢٠٥ ) على محيط الدائرة وأجرى العمل الهندسي الوارد فيه، أمكن الاستدلال على أن شعاعاً يرد من نقطة مثل ل على امتداد القطر يمتد على المستقيم ل ط في مستوى الشكل، وينعطف عند ط في الوسط الألف إلى ضد جهة العمود . ويلقى امتداد القطر من جهة ب على نقطة وتكن ١ . وبالمثل يمكن الاستدلال أيضاً على أن شعاعاً يرد من نقطة مثل ح أقرب إلى د من النقطة الأولى ل (١) يمتد على المستقيم ح > وينعطف عند > ويلقى القطر الخارج من جهة ب على نقطة ١ نفسها .

فاذا فرضنا الآن أن الوسط المشف الغليظ كرة، وفصل الانعطاف محيط الدائرة المبين بالشكل، فمحيط الدائرة يقطع ل ط على نقطة وتكن ن، ويقطع ح > على نقطة وتكن م . وإذا فرضنا أن شعاعاً يمتد على استقامة ط ن في الكرة الغليظة فهو ينعطف عند ن إلى خلاف جهة العمود، فيلقى امتداد القطر على نقطة وتكن ع . وبالمثل الشعاع الممتد على استقامة ح م في الكرة إذا انعطف عند م فهو ينعطف إلى ضد جهة العمود، فيلقى امتداد القطر على نقطة وتكن ك . فاذا فرضنا أن ك ع هو المبصر، تبين وفقاً لقاعدة قبول العكس أن الشعاع ك م الوارد من أحد طرفيه ينعطف أولاً على امتداد م >، ثم ثانياً على امتداد > ١ . والشعاع ع ن الوارد من طرفه الآخر ينعطف أولاً على امتداد ن ط، ثم ثانياً على امتداد ط ١ . فاذا كانت نقطة ١ مركز البصر فابن الهيثم يستنبط من هذا أن البصر يدرك خيال ك من سمت ١ >، وخيال ع من سمت ١ ط .

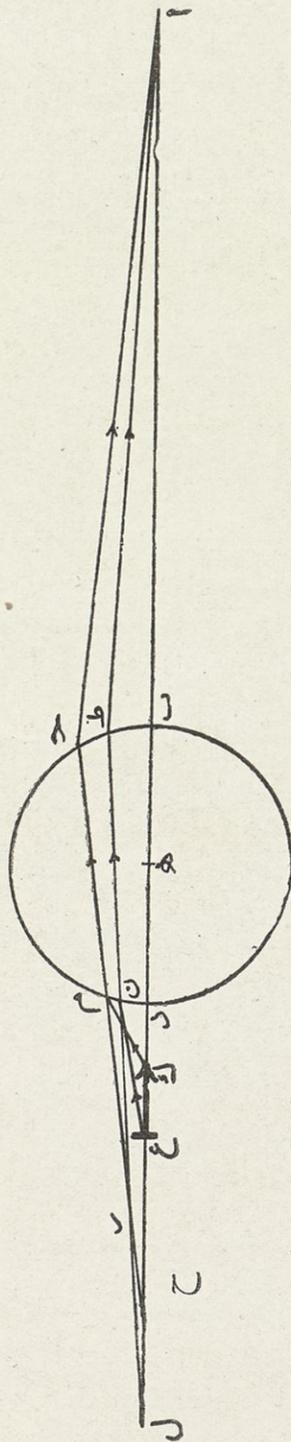
(١) يجدر بنا أن نشير هنا إلى أن نطق ل و ح قد أبدل وضع احدهما بوضع الأخرى في الشكل الملحق بهذا البحث على ما هو وارد عليه في المخطوطات وأيضاً في التنقيح، وهو لا شك خطأ . وقد تنبه الفارسي إلى هذا الأمر . وخطأ الشكل قد يكون من الناسخ . وما يوجد من الأشكال في المخطوطات لا يمكن الاعتماد عليها كثيراً . وفي نظرنا أنه مالم يترتب على الخطأ في الشكل خطأ في منطق البرهان ينحل به فمن الانصاف التجاوز عنه .

وبالمثل يدرك خيال أية نقطة من المبصر فيما بين ك و ع من سمت يقع بين سمتي ١ و ٦ ط . فاذا توهمنا أن الشكل قد أدير حول المحور

١ هـ ل ، حدث من دوران ط ح شكل مستدير كالحلقة ، ومن دوران م ن آخر كالحلقة أيضاً ، ويتبين أن الأضواء الواردة من نقاط المبصر ك ع إلى نقاط الشكل الحلقي الثاني تنعطف من نقاط الشكل الحلقي الثاني أولاً ثم من نقاط الشكل الحلقي الأول ثانياً وترد بعد ذلك إلى البصر ١ .

تلك هي الفكرة الأساسية التي عالج بها ابن الهيثم هذه الحالة . وهو يستنبط من ذلك أن البصر ١ يدرك المبصر ك ع في هذه الحالة ولكن يدركه على صورة تخالف حقيقته .

وابن الهيثم يذكر في هذا الصدد اعتباراً للتحقق من هذا الأمر عملياً (١) . فاذا أتى بقطعة صغيرة من الشمع « على قدر الحصاة » وجعلت على شكل كرة صغيرة ، وسودت لكي تظهر للبصر بسهولة ، وغرزت على رأس إبرة ، ثم أتى بكرة من البلور وجعلت كرة الشمع على جانب منها باستواء مركزها ، ثم نظر من الجانب الآخر ببصر واحد ، وجعل البصر على امتداد الخط الواصل بين مركزي الكرتين ، أمكن بتغيير موضع كرة الشمع بتقديمها نحو الكرة المشفة أو تأخيرها عنها ، الحصول على الموضع المناسب



(  
ر  
م  
ن  
)

الذي يدرك البصر فيه صورة كرة الشمع كحلقة مستديرة من السواد .

وهو يذ كر بعد ذلك نبذة قصيرة عما يرى إذا كان الجسم المشف أسطوانى الشكل ، وكان المبصر ك ع ومركز البصر ا على امتداد قطر واحد من أقطارها . فالدائرة المبينة بالشكل تكون مقطع سطحه بالمستوى العمود على سهم الأسطوانة ، المار بالقطر الذى يمتد عليه المبصر ويقع عليه مركز البصر .

ففى هذه الحالة أيضاً يتبين أن الضوء الوارد من ك ع إلى قوس م ن ينعطف إلى قوس ح ط ثم إلى ا . وبالمثل الضوء الوارد إلى القوس م ن النظرية لقوس م ن ينعطف إلى قوس ح ط النظرية لقوس ح ط ، ثم إلى ا أيضاً . فيدرك البصر ا بهذه الكيفية صورتين للمبصر ويقول « ولكن ليس تكون هذه الصورة مستديرة ، لأن شكل ا ح م ك إذا دار حول خط ا ك فليس يمر قوس ح ط بجميع سطح الأسطوانة . ولكن ربما انعطفت الصورة من بعض قطوع الاسطوانة ، إلا أنها لا تكون متصلة على ( استدارة )<sup>(١)</sup> لأن السطح الذى يخرج من خط ا ك ويمر بسهم الاسطوانة يحدث فى سطح الأسطوانة الذى يلي بصر ا خطأ مستقيماً يمر بنقطة ب ممتداً فى طول الاسطوانة ، ولا تنعطف صورة خط ك ع من ذلك الخط المستقيم ، لأن خط ك ب يكون عموداً على ذلك الخط المستقيم . فليس تكون الصورة مستديرة إذا كان الجسم أسطوانياً ، بل تكون صورتين منعطفة إحداهما عن الأخرى فيرى خط ك ع اثنين . »<sup>(٢)</sup>

وقد أشرنا فيما سبق إلى الخطأ فى الشكل الملحق بهذا البحث على الصورة التى ورد عليها فى المخطوطات ، ولكنه خطأ لم يترتب عليه إخلال فى الشرح أو اضطراب فى المعنى . وإذا تجاوزنا عنه أو صححناه بما يتفق وسياق أقوال ابن الهيثم بحسب ما اتضح فى فقرة ( ٢١٧ ) أصبح هذا البحث الذى أوردناه هنا من

(١) فى الأصل « استقامة » .

(٢) و (١٢٤) ، و (١٢٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

أعظم بحوثه خطورة وأجلها شأناً . ولا يقلل من خطره طريقة ابن الهيثم الخاصة في عرضه . ويتضح هذا إذا عدلنا قليلا الفروض التي بنى عليها البحث في حدود المعلومات التي لاشك أنه قد أحاط بها وأدركها حق الإدراك . فاذا سلمنا أن الشعاع ك م ( شكل ٢٠٥ ) ينعطف أولاً على م > ثم على م > ١ ، وأن الشعاع ع ن ينعطف على ن ط ثم ط ١ ، فمعنى هذا وفقاً لقاعدة قبول العكس أنه إذا كانت ١ نقطة مضيئة فالشعاع ١ ط ينعطف على ط ن ، والشعاع ١ > ينعطف على م > م ، فاذا كان الجسم المشف الأغلظ متصلاً ممتداً إلى ما وراء القوس م ن د ، فالشعاعان المنعطفان يلتقيان على نقطة مثل م ، ثم ينفرجان ماراً أولهما بنقطة ل على ما نسميه الآن المحور وماراً ثانيهما بنقطة ح عليه . فاذا أدير الشكل قليلا حول المحور بحيث يحدث من دوران القوس ح ط قطعة صغيرة من السطح الكرى ، ويحدث من دوران م قوس صغيرة بمشابة خط قصير عمود على مستوى الشكل ، تبين أن الأشعة الواقعة من ١ على سطح القطعة المذكورة تنعطف مارة أولاً بالخط القصير الذي تحدته نقطة م ثم بالخط ح ل الذي هو على امتداد المحور . وهذا بايجاز هو الزيع الحادث بالانعطاف عند السطح الكرى ، وهذا أيضاً معنى « اللانقطية » .

وليس الأمر مقصوراً على هذا . فالطريقة التي عالج بها ابن الهيثم الموضوع لها في ذاتها قيمتها وخطورتها . إذ يتضح بقليل من التأمل أن ابن الهيثم لكي يبين ما يؤول إليه انعطاف الضوء الوارد من المبصر ك ع عند نفوذه من الوسط الألف في الأغلظ ، ثم من الأغلظ إلى الألف ، راعى أولاً ما يؤول إليه انعطاف الضوء الوارد من ك ع إلى السطح الذي يليه ، وبين على طريقته أن الأمر يؤول إلى إعتبار الضوء عند انعطافه الثاني كأنه وارد من ح ل في الجسم الأغلظ ، إذا اعتبرناه متصلاً ملتصماً إلى نقطة ل وما يليها . فكان المبصر ك ع الموجود في الجسم الألف قد استبدل به عند مراعاة الانعطاف الثاني مبصر تقديري هو ح ل موجود في الجسم الأغلظ ، وهذه هي الطريقة التي

تتبع في الوقت الحاضر لبحث الموضوعات المشابهة لهذا الموضوع . فعند البحث عن خيال يحدث للمبصر بانعطافين أو أكثر ، يبحث أولاً عن الخيال الذي يحدث له بانعطاف ضروئه عند السطح الأول الواقع عليه الضوء رأساً وهو ينفذ من الوسط الأول إلى الوسط الثاني ، فإذا تعين هذا الخيال أغفل المبصر نفسه وأغفل الوسط الأول وعد الخيال في حكم مبصر جديد حقيقياً كان أو تقديرياً موجوداً في الوسط الثاني ، وبحث عن خياله الذي يحدث بانعطاف الضوء الواردمنه في الواقع أو في التقدير وهو ينفذ عند السطح الثاني من الوسط الثاني إلى الوسط الثالث ، وهكذا بحسب عدد السطوح وعدد الانعطافات .

## الفصل الثالث

في

محوث ابن الهيثم عن الظواهر الجوية المترتبة على انعطاف الضوء

٢٣٠ — مجل ماعنى ابن الهيثم بمحوث عن الظواهر الجوية النى تنجم

عن انعطاف الضوء

عاج ابن الهيثم شرح كثير من الظواهر التى تحدث عن انعطاف الضوء فى الطبقة الهوائية المحيطة بالكرة الأرضية، وهى ظواهر لها علاقة بعلم الفلك والأرصاد الفلكية خاصة. وبحوثة فى الموضوع هى من غير شك من أجل بحوثة العلمية. وقد سلك فى تتبعها سيلا جديراً بالإشارة إليه فى هذا المقام. فأول ما أورده فى كتابه المناظر مما يتعلق بهذا الموضوع، كيفية الاستدلال بالاعتبار على أن الضوء الوارد من الأجرام السماوية يعانى عند نفوذه فى الطبقة الهوائية المحيطة بالأرض انعطافاً. والغرض الذى يرمى إليه من وراء الاعتبار التحقق من حدوث هذا الانعطاف، والتحقق من الاتجاه الذى ينعطف إليه الضوء، هل هو إلى جهة العمود، أو هو إلى ضد جهة العمود؟ حتى إذا ثبت بالاعتبار أن الانعطاف هو إلى جهة العمود، استدل من ذلك على أن الضوء الوارد من الأجرام السماوية يرد من وسط أल्प وينعطف فى وسط أغلظ، فيكون ما يسميه هو «جسم السماء» أشد لطافة وأشد شفيفاً من «جسم الهواء».

فاذا ما فرغ من هذا البحث استعان بالقياس فى بيان ما يترتب على

حدوث هذا الانعطاف من الأمور التي لها علاقة بالرصد كاختلاف أوضاع الكواكب وأعظامها ، وأبعاد ما بين بعضها والآخر .

وسنوالى فيما يلى بالتفصيل سرد هذه البحوث ومناقشة ماتتضمنه من المعانى

### ٢٣١ - ذات الحلقى

وقد أورد ابن الهيثم لىكى يثبت أن جسم السماء أشد لطافة وشفيفاً من جسم الهواء اعتبارين اثنين . أحدهما وهو الذى نتناوله بالشرح أولاً ، الاعتبار « بذات الحلقى » . وابن الهيثم قد ذكر هذا الاعتبار بشىء من الإيجاز ، دون أن يضمه وصف الآلة أو بيان ما تستخدم الآلة من أجله . ونقدم له فيما يلى بذكر هذه الآلة ووصفها على القدر اللازم لتوضيح الاعتبار .

وذات الحلقى آلة فلكية قديمة ذكرها بطليموس فى المجسطى ، وهو فى صدد بيان كيفية تعيين موضع القمر بالاضافة إلى دائرة البروج (١) . والآلة بحسب الوصف الوارد فى المجسطى تتركب من حلقات مستديرة بعضها فى داخل بعض ، قابلة للدوران حول محاور مثبتة بكيفية خاصة بحيث تؤدى كل حلقة منها غرضاً خاصاً . ومن حلقاتها ثنتان مثبتتان إحداهما بالأخرى تثبيتاً محكماً بحيث يكون مستوى إحداهما عموداً على مستوى الأخرى ، تقوم إحداهما مقام دائرة البروج ( انظر شكل ٢٠٦ ) وهى الدائرة التى يمثل مستواها فلك الأرض حول الشمس ، والتى تدل فى إصطلاح الفلك القديم على مدار الشمس فى البروج ، وهذه الحلقة مقسمة « باجزاء الدرج وأقسامها ما أمكن » . وتقوم اثنتان مقام الدائرة « المارة بالأقطاب (٢) الأربعة » بحسب التعبير الوارد فى المجسطى . أى أن قطرها ٢ ب العمود على مستوى الأولى يمثل محور دائرة البروج ، والقطر حد الذى يحيط مع هذا بزاوية قدرها  $\frac{1}{2}$  ٢٣ درجة بالتقريب

(١) المقالة الخامسة من كتاب المجسطى تحرير نصير الدين الطوسى — مخطوط دار

الكتب المصرية .

(٢) اللفظ انوارد فى المخطوط فى جميع المواضع « الأقطار » وقد صححناه بما يتفق

وانسجام المعنى .



معدل النهار من المارة بالأقطاب ، وتدان اسطوانيان ناتئان إلى الخارج مثبتت فيهما حلقة ، بحيث تكون قابلة للدوران حول السهم المشترك للوتين ، وتحيط بالحلقات جميعاً وتقوم مقام دائرة نصف النهار .

ويقول الطوسي في تحريره للمجسطى « وفي بعض النسخ جعلت العرضيتين معاً داخل البروج ، لتتم دورتهما من غير أن يزاحم إحداهما وتدا قطبي معدل النهار وذلك أصوب » . وقد جعلنا الشكل الموضح لتركيب الآلة على هذه الصفة . ثم قال « وجعلت حلقة نصف النهار أيضاً مضاعفة خارجتها مقسومة بالأجزاء لتتحرك الداخلة فيها ، فيرتفع القطب في كل أفق بقدر عرضه . وصارت الحلق سبعة » (١) .

ذلك هو وصف ذات الحلق وذكر حلقاتها المختلفة وبيان أوضاع هذه الحلقات وكيفية دورانها بعضها بالاضافة إلى الآخر . وقد شاع استعمال ذات الحلق في العصر القديم وعند الاسلاميين وعند أهل أوربا من بعدهم ، وكانت تعرف لديهم باسم « الارملا » (٢) .

وقد ورد أيضاً في المجسطى ذكر كيفية إقامة هذه الآلة وكيفية استعمالها لتعيين موضع القمر من الشمس ، أو بالأحرى من دائرة البروج نوره فيما يلي نقلا عن تحرير الطوسي ، قال بلفظه .

« فإذا نصبنا حلقة نصف النهار نصبا ثابتا في سطح دائرة نصف النهار ، قاطعا سطحها سطح الأفق على قوائم ، مرتفعا أحد قطبي معدل النهار منها عن موازاة سطح الأفق بقدر عرض البقعة ، كان مدار الحلق داخلها حول قطبي معدل النهار شبيهاً بحركة الكل . فلما نصبناها ، ففتى تهيأ كون الشمس والقمر معا ظاهرين ، جعلنا العرضية الخارجة قاطعة لفلك البروج على الجزء الذي فيه الشمس في ذلك الوقت ، وأدرنا المارة إلى أن يصير ذلك التقاطع محاذياً للشمس ، فاستظل الحلقتان بنفسهما . وإن كان القياس من كوكب غير الشمس

(١) ص (٤٧) من مخطوط دار الكتب المصرية .

Armillar (٢)

فإلى أن يرى الكوكب في موضعه من حلقة البروج لاصقاً ببسيطها معا، وحينئذ تصير حلقة البروج في سطح دائرة البروج وعلى وضعه. ثم كنا ندير العرضية الداخلة نحو القمر أو غيره مما نريد قياسه، وندير داخلتها الصغيرة نحو القطبين إلى أن يرى القمر بالثقبين معا، فيكون موضع تقاطع هذه العرضية وحلقة البروج من حلقة البروج، موضع القمر في الطول، وما بين وسط الثقبية وحلقة البروج من أجزاء العرضية الداخلة عرض القمر» (١)

٢٣٢ - الاعتبار بذات الحلق الاستدلال على الانعطاف في الطبقة الهوائية  
والاعتبار بذات الحلق للغرض الذي أراده ابن الهيثم يتطلب أن تنصب الآلة نصبها الصحيحة، بحيث يمر امتداد الواصل بين موضعي قطبي معدل النهار من حلقة دائرة نصف النهار بالنجم القطبي، وبحيث يكون بسيط هذه الحلقة رأسياً، ثم يسوى بسيط العرضية الداخلة ببسيط المارة بالأقطاب، فإذا أديرت بعد ذلك المارة بالأقطاب حول قطبي معدل النهار حتى يوازي بسيطها نجماً من النجوم الثوابت، وأديرت حلقتها الصغيرة حتى يرى النجم على امتداد خط الثقبين، كانت الزاوية المحصورة بين خط الثقبين وبين محور قطبي معدل النهار، هي الزاوية التي يوترها بعد النجم المذكور عن القطب عند موضع الرصد. ونظراً لانعدام اختلاف المنظر (٢) من جراء البعد الشاسع، تكون تلك الزاوية هي الزاوية التي يوترها بعد النجم عن القطب عند مركز الأرض، أي عند مركز العالم بحسب اصطلاح الفلك القديم.

واعتبار ابن الهيثم يتلخص في تخيير نجم من النجوم الثوابت التي تمر بسمت الرأس أو قريباً جداً منه، وقياس هذه الزاوية والنجم أو لا عند الأفق أو قريباً جداً منه، ثم قياسها ثانياً والنجم عند سمت الرأس أو قريباً جداً منه. ولخطورة هذا الاعتبار نورد فيما يلي ما جاء في وصفه، قال بلفظه.

(١) ص (٤٧) من مخطوط دار الكتب المصرية.

(٢) « اختلاف المنظر » هو الاصطلاح القديم الذي كانوا يطلقونه على الظاهرة التي يدل

عليها الآن لفظ « Parallax ».

« فليعتمد ( أى المعتبر ) الآلة التى تسمى ذات الحلق وينصبها فى موضع مرتفع من الأرض ، بحيث يظهر منه أفق المشرق وبنصبه ذات الحلق التى تخصها . وهى أن تجعل الحلقة التى فيها التى تقوم مقام دائرة نصف النهار فى سطح دائرة نصف النهار ، ويكون القطب الذى فيها مرتفعا عن الأرض بقدر ارتفاع قطب العالم عن أفق الموضع الذى تنصب فيه . فاذا كان فى الليل اعتمد كوكبا من الكواكب الثابتة الكبار التى تسمى بالرأس فى ذلك الموضع ، أو قريبا جدا من سمت الرأس ، ويراعيه فى وقت طلوعه من أفق المشرق . فاذا طلع الكوكب فليدر الحلقة من ذات الحلق التى تدور حول قطب معدل النهار إلى أن توازى الكوكب ، ويحقق موضع الكوكب من الحلقة . فيحصل له بذلك بعد الكوكب عن قطب العالم . ثم يراعى الكوكب إلى أن يصير إلى دائرة نصف النهار ، ويحرك الحلقة التى كان حركها حتى توازى الكوكب . فيحصل له بذلك بعد الكوكب عن قطب العالم عند كونه على سمت الرأس أو قريبا جداً من سمت الرأس . فاذا فعل المعتبر ذلك فإنه يجد بعد الكوكب عن قطب العالم فى وقت طلوعه أقل من بعده عن قطب العالم (عند) كونه على سمت الرأس (١) .

والنتيجة التى يستنبطها ابن الهيثم من هذه التجربة « أن إدراك البصر للكواكب إنما هو بالانعطاف لاعلى استقامة » . وهو يبين السبب ويقول « وذلك أن الكوكب الثابت يتحرك أبدا على دائرة واحدة من الدوائر الموازية لمعدل النهار وليس يخرج عنها ، ولا يظهر خروجه عنها إلا فى الزمان الطويل . فلو كان ( البصر ) (٢) يدرك الكواكب على استقامة لكانت خطوط الشعاع تمتد من البصر إلى الكواكب على استقامة ، وكانت صورة الكواكب تمتد على خطوط الشعاع على استقامة إلى أن تصل إلى البصر . ولو كانت الصورة تمتد من الكواكب إلى (البصر) (٣) على استقامة لكان البصر يدرك الكوكب فى موضعه . فلو كان

(١) و(٥٦) ، و(٥٧) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر . ولم يرد اللفظ المحصور بين القوسين فى الأصل .

(٢) الوارد فى الأصل « اللذى »

(٣) الوارد فى الأصل « المبصر »

يبدرك الكوكب في موضعه لكان يجد بعد الكوكب الثابت عن قطب العالم  
أبدأ في الليلة الواحدة بعداً واحداً لا يتغير... فمن اختلاف بعد الكوكب  
الواحد في الليلة الواحدة عن قطب العالم في رأى العين، يظهر ظهوراً بينا تسقط  
معه الشبهات، أن إدراك البصر للكواكب إنما هو بالانعطاف<sup>(١)</sup> .

ويعود ابن الهيثم بعد قليل إلى تجربته هذه مرة أخرى ليبين بها أن  
الانعطاف في الهواء هو من قبيل الانعطاف من الألف في الأغاظ. والفكرة  
الأساسية بسيطة وسهلة الإدراك. فإذا كان الكوكب يمر بسمت الرأس  
فضوؤه وهو عند السميت يرد إلى الراصد من غير انعطاف، فيرصد الكوكب  
في موضعه. فإذا دل الرصد على أن بعده عن القطب وهو عند السميت أعظم  
من بعده عن القطب وهو بالقرب من الأفق، فذلك يدل على أنه وهو عند  
الأفق ينعطف ضوؤه في مستوى المستقيمين، الواصل من موضع الراصد إلى  
الكوكب والواصل من موضع الراصد إلى السميت، انعطافاً إلى جهة العمود.  
وابن الهيثم يتوسع في تفصيل هذا<sup>(٢)</sup> على آتم ما يمكن من الوضوح والدقة.  
فإذا فرضنا أن نقطة هـ (شكل ٢٠٧) مركز الأرض وكان قطرها  
المخرج إلى د و د<sub>١</sub> هو محور دوران الأرض حول نفسها، وتوهنا الكرة  
التي مركزها مركز الأرض وقطرها د هـ د<sub>١</sub>، فبحسب الاصطلاحات الفلكية  
القديمة تكون هذه الكرة هي فلك الكواكب الثابتة، أو كرة السماء، وتكون  
نقطة هـ ما كان يسمى مركز العالم. ولما كان محور دوران الأرض يشير نحو  
النجم القطبي فليكن النجم القطبي على امتد هـ د، فتكون نقطة د موضع  
النجم القطبي من كرة السماء، وتمثل في الشكل ما كان يسمى قطب العالم. والنجوم  
الثوابت تعد كأنها ثابتة في كرة السماء<sup>(٣)</sup>. وتعد كرة السماء كأنها تدور حول  
القطر د هـ د<sub>١</sub> دورة كاملة في اليوم الواحد، والأرض ساكنة في موضعها  
وثابتة لا تدور.

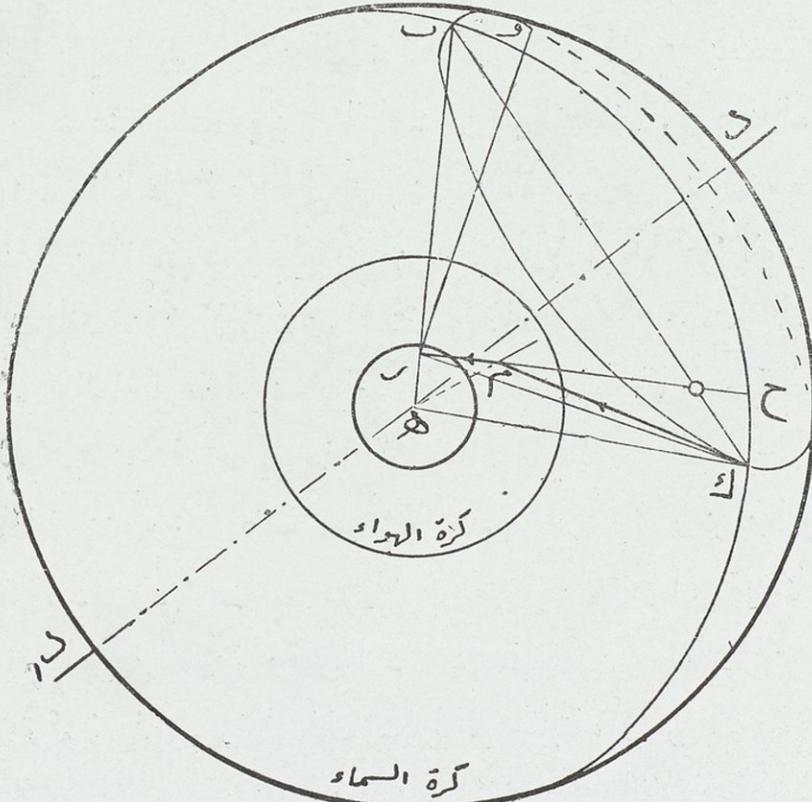
(١) و (٥٧) — و (٥٨) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر.

(٢) و (٥٩) — و (٦١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر.

(٣) يجدر بنا الإشارة إلى ما ذكره ابن الهيثم في أقواله السابقة عن تغير أوضاع النجوم

الثوابت مع الزمان الطويل، وهو أمر له خطورته وحقيق بنا أن نؤكد.

فاذا فرضنا أن الموضع من سطح الأرض الذي يرصد منه الكوكب نقطة م فان هذه النقطة تمثل ما يعبر عنه ابن الهيثم بمركز البصر . والمستوى المار بمحور دوران الأرض ونقطة م هو ما نسميه الآن مستوى الزوال . وهو بحسب اصطلاحات الفلك القديم المستوى المار بمحور دوران ذلك الكوكب الشابت والموضع المفروض على سطح الأرض . وإذا أخرج هذا



( شكل ٢٠٧ )

المستوى لتي كرة السماء على محيط دائرة ، هي التي كانت تسمى دائرة نصف النهار . وهو يلقي أيضاً كرة الأرض على دائرة يكون خط الطول للمكان المعين على سطح الأرض نصف محيطها . والمستقيم الواصل من ه إلى م إذا أخرج وقع سمت الرأس بالنسبة إلى نقطة م على امتداده . وهو يلقي كرة السماء على نقطة ولتكن ب الميمنة بالشكل .

وبما أن الضوء الممتد على سمت العمود لا ينعطف ، تبين أن الكوكب إذا كان عند السمت وصل ضوءه إلى م من غير انعطاف ، فيدركه البصر على

امتداد ه م ، ويدركه في موضعه الحقيقي من كرة السماء ، وتمثل نقطة ب إذن موضعه الحقيقي . فاذا توهمنا الشكل قدأدير دورة كاملة حول د ه د ، حدث من دوران ب في سطح كرة السماء محيط دائرة ، يكون هو في اصطلاح القدماء المدار الحقيقي الذي يدور عليه الكوكب الثابت حول القطب دورته اليومية . وليكن محيط هذه الدائرة و ب ك . وإذا قيس بعد الكوكب الثابت عن قطب العالم والكوكب عند سمت الرأس ، كان هذا البعد هو زاوية ب ه د ، لأن اختلاف المنظر بالنسبة إلى الكوكب الثابت في حكم العدم ، وتكون هذه الزاوية هي المقدار الحقيقي لبعده الزاوى عن القطب أياً كان موضع الكوكب . والمستوى الذى يلمس كرة الأرض عند م هو أفق هذا المكان . وإذا توهمنا هذا المستوى وقد أخرج ، فان محيط دائرة و ب ك يلقاه على نقطتين ولتكونا ك و . وتمثل إحداهما ولتكن ك الموضع الحقيقي للكوكب عند شروقه ، وتمثل الأخرى موضعه الحقيقي عند أفوله .

واعتبار ابن الهيثم يدل على أن بعد الكوكب عن القطب والكوكب عند الأفق أو قريباً منه ، أصغر من بعده وهو عند السميت . فالكوكب وموضعه الحقيقي ك لا يدرك عند الاعتبار عند نقطة ك ، نفسها ، بل يدرك في موضع من كرة السماء أقرب إلى القطب د من محيط الدائرة و ب ك . وذلك لأنه لما كان الموضع الحقيقي للكوكب هو نقطة ك والضوء الوارد من ك إلى م إذا انعطف ينعطف في مستوى ب ه ك ، ومستوى ب ه ك يلقى كرة السماء على عزيمة ولتكن ب ح ك كالمبين بالشكل ، فإنه إذا كان امتداد الضوء في السماء على سمت ك م ، وانعطافه في كرة الهواء (نحو العمود) على سمت م م ، فان المستقيم م م إذا أخرج لقي كرة السماء على نقطة من قوس ب ح ك ، ولتكن نقطة ح الميمنة بالشكل . فلا يرى الكوكب عند موضعه الحقيقي ك وإنما يرى عند ح ، حيث يكون بعده الزاوى عن القطب د بحسب الرؤية أصغر من بعده الزاوى في الواقع . أما إذا كان انعطاف الضوء إلى ضد جهة العمود ، كان البعد الزاوى بحسب الرؤية أعظم . فاذا ثبت الأمر الأول بالاعتبار

يتبين أن انعطاف الضوء من السماء في الهواء هو من قبيل الانعطاف من وسط  
الطف في وسط أغلظ .

تلك هي الفكرة التي تتضمنها أقوال ابن الهيثم في هذا الشأن . وهو يختم  
أقواله هذه بقوله « فقد تبين أن ما يوجد بالاعتبار من رؤية الكواكب ، يدل  
دليلاً برهانياً على أن إدراك البصر للكواكب إنما هو بالانعطاف ، وأن جسم  
الهواء أغلظ من جسم السماء ، وأن جسم السماء أصفى وأشد شفيفاً من جسم  
الهواء ، وذلك ما أردنا أن نبين » (١)

### ٢٣٣ - الاعتبار بالقمر للاستدلال على الانعطاف في الطبقة الهوائية

والاعتبار الثاني الذي ذكره ابن الهيثم هو الاعتبار بالقمر . والفكرة  
الأساسية في هذا الاعتبار أنه إذا حسب بالرجوع إلى التقاويم والجداول  
الفلكية ارتفاع القمر ( أى تمام بعده عن السميت من الزاوية القائمة ) في  
موضع مخصوص من سطح الأرض ، في وقت معلوم من ليلة معلومة ، والقمر  
قريب من الأفق ، ثم عين ارتفاعه عملياً بواسطة الآلة الفلكية التي تعين بها  
الارتفاعات ، ولعلها الآلة التي كانت تسمى ذات الشعبتين (٢) ، وذلك في تلك  
اللحظة نفسها التي حسب ارتفاع القمر فيها ، فإن المقدارين مقدار الارتفاع  
المحسوب ومقدار الارتفاع المرصود عملياً ، لا يوجدان متساويين . وابن الهيثم  
في وصف هذا الاعتبار يقول بلفظه « إنه إذا قُرِّم القمر وحقق موضعه  
في ساعة قريبة من وقت طلوعه ومن بعد طلوعه ، في ليلة معلومة في موضع  
معلوم ، وحصل من ( ذلك ) موضعه عن قطب العالم ، ثم نصبت آلة الساعات  
في تلك الليلة من قبل طلوع القمر ، وعلقت آلة يعرف بها الارتفاع ، وروعي  
القمر إلى أن يطلع ، وينتهي الزمان إلى الدقيقة بعينها من الساعة بعينها التي  
(قوم) لها القمر ، وحرر ارتفاع القمر في ذلك الوقت ، وحصل بعده عن سميت  
الرأس ، واعتمد أن تكون الآلة التي يوجد بها الارتفاع مقسومة بدقائق وبأدق  
ما يكون من الأجزاء ، فإنه يوجد بعد القمر عن سميت الرأس في ذلك الوقت

(١) و (٦١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

(٢) أنظر التذييل على هذا الفصل .



الشكل أيضاً . وإذا أخرج  $\alpha$  فهو يلقي امتداد  $\beta$   $\gamma$  على نقطة ، ولتكن  $\mu$  . فالبصر عند  $\alpha$  يدرك لنقطة  $\gamma$  خيالا عند  $\mu$  . ويبدو القمر الذي موضعه الحقيقي عند  $\gamma$  كأنه عند  $\mu$  .

وبالمثل إذا فرضنا أن القمر في موضع آخر أقرب إلى الأفق ، وليكن مركزه نقطة  $\tau$  ، وفرضنا لتبسيط الشكل أن نقطة  $\tau$  في مستوى الشكل نفسه ، فالضوء الوارد من  $\tau$  إلى  $\alpha$  ينعطف في الهواء عند نقطة مثل  $\eta$  ، فيرد على امتداد  $\tau \eta$  وينعطف على امتداد  $\eta \alpha$  إلى جهة العمود .

وإذا أخرج  $\alpha$   $\eta$  فهو يلقي امتداد  $\beta \tau$  على نقطة ، ولتكن  $\nu$  ، فيبدو القمر الذي موضعه الحقيقي  $\tau$  كأنه عند  $\nu$  .

وإذا كان البعدان  $\beta \tau$  و  $\beta \nu$  متساويين ، فمن الممكن بيان أن  $\beta \nu$  أعظم من  $\beta \mu$  (١) .

هذه الأمور يوضحها الفارسي على هذا المنوال . وهو أيضاً يناقش الناحية الفلكية من الموضوع بحسب المعلومات التي كانت معروفة في عصره . ويبين أن الوارد في المجسطى ، أن بطليموس رصد القمر بذات الشعبتين في دائرة نصف النهار ، فوجد تمام ارتفاعه بها ٥٠ درجة و ٦٠ دقيقة ، وكان تمام ارتفاعه الحقيقي ٤٩ درجة و ٦٠ و ٣٠ دقيقة . فكانت زاوية اختلاف المنظر درجة وسبع دقائق (٢) .

إلى أن قال « فزاوية  $\alpha \mu \beta$  هي زاوية اختلاف المنظر المستخرجة من الرصد ، وقد ظنوا أنها  $\alpha \beta \gamma$   $\mu$  موضع خيال القمر على ما نبين في الخاتمة ، وظنوه موضع القمر أعني  $\alpha \beta \gamma$   $\mu$  بعد خيال القمر وظنوه بعد القمر وهو  $\alpha \gamma$  ، وهو ( أى بعد الخيال ) أعظم من بعد القمر . ثم استخرجوا بالحساب زاوية  $\alpha \tau \beta$  من  $\alpha \beta \nu$  .

(١) يتبين هذا من رسم دقيق . وأيضا يمكن إثبات أن نقطة التقاء امتداد المنعطف بالعمود إذا كان الانعطاف عند السطح الكرى المحذب من الألف في الأغلب يزداد بعدها من السطح

كلما زاد بعد نقطة الانعطاف عن القطب .

(٢) وقد ورد هذا أيضاً في تحرير المجسطى لنصير الدين الطوسي (مخطوط دار الكتب

ونرسم على مركز ب في سطح السميتية دائرة م س ، ونخرج ب ط حتى يقطعه على س . ونصل ا س . فلأن زاوية ا ح ب عندهم هي ا م ب في الواقع ، فتكون زاوية ا ط ب المستخرجة منها هي ا س ب فيكون قدر ا ط ب على ما في الجداول أصغر منها في نفسها .

(و) لاناخرج ا ه حتى يقطع ب س على ن فتكون (ن) أبعد عن المركز من س على ما بين في الخاتمة . فأس (أى نخط ا س) يقطع دائرة د ه على نقطة أقرب إلى الأفق من ه ٦ ا س هو سمت الكوكب المستخرج بالحساب ، فأه (أى نخط ا ه) وهو سمت المرصود أقرب إلى سمت الرأس .

والفارسي يشير في هذا الصدد إلى ما يوجد لو كان القمر أقرب إلى سمت الرأس من الموضع ح الذي اتخذ الرصد فيه أساساً للحساب ، فيعقب على أقواله المذكورة ويقول « وبمثل ذلك تبين أن القمر إذا كان أقرب إلى سمت الرأس من ح كان الأمر بالخلاف ، أعني يكون تمام ارتفاعه المرصود أعظم من التمام المحسوب ، وقد استبان من ذلك أن بعد القمر المستخرج بذلك الرصد هو أعظم من بعده في نفسه ، لأن بعده في نفسه ا ح والمرصود ا م ، وإنما هو بعد خيال القمر . فلتعرف ذلك . » (١)

ولكننا لا نرى في هذا ما ينقض النتيجة التي ذكرها ابن الهيثم بلفظه إذا كان أساس الحساب والتقويم هو ما ورد فعلاً في المجسطي ، لأن هذا الأساس هو نتيجة الرصد وتمام ارتفاع القمر حوالي ٥٠ درجة . وابن الهيثم يريد في الاعتبار تقويم القمر في ساعة بعد طلوعه ولكنها قريبة من وقت طلوعه ، فيكون التقويم حالة كون القمر أقرب إلى الأفق في وضع شبيه بوضع نقطة ط في الشكل ، والأساس الذي انبنى عليه التقويم في الحساب نتيجة الرصد حالة كونه أقرب إلى سمت في وضع شبيه بوضع نقطة ح في الشكل . وتنتفي على هذا الوضع الحالة التي يشير إليها الفارسي .

### ٢٣٤ - مذهب ابن الهيثم في تدرج الهواء من هيبة اللطافة

ابن الهيثم في الاعتبارين اللذين ذكرناهما فيما سبق وأيضا في بحوثه الأخرى عن الانعطاف في الطبقة الهوائية التي سندكرها فيما بعد ، فرض أن كرة الهواء يحدها سطح كروي يفصل بينها وبين بقية السماء يحدث عنده الانعطاف ، ويمتد الضوء بعد حدوث الانعطاف في الطبقة الهوائية على استقامة حتى يصل إلى البصر . ولكن في مستهل بحوثه الأخرى هذه ، ينفي بصريح العبارة وجود مثل هذا السطح الفاصل ، ويدكر أن الهواء يتدرج في اللطافة كلما قرب من السماء . وإن كنا نجد منقاداً إلى حد ما لرأى القائلين بأن وراء كرة الهواء ما كانوا يسمونه « كرة النار » وإن وراء كرة النار كرة السماء ، وأيضا لرأى القائلين بالاستحالة ، فإن ذلك لا يضيره ولا يعيبه فيما أراد من أمر الضوء . وهو يقول بلفظه « وليس في الوجود جسم مشف أطف من الهواء من ورائه مبصرات يدركها البصر غير جسم السماء وجسم النار<sup>(١)</sup> . وليس ( أى جسم النار ) ينفصل عن جسم الهواء بسطح يفصل إحداهما ( كذا ) عن الآخر . وإنما الهواء كلما قرب من السماء لطف إلى أن يصير نارا ، فلطافته إنما هي على تدرج من غلظ إلى لطافة لا من فصل محدود<sup>(٢)</sup> » .

فإن الهيثم يبين على هذا النحو رأيه في تدرج الهواء في اللطافة كلما بعد عن سطح الأرض . وإشارته إلى كرة النار في هذه الأحوال لا تفيد أكثر من ذهابه إلى أن الهواء إذا اشتدت لطافته استحال نارا . وقد كان هذا مذهب كثير من القائلين بالعناصر الأربعة من تقدمه ومن عاصره وظل شائعا مدى ستة قرون أو أكثر من بعده . وإن أعجبنا بشيء في هذا الصدد ، فعجبنا أن مثل هذه الآراء والمذاهب التي توارثتها الحقوب جيلا بعد جيل لم يعق ابن الهيثم في بحوثه ، ولم يكن له أثر يذكر يحط من المستوى العلمي لهذه البحوث . والقول بتدرج الهواء في اللطافة كلما بعد عن سطح الأرض لم يكن شائعا

(١) الوارد في المخطوط « غير جسم السماء وجسم الماء وجسم النار » وورود جسم الماء

في هذا الصدد هو على الأرجح من إخطاء النسخ إن لم يكن من قبيل السهو .

(٢) و (١٢٥) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

معروفا في عصر ابن الهيثم ولا في بضعة القرون التي من بعده . ويدل على ذلك اعتراض الفارسي على ابن الهيثم في قوله بهذا التدرج . فالفارسي من كلام له في هذا الشأن يقول « أما عدم انفصال النار عن الهواء بسطح فاصل فغير معلوم . والتدرج المذكور ، ممنوع لأنه يستلزم كون النار هواءاً حاراً ، وليس ذلك بالمذهب المنصور (١) . »

وابن الهيثم لم يتناول بالتفصيل شرح ما يترتب على هذا التدرج من انحناء الشعاع المار في الطبقة الهوائية ، ونجده قد اقتضب أقواله عنه وختمها بقوله « وجميع الكواكب التي في السماء تمتد صورها في جسم السماء ، وتنعطف عند مقعر السماء ، وتمتد في جسم النار وجسم الهواء على استقامة (كذا) ، إلى أن تصل إلى البصر » . وقد انتهز الفارسي ورود قول ابن الهيثم « على استقامة » في هذه الجملة فأقام به حجة على بطلان التدرج الذي يقول به . ولكننا نجد من التعنت أن يقال إن ابن الهيثم يريد من قوله « تنعطف عند مقعر السماء » أن يكون الانعطاف خارج كرة الهواء فليس ثمة اختلاف في الشفيف أو في الغلظ يدعو إلى حدوث الانعطاف هناك . ومن التعنت أيضاً أن يحمل قوله « على استقامة » على أنه يريد به معنى يشمل امتداد الضوء في جميع جسم الهواء المتدرج في الغلظ أو في اللطافة . ولعله لا يقصد غير أن الضوء بعد حدوث الانعطاف الذي هو لا بد حادث ، يمتد في الهواء على استقامة ، فإن كان الانعطاف يحدث بعيداً عن سطح الأرض فهو يمتد في الطبقات القريبة من سطح الأرض التي لا يكون فيما بينها تفاوت محسوس في الغلظ أو اللطافة على خطوط مستقيمة .

### ٢٣٥ - تغير مواضع الكواكب في السماء من جراء الانعطاف :

والاعتباران اللذان ذكرهما ابن الهيثم للتحقق من حدوث الانعطاف في الطبقة الهوائية المحيطة بالكرة الأرضية ، وللتحقق من أنه من قبيل الانعطاف من الجسم الألف في الجسم الأغلظ ، يستدل منهما أيضاً على أن انعطاف

(١) التنقيح ص (٢١٧) من الجزء الثاني (النسخة المطبوعة) .

(٢) ص (١٢٥) من مخطوط المقالة السابعة .

الضوء في الطبقة الهوائية ينشأ عنه أن كواكب السماء لا تدرك بوجه عام في مواضعها الحقيقية، بل تدرك مزاحة قليلاً عن مواضعها الحقيقية إلى جهة السمات، وكلما كان الكوكب أبعد عن السمات كانت الإزاحة أعظم، وكلما كان أقرب كانت الإزاحة أصغر. وأنه إذا كان الكوكب عند سمت الرأس بالضبط يرد ضوءه على استقامة فلا يعاني انعطافاً، ويبطل ما يترتب على الانعطاف من تغير في الموضع ببطالان الانعطاف نفسه.

وشرح ابن الهيثم للاعتبارين ولاسيما الأول منهما يوضح هذا الأمر بما فيه الكفاية. وابن الهيثم في آخر بحث له أورده في كتاب المناظر يصدر أقواله بذكر جملة ما يعرض من الأغلاط في إدراك الأجرام السماوية من جراء الانعطاف، ويبدأ بالغلط في إدراك الموضع، ويحيل البيان والشرح على أقواله السابقة، وهي الخاصة بالاعتبارين المشار إليهما هنا ويقول «أما في غير مواضعها (أي إدراك الكواكب في غير مواضعها) فمن أجل وضع الشعاعات المنعطفة، وهو المعنى الذي ذكرناه من قبل»<sup>(١)</sup>.

وعلى كل حال، فبحوث ابن الهيثم التي سنبينها فيما يلي تشمل ضمناً بيان هذا الأمر وتفسيره.

### ٢٣٦ - بحوث ابن الهيثم عن أثر الانعطاف في أبعاد الكواكب

#### ومقاربرها

يبين ابن الهيثم بالتفصيل ما يترتب على الانعطاف في الطبقة الهوائية من إدراك العظم على غير حقيقته. ويقول في هذا الصدد «وهذا المعنى (أي الغلط في إدراك العظم) يظهر في الأبعاد التي فيما بين الكواكب ظهوراً أكبر مما يظهر في اعظام الكواكب أنفسها، لأن مقدار الكواكب في رأي العين مقدار صغير، فالتفاوت في اختلاف مقادير مقدار بُعد ما بين الكواكب، بين كون الكواكب في الأفق وبين كونهما في وسط السماء، اختلاف متفاوت، وظاهر للحس ظهوراً بيننا، وخاصة الأبعاد المعترضة»<sup>(٢)</sup>.

(١) و (١٢٦) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .  
(٢) و (١٢٦) ، و (١٢٧) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .



ح ط حتى يلتقي محيط دائرة الهواء على ه ومحيط دائرة السماء على ب .  
وليلق ح ب المستقيم الواصل بين ك و ل على س . وابن الهيثم يفرض  
أولاً أن نقطة س منتصف ك ل .

فاذا وصلنا ط ك و ط ل فهما يقطعان دائرة الهواء على نقطتين  
ولتكونا د و م على الترتيب . وبما أن الانعطاف من قبيل الانعطاف من  
الألطف في الأغظ ، تبين أن انعطاف الشعاع الوارد من ك إلى ط يكون  
من نقطة فيما بين د و ه ولتكن م . وبالمثل الشعاع الوارد من ل إلى ط  
ينعطف من نقطة فيما بين م و ه ولتكن ن : فاذا أخرج ط م و ط ن  
حتى يلقيا محيط دائرة السماء على ق و ص على الترتيب ، كانت ق حتماً بين  
ك و ب ، وكانت ص حتماً بين ل و ب . وإذن يدرك البصر ط النقطتين  
ك و ل عند ق و ص على الترتيب . فتكون زاوية ق ط ص أصغر  
من زاوية ك ط ل .

إذن البعد ق ص يوتر عند البصر ط زاوية أصغر مما يوترها البعد  
ك ل ، وإذن البصر ط يدرك البعد ك ل أصغر مما هو عليه في الواقع .  
وإذا توهمنا أن الشكل قد أدير حول ح ب دورة كاملة ، اتضح أن بصر  
ط كما يقول ابن الهيثم بلفظه « يدرك خط ك ل بالانعطاف من جميع  
أوضاعه بالقياس إلى دائرة نصف النهار إذا كان على سمت الرأس ، أصغر مما  
يدركه على استقامة » (١) .

وابن الهيثم في هذا الشرح قد فرض أن ط ب يمر بمنتصف ك ل ،  
ولكنه يبين بعد ذلك أنه إذا لم تكن نقطة س المنتصف ، فنظراً لأن الانعطاف  
نحو العمود فامتداد المنعطف الوارد من ك يلقي محيط دائرة السماء فيما بين  
ك و ب ، وامتداد المنعطف الوارد من ل يلقاه أيضاً فيما بين ل و ب ،  
وإن لم تكن نقطتا الالتقاء في هذه الحالة في وضعين متماثلين بالنسبة إلى نقطة  
ب ، فإن زاوية الرؤية بالانعطاف تكون أيضاً أصغر من زاوية الرؤية

(١) و (١٢٨) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

بالاستقامة . فلا يغير هذا الوضع من النتيجة المذكورة مادام خط السميت يلتقي المستقيم الواصل بين طرفي المبصر فيما بين هذين الطرفين .

ومما يجدر بنا ذكره في هذا الصدد ، أن شرح ابن الهيثم يتناول أيضا علاقة هذا الأمر بإدراك البعد . فهو قد بيّن في بحوثه عن إدراك المعاني المبصرة ، أن إدراك العظم لا يتم بإدراك الزاوية وحدها بل يتطلب أيضا إدراك البعد<sup>(١)</sup> . ولذلك نجد بعد أن بيّن أن زاوية ق ط ص أصغر من زاوية ك ط ل يقول « وبُعد ك ل عن البصر بعد متفاوت في العظم ، فليس يتحقق البصر مقداره . فبصر ط يحس على بُعد خط ك ل كما بينا ذلك في المقالة الثانية من هذا الكتاب . ولا فرق بين حدسه على بعد ك ل عند إدراكه بالانعطف وبين حدسه على بعده عند إدراكه على استقامة ، لأنه إذا أدركه بالانعطف فهو يظن أنه يدركه على استقامة . فبصر ط يدرك خط ك ل بالانعطف من زاوية أصغر من الزاوية التي يدركها على استقامة ، وبالقياس إلى البعد نفسه الذي يقيسه إليه لو أدركه على استقامة . والبصر يدرك مقدار العظم من مقدار الزاوية بقياسها إلى البعد<sup>(٢)</sup> » .

وبهذه الكيفية يتم ابن الهيثم شرح الموضوع .

### ٢٣٨ - أثر الانعطف إذا كان الخط المبصر قريباً من الأفق وموازيًا له<sup>(٣)</sup>

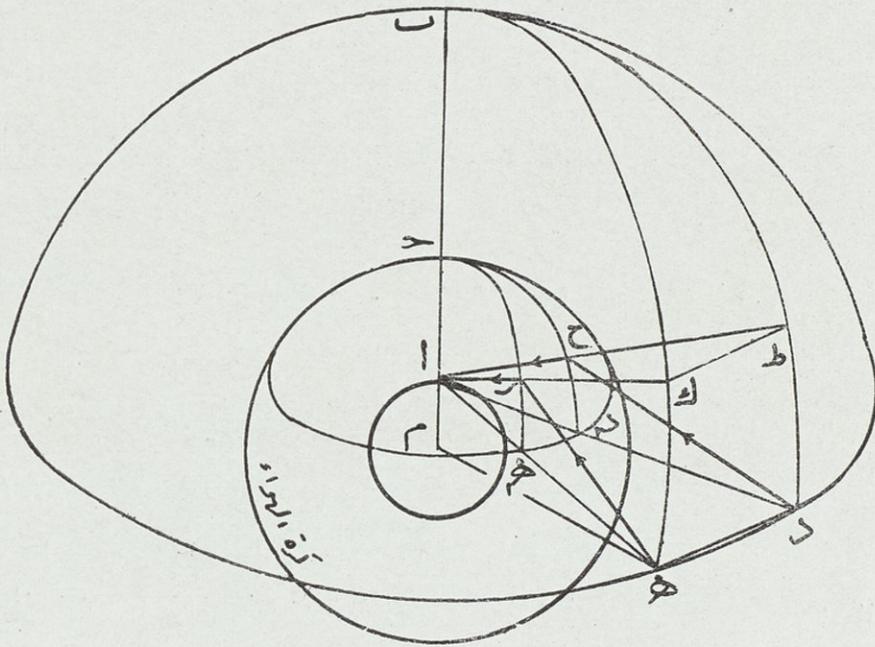
لنفرض بسهولة شرح فكرة ابن الهيثم ، أن الخط المبصر عند الأفق ولتكن نقطة م ( شكل ٢١٠ ) مركز الأرض ٦ ا موضع البصر أو مكان الرصد . ولنخرج م ا حتى يلتقي كرة الهواء على ح و كرة السماء على ب . فمستوى الأفق هو المستوى الذي يمس كرة الأرض على ا ، وإذا أخرج يلقى كرة الهواء على محيط دائرة مركزها ا ، ويلقى كرة السماء على محيط دائرة أوسع مركزها ا أيضاً . وليكن طرفا المبصر نقطتي د ٦ ه على محيط الثانية ،

(١) انظر فقرة (٦٥) من الجزء الأول من هذا الكتاب .

(٢) و (٢٢٨) من مخطوط مقاله السابقة من المناظر .

(٣) و (١٢٩) - و (١٣٠) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

ومستوى السميت المار بأحد طرفيه ه ه وهو مستوى الخطين م ب و م ه



( شكل ٢١٠ )

يلقى كرة السماء على محيط دائرة عظيمة ، يكون ب ه قوساً منه تنتهى عند الأفق بنقطة ه ، ويلقى كرة الهواء على محيط دائرة عظيمة يكون ح ه قوساً منه تنتهى عند الأفق بنقطة و لتكن ه . وتكون نقاط ا و ه و م على مستقيم واحد . وبما أن الضوء الوارد من ه إلى ا لا يرد على امتداد المستقيم ه ا وإنما ينعطف انعطافاً من قبيل الانعطاف من الألف في الأغلاظ ، بحيث يكون الشعاع الساقط والعمود والشعاع المنعطف في مستوى واحد ، يتبين أن انعطاف الضوء الوارد من ه إلى ا يقع في مستوى ب م ه ، ويكون من نقطة على قوس ح ه مرتفعة عن نقطة ه ، فلتكن هذه النقطة م . فاذا وصل ا م و م ه كان الشعاع الوارد على امتداد ه م منعطفاً عند م على امتداد م ا . فاذا أخرج م على استقامة فهو يلقى قوس ب ه على نقطة و لتكن ك ، وتكون هي الموضع الذي تدرك منه نقطة ه .

وبالمثل فان الشعاع الوارد من د إلى ا ينعطف في مستوى ب م د من نقطة و لتكن ح على قوس ح د من محيط الدائرة التي يلقى عليها هذا

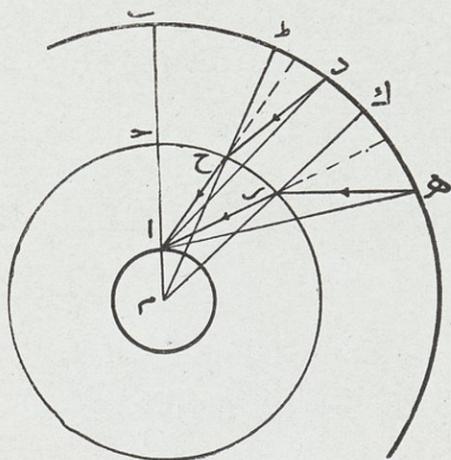
المستوى كرة الهواء . وإذا أخرج ا ح لقي محيط الدائرة التي يلقى عليها هذا المستوى كرة السماء على نقطة ولتكن ط ، تكون هي الموضع الذي تدرك منه نقطة د .

بهذه الكيفية يبين ابن الهيثم أن البعد د ه يدركه البصر كأنه ط ك ، وأن التماثل يقتضى أن يكون ط ك موازياً د ه ، وإذن يكون ط ك أصغر من د ه . وبما أنه ليس بين بعد كل من د و ه من ا ، وبين بعد كل من ط و ك من ا ، اختلاف محسوس في نظر العين ، فابن الهيثم يستنبط من هذا أن زاوية رؤية ط ك تكون أصغر من زاوية رؤية د ه . فيدرك البعد بين طرفي المبصر أصغر من حقيقته .

وشرح ابن الهيثم سليم وجميع الفسكرك التي يتضمنها الشرح مضبوطة صحيحة . وإنما يلاحظ أن غاية ما يبلغه الارتفاع من جراء الانعطاف لا يتجاوز ٣٥ دقيقة ، فالتفاوت بين د ه وبين ط ك مقدار صغير يغفل أمره في العادة .

### ٢٣٩ - أثر الانعطاف إذا كان المبصر ممتداً في مستوى سمت واحد (١)

في هذه الحالة يفرض ابن الهيثم المبصر في مستوى يمر بالسمت أو كما يقول



( شكل ٢١٠ )

هو بلفظه « في دائرة واحدة من الدائرة السميتية » ، وليكن كما مر نقطة م ( شكل ٢١٠ ) مركز الأرض و ا موضع الراصد وليكن مستوى الشكل هو مستوى السمت المار بالمبصر د ه ، ولتكن الدوائر المبينة هي التي يلقى عليها هذا المستوى كرة الأرض و كرة الهواء و كرة السماء على الترتيب .

ولنخرج م ا حتى يلقى محيط دائرة الهواء على ح ومحيط دائرة السماء

على ب . وليكن الطرف د البصر أقرب إلى السميت .  
 ففي هذه الحالة مستوى انعطاف الضوء الوارد من ه إلى ا هو مستوى  
 انعطاف الضوء الوارد من د إلى ا ، وهو مستوى الشكل .  
 وابن الهيثم يشير إلى أن الضوء الوارد من د إلى ا ينعطف من نقطة  
 مثل ح على دائرة الهواء أرفع من خط ا د . وبالمثل ينعطف الضوء  
 الوارد من ه إلى ا من نقطة مثل م أرفع من ا ه .  
 وابن الهيثم يجعل نقطة ح أرفع من نقطة م أى أقرب إلى السميت من  
 نقطة م . ومن السهل الاستدلال على هذا ببرهان الخلف .

فاذا أخرجنا م ح حتى يلقى محيط دائرة السماء على ط ، وأخرجنا م م  
 حتى يلقاه على ك ، تبين أن زاوية ا ح م وهي زاوية انكسار الشعاع الوارد  
 من د أصغر من زاوية ا م م وهي زاوية انكسار الشعاع الوارد من ه .  
 وإذن تكون زاوية سقوط الأول أصغر من زاوية سقوط الثاني .  
 وأيضاً تكون زاوية انعطاف الأول أصغر من زاوية انعطاف الثاني .  
 وهما حادثان ، فتكون متممة الأولى من قائمتين أعظم من متممة الثانية من  
 قائمتين ، والمتممتان منفرجتان . إذن

$$\angle ا ح د \text{ أعظم من } \angle ا م م .$$

$$\text{وأيضاً فان } \angle م ط = \angle م ك \text{ و } \angle م ح = \angle م م .$$

$$\therefore \angle ح ط = \angle م ك .$$

ولكن  $\angle د ح ط$  أصغر من  $\angle د م م$  كما تبين آنفاً .  
 . . .  $\angle ح د$  أصغر من  $\angle م م ه$  ، نظراً لأن الدائرتين متحدتا المركز .

فاذا روعي المثلثان د ح ا و م م ه ا فنظراً لأن نقطة ا يمكن  
 اعتبارها بمثابة المركز لدائرة السماء لامكان اعتبار ا كأنها مركز العالم ، يعد  
 ابن الهيثم ا د و ا ه في المثلثين متساويان . وبما أن زاوية ح في الأول أعظم

(١) و (١٣٠) - و (١٣١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

شك على بعض أقوال ابن الهيثم عن أثر الانعطاف في أبعاد الكواكب ومقاديرها ٨٤٥

من زاوية  $\alpha$  في الثاني يستنبط ابن الهيثم من ذلك أن الدائرة التي تحيط بمثلث  $\alpha$  ح د تكون أعظم من الدائرة التي تحيط بمثلث  $\alpha$  م ه . وبما أن الوتر  $\alpha$  ح في الدائرة الأعظم أقصر من الوتر  $\alpha$  م في الدائرة الأصغر ، فهو يستنبط أن الزاوية المحيطية التي يوترها الوتر الأصغر في الدائرة الأعظم تكون أصغر من الزاوية المحيطية التي يوترها الوتر الأعظم في الدائرة الأصغر فتكون

$\alpha$  ح د أصغر من  $\alpha$  م ه (١) .

فاذا أضيف إلى كل من الزاويتين زاوية  $\alpha$  م ، تبين أن

ان  $\alpha$  ح د +  $\alpha$  م ه أصغر من  $\alpha$  م ه +  $\alpha$  ح د .

أي ان  $\alpha$  ح د أصغر من  $\alpha$  م ه .

فتكون زاوية الرؤية بالانعطاف أصغر من الزاوية التي يوترها د ه نفسه عند البصر . وابن الهيثم يضمن برهانه إنقاص زاوية  $\alpha$  م من كل من الزاويتين . لأن نقطتي د ه قد تكونان متقاربتين قرباً يصير فيه خط  $\alpha$  د من تحت نقطة م لا من فوقها كما هو وارد في الشكل .

ويقول في ختام هذا البحث « وهذا البرهان بعينه يلزم ، إذا كانت دائرة ب د ه هي دائرة نصف النهار . فقطر الكوكب المنتصب وبعدهما بين كل كوكبين إذا كان البعد بين الكوكبين منتصباً ، يدركهما البصر من جميع أقطار السماء بالانعطاف أصغر مما يدركهما لو أدركهما على استقامة . وذلك ما أردنا أن نبيِّن » (٢) .

٢٤٠ - شك على بعض أقوال ابن الهيثم عن أثر الانعطاف في أبعاد

### الكواكب ومقاديرها

يتضح مما سبق أن ابن الهيثم يبيِّن أن البعد بين الكوكبين ( أوقطر الكوكب

(١) ذلك هو البرهان الذي أورده ابن الهيثم .

وكما يرى الفارسي فإن من السهل بيان هذه النتيجة بطريقة أخرى .

فما أن نقطة  $\alpha$  يمكن اعتبارها مركز العالم فالضلعان  $\alpha$  د ،  $\alpha$  ه في المثلثين المذكورين

متساويان . وكذلك الضلعان  $\alpha$  ح ،  $\alpha$  م متساويان . ولكن  $\alpha$  ح أصغر من  $\alpha$  م فتكون

زاوية  $\alpha$  ح د أصغر من زاوية  $\alpha$  م ه .

(٢) و (١٣١) من مخطوط المقالة السابعة من المناظر .

المرصود ( سواء كان عند السميت ، أو كان موازياً للأفق وقريباً منه ، أو كان منتصباً في أحد المستويات المارة بالسميت ، فإنه يدرك في جميع هذه الأوضاع أصغر من حقيقته . وهو في ختام هذا القسم من بحوثه يستنبط النتيجة العامة . وهي أن أبعاد ما بين الكواكب يدركها البصر كيفما كانت أوضاعها من السماء أصغر مما هي عليه في الواقع . ولا اعتراض لنا على ما سبق بيانه ولا على البرهان عليه ولا على هذه النتيجة العامة ، لولا أن برهان ابن الهيثم على هذا الأمر الأخير مبنى على أن الكواكب في السماء تدرك أبداً مستديرة . فابن الهيثم يقول بلفظه « وكل كوكب في السماء يدركه البصر مستديراً . وإذا كان يدركه مستديراً فهو يدرك أقطاره متساوية . وإذا كان قد تبين أن كل واحد من قطريه المعترض والمنتصب ، يدركه البصر أصغر مما يدركه لو أدركه على استقامة ، فكل واحد من أقطاره المائلة إليه ، يدرك البصر مقداره أصغر من مقداره لو أدركه على استقامة . وإذا كان ذلك كذلك ، فأبعاد ما بين الكواكب أيضاً يدرك البصر مقاديرها في جميع المواضع من السماء على جميع أوضاعها ، أصغر من مقاديرها لو أدركها على استقامة (١) » .

والقول بأن الكواكب تدرك مستديرة متساوية الأقطار أيأ كانت مواضعها من السماء أمر فيه نظر . وهو يخالف الواقع المشاهد من أمر النيرين الشمس والقمر ، إذا كانا عند الأفق أو قريبين منه . فكل منهما يدرك عندئذ كالأهليلج ، الذي قطره الموازى للأفق أطول من قطره العمود عليه . وعلة ذلك أن القطر الموازى للأفق وإن كان القياس النظري يدل على أنه يدرك من جراء الانعطاف أصغر مما هو عليه في الواقع ، فإن التفاوت فيه بين العظم المدرك وبين العظم على ما هو عليه ، كما سبق أن ذكرنا ، صغير جداً هو في حكم العدم بالنسبة إلى الحس . وليس الأمر كذلك فيما يتعلق بالقطر العمود على الأفق . ولذلك يظهر النير المستدير وهو عند الأفق أو قريباً منه متفطحاً عند طرفي قطره الرأسى ، منبججاً في اتجاه قطره الأفقى . وإن كان هذا الأمر لا يظهر للبصر

ظهوراً بيننا إلا في الاجرام السماوية التي تبصر من زوايا مقتدرة كالشمس والقمر، عند كونهما عند الأفق أو قريباً منه، فإنه لا يتفق وإطلاق القول بأن « كل كوكب في السماء يدركه البصر مستديراً » .

ونحن لم نجد فيما اطلعنا عليه من بحوث ابن الهيثم، بحثاً تناول فيه شرح ما يترتب على التفاوت بين الاختلاف الحادث في الأبعاد الأفقية وبين الاختلاف الحادث في الأبعاد السموية من النتائج. هذا فضلاً عن أن قوله الذي رويناه فيما سبق (فقرة ٢٣٦) وفيه يقرر أن الاختلاف من جراء الانعطاف، في البعد بين كوكبين يظهر ظهوراً بيناً في الأبعاد المعترضة خاصة، يشير الشك والالتباس .

### ٢٤١ - رأى ابن الهيثم في تأثير الأبخرة الغليظة في إدراك العظم

بين ابن الهيثم بالكيفية التي فصلناها فيما سبق أن انعطاف الضوء الوارد من الكواكب في الطبقة الهوائية المحيطة بالكرة الأرضية يترتب عليه بوجه عام إدراك الأبعاد التي بين الكواكب، أو أعظام الكواكب نفسها، أصغر مما هي عليه في الواقع . وهو في ختام بحوثه عما يترتب على الانعطاف من الخطأ في إدراك هذه الأمور (١) يشير أيضاً إلى أن انعطاف الضوء النافذ خلال طبقة من بخار غليظ أو هواء غليظ، قد يعرض وجودها في الجو كثيراً أو قليلاً، يترتب عليه هو أيضاً خطأ في إدراك العظم . وهو يرى أن مثل هذه الأبخرة الغليظة كثيراً ما توجد عند الأفق دون أن تتصل إلى وسط السماء، ولذلك فإن التفاوت في العظم حالة كون الكوكب أو البعد بين الكوكبين عند الأفق أو قريباً منه، وهذه الأبخرة موجودة، وحالة كونه في وسط السماء وهذه الأبخرة ليست موجودة، يظهر واضحاً للحس . فإذا فرضنا وجود مثل هذه الأبخرة الغليظة بالقرب من الأفق، فضوء الكواكب وهي بالقرب من الأفق لا يعاني الانعطاف الذي روعى في البحوث السابقة من جسم السماء الألف إلى طبقة الهواء الأغظ فحسب، بل يعاني أيضاً عند نفوذه خلال هذه الأبخرة الغليظة انعطافاً

(١) آخر بحوث كتاب المناظر و (١٣٨) ، و (١٣٩) من مخطوط المقالة السابعة .

من الهواء الألف إلى البخار الأغلظ ، ثم انعطافاً آخر من البخار الأغلظ إلى الهواء الألف قبل وصوله إلى البصر .

وابن الهيثم يرى أن الانعطاف في مثل هذه الأبخرة الغليظة يؤدي إلى خطأ في إدراك العظم هو إدراكه أعظم من حقيقته .

وكما بين الفارسي في تعليقه على هذا الأمر إذا فرضنا مثلاً أن طبقة البخار الغليظ المنوهم ، محدودة بسطحين في حكم المتوازنين ، فمن السهل بيان أن الانعطاف من الهواء إلى البخار الغليظ ثم من البخار الغليظ إلى الهواء مرة أخرى ، يؤدي إلى إدراك المبصر أعظم مما هو عليه في الواقع ، ولا يتطلب هذا البيان من المعاني والأصول شيئاً جديداً لم تتضمنه بحوث ابن الهيثم السابقة .

وإذا كان الأمر كذلك وقع تفاوت في الاختلاف بين عظم المبصر وهو يرى على الأفق أو قريباً منه ، وهذه العلة موجودة ، وبين عظمه هو نفسه وهو يرى في وسط السماء وهذه العلة قد زالت .

وابن الهيثم لم يتوسع في شرح ما يحدث من التأثير إذا أبصر مبصر في الهواء خلال طبقة مشفة أغلظ من الهواء (كلوح سميك من الزجاج) تحول بينه وبين البصر . ولكنسه ألم في أقواله التي أوردها في هذا الصدد بالفكرة الأساسية التي فحواها باصطلاحنا الحديث ، أن الصورة التي تحدث بالانعطاف الأول من الألف إلى الأغلظ تعد بمنزلة مصر في الأغلظ تحدث له صورة بانعطاف ثان من الأغلظ إلى الألف . وهو في بيان ما يريد يقول « وذلك أن الموضع من مقعر السماء الذي ينعطف منه صورة الكوكب إلى البصر ، (تحصل) <sup>(١)</sup> فيه صورة الكوكب (و) تمتد منه الصورة من ذلك الموضع إلى البصر على خطوط مستقيمة إذا لم يكن في الأفق بخار غليظ . فإذا كان في الأفق بخار غليظ امتدت هذه الصورة إلى سطح البخار الغليظ الذي يلي السماء ، فتحصل صورة الكوكب في سطح البخار الذي يلي السماء ، فيدرك البصر هذه الصورة كما يدرك المبصرات التي تكون في البخار . وهو أن تمتد هذه الصورة في البخار الغليظ على خطوط مستقيمة ، ثم تنعطف عند البخار الذي يلي البصر

ويكون انعطافها إلى خلاف جهة العمود القائم على سطح البخار الذي هو سطح  
مستو، لأن الهواء الذي يلي البصر أطف من البخار الغليظ، فيلزم من ذلك أن  
ترى الصورة أعظم مما كانت ترى على استقامة. وهذا المعنى قد تبين في الشكل  
الأول من هذا الفصل وهو إذا كان الجسم الأطف يلي البصر وكان الجسم  
الأغلظ يلي المبصر وكان سطح الجسم الأغلظ مسطحاً، فتكون الصورة التي  
تحصل في سطح البخار الذي يلي السماء هي المبصر والجسم الذي فيه هذه الصور  
هو البخار الغليظ. والهواء الذي فيه البصر أطف من البخار الغليظ. (٢)

وابن الهيثم يعد وجود مثل هذه الطبقة الغليظة علة «عارضة» يترتب عليها  
إدراك المبصر في السماء وهو عند الأفق أو قريباً منه أعظم من حقيقته، ويميز  
بينها وبين العلة الأخرى التي سبق بيانها في أغلاط البصر، وهي التي يتسبب  
عنها إدراك المبصر في السماء وهو عند الأفق أو قريباً منه، أعظم منه وهو في  
وسط السماء، ويسمى العلة «اللازمة الدائمة» إذ لا ارتباط لها بوجود مثل  
هذه الأبخرة الغليظة المتوهمة، بل ولا ارتباط لها بالانعطاف البتة.

فإن كانت الكواكب والأجرام السماوية تدرك وهي عند الأفق أو قريباً  
منه أعظم مما هي في وسط السماء أو بالقرب منه بسبب العلة الدائمة التي سبق  
بيانها فإنه «إذا عرض في الآفاق بخار غليظ» وجدت علة أخرى هي هذه العلة  
العارضة، وينجم عنها أيضاً إدراك المبصر وهو عند الأفق أعظم من حقيقته.  
فيترتب على اجتماع العلتين أن يزيد العظم زيادة تجعله أبين وآكد للبصر.

تلك هي نظريته

ولا اعتراض على ذلك في حدود الفروض المذكورة. ولكن من الواضح  
أنه إذا كان ابن الهيثم يريد بالأبخرة الغليظة بخار الماء، فبخار الماء من حيث  
الشفيف أطف من الهواء لا أغلظ، وإن كان التفاوت بينهما صغيراً يصبح  
إغفاله. وإذا كان يريد بالأبخرة الغليظة ما هو من قبيل السحب أو الضباب أو  
البلورات الثلجية، فليس الحال فيها حال الجسم المشف المتصل المتجانس الأجزاء  
الذي ينعطف الضوء عند نفوذه فيها على المنوال المقصود فيما نحن بصدده.

## تذييل

## ٢٤٢ - ذات الشبطين

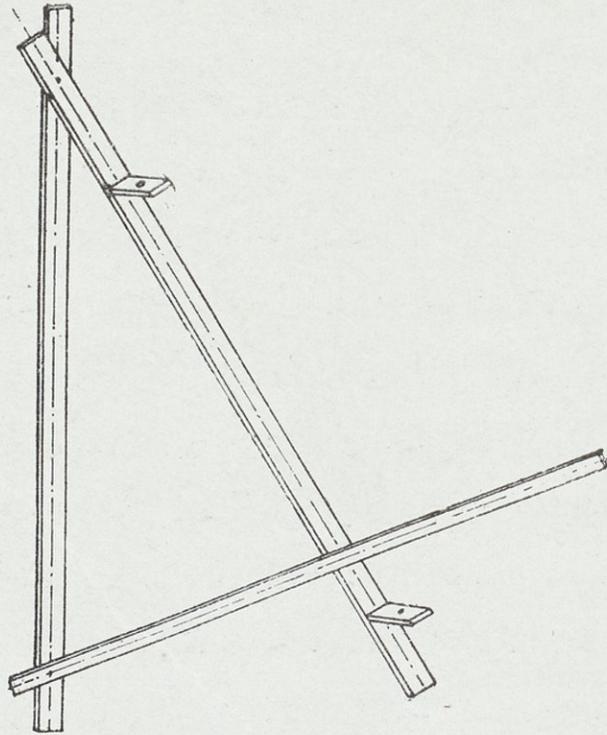
هي آلة لرصد الارتفاع ذكرها بطليموس في صدد أقواله عن القمر، قال (١) « عملنا مسطرتين متوازتي السطوح في غاية الاستواء لا ينقص طول كل واحدة منهما عن أربعة أذرع ليتهاً قسمته إلى صغار الأجزاء، وجعلنا لهما ثخناً صالحاً كيلا يلتويان لطولهما، ثم سمننا في وسط سطحهما خطين مستقيمين، وركبنا على طرفي أحدهما شطيتين متساويتين ومتوازيتين، فهما ثقبتان للارتفاع يمر الخط بوسطهما. وجعلنا التي تلي البصر منهما أضيق والتي تلي القمر أوسع، بحيث يرى تمام الجرم منهما. ثم ثقبنا طرفي المسطرتين في جهة أوسع الشبطين، وركبناهما كالفرجار لمحور يمر مركزه بالخطين. وفصلنا من الخطين أكبر مقدارين متساويين يمكن أن يقع على المسطرتين، يتحد مبدؤهما عند مركز المحور، ونجعل لنهائيهما علامتين. وقسمنا خط التي ليست عليها شظيتا الارتفاع بشطين جزءاً وبأجزائها ما أمكن. وركبنا هذه المسطرة في قاعدة، في سطح نصف النهار، بحيث تنتصب عموداً قائماً على سطح الأفق باستواء، ويكون موضع التركيب محاذياً لسمت الرأس، وتدور ذات شظيتي الارتفاع في المحور مما يلي الشمال، فتبعد وتقرب من المنتصبة من غير أن تخرج عن سطح دائرة نصف النهار، وبغير اضطراب والتواء. وركبنا في طرفي المنتصبة من خلفها أيضاً شطيتين متساويتين على خط مستقيم مواز لحدي سطحها، ليتهاً بتعليق الساقول من الشظية العليا إلى السفلى امتحان قيامها على سطح الأفق. وعملنا مسطرة ثالثة مستوية أدق من الأوليين، وأطول منهما، بقدر يمكن أن يوترهما عند إحاطتهما بزاوية قائمة، وركبناهما مع المنتصبة بمسار دقيق يمر بطرف الخط المقسوم عند القاعدة، أعني عند موضع العلامة، وبأحد طرفيها، بحيث تكون هذه الثالثة أيضاً سلسلة الدوران في ذلك المسار، يعرف بها قدر البعد بين العلامتين عند مفارقة ذات شظيتي الارتفاع للمنتصبة.

فاذا وافى القمر دائرة نصف النهار، أدركنا ذات شظيتي الارتفاع إلى أن

(١) عن تحرير المجسطي لنصير الدين الطوسي : ص (٥٣) من مخطوط دار المكتب المصرية

يرى تمام الجرم من ثقبتيهما، وحر كنا الثالثة إلى أن تماسها عند موضع العلامة، ثم جعلنا على موضع الماسة من الثالثة علامة، فيكون ما بين العلامتين من الثالثة وترأ لتقام ارتفاع القمر، أعنى بعده عن سمت الرأس بحسب الرؤية، وعر فنا قدره بتطبيقه على الخط المقسوم من المسطرة المنتصبة، ثم قو سنه في جدول الأوتار ليحصل لنا تمام الارتفاع المرئى .»

وشكل (٢١٣) يبين بياناً تخطيطياً تركيب هذه الآلة بحسب الوصف الوارد . ويعقب بطليموس على هذا الوصف بقوله :



( شكل ٢١٣ )

« وينبغي أن تجعل هذه الأرصاء عند كون القمر عند أحد المنقلين، ليكون دائرة نصف النهار التي هي دائرة الارتفاع حينئذ هي أيضاً دائرة العرض ودائرة الميل معاً، لكونها المارة بالأقطار (كذا) فيكون عرض البلد ميل درجة القمر حينئذ، وعرضه تمام ارتفاعيه، أعنى الحقيقي والمرئى، من دائرة واحدة، ويكون معرفة ما نطلبه من ذلك بسهولة .»

ويلاحظ أن الاعتبار بالقمر الذي يريده ابن الهيثم للاستدلال على الانعطاف في الطبقة الهوائية، يتطلب شيئاً من التعديل في نصبة الآلة، إذ لا يصح فيه أن تكون المسطرة ذات شظيتي الارتفاع قابلة للدوران حول محور الفرجار في مستوى دائرة نصف النهار فقط، بل يلزم فيه أن تكون هذه المسطرة قابلة للدوران حول محور رأسى يمر بمحور الفرجار، بحيث يتسنى توجيهها إلى القمر في الوقت الذي يقوم فيه عند الاعتبار.

## خاتمة الكتاب

رب ميت قد صار بالعلم هيا . ومبقي قد مات جهلا وغيا  
فافتنوا العلم كي تنالوا قلوبا . لا نهدوا البقاء في الجهل سيا

البيتان « تمثل بهما ابن الهيثم في رسالته التي أوردها ابن أبي أصيبعة في عيون الأنباء ، نقلا من مقالة بخط ابن الهيثم نفسه » . وهما لابي القاسم بن الوزير ابي الحسن علي بن عيسى . وكان فيلسوفا قالهما ووصى بأن يكتبها على قبره .

## ٢٤٣ - كلمة الختام

ابن الهيثم في منحي تفكيره وفي طريقة بحثه ، رجل تتوافر فيه الصفات التي تتوافر في رجالات العلم في العصر الحديث . فهو عالم بمعنى « سيانتست » بكل ما يؤديه هذا اللفظ من المعاني . وهو في ميدان علم الطبيعة أن لم يكن من طراز المحدثين في الجيل الحاضر فانه من غير شك من طراز علماء الطبيعة في القرن التاسع عشر . وبحوثه المبتكرة في علم الضوء تجعله في مقدمة الأعلام الأفاضل في تاريخ هذا العلم . ولكن له غير ما أضافه على صفحات هذا العلم من الصفحات المجيدة ، أثرا عاما عميقا ، جعل علم الضوء يتخذ صبغة جديدة وينشأ نشأة أخرى غير نشأته الأولى . وهذا التأثير العام الذي أحدثه ابن الهيثم في علم الضوء ويتغلغل إلى الأساس ذاته الذي يقوم عليه هذا العلم جدير بالتقدير ، ولم ينل على ما نعلم ما هو أهله من العناية والأهتمام .

وآثر ابن الهيثم العام في علم الضوء نظيره في تاريخ العلم أثر « نيوتن » العام في علم الميكانيكا . فان قيل إن بعض بحوث ابن الهيثم قد سبقه إليها بعض المتقدمين ، إذ سبقه « أوقليدس » مثلا إلى أحدث شطرى قانون الانعكاس ، وسبقه

« بطليموس » إلى دراسة الانعطاف ، وسبقه آخرون إلى بيان كيفية الإحراق في المرايا المحرقة أو الكرات المحرقة وما إلى ذلك ، فإن « نيوتن » أيعنا قد سبقه « غاليليه » إلى قانون القصور الذاتي الذي تشيع الآن نسبته إلى « نيوتن » ، وسبقه « هويجنز » و « ستيفنوس » وغيرهما إلى كثير من الفكر الأساسية التي يقوم عليها علم الميكانيكا . ولكن من غير شك قد كانت الأصول الأولية في علم الميكانيكا قبل « نيوتن » مفككة مبعثرة ، يشوبها غموض كبير ، ولم تكن قد نضجت معانيها نضجا تاما . فجاء « نيوتن » وإدرك حقائق الأمور ، وأضاف من عنده إلى ما كان معروفا من قبل ما أضاف ، وربط كل ذلك بعضه ببعض حتى آلت صيرورتها على يديه إلى وحدة شاملة ، هي الأساس الذي قام عليه علم الميكانيكا من بعده

وبالمثل كانت المعلومات في علم الضوء من قبل ابن الهيثم لارابط يربطها ولا سلك ينظمها . بل من الفكر الأولية البسيطة في علم الضوء ، ما لم يكن قد تكون بعد في الأذهان ، حتى الفكرة الأولية البسيطة « إن للضوء وجودا في ذاته » لم تكن من الأمور المسلم بها . و « أوقلبدس » و « بطليموس » وغيرهما ممن سبقوا ابن الهيثم إلى شيء من بحوثه ، لم يتخذوا في بحوثهم الوجهة الصحيحة ، وصاغوها في قالب منكوس غير مستقيم . فهم جميعا كانوا متفقين في أن الإبصار هو بخروج شعاع من البصر إلى المبصر . فالذي ينعكس بحيث تكون زاوية السقوط فيه مساوية زاوية الانعكاس ، هو هذا الشعاع . والذي ينعطف في الماء مثلا إلى جهة العمود هو هذا الشعاع . فهذا الذي يخرج من البصر ويقع على السطح العاكس فينعكس ، أو يقع على سطح الماء فينعطف ، إذا هو بعد انعكاسه ، أو إذا هو بعد إنعطافه ، وقع على مبصر ، أدرك البصر هذا المبصر بالانعكاس أو بالانعطاف . فإن كان هذا هو مذهبهم ، أليس إذن من الأصول الأولية التي نعدّها الآن أمورا مسلما بها في علم الضوء ، ما لم يدركه هؤلاء المتقدمون على حقيقته ؟

جاء ابن الهيثم فأعاد من جديد البحث عن كل ذلك ، مبتدئا بالمبادئ

الأولى . فهل الأضواء جميعا، سواء منها المشرق من الأجسام المضئية بذاتها أو المشرق من الأجسام المستضئية بغيرها ، تمتد في الجسم المشف الواحد على سموت الخطوط المستقيمة؟ وإن كان الأمر كذلك ، هل من سبيل إلى القول بأن الإبصار يكون بورود الضوء المشرق من المبصر إلى البصر؟ وإن قيل هذا فإن الضوء الوارد من المبصر إلى البصر يرد من كل نقطة من المبصر إلى جميع سطح البصر ، فكيف يتسنى للبصر أن يدرك المبصر باجزائه المختلفة وألوانه ونقوشه وتخطيطاته ، على ما هو عليه في الواقع ، إدراكا يتنا دون أن يختلط كل ذلك بعضه ببعض؟ وكيف يتسنى إدراك المبصرات المختلفة معا ، دون أن تختلط صورها أو تشبهه؟ ثم كيف يتسنى للبصر أن يدرك المبصر في مكانه خارج البصر ، وعلى وضعه؟ بل كيف يتسنى له أن يدرك منه عظمه وشكله وتجسمه وما إلى ذلك؟ وكيف يعرض ما يعرض أحيانا كثيرة من الغلط في إدراك هذه الأمور؟

ثم هل الأضواء جميعا تنعكس على صفة واحدة؟ وإن كان الأمر كذلك فما هي هذه الصفة العامة التي تنعكس عليها الأضواء؟ وبعد ، فهل من سبيل إلى القول بأن إدراك المبصر بالانعكاس هو بورود الضوء الصادر منه إلى العين بعد انعكاسه؟ وإن كان الأمر كذلك فأين يكون موضع الخيال الذي يرى وما هي صفاته؟

ثم هل الأضواء جميعا تعطف على كيفية واحدة ، وما هي هذه الكيفية؟ وبعد فهل من سبيل هنا أيضا إلى القول بأن إدراك المبصر بالانعطاف هو بورود الضوء الصادر منه إلى العين بعد انعطافه؟ وإن كان الأمر كذلك فأين يكون موضع الخيال وما هي صفاته؟

تلك بايجاز رؤوس الموضوعات التي عاجلها ابن الهيثم ، وهذا هو سياق تفكيره فيها . ليكن أن ابن الهيثم قد استفاد بمعلومات من تقدموه ، وبيحوث من تقدموه ، فقد استفاد حتما ، طوعا أو كرها . ولكنه أعاد البحث عن كل هذه الأمور من جديد ، ونظر فيها جميعا نظرا جديدا ، لم يسبقه إليه أحد من

قبله . واتجه في هذا النظر وجهة جديدة لم يُولسها أحد من المتقدمين . وأصلح الأخطاء ، وأتم النقص ، وابتكر المستحدث من المباحث ، وأضاف الجديد من الكشوف ، وسبق في غير قليل من ذلك الأجيال والعصور . واستوفى البحث إجمالاً وتفصيلاً . وسلك في البحث سبيلاً تتوافر فيها خصائص طرق البحث العلمي ، مع ما في هذه الطرق من قصور ومع ما فيها من ميزات . واستطاع أن يؤلف من كل ذلك وحدة مرتبطة الاجزاء ، على قدر ما كان يمكن أن ترتبط به أجزاءؤها في عصره . إن وجدنا فيها نقصاً أو عيباً ، فتلك سنة الله في المباحث العلمية . وهو فيها لم يبدع ولم يبتكر فحسب . بل هو أيضاً أقام بها الأسس التي انبنى عليها صرح علم الضوء من بعده .

ذلكم هو نبأ ابن الهيثم ، وهو ما أردت أن يكون كتابي هذا تبياناً له . وتفصيلاً .

\* \* \*

وإني في ختام هذا الكتاب ، أحمد الله وأشكر نعمته علىّ بما نلت من شرف إهدائه إلى مقام حضرة صاحب الجلالة مولانا فاروق الأول ملك مصر ، أيده الله وأعزه ، وبما أصبت من كريم عطف جلالته علىّ ورضاه السامى عن هذا العمل . ونعم ذلك جزاء المخلصين .

## فهرس هجائى

بأسماء الأعلام الذين ورد ذكرهم فى الكتاب

## الارقام تشير الى الصفحات

- ( ا )
- أيقور : ٥٤  
 ألايقوريون : ٨٣، ٥٥  
 أرسطو : ٢٦، ٢٥، ٢٤، ١٣، ١٢  
 ، ٧٣، ٧٢، ٧٠، ٥٦، ٥٤، ٥٣  
 ٢٦٩، ٨٣، ٨٠، ٧٧، ٧٤  
 أرشميدس : ٤٧٦، ٧٤، ١٤، ١٢  
 أفلاطون : ٥٤، ٥٣، ٥٢، ٢٤  
 الأفلاطونيون : ٥٤، ٥٣، ٥٢، ٢٤  
 إمبذقليس (Empedocles) : ٥٢، ٥١  
 أنثيميوس (Anthemios) : ٧٥ ،  
 ٤٧٦  
 الأنصارى (شمس الدين بن صاعد) :  
 ١٦، ٨  
 أوقليدس : ٦٤، ٥٩، ١٤، ١٢، ٩  
 ، ٣٤٤، ٢٧٢ ، ٩٦ ، ٧٧ ، ٧٦  
 ٨٥٣ ، ٤٨٩  
 إيباشيا (Hypatia) : ٥٩  
 إيرون (Heron) : ٧٧، ٧٦، ٧٥
- ( ب )
- بارو (Barrow) : ٤٩٢ ، ٤٩١
- بن أبى أصيبعة : ٢٠، ١٩، ١١، ٨  
 ٨٥٣، ٢٥، ٢٤، ٢٣  
 ابن أبى صادق : ٢٠٦  
 ابن خلدون : ٨  
 ابن سينا : ٥٤، ٥٢، ٣٩، ٣٨، ٢٢  
 ، ١٠٣، ٩٨، ٩٧، ٨٥، ٨٤، ٨٣  
 ٢٠٦، ١٣١  
 ابن قف المسيحى : ٢٠٦  
 ابن القفطى : ١٨ ، ١٧ ، ١٦ ، ٨ ،  
 ٧٧، ٥٩، ٢٠، ١٩  
 ابن النفيس القرشى : ٢٠٦  
 ابن هبل شمس الدين : ٢٠٦  
 ابن يونس : ١٧  
 إيرهارد (Eberhard) : ٤٩١  
 أبو الحسن بن العباس : ١٣  
 أبو الحسن الطبرى : ٢٠٦  
 أبو هاشم (رئيس المعتزلة) : ١٤  
 إيرخس : ١٧٤  
 أبولونيوس : ٤٧٧، ٤٢٤، ٢٢، ١٢  
 ٥٠٥ ، ٥٠٤

(ت)	بباكر (Baker) : ٤٩٢ ، ٤٩١
التهانونى : ١٠٣	بباكون (Bacon)
(ث)	— روجر (Roger) : ٢٠٣
ثابت بن قرة : ١١	— فرنسيس (Francis) : ٢٩ ،
ثاؤون (Theon) : ٦١ ، ٥٩	٣٠ ، ٣١ — ٣٤
ثورندايك (Thorndyke) : ٦٣ ،	البتانى (محمد بن جابر الحرانى) : ١١
٧٦ ، ٦٤	براقيه (Bravais) : ٤٨٤
(ج)	بروكلمن (Brocklemann) : ٤
جابر بن حيان : ١١	برونيه (Brunet) : ٦٤ ، ٦١ ، ٥٩ ،
جالينوس (Galen) : ١٢ ، ١٣ ، ٢٠٦ ،	٦٥ ، ٦٦ ، ٦٨ ، ٦٩ ، ٧١ ، ٧٢ ،
جورجى زيدان : ٣	٧٣ ، ٧٤ ، ٧٦ ، ٧٢٨
(ح)	بطليموس : ١ ، ١٢ ، ٣٦ ، ٤٤ ، ٦٣ ،
الحاكم بأمر الله الفاطمى : ١٧ ، ١٨ ،	٦٤ ، ٦٦ ، ٦٧ ، ٦٨ ، ٦٩ ، ٧٥ ،
١٩	١٧٤ ، ١٩٩ ، ٢٩٨ ، ٣٤٤ ، ٣٩٣ ،
الحسن بن شاكرا : ٦٠ ، ٦١ ، ٦٢ ،	٣٩٧ ، ٤٨٩ ، ٤٩٠ ، ٧٠٩ ، ٧١٦ ،
حنين بن إسحاق : ١١ ، ٧٧ ، ٩٤	٧٢٨ ، ٧٩٩ ، ٨٢٤ ، ٨٣٤ ، ٨٥٠ ،
(خ)	٨٥٤
الخازن — الخازنى : ٣ ، ٥ ،	بنو شاكرا : ١١
الخوارزمى	بودا (Bode) : ٢ ، ٦٧ ، ٤٦٨ ، ٤٦٩ ،
— عبد الله الكاتب : ١٣١	٤٧٠ ، ٤٨٨ ، ٤٩١ ، ٤٩٢ ، ٦١٣ ،
— محمد بن موسى : ١١	بوجيه (Bouget) : ١٣٧
(د)	البوزجانى (أبو الوفا) : ١١
دراير (Draper) : ٣	البيهقى : ١٦ ، ١٨ ، ٢١ ، ٢٣ ، ٣٦ ،
	پرستون (Preston) : ٥٢ ، ٥٣ ،
	پرستلى (Priestley) : ٢ ، ٣ ،

شون (Schone) : ٧٦  
 الشيرازى (قطب الدين) : ٨، ٩،  
 ٤٢٩، ٢٢، ٢١، ١٠

(ص)

صارتون (Sarton) : ٧٦، ٧٥، ٧٤  
 الصوفى (عبد الرحمن) : ١١

(ط)

الطوسى (نصير الدين) : ٩، ١٠، ٦٠،  
 ٦١، ٦٢، ٩٨، ١٣١، ٨٢٤،  
 ٨٥٠، ٨٣٤، ٨٢٦

(ع)

علم الدين قيصر : ١٩  
 على بن العباس : ٢٠٦

(غ)

غاليليه (Galilie) : ١٥١، ٨٥٤  
 غاوس (Gauss) : ٢٢٢  
 الغزالي : ٣٥، ١١٣، ١٣١  
 غوفى (Govi) : ٧١

(ف)

الفارابى : ١١  
 الفارسى (كمال الدين) : ٤، ٥، ٨،  
 ٢١، ٢٢، ٨٢، ٩٣، ٩٧، ١١٠،  
 ١١١، ١١٢، ١١٣، ١٢٠، ١٣٦،

دلاپورتا (Della Porta) : ٢، ١٨٠،  
 ٢٠٣

دميانوس (Damianus) : ٧٦، ١١٨،  
 ديكارت (Descartes) : ٩٤، ١١٨،  
 ١٢٤

ديوقليس (Diocles) : ٧٥

(ر)

الرازى

— أبو بكر : ١١، ٧٧، ٢٠٦،  
 — نخر الدين : ١٣١، ٢٠٦،  
 رزنىر (Risner) : ١، ٣، ٢١٠،  
 الرواقيون : ٥٥، ٨٣

(ز)

زينون الستيومى : ٥٥

(س)

سر كيس : ٤  
 سلامة بن رحمون : ٢١  
 سلوس (Sluse) : ٤٩١  
 سمث (Smith) : ٦٣  
 سنل (Snell) : ٧٨٩  
 سهل بن بشر : ١١

(ش)

الشهرستانى : ٥٥، ٥٢

كپلر (Kepler) : ٣ ، ١١٨ ، ٢٢٢ ،  
 ٧٠٩ ، ٢٣٩  
 كرتشر (Kircher) : ١٧٦  
 كرنكو : ١٧٤  
 كرو (Crew) : ٣  
 كلفن (Kelvin) : ٤٦ ، ٥٠  
 كليوميديس (Cleomedes) : ٧٤ ،  
 ٧٢٨  
 الكندي : ١١  
 كوپرنيكوس (Copernicus) : ٣٦

## (ل)

لاكاي (La Caille) : ٦١٣  
 لامبير (Lambert) : ١٧٧  
 لستنچ (Listing) : ٢٢٤  
 ليبنتز (Leibnitz) : ١٢٤  
 ليناردو دافنشي (Leonardo da Vinci)  
 : ١٧٦ ، ٢٠٣

## (م)

مالك (Mallik) : ٥٥  
 ماك (Mach) : ٣٦ ، ٦٥ ، ٧٦ ، ٨٨ ،  
 ٩٤ ، ١١٧ ، ١٧٦ ، ١٧٧ ، ٢٢٢ ،  
 ٨١١ ، ٨١٢  
 مايرهوف (Meyerhof) : ٧٧ ، ٢٠٦  
 المبشر بن فاتك (أبو الوفاء) : ٢٠

١٤٤ ، ١٥٢ ، ١٧٤ ، ١٧٥ ، ١٨١ ،  
 ١٨٧ ، ٢٠٦ ، ٢٠٧ ، ٢٠٨ ، ٢٢٢ ،  
 ٢٣٧ ، ٢٦٧ ، ٢٦٩ ، ٣١١ ، ٣٣٠ ،  
 ٣٣٨ ، ٣٤٣ ، ٣٥٨ ، ٣٧٢ ، ٣٧٤ ،  
 ٤٢٢ ، ٤٢٤ ، ٤٢٨ ، ٤٢٩ ، ٤٣٠ ،  
 ٤٥١ ، ٤٦٤ ، ٥٢٥ ، ٥٩٧ ، ٦٠٩ ،  
 ٦١٧ ، ٦٨٤ ، ٦٨٩ ، ٧٠٩ ، ٧١١ ،  
 ٧١٢ ، ٧٢٢ ، ٧٢٦ ، ٧٣٩ ، ٧٤٢ ،  
 ٧٥٦ ، ٧٦٣ ، ٧٧٩ ، ٧٩٣ ، ٧٩٧ ،  
 ٧٩٩ ، ٨١٨ ، ٨٣٣

الفرغاني (احمد بن كشير) : ١١

فرما (Fermat) : ٧٦

الفلكي (محمود) : ٣٤٦

فيثاغورس (Pythagoras) : ٥١

فيتلو (Vitelo) : ١ ، ٢ ، ٢٠٣ ، ٤٦٩ ،

٤٩١

فيدمان (Wiedemann) : ٢ ، ٤ ،

١٧٥ ، ١٥٨ ، ٤١٠ ،

فيلد (Wilde) : ٨١٢

## (ق)

قسطن بن لوقا : ٧٧

القفطي : انظر ابن القفطي

## (ك)

كارل بيرسون (Karl Pearson) : ٣٦

هو يجنز (Huygens) : ١٦٨ ، ٤٩١ ،

٨٥٤

هيبيرج (Heiberg) : ٦١ ، ٥٩

( و )

والاس (W. Wallace) : ٥٣ ، ٥٢ ،

٥٤

وودورث (Woodworth) : ٢٨٦ ،

( ى )

يحيى النحوى : ١٣ ،

يعقوب بن إسحاق الكندى : ٦٢ ،

٧٧

ينج (Young) : ٤٨٤ ،

يوسف الفاسى الإسرائيلى : ٢٠ ،

مريوط (Marriotte) : ٤٨٤ ،

مكسول (C. Maxwell) : ٥٠ ،

معشر البلخى : ١١ ،

مورولييكوس (Maurolycus) :

٢٢٢ ، ٢٠٣

مونتوكلا (Montucla) : ٣ ،

ميبلى (Mieli) : انظر « برونيه »

( ن )

نيوتن (Newton) : ١٠٥ ، ٥١ ، ٥٠ ،

١٠٦ ، ١٢١ ، ١٢٩ ، ١٣٥ ، ١٣٦ ،

١٤٥ ، ١٤٧ ، ٤٨٤ ، ٨٥٤

( ه )

الهازن (Alhazen) : ١ ، ٢ ، ٤ ، ٥ ،

هلمهولتز (Helmholtz) : ٢٢٢ ،



## فهرس هجائى

بالإصطلاحات والموضوعات الواردة فى الكتاب

الرفصام تشير الى الصفحات

الآثير : ٧٣	( ١ )
الاحتيال : ٤١٦	الإبصار
الاحراق : ٤١٠ — ٤١٢ ، ٨٠٦ ،	خط الابصار : ٢٣٣
٨٠٧ ، ٨٠٨ ، ٨٠٩	لوحة الابصار : ٣٠٤
الاحساس : انظر « الحس »	كيفية الابصار عند أصحاب التعاليم :
الاحساس المجرد : ٢٧٧ ، انظر أيضاً	٣٢ ، ٧٩ ، ٨٣ ، ٩٣ ، ٩٧ —
« الادراك »	٥٩٠
الاحساس	كيفية الابصار عند الفلاسفة : ٣٢ ،
انتقال الاحساس : ٢٢٥ — ٢٣٣ ،	٧٩ ، ٨٣ ، ٩٣ ، ٩٧ — ٩٩ ،
٢٩٩	٥٩١
أحكام : انظر « حكم »	نظرية الابصار عند ابن الهيثم : ٩ ، ٣٥ ،
الاختلاف : ٢٤٠	٢١٦ — ٢٣٩
اختلاف المناظر : انظر « علم »	نظريات الابصار فى الفلسفة اليونانية :
اختلاف المنظر : ٧٣٧ ، ٨٢٧ ، ٨٣٤	٥١ — ٥٥
إدراك	أبعاد ما بين الكواكب
إدراك البعد : انظر « البعد — إدراكه »	أثر الانعطاف فيها : ٨٣٨ — ٨٤٥
إدراك التجسيم : انظر « التجسيم — إدراكه »	أبو قلوبون : ١١٢ ، ١١٣
	الأرملا ( Armilla ) : ٨٢٦
	الاتصال : ٢٤٠
	الاتصال
	مذهب الاتصال : ١٤٧

## الإدراك

- الإدراك بالبديهة : ٢٧٧ — ٢٨٢  
 الإدراك بالبديهة مع تقدم المعرفة : ٢٧٩  
 الإدراك بالبصر : ٢٤٩ ، ٢٥٠ ،  
 ٢٧٦ — ٢٩٨  
 الإدراك بالتأمل : ٢٧٧ — ٢٨٢  
 الإدراك بالتأمل مع تقدم المعرفة : ٢٧٩  
 الإدراك بالحس المجرد : ٢٤١ ، ٢٤٧ ،  
 ٢٥٣  
 الإدراك بالقياس والتمييز : ٢٤٢ - ٢٥٠  
 الإدراك بمجرد البديهة : ٢٧٨  
 الإدراك بمجرد التأمل : ٢٧٩  
 الإدراك بالمعرفة : ٢٤٢ — ٢٥٠ ،  
 ٢٩٢ — ٢٩٧

## الإدراك

زمان الإدراك : انظر « زمان »

## الإرتداد

معامل الارتداد : ١٢٦

## الإستضاء

شدة الاستضاءة : ١٧٦ — ١٧٨

## الإستطارة

ظاهرة الاستطارة : ٩٢

الإستقرار : ٣٠ ، ٣١ ، ٣٢ — ٤٣

الإشراق الكرى : ١٦٧ ، ١٦٩

الإضاءة : ٣١٣

## إدراك

- إدراك الجهة : انظر « الجهة — إدراكها »  
 إدراك الحسن : انظر « الحسن — إدراكه »  
 إدراك الشفيف : انظر « الشفيف — إدراكه » .  
 إدراك الشكل : انظر « الشكل — إدراكه » .  
 إدراك الصور بالانعطاف : ٧٢٣ —  
 ٧٢٧  
 إدراك الصور بالانعكاس : ٥٩٠ — ٥٩٦  
 إدراك الضوء واللون : ٢٥١ — ٢٥٤  
 إدراك الظلمة : انظر « الظلمة — إدراكها »  
 إدراك العدد : انظر « العدد — إدراكه »  
 إدراك العظم : انظر « العظم — إدراكه »  
 إدراك الكثافة : انظر « الكثافة — إدراكها » .  
 إدراك ماهيات الأشياء — كلفيته :  
 ٢٩٠ — ٢٩٦  
 إدراك ماهيات الأشياء — الغلط فيه :  
 ٣١٦ — ٣١٧  
 إدراك ماهية الضوء واللون : ٢٥٣ —  
 ٢٥٤  
 إدراك المبصر واحداً : ٦٥ ، ٢٩٨ —  
 ٣٠٦  
 إدراك المعنويات : ٢٤٦  
 إدراك الهوية : ٢٩٤
- ## الإدراك
- الإدراك الحسى : ٢٤٨  
 الإدراك البين : ٣٠٧ — ٣١٠  
 الإدراك المحقق : ٢٦٥ ، ٢٩٧  
 الإدراك المحقق وغير المحقق للحيال :  
 ٦٢٠ ، ٦٢١ ، ٦٦٨ ، ٦٧٠  
 الإدراك المظنون : ٢٦٥

## الإمارة

تعريف الإمارة : ٢٩٣

أنا لوجي : ٣١ — ٤٩

انعطاف الأشعة المتوازية : ٧٩٠ ،

٧٩١ — ٧٩٣

## الإنعطاف

الانعطاف عند السطح الاسطوانى :

٧٠٣ ، ٧٠٧ — ٧٠٩

الانعطاف عند السطح الكرى : ٦٩٩

٧٠٢ — ٧٠٣ ، ٧٠٦ — ٧٠٧

الانعطاف عند السطح المستوى : ٩٨ -

٦٩٩ ، ٧٠٣ ، ٧٠٤ — ٧٠٦

الانعطاف فى الطبقة الهوائية : ٨٢٣ —

٨٤٧

## الإنعطاف

آلة الانعطاف : ٦٨٥ — ٦٩٠ ، ٧٢٣

أثر الانعطاف فى مواضع الكواكب

وأبعادها : ٨٣٨ — ٨٤٧

أحكام الانعطاف : انظر « حكم » .

بحوث الانعطاف ( الكمية ) : ٧٠٣ ،

٧٠٣ — ٧٠٩

خط الانعطاف : انظر « خط » .

خيالات الانعطاف : انظر « خيال » .

زاوية الانعطاف : ٦٨٣

سطح الانعطاف : انظر « سطح » .

عدم الانعطاف : ٦٩٣ — ٦٩٧

علة الانعطاف : ١٣٩ ، ١٤٣

كيفية الانعطاف : ٦٨٢ — ٦٨٥ ،

٦٩٠ — ٦٩٣ ، ٦٩٧ — ٧٠٢

نظرية الانعطاف : انظر « نظرية » .

## الإعتبار

خطر الاعتبار فى بحوث ابن الهيثم :

٤٣ — ٤٧

## الإعتدال

عرض الاعتدال : ٣١٢

## الإعتماد

أغلاط البصر : انظر « البصر —

أغلاطه » .

## أغلاط البصر

أقسام أغلاط البصر : ٣١٤

علة أغلاط البصر : ٣١١ — ٣١٤

## الأغلاط

الأغلاط فى القياس : ٣١٨ — ٣٢

الأغلاط فى مجرد الحس : ٣١٤ — ٣١٦

الأغلاط فى المعرفة : ٣١٦ — ٣١٧

ألوان التقايزج : انظر « التقايزج »

الألوان : انظر « لون » و « اللون » .

## الألوان

اختلاف الألوان — السبب فيه : ١٠٩ ،

١١٠

امتداد الألوان : ١٠٧ ، ١٠٨ ، ١٠٩

امتزاج الألوان : ١١٤ — ١١٧

صور الألوان : انظر « الصورة »

الإمارة : ٢٤٢ ، ٢٩٢ — ٢٩٧ ، انظر

أيضاً « الادراك بالمعرفة » .

الانكسار

زاوية الانكسار : ٦٨٤

الانتباه : ٢٧٩

الانتزاع : ٢٨٥

انفعال : ١٢٦

الأوپطيق : انظر « علم »

الائتلاف : ٢٧٦ ، ٢٧٥

الآين : ٢٥٩

(ب)

الباقية : ٦٨٤

بحوث ابن الهيثم

ذووعها عند الاسلاميين : ٨ — ٩٠

طريقته فيها : ٢٩ — ٣٧

بديهيات : ٢٤٥

البصر : انظر « العين »

البصر

إحساس البصر — جنسه : ٢٢٧ ، ٢٢٨

٢٣٠ ، ٢٢٨

انعكاس

انعكاس الأشعة المتوازية : ٤٠٢ —

٤٧٩ ، ٤٠٧

انعكاس ضوء الشمس عن القمر :

٣٩١ — ٤٠١

انعكاس النقطتين : انظر « تعاكس »

الانعكاس

الانعكاس الداخلي الكلي : ٧٢١

الانعكاس المنتظم وغير المنتظم : ٩٨

الانعكاس عن سطح الكرية المحدبة :

٣٨١ — ٤٠١

الانعكاس عن سطح الكرية المقعرة :

٤٠٢ — ٤٧٤

الانعكاس عن سطح مدور القطع المكافئ :

٤٧٥ — ٤٧٩

الانعكاس

آلة الانعكاس : ٤٥ ، ٤٧ ، ٣٤٦ —

٣٦٠ ، ٦٠٤

أحكام الانعكاس : انظر « حكم »

تمام الانعكاس — عدمه : ٣٤١ ، ٣٤٢

حالات الانعكاس — استقراؤها :

٣٦٠ — ٣٦٣

خط الانعكاس : انظر « خط »

خيالات الانعكاس : انظر « خيال »

سطح الانعكاس : انظر « سطح »

فصل الانعكاس : ٣٤٥

كيفية الانعكاس : ٣٣٩ — ٣٦٣

نظرية الانعكاس : انظر « نظرية »

نقطة الانعكاس : انظر « نقطة »

الانعكاسية :

انظر « ضعف الانعكاسية »

البيضية : ٢٠٨ ، ٢٢٨

(ت)

التأمل : ٢٨٣ — ٢٨٧

التأمل الحسى والعقلى : ٢٨٣

التأمل

زمان التأمل : « انظر زمان »

التالية : ٤٥١

التجسم : ٢٤٠

التجسم

ادراك التجسم — الغلط فيه : ٣١٩

ادراك التجسم — كلفيته : ٢٧٠

التحديق : ٢٦٨ ، ٢٦٩

التحرك : انظر « حركة »

التذكر : ٢٤٨ ، ٢٤٩

ترجمة ابن الهيثم : ١٠ — ٢٣

التشابه : ٢٤٠

تعاكس النقطتين عن الكرية المقعرة

٤٢٠ — ٤٢٤ ، ٤٢٩ — ٤٥١ ،

٤٧١ — ٤٧٤

البصر

إحساس البصر بالضوء واللون :

٢٥٥ ، ٢٥٦

إدراك البصر — كلفيته : ٢٣٥ — ٢٣٩

أغلاط البصر : ٣١١ — ٣٨٨ ،

٦٠١ — ٦٠٢ ، ٧٤٤ — ٧٤٥

تكيف البصر : ٢٦٤

حدة البصر : ٢٦١ ، ٣٢٣

خواص البصر : ٢٥٤ — ٢٥٧

كلل البصر : ٢٥٦

محور البصر : ٢٣٣

مركز البصر : ١٠٠ ، ٢٢٥ ، ٢٣٣

انبساط الأثر فى البصر : ٣٣٧ — ٣٣٨

البعء : ٢٤٠

البعء فى ذاته : ٢٥٨

البعء

البعء المسرف : ٢٦٠

البعء المعتدل : ٢٦٠ ، ٢٦٤ ، ٢٦٥

البعء البورى : ٨٠٢ — ٨٠٨

البعء

ادراك البعء — كلفيته : ٢٥٨ — ٢٦٦

ادراك البعء — الغلط فيه : ٣١٩ ،

٣٢٠ ، ٣٢٢

البعقة الصفراء : ٢٢٤

بؤرة الشعور : ٢٨٥

البؤرة : ٤٠٨ ، ٤٧٦ ، ٤٧٧ ،

٦١٨ ، ٧٩٩

الجسم المخالف : ٦٨٤

الجليدية : ٢٠٦ ، ٢٠٧ ، ٢٠٨ ،

٢٠٩ ، ٢١٥ ، ٢١٨ ، ٢٢٥ ،

٢٢٨ — ٢٣٣

الجليدية

احساس الجليدية بالضوء :

٢١٨ — ٢٢١ ، ٢٢٦

شفيف الجليدية : ٢٢٩

الجهة : ٢٦٦ — ٢٦٧

(ح)

الحاس الأخير : ٢٢٧ ، ٢٢٨ ،

٢٣٠ ، ٢٣١ وما يليها

الحرس : ٢٦٥

حرارة نارية : ٧٩

الحركة : ٢٤٠ ، ٢٦٩

الحركة

الطبيعية والعرضية : ١٢١

الحركة

تحليل الحركة وتركيبها : ١٣٠ ،

١٤٨

طاقة الحركة : ١٢٤

كمية الحركة أو التحرك : ١٢٤

قوة الحركة : ١٢٣ ، ١٢٤ ،

١٤٨

تعاليم

أصحاب التعاليم : ٣٢ ، ٥٧ ، ٩٠ ،

٣٩١ ، ٥٩٤ ، انظر أيضا « الإبصار »

التفرق : ٢٤٠

التمازيج : ٥٦ ، ١١٢ ، ١١٣ ، ١١٤ ،

١١٧ ، ١١٨ ، ٤٢٥

التقسيم التوافقي : ٧٣٦

تلخيص المحصل ( كتاب ) : ٩

التلون : ١١٨

التثيل : انظر « أنالوجي »

التويه

فن التويه والتضليل : ٣١٧

التمييز : ٢٤٢ ، انظر أيضا « الادراك »

التناسب : ٢٧٥ ، ٢٧٦

التنبه : ٢٧٩

تنقيح المناظر ( كتاب ) : ٤

(ج)

الجامع الأزهر : ٢٠

خسوف القمر : ١٧٥ ، ٧٤

الخشونة : ٢٤٠

خط

خط الاستقامة : ٦٨٤ ، ٣٤٥

خط الامتداد : ٦٨٤ ، ٣٤٥

خط الانعطاف : ٦٨٤

خط الانعكاس : ٣٤٥

خط الخيال : ٥٩٧

خط القوة وخطوطها : ٢٣٢

الخط البؤرى : ٦٤٧

خيال وخيالات

خيال النقطة المبصرة : ٢٣٨

خيالات الانعطاف عند السطوح الكرية :

٨٢٢ — ٨١٠

خيالات الانعطاف عند السطوح المستوية :

٧٦١ — ٧٤٥

خيالات الانعكاس عن المرايا الكرية :

٦٨١ — ٦٠٤

خيالات الانعكاس عن المرايا المستوية :

٦٠٣ — ٥٩٠

خيالات الانعكاس عن المرايا المنحنية :

٦٣٠ — ٦٢٨

الخيال : ٧٢٨ — ٧٢٧ ، ٥٩٦

الخيال

الخيال التقديرى : ٦٥٨ ، ٦٢٨

لخيال الحقيقى : ٦٦٣ ، ٦٢٨

الجزمة الضوئية : ١٠١

الحس

مجرد الحس — الغلط فيه : ٣١٦ — ٣١٤

الحسن : ٢٤٠

الحسن

إدراكه : ٢٧٦ — ٢٧٤

حكم وأحكام

حكم ابن الهيثم فى اشراق الأضواء :

١٦٦ — ١٦٩

حكم ابن الهيثم فى الانعكاس : ٣٤٣ —

٣٤٦

أحكام ابن الهيثم فى نقطة الانعكاس عن

الكرية المحدبة : ٣٨٣ — ٣٩١

أحكام ابن الهيثم فى ضعف الانعكاسية :

٤٥١ — ٤٦٧

أحكام بطليموس فى الانعطاف : ٦٧

أحكام بطليموس فى الانعكاس : ٦٦

أحكام الحكم فى الانعطاف : ٧٠٩ —

٧٢١ ، ٧١١ ، ٧٢١

أحكام الكيف فى الانعطاف : ٦٨٢ —

٦٨٥

الحكمة

دار الحكمة : ١٧

الحلق : انظر ذات الحلق

(خ)

الخرزانة المظلمة ذات الثقب : ١٨٠ —

٢٠٤

## الخيال

موضع الخيال في السكرية المقعرة :  
٦٢١ — ٦١٩

موضع الخيال في المرآة المستوية :  
٥٩٩ — ٥٩٨ ، ٥٩٧

## ( د )

## الدوامة

الاعتبار بالدوامة : ١١٤ ، ٢٥٤ ،  
٢٩٦

ديوپطريقى : ٥٧

## ( ذ )

ذات الحلق : ٨٢٧ — ٨٢٤

ذات الشعبتين : ٨٣٢ ، ٨٥٠ ، ٨٥١

الذخيرة البصرية ( كتاب ) : ١ — ٤ ،  
٤٩٦ ، ٢٤٠

الذكر : ٢٤٨

## ( ر )

الروح الباصر : ٥٢ ، ٢٥٢

## ( ز )

## زمان

زمان الادراك : ٢٩٤ — ٢٩٧  
زمان انتقال الضوء : انظر « الضوء »  
زمان التأمل : ٢٨٦

الزيغ : ٤٠٢ ، ٤١٠ ، ٤١٢ — ٧٨٢ ،  
٧٩٣ — ٧٩٩ ، ٨٠٨ ، ٨٢١

## الخيال

الخيال المستقيم : ٦٤٣ ، ٦٥٧ ،  
الخيال المصغر : ٦٦٦ ، ٦٧٠ —

٦٧٢ ، ٦٧١

الخيال المكبر : ٦٦٦

## الخيال

انعكاس الخيال : ٦٦٥ ، ٦٧٠

انقلاب الخيال : ٦٠٠

تشوه الخيال : ٧٤٩ — ٧٥٠

تعدد الخيال : ٦٧٩ ، ٧٣٩ ، ٧٤٣ ،  
٧٧٩ ، ٧٦٢

تقوس الخيال : ٦٤٣ ، ٦٤٥ ، ٦٤٦ ،

٦٥١ ، ٦٥٦ ، ٦٥٧ ، ٦٧٩

شكل الخيال ( في السكرية المحدبة ) :

٦٣٦ ، ٦٤٣ — ٦٥٨

شكل الخيال ( في السكرية المقعرة ) :

٦٧٢ — ٦٨٠

صفات الخيال ( في المرآة المستوية ) :

٥٩٩ — ٦٠٠

عظم الخيال ( في الانعطاف عند السطح

السكرى ) : ٨١٣ ، ٨١٤ ،

٨١٥ ، ٨١٦

عظم الخيال ( في الانعطاف عند السطح

المستوى ) : ٧٤٨ ، ٧٤٩ ،

٧٥١ ، ٧٥٤ ، ٧٥٥ ، ٧٦٠ —

٧٦١ ، ٨١٤ ، ٨١٥ ، ٨١٦

عظم الخيال ( في الانعكاس عن السكرية

المحدبة ) : ٦٣٠ — ٦٣٦

عظم الخيال ( في الانعكاس عن السكرية

المقعرة ) : ٦٥٨ — ٦٦٧

موضع الخيال — قاعدة تعيينه : انظر « قاعدة »

موضع الخيال الحادث بالانعطاف :

٧٣٥ — ٧٣٩ ، ٧٨١

موضع الخيال في السكرية المحدبة :

٦١٣ — ٦١٩

## الشعاع

- الشعاع الساقط : ٣٤٥  
 الشعاع الشمسي : ٤١٠  
 الشعاع المنعكس : ٣٤٥

## الشعاع

- أصحاب الشعاع : ٩٩ ، ٩٣ ، ٥٥ ،  
 أنظر أيضا «التعاليم — أصحابها»  
 خطوط الشعاع : ١٠٠  
 زاوية الشعاع : ٩  
 سهم الشعاع : أنظر « سهم »  
 مخروط الشعاع : ٢٣٤ ، ٢٢٥ ، ١٠٠  
 مخروط الشعاع — سهمه : ٢٢٥

الشعبتان : انظر « ذات الشعبتين »

## الشعور

بؤرة الشعور : أنظر « بؤرة الشعور »

الشفق : ٩٠

الشفيف : ١٣٧ ، ٩٢ ، ٨٧ ، ٨١ —

٢٤٠ ، ١٤٣

## الشفيف

- إدراك الشفيف — كلفيته : ٢٤١  
 إدراك الشفيف — الغلط فيه : ٣١٩

الشكل : ٢٤٠

## الشكل

- إدراك الشكل — كلفيته : ٢٧١  
 إدراك الشكل — الغلط فيه : ٣٢٠

## (س)

سرعة الضوء : انظر « الضوء — سرعته »

## السرعة

تحليل السرعة وتكوينها : ١٤٥ ، ١٣٠

## سطح

- سطح الانعطاف : ٦٨٤  
 سطح الانعكاس : ٣٤٥

السكون : ٢٤٠

## سهم

- سهم الشعاع : ١٠٠  
 سهم المخروط المتوهم : ٢٣٣  
 سهم المرآة : ٤٠٢

سينوغرافيا : ٥٧

## (ش)

الشبح : ٩٨ ، ٨٨ ، ٨٤ ، ٨٣ ، ٥٤

الشبكية : ٢٢٥ ، ٢٠٩ ، أنظر أيضا  
 « العين »

الشحمة البيضاء : ٢٠٦

الشعاع : ٥٩ ، ٥٥ ، ٥٣ ، ٥٢ ،

١٠٢ — ٩٩ ، ٩٧ ، ٩٥ ، ٩٤ ، ٦٠

(ض)

ضعف الانعكاسية: ٤٥١

ضعف الانعكاسية

أحكام ضعف الانعكاسية: انظر «حكم»

ضوء

ضوء الشمس — انعكاسه عن القمر:

٣٩١ — ٤٠١

ضوء الصباح: ٩٠، ٩١، ٩٢،

١٥٨ — ١٦٠، انظر أيضاً

«الفجر»

ضوء العشي: ٩٢

ضوء القمر — الاعتبار به: ١٥٦ — ١٥٨

ضوء القمر — ماهيته: ٩٠، ٣٩١ وما يليها

ضوء الكواكب: ١٥١

الضوء: ٢٤٠

الضوء المستطير: ٩٣

الضوء

إدراك الضوء — كفيته: ٢٥١ — ٢٥٤

إدراك الضوء — الغلط فيه: ٣١٥

إشراق الضوء — كفيته: ١٦٦ — ١٦٩

إشراق الضوء إشراقاً كرياً: ١٦٧،

١٦٩

اعتبار الضوء كماً: ١٧٧

امتداد الضوء على السموت المستقيمة:

١٤٩ — ٢٠٤

انحرط الضوء في الثقوب: ١٥٢، ١٦٤

تثيت الضوء: ٨٧، ٨٨، ٨٩

تشتيت الضوء: ١٠٥

تعريف الضوء: ٧٨ — ٨٦

توزع الضوء في الاطلاع: ١٧٦ — ١٨٠

شك وشكوك

شك على أقوال ابن الهيثم في أثر الانعطف

في أبعاد الكواكب ومقاديرها:

٨٤٥ — ٨٤٧

شكوك على أحكام ضعف الانعكاسية:

٤٦٧ — ٤٧١

شكوك على مسألة ابن الهيثم: ٤٩١، ٤٩٢

(ص)

الصباح: انظر «الفجر»

الصقال: ١٣٣، ١٣٥

صورة وصور

صورة كسوف الشمس: انظر «الخرانة

المظلمة ذات الثقب» .

صورة المبصر في البصر: ٢٢٠،

٢٢٨، ٢٣٢

صورة المبصر في البصر — تأديها فيه:

٢٢٥ — ٢٣٣

صورة هلال القمر: انظر «الخرانة

المظلمة ذات الثقب» .

صور الأضواء والألوان: انظر «الصورة»

الصورة: ١٠٣ — ١٠٥

الصورة

الصورة الجزئية أو الشخصية: ٢٨٧

الصورة العقلية أو الذهنية: ٢٨٧ —

٢٩٢

الصورة الكلية أو النوعية: ٢٨٧

## الظل

الظل المحض : ١٧٢ ، ١٧٣  
الظل الممازج للضوء : ١٧٣

## الظل

شبه الظل : ١٧٠  
طول الظل — حسابه : ١٧٣

الظلمة : أنظر الظل

الظلمة : ٢٤٠

## الظلمة

ادراك الظلمة : ٢٥٧

(ع)

العدد : ٢٤٠

## العدد

ادراك العدد : ٢٨٦

العدسات : ٧٤٥ ، ٨١١ ، ٨١٧

## العصبة

العصبة البصرية : ٢٠٦ ، ٢٠٩ ،

٢٣٠ ، ٢١٤

العصبة المشتركة : ٢٢٧ ، ٢٢٨ ، ٣٠٤

العصى : انظر « القضبان »

العطفية : ٦٨٤

العظم : ٢٤٠

## العظم

ادراك العظم — كيفيته : ٢٧١ — ٢٧٤

## الضوء

توزع الضوء في صورة الخزانة المظلمة :  
انظر « الخزانة »

جسم الضوء : ٦٨٤

سرعة الضوء : ١١٨ — ١٢٠ ،

١٣٥ ، ١٣٧ ، ١٣٨ ، ١٣٩

صورة الضوء أو الأضواء : أنظر  
« الصورة »

ضعف الضوء بسبب البعد : ١٦٩

علم الضوء : أنظر « علم »

وجود الضوء في داته : ٨٥ ، ٨٢ ، ٢٦

## الأضواء

الأضواء الذاتية : ٨٦ — ٨٧

الأضواء الذاتية — خواصها :

١٥٠ — ١٥٤

الأضواء الذاتية — اعتبارات فيها :

١٥٤ — ١٥٦ ، ١٦٠ — ١٦٥

الأضواء العرضية أو الثواني :

٨٦ — ٨٨ ، ٩٠

الأضواء العرضية — اعتبارات فيها :

١٥٤ — ١٦٥

الأضواء العرضية — انعطافها : ٧٠٢

الأضواء العرضية — انعكاسها :

٣٣٤ — ٣٤١

الأضواء المنعكسة : ٨٨ ، ٩٠ ، ١٦٦

الأضواء النافذة : ١٦٦

(ظ)

الظل : ٢٤٠

الظل والاضلال : ١٧٠ — ١٨٠

الظل والاضلال

تجارب فيها : ١٧٣

## الظل

الظل الهندسى : ١٧١

(ف)

الفتومترية : ١٧٦ ، ١٧٧

الفجر : انظر « ضوء الصباح »

الفجر

ضوء الفجر : ١٦٥

نظرية ابن الهيثم فيه : ٩٠ - ٩٣

فصل

فصل الانعطاف : ٦٨٥

فصل الانعكاس : ٣٤٥

الفصل المشترك : ٣٤٥

الفلاسفة الطبيعيون : ٣٢

انظر أيضاً « الابصار - كيفيته  
عند الفلاسفة »

فلسفة

فلسفة ابن الهيثم : ٢٣ - ٥٠

الفلسفة

الفلسفة الهندية : ٥٥

الفلسفة اليونانية - نظريات الأبصار

فيها : ٥١ - ٥٥

الفلك

جسم الفلك : ٧٣

كرة الفلك : ٧٣

ادراك العظم - الغلط فيه :

٣٢٢ - ٣٧٧ ، ٨٤٧ - ٨٤٩

علم

علم اختلاف المناظر : ٥٧

علم الأوبطيقي : ٢ ، ٥٧ ، ٥٨

علم الضوء عند الاسلاميين : ٧٧

علم الضوء في العصر الاسكندري :

٥٦ - ٧٦

علم المناظر : ٥٧ ، ٥٨

علم المنظور : ٥٧

العلم

العلم التعليمي : ٣٨ ، ٣٩ ، ٤٠

العلم الطبيعي : ٣٨ ، ٣٩ ، ٤٠

علوم أول : انظر بديهيات

العكس

قبول العكس : ٧٢

قبول العكس - قاعدته : انظر « قاعدة »

العينية : ٢٠٦ ، ٢٠٧ ، ٢٠٩ ، ٢١٠ ، ٢٣٣

العين : ٢٠٥ - ٢١٦ ، انظر أيضاً « البصر »

العين المبسطة : ٢٢٤ ، ٢٧٢

(غ)

غلاف

غلاف الأشعة المنعطفة : ٧٣٦

غلاف الأشعة المنعكسة : ٦٣٩ ، ٦٤٨ ، ٦٨٠

غلط : انظر « أغلاط »

## قطاع

القطاع الأول : ٤٣٠

القطاع المقابل : ٤٣٠

القطع الزائد : ٥٠٤ ، ٤٩٨

## القطوع المخروطية

استخراجها بالآلة : ٤٧٩

## القمر

الاعتبار بالقمر : ٨٣٢ — ٨٣٥ ، ٨٥٢

القوة : ١٤٨

## القوة

القوة الباصرة : ٨٠

القوة المميزة : ٢٤٢

القوة التورية : ٨٠

قوس قزح : ٤٢٠ ، ٤٢٥ ، ٤٢٨

القياس : ٢٧ ، ٣٠ ، ٣١ ، ٣٣ ، ٤٨ ،

٢٤٢ — ٢٥٠

القياس — الغلط فيه : ٣١٨ — ٣٣٣

## ( ك )

## كتب ابن الهيثم

كتاب الأصول الهندسية والعددية : ١٤

كتاب الجامع في أصول الحساب : ١٤

كتاب خطوط الشعاعات : ٧٩٧

## ( ق )

قاطو يطريق : ٥٧ ، ٧٥ ، ٧٦

## قاعدة

قاعدة أقصر الأوقات : ٧٦ ، ١٤٤

قاعدة تعيين موضع الخيال في الانعطاف :

٧٢٩ — ٧٣٥ ، ٧٣٥ — ٧٣٧

قاعدة تعيين موضع الخيال في الانعكاس :

٥٩٦ — ٥٩٨ ، ٦٠٤ — ٦١٣

قاعدة قبول العكس : ٧٢ ، ٧٢١ —

٧٢٢ ، ٧٦٣ ، ٧٧٧

قانون : انظر « حكم وأحكام »

## قانون

قانون الانكسار ( الأول ) : ٦٨٤

قانون المرآة الكرية المحدبة :

٦٢١ — ٦٢٣

قانون المرآة الكرية المقعرة :

٦٢٣ — ٦٢٥

قانون المرآة التي فصلها قطع ناقص :

٦٢٥ — ٦٢٨

القبح : ٢٤٠

القزحية : ١٠٠ ، ٢١٥

قسط الاعتماد : انظر الاعتماد

القصور الذاتي : ١٤٧ ، ١٤٨

القضبان : ٢٥٥

( م )

المادة : ١٠٣

الماهية

ادراك الماهية — كيفيته: ٢٩٤ — ٢٩٦

ادراك الماهية — الغلط فيه :

٣١٦ — ٣١٧

المثل الميكانيكية

أصحاب المثل الميكانيكية : ٥٠

المجازبة : ١٣٦

المجسطى : ٦٣ ، ١٧٤ ، ١٩٩ ،

٨٢٤ ، ٨٣٤ ، ٨٥٠

المحجر

ثقب المحجر : ٢٠٧

مخروط

مخروط الاستقامة : ٧٢٦

مخروط الشعاع : انظر « الشعاع »

المخروطات : ٢٥٥

المدافعة : ١٣٢ ، ١٣٦ ، ١٤٥

المرآة : انظر « الانعكاس »

المرآة

المرآة الحلقية اللامة : ٤٠٨ — ٤١٠

كتب ابن الهيثم

كتاب الرد على أبي الحسن : ١٣

كتاب الرد على يحيى النحوى : ١٣

كتاب علم عقود الأبنية : ١٦

كتاب المساحة : ١٦

الكثافة : ٨١ ، ٨٧ ، ٩٢

الكثافة

إدراك الكثافة — كيفيته : ٢٤٢

إدراك الكثافة — الغلط فيه : ٣١٩

الكواكب

إدراك الكواكب عند الأفق أعظم :

٣٣٣ — ٣٣٧

أضواء الكواكب : انظر « ضوء

الكواكب »

( ل )

اللاأدرية : ٢٧

لون

لون الجسم : ١١١

لون المضيء بذاته : ١١٣

اللون : ١٠٥ — ١١٨ ، ٢٤٠ ،

انظر أيضا « الألوان » و « التقايع »

اللون الحادث بالانعكاس : ١١١ ، ١١٢

اللون الحادث بالامتصاص : ١١٧

اللون

إدراك اللون — كيفيته : ٢٥١ — ٢٥٤

إدراك اللون — الغلط فيه : ٣١٥

إسفار اللون أو قوة اللون : ١١٥

وجود اللون في ذاته : ١٠٦ — ١١١



نقطة الانعكاس

طريقة تعيينها

- في حالات خاصة من المرايا المختلفة :  
 ٤٨٨ ، ٥٣٥ — ٥٤٢ ، ٥٤٤ —  
 ٥٤٥ ، ٥٥١ — ٥٥٦  
 في المرآة الأسطوانية : ٥٤٣ — ٥٤٨  
 في المرآة الكرية المحدبة : ٥٢٩ — ٥٣٣  
 في المرآة الكرية المقعرة : ٥٣٣ — ٥٤٣  
 في المرآة المخروطية : ٥٥١ — ٥٨٩  
 في المرآة المستوية : ٤٨٧ — ٤٨٨

نقاط الانعكاس

عددها

- في المرآة الأسطوانية المحدبة : ٥٤٣ ،  
 ٥٥٠ ، ٥٤٨  
 في المرآة الأسطوانية المقعرة : ٥٤٣ ،  
 ٥٥٠ — ٥٤٨  
 في المرآة الكرية المحدبة : ٣٨٣ — ٣٨٥  
 في المرآة الكرية المقعرة : ٤٣٥ —  
 ٤٣٦ ، ٤٦٨  
 في المرآة المخروطية المحدبة : ٥٥١ ،  
 ٥٧٥ ، ٥٨١ — ٥٨٩  
 في المرآة المخروطية المقعرة : ٥٥١ ،  
 ٥٧٥ ، ٥٧٦ — ٥٨١

نظريات ابن الهيثم

- نظريته في الإبصار : ٢١٦ — ٢٣٣ ،  
 ٢٣٣ — ٢٣٩  
 نظريته في الإدراك : ٢٤١ — ٢٤٩  
 نظريته في الإدراك بالبصر :  
 ٢٤٩ — ٢٥١ ، ٢٥٠ — ٥٩٦ ،  
 ٧٢٣ — ٧٢٧

المقدمات الهندسية

- لبحوث أشكال خيالات الكرية المحدبة :  
 ٦٣٦ — ٦٤٣  
 لبحوث الانعطاف عند السطوح الكرية :  
 ٧٦٣ — ٧٦٥  
 لتعيين نقطة الانعكاس : ٤٩٢ — ٤٩٦ ،  
 ٤٩٧ — ٥٢٧

المقياس

- المقياس الإدراكي : ٣٣١  
 المقياس المطلق : ٣٣١

الملاسة : ١٣٣

الممانعة : ١٢٤ — ١٢٧ ، ١٣٨ — ١٤٣

الممانعة الغلظية : ١٤٥

الميل ( بمعنى الاعتماد ) : انظر الاعتماد

الميل : ( بمعنى الاعتماد )

الميل الطبيعي : ١٣١

الميل القسري : ١٣١

الميل

إدراك الميل : ٢٦٨ ، ٢٦٩

( ن )

النار الآلهية : ٥٢

النظير : ٣٦٤ — ٣٦٦ ، ٣٧٠ —

٣٨٠

نقطة الانعكاس : ٣٨١ ، ٣٨٢ ،

٣٨٧ ، ٥٢٨

الوضع : ٢٤٠  
الوضع  
ادراك الوضع — كلفيته: ٢٦٦ — ٢٦٩  
ادراك الوضع — الغلط فيه: ٣١٩، ٣٢٠

الوميض : ٢٥٧

( ه )

الهالة : ٤٠٤، ٥٦، ٤٨٠ — ٢٨٥

هندسة الاضاءة : ٣١٣

الهواء

تدرجه في اللطافة : ٨٣٦ — ٨٣٧

الهوية

ادراك الهوية : ٢٩٤

الهيولى : ١٠٣

نظريات ابن الهيثم

نظريته في اغلاط البصر: ٣١١ — ٣١٤،

٦٠١ — ٦٠٣، ٧٤٤ — ٧٤٥

نظريته في الانعطاف : ١٣٧ — ١٤٧

نظريته في الانعكاس : ١٢١، ٨٩ —

١٣٧

نظريته في ضوء القمر : ٩٠، ٣٩١

نظريته في الفجر : ٩٠ — ٩٣

نظريته في قوس قزح . ٤٠ — ٤٢،

٤٢٥ — ٤٢٩

نظريته في اللون : ١٠٥ — ١١٨

نظريته في الهالة : ٤٠، ٤٨٠ — ٤٨٢

النظرية العلمية

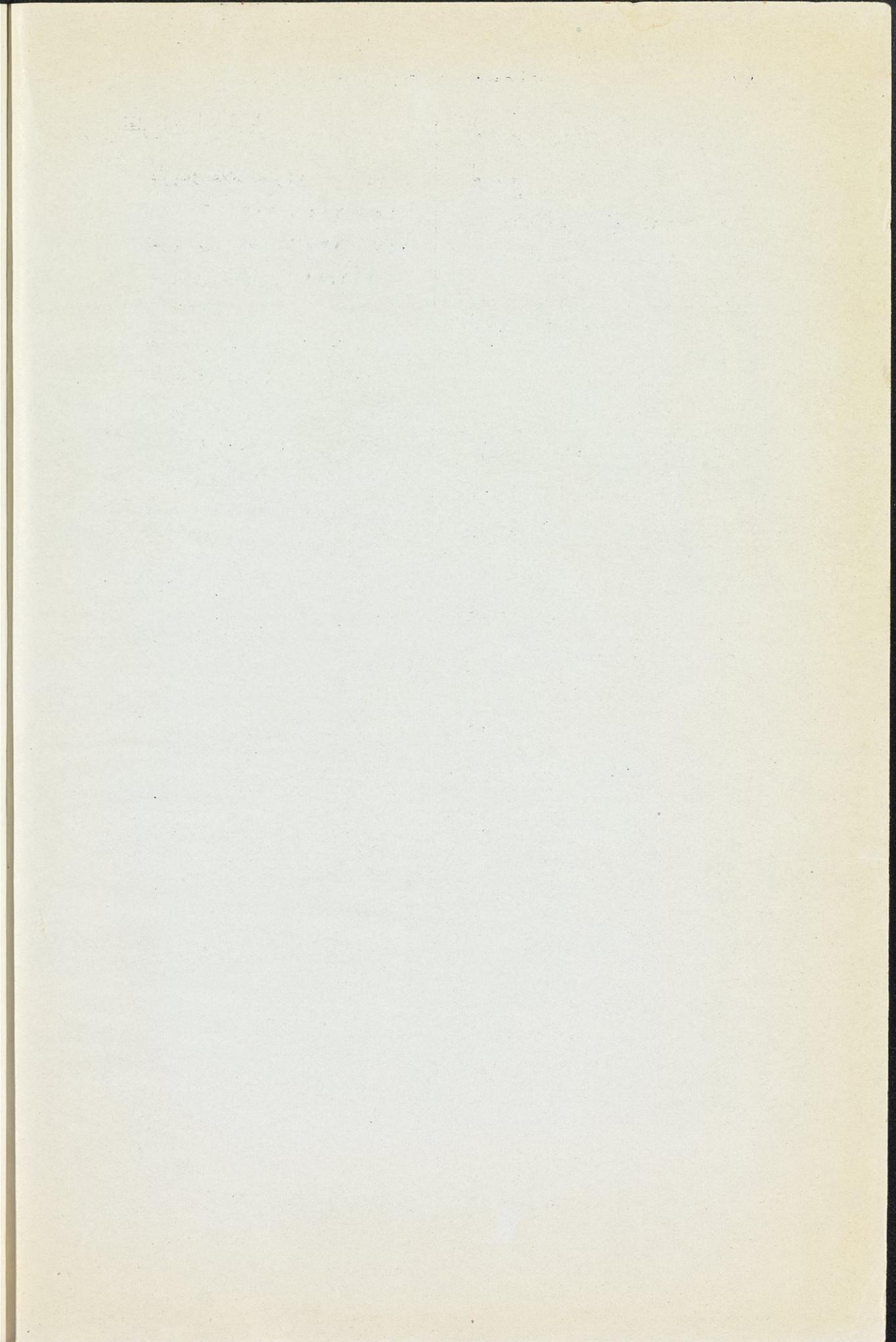
رأى ابن الهيثم فيها : ٣٥، ٣٦،

٣٧ — ٤٣

( و )

الورود

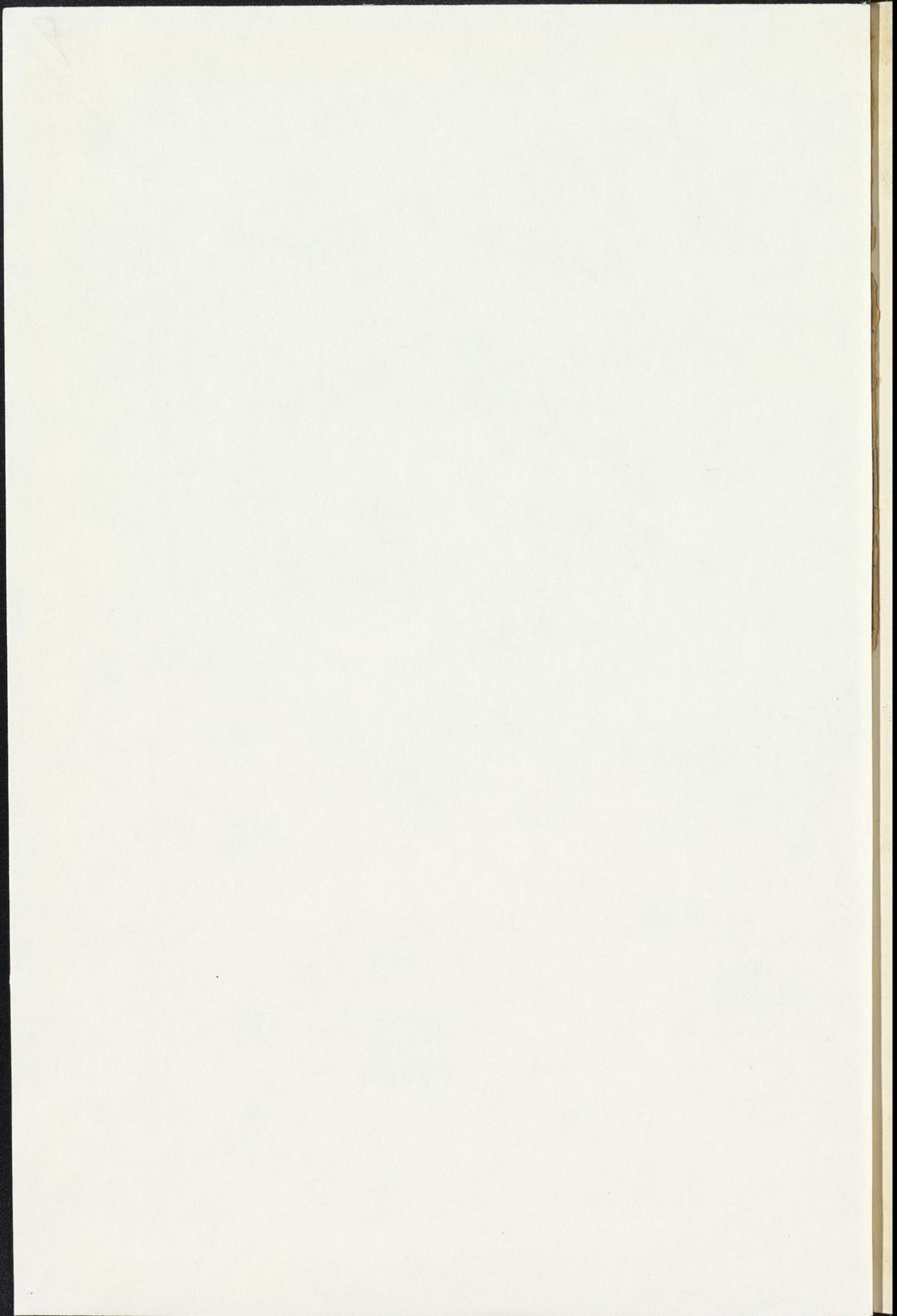
نظرية الورود: ٥٤، ٩٧، ٢٦٧، ٧٥٧

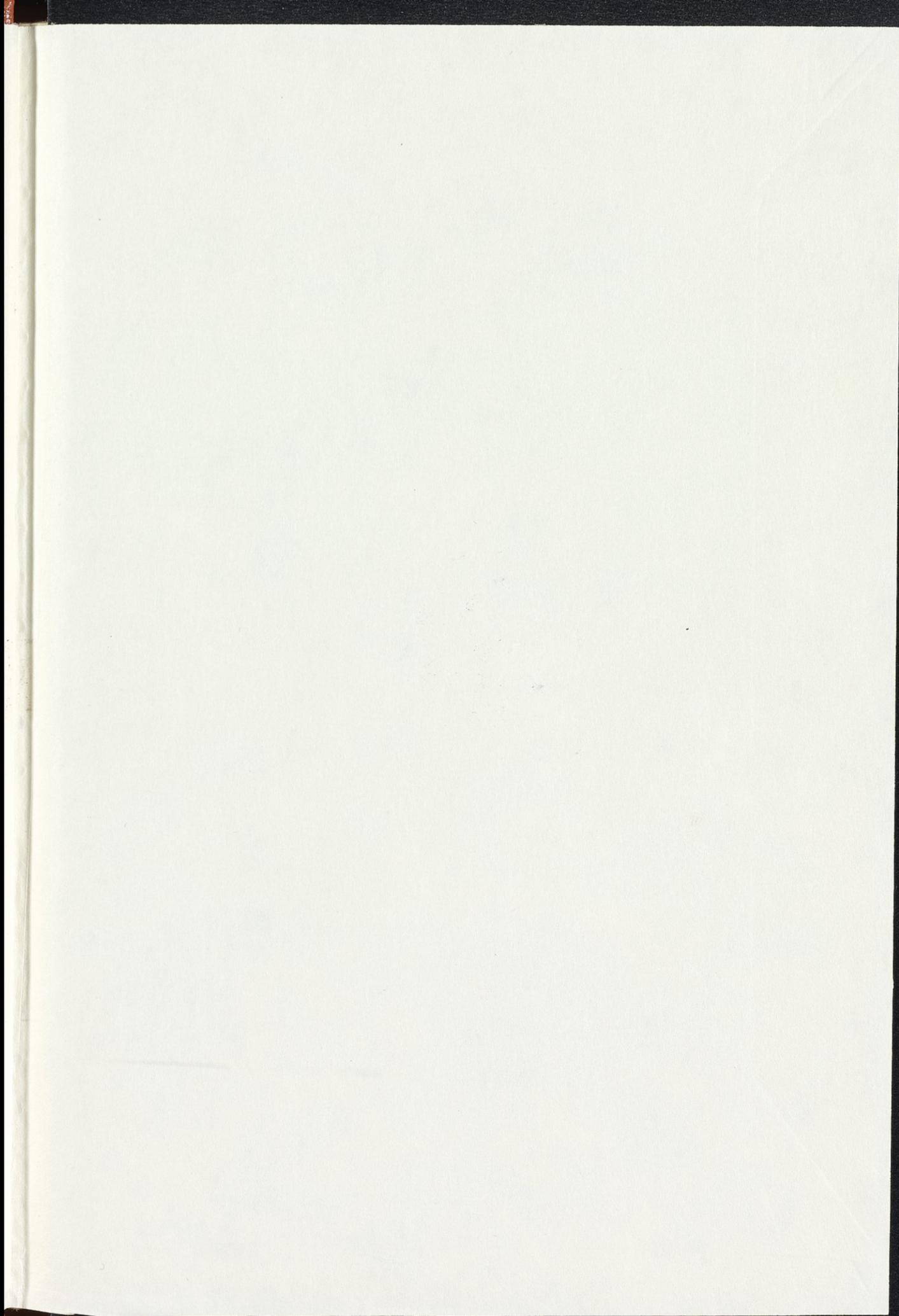


استدراك

الصواب	الوارد	صفحة	سطر	الصواب	الوارد	سطر	صفحة
قائمة	قائمة	٧٢١	٢	Huygens	Huygens	٢٣	٤٩١
بعد أن	بعدن	٧٢٩	٧	ما	L	٢٣	٥٠٤
لتعيين	التعيين	٧٣١	عنوان الصفحة	تقمير	تغير	١٨	٥٥٧
لتنزل	لتنزل	٧٣٤	٢١	مستواها	مسواها	١٠	٥٥٩
سبق	سبق	٧٣٧	١٧	انعكاس	انعكاس	٦	٥٧٥
ح ه ح	ح ه ح	٧٤٢	٦	الواصل	لواصل	١	٥٧٩
فاذا	فاذا	٧٥٣	٩	تخيرنا	تخيرنا	١٢	٥٨٧
بين	بين	٧٦٠	١٣٠٤	ابن الهيثم	ابن	٥	٥٩٠
يلتقيا	يلتقيا	٧٧٩	٢٧	يذبه	يذبه	١٠	٦١١
فكان	فكان	٧٨٦	١٦	العمود	لعمود	١٢	٦٢٧
$\frac{1}{c}$	$\frac{1}{c}$	٧٩٦	١٤	المبصر	البصر	٢	٦٢٩
المنقيح من المطبوعة من التنقيح	المنقيح من المطبوعة	٨٠٥	١٩	بنقطتي	بنقطتي	٢	٦٦١
ث	ب	٨٠٦	الشكل	منكوسة	منكوسة	١٣	٦٧٠
اكثر	اكثر	٨٠٧	٥	النقطتين	النقطتين	١٣	٦٧٥
Optics	Optics	٨١١	٢٥	يحدث	يحدث	٢٦	٦٨٧
والاعتباران	والاعتباران	٨٣٧	٢١	المناسب	الماسب	٢	٦٨٩
				الاطار	لاطار	٣	٦٩٠
				الزجاج	للزجاج	١٢	٦٩٥

F







COLUMBIA UNIVERSITY LIBRARIES

