

علم المناظر الهندسية(*)

رشدي راشد

مقدمة

علم المناظر العربي هو وريث علم المناظر الهلينستي، وبإمكاننا اعتبار هذا الأخير مصدره الوحيد. فقد أورثه مواضيعه ومفاهيمه ونتائجه والمدارس المختلفة التي تقاسمته خلال العصر الإسكندري. وهذا يعني أن العلماء العرب الأوائل الذين اشتغلوا بهذا العلم قد تتلمذوا في مدرسة المؤلفين الهلينستيين أمثال إقليدس وهيرون وبطلميوس وثيون وغيرهم، وعلى هؤلاء فقط. لذلك نرى أن علم المناظر يتميز عن بقية قطاعات العلوم الرياضية العربية، كعلم الفلك مثلاً، لكونه لم يتلقَ أي إرث غير هلينستي، مهما كان ضئيلاً، من شأنه أن يؤثر ولو قليلاً في تطور هذا العلم.

لكن هذه التبعية القوية لم تحلّ دون بروز مبكر نسبياً لبحث مبدع خلاق. وفعلاً أصبحت سيرة هذا العلم، بعد النقل المكثف للكتابات اليونانية، وبسرعة كبيرة، سيرة تصحيح لهذه الكتابات، وتجميع لنتائج جديدة، وتحديد لفصوله الرئيسية. وقد كان انقضاء قرنين من الزمن كافياً لتحضير ثورة حقيقية طبعت بطابعها، وبشكل دائم، تاريخ علم المناظر، بل أيضاً وبشكل أعم تاريخ علم الفيزياء. وإننا سندرس هذه الحركة الجدلية القائمة بين التواصل الوثيق والانفصال العميق، لكي نفهم مسار علم المناظر العربي بين القرنين التاسع والسادس عشر.

لنعد إلى القرن التاسع، وبالتحديد إلى منتصفه، حيث سارت الترجمات العربية

(*) قام بترجمة هذا الفصل شكر الله الشالوحي.

للنصوص اليونانية جنباً إلى جنب مع الأبحاث الأولى المكتوبة بالعربية مباشرة في علم المناظر. لم يكن هذا التزامن بين الترجمة والبحث، والذي لم يُشر إليه بشكل كافٍ، وفقاً على علم المناظر فحسب، بل تعداه إلى سائر المواد الرياضية إن لم يكن إلى الإرث القديم برمته. إن هذا التزامن هو بالنسبة إلينا أمر رئيس إذا أردنا فهم طبيعة حركة هذه الترجمة والإعداد لعلم المناظر. ولم تكن الترجمة أبداً عملية نقل فقط، بل بالعكس من ذلك، فإنها تبدو مرتبطة بالبحث الأكثر تقدماً في ذلك العصر. وحتى وإن لم تصلنا أسماء مترجمي الكتابات البصرية والتواريخ الدقيقة لترجمتها، لكننا نعلم بالمقابل أن أعمال الترجمة هذه قد تمت، في معظمها، خلال النصف الأول من القرن التاسع. فشهادات المترجمين والعلماء أمثال قسطا ابن لوقا وحنين بن إسحق، والعلماء الفلاسفة مثل الكندي، وجميعهم من القرن التاسع المذكور، بالإضافة إلى شهادات المفهرسين القدامى مثل ابن النديم، لا تسمح لنا بالرجوع بشكل أكيد وفعال إلى أبعد من هذا القرن وذلك فيما يتعلق بمجمل الكتابات في علم المناظر، باستثناء بعض الآثار التي ترتبط حصراً بطب العيون^(١). لكن قراءة لعلماء ذلك القرن كابن لوقا أو الكندي تكشف لنا اطلاعهم على الترجمة العربية لـ مناظر إقليدس ولتلك التي كتبها أنتيميوس التريالي بالإضافة إلى آخرين^(٢). وتغطي هذه الترجمات مجمل ميادين علم المناظر الهلينستية:

أ - البصريات بالمعنى الحقيقي، أي الدراسة الهندسية للمنظور، وكذلك للخداعات البصرية المرتبطة به.

ب - علم انعكاس الضوء، أي الدراسة الهندسية لانعكاس الأشعة البصرية على المرايا.

ج - المرايا المحرقة، أي دراسة الانعكاس المتقارب للأشعة الشمسية على المرايا.

د - ظواهر الجو مثل الهالة وقوس قزح.

هذه هي بالتحديد فصول علم المناظر كما أحصاها الفارابي فيما بعد في كتابه إحصاء العلوم^(٣). ومن ناحية أولى، يجب أن نضيف إلى هذه الفصول الهندسية العروض المتعلقة

(١) المقصود مثلاً كتابه جبرائيل بن بختيشوع (متوفى سنة ٨٢٨) حول العين، والتي لم تصلنا، أو تلك التي لابن ماسويه دغل العين والتي حُفظت.

(٢) حول الترجمة العربية لأنتيميوس التريالي، انظر: Roshdi Rashed, «De Constantinople à Bagdad: Anthémios de Tralles et al-Kindī», papier présenté à: *Actes du colloque sur la Syrie de byzance à l'Islam (Lym, 11-15 septembre 90)* (Damas: Institut français d'études arabes de Damas, 1991).

(٣) أبو نصر محمد بن محمد الفارابي، إحصاء العلوم، حققها وقدم لها عثمان أمين، ط ٣ (القاهرة: د.ن.، [١٩٦٨]، ص ٩٨ - ١٠٢).

بنظرية الرؤية والتي وجهت أعمال الأطباء المرتبطة بطب العيون وكذلك مؤلفات الفلاسفة، ومن ناحية ثانية، يجب أن نضيف تأملات هؤلاء الفلاسفة أيضاً حول نظريات علم المناظر الفيزيائي، كالألوان مثلاً.

وهكذا فإن عالماً يعيش في منتصف القرن العاشر كان يستطيع الاطلاع على ترجمة كتاب المناظر لإقليدس وعلى الجزء الأكبر من كتاب المناظر المنسوب لبطلميوس^(٤). كما كان بإمكانه الاطلاع بشكل غير مباشر، إلى حد ما، على كتاب الانعكاس المنسوب زعمًا لإقليدس، وعلى بعض كتابات مدرسة هيرون الإسكندري. كذلك كان هذا العالم يعرف، تقريباً، مجمل الكتابات اليونانية التي تعالج موضوع المرايا المحرقة، (البعض منها لم يسلم إلا في ترجمته العربية). كما ترجمت إلى العربية، إضافة إلى مجموعة منتخبات من كتاب ديوقليس، كتابات لأنتيميوس التراقي، ولآخر يدعى ديديم (Didyme)، ولمؤلف يوناني نجهل هويته ويشار إليه باسم «درومس» (Dtrums)^(٥). ويستطيع هذا العالم، أيضاً، قراءة كتاب الآثار العلوية لأرسطو^(٦) في ترجمته العربية وبعض الشروحات حول هذا الكتاب، كشرح أولمبيدور (Olympiodore)^(٧). كما كان على علم، على الأقل من حيث المضمون، بأعمال جالينوس المتعلقة بتشريح وفيزيولوجيا العين^(٨). وأخيراً، كانت في متناول

(٤) تبين دراسة أعمال قسطا بن لوقا وأبي إسحق الكندي، وكلاهما من القرن التاسع، أنهما كانا مطلعين على مناظر إقليدس، وعلى إحدى ترجمات الانعكاس المزعوم لإقليدس. لكننا لا نعلم حتى الآن وبشكل محدد متى ترجمت المناظر المنسوبة إلى بطلميوس إلى العربية. وأول شهادة حقيقية عن وجود هذه الترجمة تعود لابن سهل وهي متأخرة نسبياً، في الربع الأخير من القرن العاشر. انظر: Roshdi Rashed, *Dioptrique et géométrie au X^e siècle: Ibn Sahl, al-Qūhī et Ibn al-Haytham* (Paris: Les Belles lettres, 1991).

(٥) حول هذه الأعمال عن المرايا المحرقة، انظر: Roshdi Rashed, *Dioclès, Anthémios de Tralles, Didyme, et al.: Sur les miroirs ardents*, collection G. Budé (sous presse).

(٦) انظر الترجمة العربية في: أبو الحسين يحيى بن الحسن بن البطريق، في السماء والآثار العلوية، تعريب كتاب أرسطوطاليس *Météorologiques*، نشره عبد الرحمن بدوي (القاهرة: [د.ن.], ١٩٦١)؛ هنالك طبعة أخرى لهذا النص، انظر: Aristoteles, *The Arabic Version of Aristotle's Meteorology*, english translation by C. Petraitis, a critical edition with an introduction and greek - arabic glossaries, université Saint Joseph, institut de lettres orientales de Beyrouth, recherches, série 1: *Pensée arabe et musulmane*; t. 39 (Beyrouth: Dar El-Machreq, 1967).

(٧) انظر نص اسكندر الأفروديسي، في: 'Abd al-Rahman Badawī, *Commentaires sur Aristote*, perdu en grec et autres épîtres, institut de lettres orientales de Beyrouth, recherches, t. 1, nouv. série langue arabe et pensée islamique (Beyrouth: Dar El-Machreq, 1968), pp. 26 et sqq., وانظر نص أولمبيدور ص ١٤٤ وما بعدها.

(٨) انظر: Hunayn Ibn-Ishāq, *Kitāb al-'ashar maqālāt fī al-'ayn al-mansūb li-Hunayn Ibn Iṣḥāq* (809-877 A.D.), = *Ishāq: The Book of the Ten Treatises on the Eye, Ascribed to Hunayn Ibn Iṣḥāq* (809-877 A.D.),

يده مؤلفات الفلاسفة التي تعالج مواضيع أخرى في علم المناظر الفيزيائي كتلك التي كتبها إسكندر الأفروديسي في الألوان^(٩).

لم يكن الدافع لهذه الحركة المكثفة في ترجمة النصوص البصرية مرتبطاً بالاهتمامات العلمية والفلسفية فقط، كما حاول البعض أن يتصور ذلك، بل أيضاً بالتطبيقات المرتقبة.

فلقد شجع الخلفاء والأمراء البحث في ما صوره العلماء لهم كسلاح خفيف كان قد استخدمه أرخميدس لكي يقهر أسطول مرسالوس، وذلك السلاح هو المرايا المحرقة^(١٠). وكان البحث في الانعكاس يستعاد دائماً بهدف إثارة إعجاب هؤلاء الأمراء وتسليتهم^(١١). ونشير إلى أن هذين النوعين من التطبيقات لم يكونا جديدين، فقد أشير إليهما في العصور القديمة^(١٢).

ولندكر الآن بالكتابات العربية الأولى، التي كانت، كما ذكرنا، معاصرة لهذه الترجمات. فقد كتبت في البداية أعمال تتعلق بطب العيون حيث حُرر بعضها قبل ظهور أي إسهام في بقية فصول علم المناظر. وترجع أولى هذه الكتابات حول العين إلى القرن الثامن؛ وقد توسعت هذه الكتابات مع ابن ماسويه، وبخاصة مع حنين بن إسحق وقسطا بن لوقا وثابت بن قرة. وستفحص لاحقاً مساهمة هذه المدرسة الطبية في علم المناظر الفيزيولوجي. ولنستعرض الآن الفصول الأخرى لعلم المناظر.

حسب المفهرسين القدامى، قاد عالمان عاشا في العصر نفسه البحث في علم المناظر وهما قسطا بن لوقا وأبو إسحق الكندي. وقد نسبت إلى الأول مقالة وحيدة، مخصصة للمرايا المحرقة، ولا يتعلق الأمر بترجمة لمؤلف يوناني بل بتأليف عائد لهذا العالم والمترجم المشهور حسب ما أشار إليه مفهرس القرن العاشر ابن النديم. وإن كانت هذه المقالة قد وجدت، فإنها لم تصل إلينا، في حين وصلت إلينا مقالة أخرى للمؤلف نفسه لم يأت على

edited and translated by Max Meyerhof (Cairo: Government Press, 1928), and Max Meyerhof et = Paul Sbath, eds., *Le Livre des questions sur l'œil de Honāin Ibn Ishāq* (Le Caire: Imprimerie de l'institut français d'archéologie orientale, 1938).

(٩) انظر: Helmut Gätje, *Die Arabische Übersetzung der Schrift des Alexander von Aphrodisias über die Farbe* (Göttingen: [n. pb.], 1967).

(١٠) انظر مراسلة قسطا بن لوقا، في: Samir Khalil, «Une correspondance islamo-chrétienne entre Ibn al-Munajjim, Hunayn Ibn Ishāq et Qustā Ibn Lūqā», dans: F. Graffin, *Patrologia Orientalis* (Belgique: Brepols, 1981), vol. 40, fasc. 4, 185, p. 156.

(١١) مقالة ابن لوقا، كتاب في علل ما يعرض في المرايا المحرقة من اختلاف المناظر، وكان قد ألفها للأمير العباسي أحمد، ابن الخليفة المعتصم الذي حكم خلال الفترة ٨٣٣ - ٨٤٢.

(١٢) انظر مقدمة المؤلف المنسوب إلى ديوقليس، هامش رقم (٥).

ذكرها المفهرسون^(١٣).

وترتبط باسم الكندي أربعة مؤلفات في علم المناظر والانعكاس، وثلاثة مؤلفات تعالج المرايا المحرقة وطرق إنشائها، وثلاثة أخرى في علم المناظر الفيزيائي^(١٤)، وفي هذا التعداد نساءل: هل هناك إحصاء صحيح أم مجرد ازدواجية في العناوين؟^(١٥). إننا لا نستطيع الإجابة الدقيقة عن هذا التساؤل. وكل ما نعلم هو أنه لم يبق من المجموعة الأولى سوى الترجمة اللاتينية لواحد من كتب الكندي في علم المناظر، وهو معروف تحت عنوان *Liber de causis diversitatum aspectus* [ومشار إليه بـ *De aspectibus*]^(١٦)؛ أما من المجموعة الثانية فإنه لم يصل إلينا سوى مؤلف مهم واحد يعالج المرايا المحرقة^(١٧)؛ وأخيراً وصلنا مؤلفان من المجموعة الثالثة. ومهما يكن من أمر، فإننا نشهد مع قسطا بن لوقا، ولا سيما مع الكندي، بزوغ فجر البحث البصري والانعكاسي عند العرب.

أولاً: بدايات علم المناظر العربي: ابن لوقا، والكندي وخلفاؤهما

إن الترجمة العربية لـ مناظر إقليدس بالإضافة إلى نقل جزء على الأقل من مضمون كتاب الانعكاس المزعوم لإقليدس، شكلا منطلقاً لكتابات عديدة ذات دوافع وأهداف مختلفة: فهناك تطبيقات جديدة وأعمال جديدة يجري فيها التحسين وحتى التصحيح لبعض النقاط في مناظر إقليدس. ولكن أضيفت إلى المدرسة الإقليدية هذه ثلاث أخريات في القرن التاسع وهي: مدرسة هيرون الإسكندري، التي يبدو أنها عرفت بشكل مبكر نسبياً، ومدرسة الانعكاسيين الذين اهتموا بالمرايا المحرقة، ومدرسة الفلاسفة ولا سيما أرسطوطاليس. وتبدو تعددية المصادر هذه في أساس المشروع الأول لعلماء القرن التاسع. إلا أن أحد الخطوط الرئيسة لهذا المشروع هو بالتحديد إصلاح كتاب المناظر لإقليدس.

(١٣) المقصود هو «كتاب علل ما يعرض في المرايا المحرقة من اختلاف المناظر».

Muhammad Ibn Ishāq Ibn al-Nadīm, *Kitāb al-Fihrist*; mit Anmerkungen hrsg. von (١٤) Gustav Flügel; nach dessen Tode von Johannes Roediger und August Mueller, 2 vols. (Leipzig: F. C. W. Vogel, 1871-1872); traduction anglaise par: Bayard Dodge, ed. and tr., *The Fihrist of al-Nadīm: A Tenth-Century Survey of Muslim Culture*, Columbia Records of Civilization, Sources and Studies; no. 83, 2 vols. (New York: Columbia University Press, 1970), pp. 317 - 318 and 320.

(١٥) قابل العناوين التي أعطاها ابن النديم.

Axel Anthon Björnbo and Seb Vogl, «Al-Kindi, Tideus und Pseudo-Euclid: انظر: (١٦) *Drei Optische Werke*,» *Abhandlungen zur Geschichte der Mathematischen Wissenschaften*, Bd. 26, no. 3 (1912), pp. 3-41.

(١٧) انظر: كتاب الشعاعات (مخطوطة، مكتبة خودا - بخش، ٢٠٤٨).

١ - إن أحد أوائل الكتب في علم المناظر العربي هو، كما ذكرنا سابقاً، كتاب قسطا بن لوقا المكتشف حديثاً والذي لم يحلل من قبل^(١٨). في هذا الكتاب يعطي ابن لوقا لهذا العلم اسماً ويحدد هدفه، ويعطينا مفهومه لهيكلية هذا العلم.

وبالفعل يشارك تعبيران للدلالة على هذا العلم، وهما «علم اختلاف المناظر» و«علم الشعاعات». وهما التعبيران اللذان اختارهما الكندي أيضاً، مضيفاً إليهما التعبير «مطارح الشعاعات». هكذا كان الوضع في القرن التاسع كما نستطيع قراءته مدوناً بريشة ثابت بن قرة^(١٩). أما الغاية من هذا العلم فهي دراسة هذا الاختلاف في المناظر وأسبابه. إن البحث في هذه الأسباب يدفع ابن لوقا فضلاً عن الكندي للذهاب إلى أبعد من العرض الهندسي. فهما يقصدان بوضوح جمع هندسة الرؤية مع فيزيولوجيا الرؤية. وهكذا تتضح هيكلية علم المناظر كما جاءت في وصف ابن لوقا لها: «وأحسن العلوم البرهانية ما اشترك فيه العلم الطبيعي والعلم الهندسي لأنه يأخذ من العلم الطبيعي الإدراك الحسي ويأخذ من العلم الهندسي البراهين الخطوطية ولم أجد شيئاً تجتمع منه هاتان الصناعتان أكثر حسناً وكمالاً من علم الشعاعات لا سيما ما كان منها منعكساً عن المرايا»^(٢٠).

وهكذا إذاً، فإنه بالنسبة إلى ابن لوقا، لا تُختصر البصريات بالهندسة أكثر من اختصار الانعكاس بها؛ بل على العكس من ذلك يجب تأليف الهندسة والفيزياء نظراً لخصائص الإدراك البصري. وبذلك يتميز موقف ابن لوقا هذا بالتأكيد عن موقف إقليدس؛ ولكن لا ينبغي اعتبار موقف ابن لوقا الواضح هذا نظرية جديدة، فهذه النظرية لم تبرز إلا لاحقاً مع إصلاح ابن الهيثم.

إن الهدف الرئيس لكتاب ابن لوقا هو دراسة الانعكاس على المرايا المسطحة والكروية المقعرة منها والمحدبة، ودراسة تنوع الصور المرئية تبعاً لموضع الجسم المرئي بالنسبة إلى المرأة ولبعده عنها... الخ. لكن ابن لوقا، وقبل الشروع بهذه الدراسة، يبدأ بتفسير موجز للرؤية وتذكير ببعض النتائج البصرية.

إن مذهبه في الرؤية ذو مصدر إقليدسي وجالينوسي معاً. فهو يذكر أن «البصر يكون بشعاع ينبث من العين ويقع على المبصرات فتبصر بالشعاع الواقع عليها، فما وقع عليه الشعاع البصري يبصره الإنسان وما لم يقع عليه الشعاع البصري لم يبصره الإنسان»^(٢١).

ونتعرف بوضوح في أقوال ابن لوقا هذه إلى نص التحديد الثالث لعلم «المناظر»

(١٨) قسطا بن لوقا، كتاب في علل ما يعرض في المرايا المحرقة من اختلاف المناظر (مخطوطة أسطوان قدس، مشهد، ٣٩٢).

(١٩) إنه في الواقع تحت عنوان علم المناظر الذي يحفظه ابن قرة. انظر: ثابت بن قرة، الرسالة المشوقة إلى العلوم (مخطوطة مالك، طهران، ٦١٨٨).

(٢٠) المصدر نفسه، الورقة ٢٢.

(٢١) المصدر نفسه، الورقتان ٣ - ٤.

الإقليدسي. ويبقى تحديد شكل هذا الشعاع البصري بدقة. ويكتب ابن لوقا عندئذ: «الشعاع البصري ينبث من العين في صورة شكل مخروط مستجده يلي العين الباصرة وقاعدته تلي المبصرات التي تقع عليها فما وقعت عليه قاعدة المخروط الشعاعي أدركه البصر وما لم يقع عليه الشعاع البصري لم تدركه حاسة البصر، وهذا المخروط البصري ينفذ من العين الباصرة على خطوط مستقيمة لا اعوجاج فيها وله زاوية يحيط بها ضلعان من أضلاع المخروط، وتلك الزاوية تلي المبصرات لأن ذلك علة أن يرى الشيء الواحد يختلف العظم في قربه وبعد عن البصر، فيرى في القرب عظيماً وفي البعد صغيراً»^(٢٢). ومن الواضح هنا أن ابن لوقا يستعيد أفكار إقليدس المتضمنة في التحديدات الأربعة الأولى من كتاب المناظر لإقليدس ولكنه يضيف إليها عناصر أخرى جالينوسية بموجها «هذا الشعاع البصري ينبث من الروح النفسانية التي تنبعث من الدماغ إلى العينين وينبث من العين في الهواء إلى المبصرات ليكون كالعضو للإنسان فما وقع عليه ذلك الشعاع أدركته حاسة البصر»^(٢٣).

إلا أن هذا الشعاع البصري لا يدرك المرئيات إلا بواسطة أحد نوعين من الأشعة هما، وفقاً لابن لوقا، الشعاع الشمسي والشعاع الناري. وكل واحد من هذين الشعاعين «يؤثر في الهواء ضياء لا يكون البصر إلا به وفيه»^(٢٤).

ويبقى ابن لوقا للأسف صامتاً فيما يتعلق بدور الهواء والإضاءة في الرؤية.

ويبدو أن استعارته للعناصر الجالينوسية والتي استعارها أيضاً بمهارة حنين بن إسحق في ذلك العصر، تعود إلى عجز المذهب الإقليدسي عن إثبات أن الشعاع البصري هو أداة للعين، في حين أن الرؤية هي، مع ذلك، من عمل الروح.

فإذا عدنا اليوم إلى الدراسة البصرية والانعكاسية، نجد أن هم ابن لوقا الأكبر يكمن في إثبات وصياغة ما طرحه إقليدس كمسلمات؛ ولكن هذه المحاولة ليست قصراً عليه، بل برزت عند الكندي أيضاً وبشكل أكثر سطوعاً. وهكذا بعد أن يثبت مسلمة إقليدس القائلة بأن الجسم المرئي يمكن إدراكه بأشكال مختلفة تبعاً لاختلاف زوايا الشعاع البصري الذي بواسطته تراه العين^(٢٥)، نراه يتطرق إلى مشروعه الحقيقي أي البحث الانعكاسي. ووسيلته الرئيسة، التي هي في متناول يده، هي قانون الانعكاس، الذي يعبر عنه على الشكل التالي: «الشعاع البصري بل كل شعاع إذا لقي جرمًا صقيلاً، انعكس منه على زوايا متساوية وأعني بقولي زوايا متساوية، أن تكون الزاوية التي يحيط بها الشعاع المنبث إلى الجرم الصقيل مساوية للزاوية التي يحيط بها الشعاع المنعكس عن الجرم الصقيل مع الجرم الصقيل»^(٢٦). يفترض

(٢٢) المصدر نفسه، الورقة ٢٤.

(٢٣) المصدر نفسه.

(٢٤) المصدر نفسه.

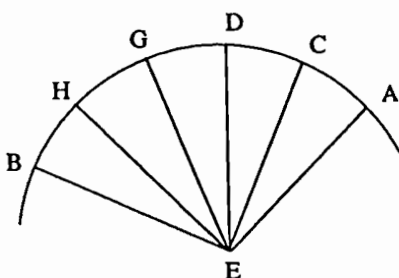
(٢٥) المصدر نفسه، الورقة ٤٥.

(٢٦) المصدر نفسه، الورقة ٢٦.

ابن لوقا، أثناء تطبيقه لهذا القانون، ومن دون إيضاح، أن الشعاع الساقط والشعاع المنعكس يقعان في مستوي واحد عمودي على مستوي المرآة. وإذا أردنا التقاط سمة أساسية من بحث ابن لوقا الانعكاسي فإننا نحدددها على الشكل التالي: كان اهتمامه بالزاوية التي يرى الجسم من خلالها في المرآة أكثر بكثير من اهتمامه بصورة هذا الجسم، ونعني بذلك المفهوم البصري للصورة.

ولإيضاح منهجه، نأخذ مثال الافتراض ٢٨ من «مقالته». فهو يريد أن يعرف أسباب عدم رؤية الوجه في بعض المرايا، وفي أية مرايا تحدث هذه الظاهرة وعلى أية مسافة؟ يعطي ابن لوقا الجواب عن هذا التساؤل في الحالة التي تكون فيها المرآة كروية مقعرة ويكون الناظر موجوداً في مركز الكرة. والسبب في ذلك هو أن «الشعاع المنبث من البصر في هذا الوضع ينعكس على ذاته»^(٢٧).

لبرهان هذا الافتراض، يأخذ ابن لوقا مرآة كروية مقعرة. ويعتبر قوساً AB أصغر من نصف دائرة يولد دورانه سطح الكرة. ليكن E مركز الكرة حيث توجد العين. لنرسم الشعاع البصري بين المقطعين AE و EB ولنبرهن أن هذا الشعاع ينعكس على نفسه (انظر الشكل رقم (١٩ - ١)).



الشكل رقم (١٩ - ١)

ولنرسم انطلاقاً من النقطة E إلى المرآة AB العدد الذي نبغي من المقاطع المستقيمة: ED , EC , EH , EG . فجميع هذه المقاطع متساوية، ويشكل كل واحد منها مع محيط الدائرة زاويتين متساويتين. يكتب ابن لوقا في هذه الحالة: «وقد كنا بينا أن الشعاع ينعكس عن الأجرام الصقيلة على زوايا متساوية، فإذا توهمنا خطوط $هـ أ$ ، $هـ ج$ ،

$هـ د$ ، $هـ ز$ ، $هـ ح$ ، $هـ ب$ ، شعاعات تلقى جرماً صقيلاً وهو المرآة التي على $أ ب$ ، كان لقاءها إياه على زوايا متساوية، فهي إذن تنعكس على ذاتها. فهي، إذاً، تنعكس على نقطة واحدة وهي نقطة $هـ$ فلا يرى في مرآة $أ ب$ شيء غير نقطة $هـ$ »^(٢٨).

لم يستعن ابن لوقا هنا في برهانه إلا بكتاب الانعكاس المزعوم أنه لإقليدس وبلافتراضين الثاني والخامس، كما نلاحظ أن ابن لوقا، وكما فعل إقليدس في كتابه

(٢٧) المصدر نفسه، الورقة ١٣.

(٢٨) المصدر نفسه، الورقة ١٣.

المزعم، درس كيفية ظهور الجسم في المرآة بالنسبة إلى عين المشاهد. نشير أخيراً إلى أن ابن لوقا استعان خلال دراسته، بالإضافة إلى الافتراضين المذكورين، بافتراضات أخرى من الكتاب نفسه، وبخاصة السابع والحادي عشر والثاني عشر، مما يؤكد قناعتنا بأن المؤلفين العرب قد عرفوا بطريقة أو بأخرى ترجمة لنص هذا الكتاب^(٢٩).

٢ - إن عمل ابن لوقا يبقى ضمن إطار علم المناظر والانعكاس الهلينستين. وقد كان ابن لوقا معروفاً كمترجم بارز، وهو بذلك يشكل حالة نموذجية. وعلى خطى إقليدس تصور وألف كتاباً طبق فيه ما استطاع حفظه من مناظر هذا الأخير، وما تعلمه أيضاً من إحدى ترجمات كتاب الانعكاس، وربما كذلك من أحد المصادر الذي لم يحدد حتى الآن، والذي ينتمي إلى مدرسة هيرون الإسكندري. لكن مساهمة ابن لوقا لم تقتصر فقط على مجرد شرح بسيط لإقليدس أو لإقليدس المزعم. فقد باشر، وبشكل متقن، بإجراء بحث جديد في مجال المرايا المسلية، وحسّن المذهب الإقليدي للرؤية كما أثبت ما طرحه إقليدس كمسألة. إن تواضع نتائج ابن لوقا لا يستطيع طمس موقفه المجدد الصريح. فهذه النزعة عنده ليست ميزته الخاصة، فهي لا تقتصر على علم المناظر، بل إنها ميزة العصر، وإغفالها يحول بيننا وبين فهم إنجازات تلك الحقبة من الزمن. فهل ظهرت في بحثه المتعلق بالمرايا المحرقة؟ إننا نجهل هذا الأمر للسبب الذي أثرنه سابقاً. وعلى كل حال، فإن هذه النزعة هي التي دفعت الكندي، معاصر ابن لوقا، للسير قدماً، إن في إنجازه الفلسفي أو البصري، أي في أعماله التي تعالج المرايا المحرقة^(٣٠). وقد وضع الكندي نصب عينيه عرض تعاليم القدماء في هذين الميدانين، وتطوير ما بدأوا به، وتصحيح الأخطاء التي ارتكبت. وقد وفي فيما بعد بوعده في المؤلفين اللذين يعالجان المناظر الهندسية واللذين وصلا إلينا. وسنبداً بتحليل سريع للمؤلف *Liber de causis diversitatum aspectus* ثم نستعرض كتابه عن المرايا المحرقة، قبل الإشارة إلى مقالاته الأخرى في علم المناظر الفيزيائي.

أراد الكندي أن يبرهن مسلمات إقليدس بطريقة أكثر جذرية من ابن لوقا. فقد خصص الربع الأول من *De aspectibus* لإثبات الانتشار المستقيم للأشعة الضوئية بواسطة تصورات هندسية عن الظلال ومرور الضوء عبر الثقوب، موسعاً بذلك ملحوظات من خاتمة كتاب التنقيح (*Recension*) لثيون الإسكندري^(٣١).

يبرهن الكندي في الافتراض الأول من كتابه أنه إذا كان المصدر الضوئي والجسم

(٢٩) في الواقع، يستخدم ابن لوقا الافتراض ٧ من الانعكاس لإقليدس المزعم في الافتراض ٢٢ والافتراضين ١١ و١٢ في الافتراض ٣٠.

(٣٠) انظر، «Al-Kindī,» in: *Dictionary of Scientific Biography*, 18 vols. (New York: Scribner, 1970-1990), vol. 15, pp. 261-266.

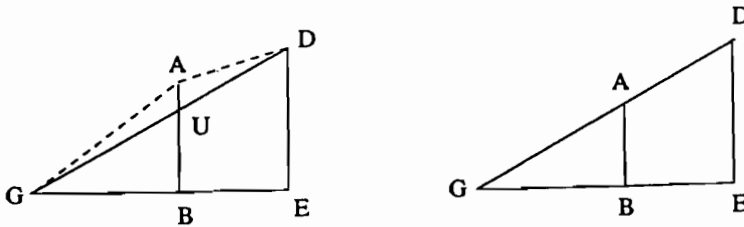
(٣١) حول تأثير ثيون الإسكندري على الكندي، انظر شروحات بجورنبو، في: Björnbo and Vogl,

«Al-Kindi, Tideus und Pseudo-Euclid: Drei Optische Werke,» pp. 3-41.

المضاء بواسطة هذا المصدر يمثلان كرتين بنفس القطر d ، عندئذ يكون الظل أسطوانياً، كما أن الظل الملقى على مستوي عمودي على المحور المشترك يكون دائرة بنفس القطر d . وبالعكس، إذا كان للجسم المضاء وللظل الملقى على مستوي نفس القطر d ، فإن المصدر الضوئي يكون عندئذ كروياً، وبنفس القطر d .

في الافتراض الثاني يبرهن الكندي أنه إذا كان قطر المصدر الضوئي أكبر من قطر الجسم المضاء، عندئذ يكون الظل مخروطياً، والظل الملقى على مستوي عمودي على محور المخروط يمثل دائرة بقطر أصغر من قطر الجسم المضاء. ثم يبرهن لاحقاً الافتراض الثالث، وهو الحالة التي يكون فيها قطر المصدر الضوئي أصغر من قطر الجسم المضاء، عندئذ يكون الظل جذع مخروط، أما الظل الملقى على مستوي عمودي على محور الجذع فيكون دائرة ذات قطر أكبر من قطر الجسم المضاء. إن هذه الافتراضات الثلاثة سمحت للكندي بأن يبرهن الانتشار المستقيم للضوء.

يضيف الكندي، ثلاثة افتراضات أخرى مخصصة لإثبات المبدأ نفسه بشكل قطعي. وهكذا، في الافتراض الخامس يأخذ مصدراً ضوئياً مستقيماً ED (أو حتى مصدراً بشكل نقطة D) ويأخذ جسماً مضاء مستقيماً AB . ويؤكد أنه إذا كان الظل هو BG ، عندئذ فإن التجربة تعطي: $BG/BA = EG/DE$ ، ويستتبع هذه المعادلة أن النقاط الثلاث A و D و G هي على استقامة (انظر الشكل رقم (١٩ - ٢)).



الشكل رقم (١٩ - ٢)

وفعلاً، إذا لم تكن هذه النقاط الثلاث على استقامة عندئذ يقطع DG المقطع AB في U . ويكون المثلثان GED و GBU متشابهين، ونحصل على: $BG/BU = EG/DE$.

وبمقارنة النسبتين نحصل على $BU = BA$ ، وينشأ عن ذلك تناقض.

في الافتراض السادس يأخذ الكندي ثقباً مضاء بواسطة مصدر ضوئي ويثبت، انطلاقاً من صورة هذا الثقب، الانتشار المستقيم للضوء.

من الملاحظ هنا أن الكندي يتكلم عن أشعة مصادر ضوئية؛ وهذا يعني أنه يُقر، مثل الكثيرين أمثاله من مؤلفي العصور القديمة، أن هذه الأشعة مماثلة للشعاع البصري بالنسبة

إلى الانتشار أو بالنسبة إلى بقية قوانين البصريات .

وما إن ينتهي الكندي من إثبات الانتشار المستقيم للضوء، حتى يرجع إلى نظرية الرؤية^(٣٢). ويبدأ بالتذكير بالمذاهب الرئيسة المعروفة منذ العصور القديمة، لكي يتبنى في النهاية مذهب البث (l'émission). ويبرر اختياره هذا مقدماً حججاً جديدة ضد المذاهب القديمة، وبخاصة ضد مذهب إدخال الأشكال (l'intromission des formes)، كما هو عند الذريين اليونانيين وضد مذهب البث - الإدخال للأشكال كما هو الأمر عند أفلاطون. ويعود نقده أخيراً إلى برهان استحالة التوفيق بين مذهب إدخال الأشكال، أي الكليات غير القابلة للتحليل إلى عناصرها البسيطة، وواقع أن إدراك جسم ما هو مرتبط بموضعه في الفضاء العادي. وإذا كان مذهب إدخال الأشكال صحيحاً، يقول الكندي، فإن دائرة موجودة في نفس مستوي العين تكون عندئذٍ مرئية بكاملها، وهذا أمر غير صحيح. ومع ذلك، فإنه لا يقبل المذهب الإقليدي للبث إلا بعد أن يدخل عليه بعض التحسينات الجديدة. فمخروط الرؤية، في اعتقاده، وبخلاف ما يرى إقليدس، ليس مؤلفاً من أشعة منفصلة، بل من كتلة أشعة متواصلة.

إلا أن أهمية هذا التحسين الأخير تكمن في الواقع في الفكرة التي يركز عليها: وهي فكرة الشعاع. فعلى غرار ابن لوقا، نرى الكندي يستبعد المفهوم الهندسي الصرف للشعاع؛ فالأشعة عنده ليست مستقيمات هندسية، بل انطباعات تولدها الأجسام ثلاثية الأبعاد؛ أو حسب ما ذكره الكندي نفسه^(٣٣): «ولكن الشعاع هو تأثير الجسم المضيء على أجسام غير شفافه، ويشق اسمه (أي الشعاع) من اسم الضوء بسبب التغيرات التي يحدثها على الأجسام هذا التأثير. فإن التأثير وما وقع فيه التأثير، مجتمعين، يؤلفان الشعاع. ولكن الجسم الذي يحدث التأثير هو جسم ذو ثلاثة أبعاد: طول وعرض وعمق. فإن الشعاع لا يتبع خطوطاً مستقيمة قد يكون بينها فسحات»^(٣٤).

إن نقد الكندي لمفهوم الشعاع هو نقد مهم في حد ذاته، فهو يحضّر، بشكل أو بآخر، لخطوة أساسية سيجتازها ابن الهيثم فيما بعد: وهي الفصل بين الضوء والخط المستقيم الذي يسلكه أثناء انتشاره. لكن ينبغي على الكندي أيضاً أن يفسر اختلاف الإدراك تبعاً لمناطق المخروط المختلفة. وبذلك ينفرد بموقف متميز في آن معاً عن إقليدس وبطلميوس، مفترضاً خروج مخروط رؤية من كل نقطة من العين.

(٣٢) انظر: David C. Lindberg, «Al-Kindi's Critique of Euclid's Theory of Vision», *Isis*, vol. 62, no. 214 (December 1971), pp. 469-489, reprinted in: David C. Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindi to Kepler* (Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 1976), vol. 2, pp. 18-32.

(٣٣) بتصرف. (المترجم).

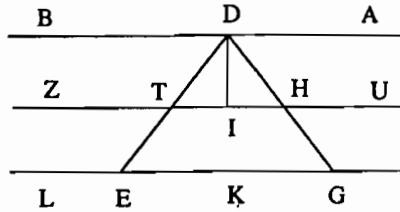
(٣٤) انظر: Björnbo and Vogl, «Al-Kindi, Tideus und Pseudo-Euclid: Drei Optische Werke», *Liber de causis...*, proposition 11.

Roshdi Rashed [et al.], *L'Œuvre optique d'al-Kindī* (Leiden: sous presse).

انظر أيضاً:

وهكذا بعد أن أثبت الانتشار المستقيم، الذي يرجع إليه في الافتراض الثالث عشر ليبرهن أنه يحدث في كل الاتجاهات، وبعد أن أعد مذهبه في الرؤية، يعود إلى دراسة المرايا والصور انطلاقاً من الافتراض السادس من كتابه. وهنا يبرهن تساوي الزاويتين اللتين يكوّنهما الناظم على المرآة في نقطة السقوط مع الشعاع الساقط ومع الشعاع المنعكس. يبرهن الكندي هذا القانون ليس فقط بطريقة هندسية بل وبطريقة تجريبية أيضاً. فهو يضع، لهذه الغاية، مرآة مستوية AB ولوحة UZ موازية لـ AB . ثم يأخذ نقطة D على المرآة ويرسم GD الذي يقطع UZ في النقطة H (انظر الشكل رقم (١٩ - ٣)).

ونُسط على UZ عموداً يقطعه في النقطة I . ثم نأخذ على UZ مسافتين متساويتين $IT = IH$. ثم ينقب اللوحة ثقباً دائرياً في T . ويضع لوحة ثانية KL موازية لـ AB . وتمثل تجربة الكندي في هذه الحالة في وضع مصدر ضوئي على DG أو على امتداده وفي إثبات أن الشعاع المنعكس يكون باتجاه DE .



الشكل رقم (١٩ - ٣)

وفي الواقع يندرج هذا «الإثبات التجريبي» في مدرسة قديمة تنلمس آثارها في تنقيح (recension) ثيون لـ مناظر إقليدس والتي تعمق فيها ابن الهيثم كما سنرى فيما بعد.

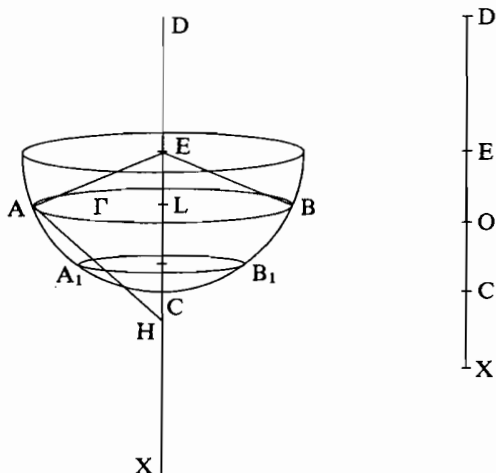
يتابع الكندي نفس البحث المذكور (الافتراض الثامن عشر) آخذاً مرآة كروية محدبة أو مقعرة، ليبرهن أن انعكاس الشعاع في أية نقطة من المرآة يحصل على المستوي المماس في هذه النقطة. ثم يتفحص في الافتراض الحادي والعشرين موضع الصورة الوهمية ويستنتج فكرة التناظر بالنسبة للمرآة. ثم يدرس في الافتراض الثالث والعشرين فكرة زاوية الرؤية.

٣ - لم تقتصر مساهمة الكندي على أعماله البصرية والانعكاسية فحسب. وكأنه أراد معالجة جميع المواضيع الموروثة عن علم المناظر القديم. وهكذا نجده يخصص كتاباً كاملاً للمرايا المحرقة؛ ومن بعده لم يأت عالم عربي شهير في علم المناظر إلا وضمّن بحثه دراسة في المرايا المحرقة. هذا، على الأقل، حال المؤلفين الأكثر أهمية وهما: ابن سهل وابن الهيثم. والمقصود هنا هو فصل مركزي في علم المناظر وليس كما كان الحال في العصور القديمة حيث كانت هذه المرايا تعتبر اختصاصاً مستقلاً. وفضلاً عن ذلك، سنرى لاحقاً أن هذه الدراسة ستقودنا بالتحديد إلى تدشين فصل جديد في القرن العاشر تحديداً، وهو فصل الانكسارات.

لم يحلل كتاب الكندي هذا بشكل صحيح حتى الآن^(٣٥). وهو يقع، كبقية أعماله الأخرى، في تواصل مع العلماء القدامى وفي تعارض معهم في الوقت نفسه. ويحاول الكندي سد النواقص في دراسة أنتيميوس التراقي. ألم يأخذ هذا الأخير كحقيقة واقعة تلك الأسطورة التي تقول إن أرخيدس أحرق الأسطول الروماني من دون أن يبرهن هذه الإمكانية؟ ألم يعمل من أجل صنع مرآة تعكس أربعة وعشرين شعاعاً نحو نقطة واحدة دون أن يحدد بدقة المسافة بين هذه النقطة والمرآة؟ وقد أخذ الكندي هذه المهمة على عاتقه في خمسة عشر افتراضاً غير متساوية من حيث الأهمية.

إن هدف الافتراضات الأربعة الأولى هو إنشاء مرآة محرقة ذات شكل مخروطي. فهو يدرس لهذه الغاية في الافتراضات الثلاثة الأولى جهازاً مؤلفاً من مرآتين مستويتين وموضوعتين على وجهي ثنائي الأسطح.

وتعالج الافتراضات السبعة التالية إنشاء المرايا الكروية المقعرة. ويكون محور المرآة موجهاً دائماً نحو الشمس، ويعالج الكندي مسألة الأشعة الساقطة على نقاط الدائرة التي تحد المرآة. ويبرهن أن الأشعة المنعكسة تلتقي في نقطة واحدة من المحور. ويميز بين عدة حالات تبعاً لنسبة القوس AB ، الذي يحدد المرآة، إلى الدائرة الكبرى للكرة. ويحصل الأمر ذاته إذا أخذنا مرآة كروية مقعرة ذات محور CD وهي على شكل نصف كرة، وإذا أخذنا على المرآة دوائر ذات محور مشترك CD (الشكل رقم (١٩ - ٤)).



الشكل رقم (١٩ - ٤)

(٣٥) انظر مخطوطة: كتاب الشعاعات حيث نعطي نشرة نقدية وترجمة فرنسية لهذا النص (انظر الهامش

السابق).

لتكن Γ إحدى هذه الدوائر ومركزها L ؛ وليكن E مركز الكرة R نصف قطرها O في منتصف EC ؛ فنستطيع تلخيص نتائج الكندي الرئيسة كما يلي:

١ - إن الشعاع الشمسي الساقط في النقطة A من الدائرة Γ ينعكس نحو النقطة H المحور CD . وتبقى النقطة H ثابتة عندما ترسم A الدائرة Γ .

٢ - يتعلق موضع النقطة H بالقوس AB الموافق للدائرة Γ ، ويتعلق بالتالي بالزاوية $\alpha = AEB$.

- ترسم النقطة H المقطع OC في الحالة $\alpha \in [0, \frac{2\pi}{3}]$.

- عندما تكون $\alpha \in [\frac{2\pi}{3}, \pi]$ تكون النقطة H ، التي يتجه نحوها الشعاع المنعكس، موجودة على نصف المستقيم CX .

- تتحدد المسافة LH عندما نعرف القوس AB . وبسهولة ثبت أن:

$$LH = R \sin \frac{\alpha}{2} \cdot |\cotg \alpha|.$$

وهكذا إذا كانت المرآة محددة بالقوس AB والذي يساوي $\frac{2\pi}{3}$ ، فإن جميع الشعاعات المنعكسة والموافقة لجميع الشعاعات الشمسية الساقطة على المرآة تتجمع على المقطع OC . أما الشعاعات الساقطة في جوار النقطة C ، فإنها تنعكس لتمر في جوار النقطة O . ومن ناحية أخرى، إذا كان $\frac{2\pi}{3} < \text{arc } AB < \pi$ ، وإذا أردنا أن تلتقي الشعاعات المنعكسة بالمحور لوجب استعمال رأس كرة (قبة) يكون مركزها النقطة C .

يعود الكندي بعد دراسة هذه المرآة إلى مسألة أنتيميوس الترابلي: وهي إنشاء جهاز من خمس وعشرين مرآة مسدسة الأضلاع، يستطيع عكس الأشعة الشمسية الساقطة في مركز المرايا، باتجاه نقطة وحيدة. ويبرهن أنه إذا كانت الأشعة الشمسية موازية لمحور المرآة المركزية، فإن المسألة تكون سهلة بالنسبة إلى ثلاث عشرة مرآة، حيث توجد نقطة تجمع نسميها R . لكن المسألة تتعقد بالنسبة إلى المرايا الاثنتي عشرة الباقية حيث نصطدم بالصعوبة التي واجهت أنتيميوس إذ إن الشعاعات تنعكس نحو نقطة أخرى مختلفة عن النقطة الأولى وهي موجودة على محور الجهاز وقريبة من النقطة R .

إن برهان الكندي صحيح بالنسبة إلى المرايا الست المحيطة بالمرآة المركزية؛ لكنه يؤكد دون برهان نفس الخاصية لبقية المرايا، وهذا الأمر ليس صحيحاً بشكل تام.

أراد الكندي، في الافتراض الرابع عشر، إنشاء مرآة تكون «أكثر إتقاناً من مرآة أنتيميوس». وهكذا أنشأ، انطلاقاً من مضلع منتظم ذي أربعة وعشرين ضلعاً، هرمًا منتظمًا ذا أربعة وعشرين جانباً، وذلك لكي تكون الأشعة الشمسية الساقطة في وسط قاعدات هذه الجوانب المأخوذة كمرايا، منعكسة نحو نفس النقطة J من محور الهرم. ويحدد هذه النقطة J عندما يأخذ جانبين متناظرين بالنسبة إلى المحور، ولكنه لا يبرهن هنا أن النقطة J تبقى هي

نفسها فيما لو أخذ جانباً أياً كان من الجوانب . وما تجدر الإشارة إليه أن هذه النتيجة تكون بديهية لو أخذنا بعين الاعتبار مستويات التناظر في الهرم المنتظم .

ويختتم الكندي الجزء الأخير من مؤلفه بنص، إذا ما تم تصويبه فإنه يصوغ لنا مسألة أنتيميوس وهي تتمثل في إنشاء مرآة بقطر محدد، تعكس الأشعة نحو نقطة محددة . والطريقة التي يشير إليها تتمثل في إنشاء قطع مكافئ بواسطة نقاط ومماسات، وهذا القطع المكافئ يملك بؤرة ودليلاً معروفين .

إن الطريقة والأفكار هي مماثلة لتلك التي أوردها أنتيميوس، إلا أن برهان الكندي هو أكثر وضوحاً وتنظيماً على الأقل مقارنة بالبرهان الذي وصل إلينا في النص اليوناني لأنتيميوس، أو في الترجمة العربية التي كنا، لحسن الحظ، قد عثرنا عليها .

وهكذا، فإننا نقدر الأهمية والاتساع اللذين استطاع الكندي أن يولييهما لدراسة المرايا المحرقة . فهو يتفحص خمس مرايا، وبذلك يكون قد درس عدداً من المرايا أكثر مما فعل أسلافه الهلينستيون . وهو يرجع إلى ترجمة حديثة لأنتيميوس التريالي، ولكنه لم يلبث أن ذهب قدماً بعيداً عنه . وإذا لم يُعَرِّ اهتمامه في كتابه إلى المرايا الاهليلجية فذلك لأنه لم يكن يهتم إلا بالمرايا التي يمكن أن توافق أسطورة أرخيدس . وقد تابع خلفاؤه العرب من بعده، وبنشاط كبير، دراسة انتشار الأشعة الشمسية وتقاربها بعد الانعكاس . وهذه الدراسة ستترك بصماتها الدامغة على تطور علم المناظر بأكمله كما سنرى لاحقاً .

تنسب إلى الكندي أيضاً مقالة صغيرة يبرهن فيها أن «أعظام الأشكال الغائصة في الماء كلما غاصت تُرى أعظم»، حيث يحاول بواسطة الانعكاس تحليل ظاهرة في الانكسار . تبين هذه المقالة، والتي تُنسب خطأ إلى مؤلف متأخر، أن الفيلسوف الكندي لم يكن بعد مطلعاً آنذاك على مناظر بطلميوس . ومن الجدير ذكره، أخيراً، الكتيبات التي عالج فيها، بطريقة أو بأخرى، مسألة اللون . وعنوان الكتيب الأول «في الجرم الحامل بطباعه اللون من العناصر الأربعة والذي هو علة اللون في غيره»^(٣٦) .

وهذا الجسم بالنسبة إليه ليس سوى «الأرض» . وفي الكتيب الثاني يتساءل عن «علة اللون اللازوردي الذي يُرى في الجو في جهة السماء ويُظن أنه لون السماء»^(٣٧) .

ويرى الكندي عندئذٍ أن هذا اللون ليس هو لون السماء، ولكنه خليط من ظلمة السماء ومن ضوء الشمس المنعكس على جزيئات الغبار في الجو .

(٣٦) أبو يوسف يعقوب بن إسحق الكندي، رسائل الكندي الفلسفية، تحقيق وتقديم محمد عبد الهادي أبو ريدة، ج٢ (القاهرة: دار الفكر العربي، ١٩٥٠ - ١٩٥٣)، ج ٢، ص ٦٤ - ٦٨ .
(٣٧) المصدر نفسه، ص ١٠٣ - ١٠٨ .

ثانياً: ابن سهل ونظرية العدسات الهندسية

تشكلت في منعتف القرن التاسع مجموعة أساسية من كتابات بصرية تشمل في آن معاً ترجامات الكتب اليونانية في علم المناظر، والانعكاسيات، والمرايا المحرقة، وعلم المناظر الفيزيولوجي، والمساهمات الجديدة للعلماء العرب أنفسهم. لقد أورد المفهرسون القدامى أسماء وعناوين لا نعرف عنها إلا النزر القليل. وعلى سبيل المثال، فإن مفهرس القرن العاشر ابن النديم قد ذكر ابن مسرور النصراني في الجليل الذي تلا جيل الكندي وابن لوقا. ولكن على الرغم من كل الدلائل التي تشير إلى الاستمرار في الكتابة في ذلك العصر في علم المناظر، فإنه لم يصل إلينا إلا القليل القليل من الوثائق في علم المناظر الهندسي؛ وكلها تشهد على الاهتمام الرئيس المتمثل في دراسة المرايا المحرقة.

وفي الواقع، وحتى الآن، ليس في متناول يدنا سوى ثلاثة مؤلفات يعود اثنان منها، دون أدنى شك، إلى ذلك العصر، وهما: كتاب الفلكي عطارد بن محمد ومقالة الرياضي أبي الوفاء البوزجاني، أما الثالث فنسبته إلى ذلك العصر ليست مؤكدة، وهو مقالة أحمد بن عيسى. فكتاب عطارد هو، كما بينا في مكان آخر^(٣٨)، عبارة عن تجميع واقتباس لـ المرايا المحرقة لأنتيميوس التراقي ولؤلف يوناني آخر من مدرسة هيرون الإسكندري. وشروحات عطارد لم تضيف شيئاً أساسياً وكذلك مقالة ابن عيسى. فالأمر، كما بينا، يتعلق بتجميع واقتباس لمصادر واحدة، وينبغي أن نضيف إلى هذه المصادر المرايا المحرقة للكندي والمقالة الصغيرة المنسوبة إليه حول الأشكال المغمورة في الماء والتي أتينا على ذكرها سابقاً، وكذلك مناظر إقليدس، بالإضافة إلى الكثير من النصوص الأخرى. إن مقالة ابن عيسى هذه مهمة لمعرفة المصادر اليونانية والعربية في القرن التاسع. وقد شمل هذا التجميع والاقتباس فصولاً هي في الأصل نصوص مستقلة. لذلك نجد فيها، علاوة على علم المناظر والانعكاسيات، المرايا المحرقة، والهالة، وقوس قزح، ووصف العين. وأخيراً، فيما يتعلق بأبي الوفاء، فإنه يطبق طريقة طريفة لإنشاء مرآة مكافئة المقطع.

هذا الاهتمام بدراسة المرايا المحرقة يشكل مرحلة أساسية في فهم تطور علم انعكاس الضوء وانكساره، كما يشهد على ذلك اكتشافنا الحديث لمقالة مكتوبة بين العامين ٩٨٣ و٩٨٥م للعالم أبي سعد العلاء بن سهل. فبعد أن انطلق تحديداً من دراسة المرايا المحرقة، أضحي ابن سهل في تاريخ العلوم، أول من بدأ بحثاً يتناول العدسات المحرقة؛ وقد مثل لهذا الأخير بحثه «وثيقة ولادة» لعلم انكسار الضوء. وإن هذه المعرفة الحديثة بإنجاز ابن سهل تلقي المزيد من الضوء على إنجاز خلفه ابن الهيثم وذلك بتحديد موقعه التاريخي والرياضي.

تساءل علماء الانعكاس قبل ابن سهل عن الخصائص الهندسية للمرايا، وعن

(٣٨) انظر الهامش رقم (٥) السابق.

الإشعال الذي تحدثه على مسافة معينة. هذه هي باختصار المسألة التي طرحها ديوقليس وأنتيميوس الترابي والكندي. وقد غير ابن سهل السؤال دفعة واحدة، إذ لم يعد يأخذ المرايا فقط، بل الأدوات المحرقة، أي تلك الأدوات القادرة على الإحراق ليس فقط بالانعكاس بل وبالانكسار أيضاً. وقد درس عندئذ مرآة مكافئية المقطع ومرآة ناقصة المقطع وعدسة مستوية محدبة وعدسة محدبة الوجهين، وذلك تبعاً لبعد المصدر الضوئي – متناهٍ أو لا متناهٍ – وتبعاً لطريقة الإحراق – بالانعكاس أو بالانكسار. وفي كل هذه القطوع^(٣٩) كان ابن سهل يبدأ بدراسة نظرية للمنحني ثم يعرض طريقة ميكانيكية لرسمه. فمثلاً، بالنسبة إلى العدسة المستوية المحدبة يبدأ بدراسة القطع الزائد كقطع مخروطي، ثم ينتقل إلى الرسم المتواصل لقوس قطع زائد، ليتابع لاحقاً دراسة المستوي المماس على السطح المتولد من دوران هذا القوس حول مستقيم ثابت، ليصل أخيراً إلى قوانين الانكسار. وإذا أردنا فهم دراسة ابن سهل للعدسات، يجب أن نحدد مسبقاً معارفه فيما يتعلق بالانكسار.

وهناك مقالة أخرى وصلتنا وعقب عليها ابن الهيثم، وكان ابن سهل قد كتبها خلال تفحصه للفصل الخامس من مناظر بطليموس، وعنوان هذه المقالة البرهان على أن الفلك ليس هو في غاية الصفاء. في هذه المقالة يطبق ابن سهل على دراسة الانكسار مفاهيم كانت سائدة عند بطليموس. أما مفهوم الوسط فإنه يشغل حيزاً مهماً في هذه الدراسة. ويرهن ابن سهل أن كل وسط، بما فيها الفلك، يملك بعض الغلظ^(٤٠) الذي يحدده. لكن اكتشاف ابن سهل الحقيقي يبرز عندما يميز الوسط عن نسبة معينة، وهذا ما يقوم به في مقالته «الحزاقات». ومفهوم النسبة الثابتة هذا هو بالتحديد الصفة المميزة للوسط، وجوهر دراسة ابن سهل عن الانكسار في العدسات.

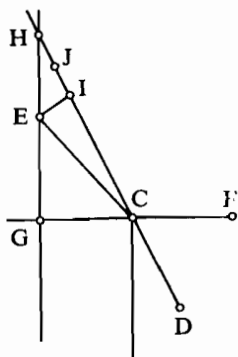
وفي مستهل هذه الدراسة يأخذ ابن سهل سطحاً مستوياً GF يحد قطعة من البلور الشفاف المتجانس. ثم يرسم المستقيم CD الذي يحدد انتشار الضوء في البلور، والمستقيم CE الذي يحدد انكساره في الهواء، ويرسم الناظم على السطح GF في النقطة G الذي يقطع CD في H والشعاع المنكسر في E (انظر الشكلين رقمي (١٩ - ٥) و(١٩ - ٦)).

يطبق ابن سهل هنا بشكل واضح قانون بطليموس المعروف الذي ينص على أن الشعاع CD في البلور، والشعاع CE في الهواء، والناظم GE على السطح المستوي للبلور هي في نفس المستوي. ويكتب باختصار، كعادته، وبدون شرح نظري: «فخط ج ه أصغر من خط ج ح. ونفصل من خط ج ح خط ج ط مثل خط ج ه ونقسم ح ط

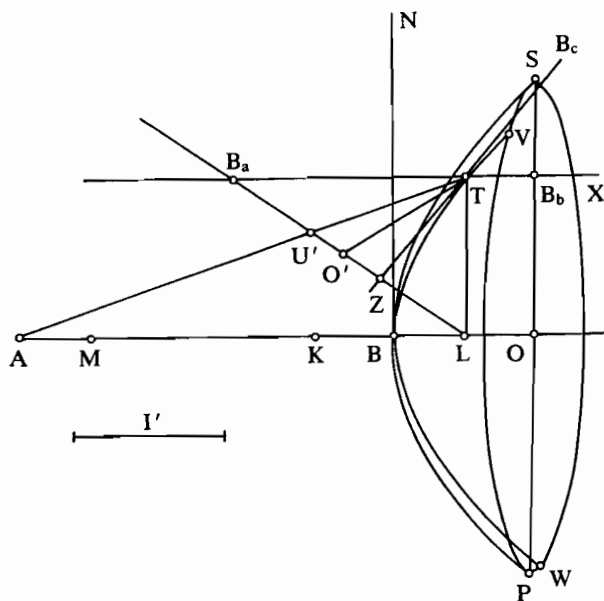
(٣٩) جمع قطع. (المترجم).

(٤٠) استعمل العرب لفظة الغلظ بمعنى الكمدة. (المترجم).

نصفين على نقطة ي ونجعل نسبة خط أ ك إلى خط أ ب كنسبة خط ج ط إلى خط ج ي ونخرج خط ب ل على استقامة خط أ ب ونجعله مثل خط ب ك. فلما أن تكون الأضواء الخارجة من...»^(٤١).



الشكل رقم (١٩ - ٥)



الشكل رقم (١٩ - ٦)

(٤١) انظر: Rashed, *Dioptrique et géométrie au X^e siècle: Ibn Sahl, al-Qūhī et Ibn al-Haytham*, p. 34.

هذه العبارات القليلة يستنتج ابن سهل أولاً أن $\frac{CE}{CH} < 1$ ويستعمل هذه النسبة على امتداد بحثه في العدسات المصنوعة من هذا البلور. فهو لا يتوانى عن إعطاء هذه النسبة نفسها، أو عن إعادة هذا الشكل نفسه في كل مرة يناقش فيها موضوع الانكسار في هذا البلور.

هذه النسبة ليست سوى معكوس معامل الانكسار^(٤٢) في البلور بالنسبة إلى الهواء. وبالفعل، لنفترض أن i_1 و i_2 تمثلان الزاويتين المشكلتين على التوالي بين كل من CE و GH وبين الناظم CH ؛ ينتج معنا أن:

$$\frac{1}{n} = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{CG}{CH} \times \frac{CE}{CG} = \frac{CE}{CH}$$

يأخذ ابن سهل النقطة I على المقطع CH بحيث تكون $CI = CE$ ، ويأخذ النقطة J في منتصف IH فنحصل عندها على:

$$\frac{CI}{CH} = \frac{1}{n}$$

وهذه القسمة CI/IH تميز البلور بالنسبة لأي انكسار كان.

ويبرهن علاوة على ذلك خلال بحثه في العدسة المستوية المحدبة والعدسة محدبة الوجهين، أن اختيار القطع الزائد لصنع العدسة مرتبط بطبيعة البلور، إذ إن الانحراف عن المركز للقطع الزائد هو $e = \frac{1}{n}$.

هذه النتيجة ستساعد على إدخال قاعدة الرجوع العكسي (العودة المتطابقة) للضوء في حالة الانكسار وهي قاعدة أساسية لدراسة العدسات محدبة الوجهين.

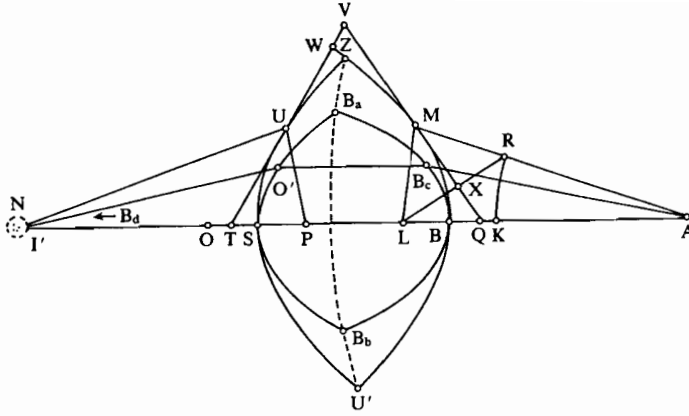
هذا هو إذن قانون سنيلليوس^(٤٣) الذي اكتشفه ابن سهل وصاغه فعلاً. إن اكتشافه لهذا القانون، بالإضافة إلى تطبيق قانون الرجوع العكسي للضوء في حالة الانكسار، يظهران المسافة التي قطعها بعد بطلميوس في هذا المجال؛ فقد واجه دراسة العدسات مزوداً بهذه التقنيات التصورية.

وهكذا يبرهن أن الشعاعات الشمسية الموازية للمحور OB تنكسر على سطح القطع الزائد وأن الأشعة المنكسرة تتقارب في النقطة A (الشكلان رقما (١٩ - ٦) و (١٩ - ٧)).

(٤٢) أو قرينة الانكسار. (المترجم).

(٤٣) المصدر نفسه، من ص xxix إلى ص xxxiv، و Roshdi Rashed, «A Pioneer in Anacalistics:»

Ibn Sahl on Burning Mirrors and Lenses,» *Isis*, vol. 81, no. 308 (September 1990), pp. 464-491.



الشكل رقم (١٩ - ٧)

ثم يبرهن أن الشعاعات الضوئية المنبثقة من البؤرة N للمجسم الزائدي القطع على السطح الزائد، والساقطة على السطح ZSU' ، تدخل العدسة وتلتقي السطح ZBU' وتنتشر وصولاً إلى النقطة A ؛ حيث يتم الإشعال في هذه النقطة.

وهكذا تصور ابن سهل وأنشأ مجال بحث في الحزاقات، ويمكننا القول في الانكسارات فضلاً عن ذلك. لكن اضطرابه إلى التفكير بمخروطات أخرى غير القطع المكافئ والقطع الناقص، كالقطع الزائد مثلاً، باعتباره منحنيًا انكساريًا، هذا الاضطراب ساقه بشكل طبيعي إلى اكتشاف قانون سنيليلوس. ونذكر، إذن، منذ الآن أن الانكساريات، عندما رأت النور على يد ابن سهل، لم تعالج إلا ما يتعلق بانتشار الضوء وذلك بمعزل عن مسائل الرؤية.

ولم يكن للعين مكان في البحث ضمن نطاق الحزاقات، وكذلك كان الأمر بالنسبة إلى موضوع الرؤية. إنها، إذن، وجهة نظر موضوعية جرى اعتمادها بشكل مقصود في تحليل الظاهرة الضوئية. وقد جاء هذا العلم غنياً بالمادة التقنية، لكنه، في الواقع، كان فقيراً جداً بالمحتوى الفيزيائي الذي بدا شبه معدوم فيه ومقتصرًا على بعض الاعتبارات الطاقةية^(٤٤) على سبيل المثال. ولم يحاول ابن سهل أبداً، على الأقل فيما وصلنا من كتاباته، أن يفسر لماذا تغير بعض الشعاعات مسارها وتتجمع عندما تنتقل إلى وسط آخر: فكان يكفي أن يعرف كيف أن حزمة من الشعاعات الموازية لمحور العدسة المستوية - المحدبة والزائدية المقطع، تعطي بالانكسار حزمة متقاربة. أما فيما يتعلق بمسألة حدوث الإشعال بسبب تقارب الشعاعات، فيكتفي ابن سهل بتعريف الشعاع الضوئي على أساس قدرته على الإشعال، واضعاً مسلمة تقول بأن السخونة تتناسب مع عدد الشعاعات، وهذا ما فعله خلفاؤه على امتداد طويل من الزمن.

(٤٤) نسبة إلى طاقة. (المترجم).

ثالثاً: ابن الهيثم وإصلاح علم المناظر

بينما كان ابن سهل ينهي مقالته حول «الحراقات»، وعلى الأرجح في بغداد. كان ابن الهيثم، المولود في البصرة سنة ٩٦٥م، في حوالى العشرين من عمره. فمن غير المستغرب، إذن، أن يكون هذا الرياضي والفيزيائي الشاب قد اطلع على أعمال سلفه هذا واستشهد بها واستوحى الكثير منها^(٤٥). إن وجود ابن سهل يقلب دفعة واحدة الصورة التي رسمها المؤرخون عن ابن الهيثم باعتباره منعزلاً علمياً في الزمان والمكان وباعتبار أن أسلافه يقتصرون على الرياضيين الإسكندرانيين والبيزنطيين أمثال إقليدس، وأرخميدس، وبطلميوس، وأنتميوس التري. وهكذا وبفضل هذا التواصل والانتساب الجديد يتوضح وجود بعض مواضيع البحث في كتابات ابن الهيثم كأبحاثه في الكاسر، والكرة المحرقة، والعدسة الكروية. كما سمح هذا التواصل بما كان متعذراً من قبل، وهو تقدير التقدم الذي أحرزه جيل من البحث في علم المناظر. وهو تقدم بالغ الأهمية، إن من الناحية التاريخية أو من الناحية المعرفية (الإبستمولوجية)، إلى درجة أننا أصبحنا على عتبة إحدى الثورات الأولى في علم المناظر، إن لم تكن في الفيزياء.

إن إنجاز ابن الهيثم في علم المناظر، بالمقارنة مع الكتابات الرياضية اليونانية والعربية التي سبقته، يُظهر، وللنظرة الأولى، سمتين بارزتين هما الاتساع والإصلاح. وإذا أمعنا النظر بدقة نستنتج أن السمة الأولى هي الأثر المادي للسمة الثانية. ففي الواقع، قبل ابن الهيثم لم يعالج أي عالم في بحثه هذا العدد من الميادين كما فعل هو، وهذه الميادين تعود إلى تقاليد علمية مختلفة، فلسفية ورياضية وطبية. وعناوين كتبه تدل على هذا التنوع الواسع: ضوء القمر، وضوء الكواكب، وقوس قزح والهالة، والمرابا المحرقة الكروية، ومرابا القطع المكافئ المحرقة، والكرة المحرقة، وكتاب في صورة الكسوف، ونوعية الظلال، ومقالة في الضوء، ناهيك عن كتابه الذائع الصيت كتاب المناظر الذي ترجم إلى اللاتينية في القرن الثاني عشر، والذي دُرُس وعُقِّب عليه بالعربية واللاتينية حتى القرن السابع عشر. فقد تطرق، إذن، ابن الهيثم ليس فقط إلى المواضيع التقليدية في البحث البصري، بل أيضاً إلى مواضيع أخرى جديدة كعلم المناظر وعلم المناظر الأرصادي، والانعكاسيات، والمرابا المحرقة، وعلم الانكسار، والكرة المحرقة، وعلم المناظر الفيزيائي.

إن نظرة ثاقبة تكشف أن ابن الهيثم يتابع في أغلبية هذه الكتابات تحقيق برنامجٍ إصلاحي في علم المناظر، وهذا البرنامج قاده بالتحديد إلى تناول مختلف المسائل كل على حدة. إن العمل الأساس في هذا الإصلاح هو الفصل بوضوح، وللمرة الأولى في تاريخ

(٤٥) انظر: Rashed, *Dioptrique et géométrie au X^e siècle: Ibn Sahl, al-Qūhī, et Ibn al-*

Haytham, especially p. lxxiii.



الصورة رقم (١٩ - ١)

ابن الهيثم (٣٥٤ - ٤٣٠ / ٩٦٥ - ١٠٤٠)،

كتاب المناظر (اسطنبول، مخطوطة فاتح، ٣٢١٢).

يعتبر هذا الكتاب، وهو من سبع مقالات، إحدى الإضافات الأساسية في تاريخ العلوم في كل الأزمنة. ففي هذا الكتاب نجح ابن الهيثم في عزل دراسة انتشار الضوء عن دراسة الأبصار، مما مكّنه من استخلاص قوانين المناظر الهندسية، وكذلك قوانين المناظر الفيزيولوجية، كما مكّنه أيضاً من أن يلج موضوع المناظر الفيزيائية. ولقد ترك هذا الكتاب بصماته على التاريخ بنتائج العلمية وكذلك بأثره على علماء الحضارة الإسلامية وعلى الكتابات اللاتينية ومؤلفات عصر النهضة والقرن السابع عشر الخاصة بهذا الموضوع. فقد قرأ وتعلم على ترجمته اللاتينية منذ أواخر القرن الثاني عشر تقريباً كل من اشتغل بالمناظر أو بالفيزياء. ونجد في هذه الصورة، صورة غلاف الكتاب.

هذا العلم، بين شروط انتشار الضوء وشروط رؤية الأجسام^(٤٦). لقد أوصل هذا الإصلاح، من جهة، إلى إعطاء مرتكز فيزيائي لقواعد انتشار الضوء - المقصود هنا هو مقارنة أقامها رياضياً بين نموذج ميكانيكي لحركة كرة صلبة ترمى على حاجز وبين حركة الضوء^(٤٧) - كما أوصل، من ناحية أخرى، إلى العمل هندسياً في جميع الحالات وبواسطة الملاحظة الاختبارية. ولم يعد لعلم المناظر ذلك المعنى الذي عرف به منذ وقت قريب، وهو علم هندسة الإدراك البصري. فقد بات يشتمل من الآن وصاعداً على قسمين هما: نظرية للرؤية مقرونة بفيزيولوجيا العين وبسيكولوجيا الإدراك، ونظرية للضوء يرتبط بها علم المناظر الهندسي وعلم المناظر الفيزيائي، ومما لا شك فيه أنه لا تزال توجد هنا آثار من علم المناظر القديم، منها على سبيل المثال بقاء المصطلحات القديمة وكذلك وجود نزعة، أبرزها مصطفى نظيف^(٤٨)، تتمثل في طرح المسألة بالنسبة إلى الرؤية، من دون أن يكون ذلك ضرورياً في الحقيقة. لكن يجب ألا نخدعنا هذه البقايا لأنه لم يعد لها الوقع نفسه ولا المعنى نفسه. إن تنظيم كتاب المناظر بات يعكس الوضع الجديد. ففيه نجد فصولاً مخصصة بأكملها لانتشار الضوء (كالفصل الثالث من المقالة الأولى والمقالات ابتداء من الرابعة وصولاً إلى السابعة). وتعالج فصول أخرى الرؤية والمسائل المتعلقة بها. وقد توصل هذا الإصلاح، من بين ما توصل إليه، إلى إبراز مسائل جديدة لم تُطرح أبداً من قبل كمسألة (Alhazen) (الإسم اللاتيني لابن الهيثم) الشهيرة في الانعكاس وتفحص العدسة الكروية، والكاثر الكروي، ليس فقط كحراقات، بل كأجهزة بصرية في علم انكسار الضوء؛ كما توصل الإصلاح إلى المراقبة التجريبية ليس كتطبيق للتقصي فحسب، بل كميّار للبرهان في علم البصريّات أيضاً، وبشكل أعم في الفيزياء.

ولنتبع الآن تحقيق هذا الإصلاح في كتاب المناظر وفي بقية المقالات. يبدأ هذا الكتاب برفض وإعادة للصياغة. يرفض ابن الهيثم على الفور جميع أشكال مذهب الشعاع البصري ليقف إلى جانب الفلاسفة المدافعين عن المذهب الإدخالي لأشكال المرئيات. لكن اختلافاً رئيساً يبقى بينه وبين هؤلاء الفلاسفة، كمعاصره ابن سينا: فابن الهيثم لا يعتبر أن الأشكال التي تراها العين هي «كليات» تنبعث من الجسم المرئي تحت تأثير الضوء، بل

(٤٦) انظر: Roshdi Rashed: «Optique géométrique et doctrine optique chez Ibn al-Haytham», *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 6, no. 4 (1969-1970), pp. 271-298, et «Lumière et vision: L'Application des mathématiques dans l'optique d'Ibn al-Haytham», dans: René Taton, ed., *Roemer et la vitesse de la lumière* (Paris: Vrin, 1978), pp. 19-44.
(٤٧) Rashed, «Optique géométrique et doctrine optique chez Ibn al-Haytham», pp. 281 et (٤٨) مصطفى نظيف، الحسن بن الهيثم: بحوثه وكشوفه البصرية، جامعة فؤاد الأول، كلية الهندسة؛ المؤلف رقم ٣، ٢ ج (القاهرة: مطبعة نوري، ١٩٤٢ - ١٩٤٣)، ص ٧٦٣ sqq.

(٤٨) انظر مثلاً: مصطفى نظيف، الحسن بن الهيثم: بحوثه وكشوفه البصرية، جامعة فؤاد الأول، كلية الهندسة؛ المؤلف رقم ٣، ٢ ج (القاهرة: مطبعة نوري، ١٩٤٢ - ١٩٤٣)، ص ٧٦٣.

يعتبرها أشكالاً قابلة للتحليل إلى عناصرها، أي أن هناك شعاعاً ينبعث من كل نقطة من الجسم المرئي نحو العين. وأصبحت هذه الأخيرة من دون روح، فهي أداة بصرية بسيطة. فالمسألة بأكملها، إذن، هي في تفسير الطريقة التي تسمح للعين برؤية الجسم المرئي بواسطة هذه الأشعة المنبعثة من كل نقطة من الجسم.

يخصص ابن الهيثم، بعد فصل تمهيدي قصير، فصلين متتاليين هما الثاني والثالث من كتاب المناظر لإرساء قواعد نظريته الجديدة. ويحدد في أحد هذين الفصلين شروط إمكانية الرؤية، في حين يحدد في الآخر شروط إمكانية الضوء وانتشاره. تبدو هذه الشروط في كلتا الحالتين كمفاهيم تجريبية، أي أنها ناتجة عن الملاحظة المنظمة والاختبار المراقب، والشروط هذه هي ضوابط لإعداد نظرية الرؤية، وبالتالي لتأسيس نمط جديد في علم المناظر.

إن شروط الرؤية التي أحصاها ابن الهيثم ستة:

أ وب - يجب أن يكون الجسم المرئي مضيئاً بنفسه أو مضاء بمصدر ضوئي آخر.

ج - يجب أن يكون مواجهاً للعين، أي أننا نستطيع وصل كل نقطة منه بالعين بواسطة خط مستقيم.

د - أن يكون الوسط الفاصل بينه وبين العين شفافاً، من دون أن يعترضه أي عائق أكمد.

هـ - يجب أن يكون الجسم المرئي أكثر كمدية من هذا الوسط.

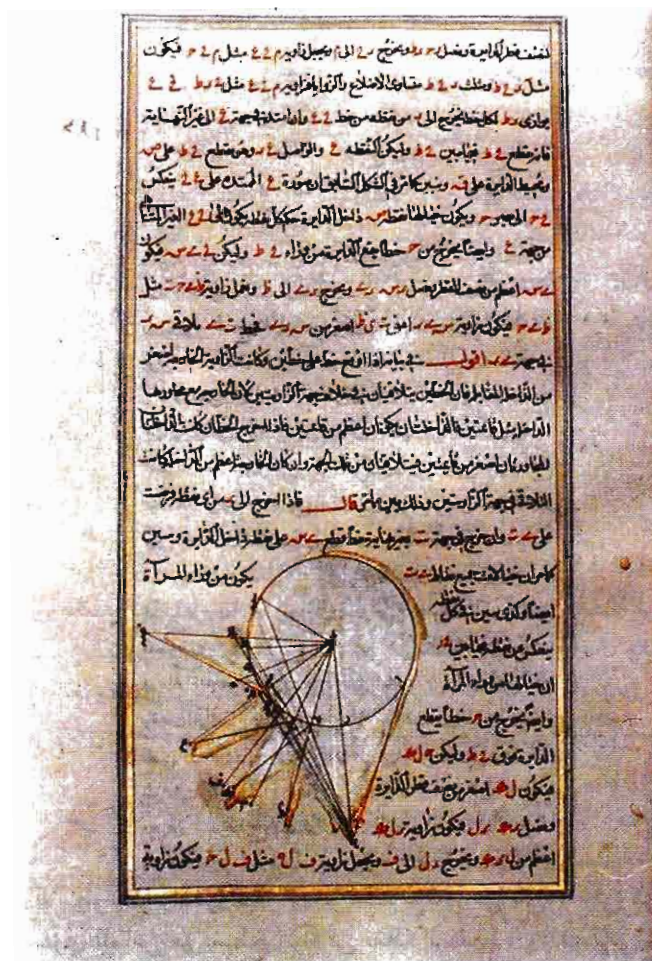
و - يجب أن يكون ذا حجم مناسب لدرجة الإبصار^(٤٩).

ويكتب ابن الهيثم ما معناه أن عدم توفر هذه الشروط يجعل الرؤية غير ممكنة.

نلاحظ، إذن، أن هذه الشروط لا تعود، كما هو الحال في علم المناظر القديم، إلى شروط الضوء وانتشاره. ومن أهم هذه الشروط القديمة التي وضعها ابن الهيثم ما يلي: يوجد الضوء بشكل مستقل عن الرؤية وخارجاً عنها؛ يتحرك الضوء بسرعة كبيرة جداً ولكنها ليست لحظية وفجائية؛ ويفقد من شدة وهجه بقدر ما يبتعد عن المصدر؛ إن ضوء المصدر جوهري - وضوء الجسم المضاء ثانوي أو عابر - وكلاهما ينتشران على الأجسام المحيطة بهما، ويدخلان الأوساط الشفافة، وينيران الأجسام الكمداء التي، بدورها، ترسل الضوء؛ وينتشر الضوء من كل نقطة من الجسم المضيء أو المضاء تبعاً لخطوط مستقيمة في الأوساط الشفافة وفي جميع الاتجاهات؛ هذه الخطوط الوهمية التي بموجبها تنتشر الأضواء تشكل معها الشعاعات؛ وتكون هذه الخطوط متوازية أو متقاطعة، ولا تندمج الأضواء في

(٤٩) أبو علي محمد بن الحسن بن الهيثم، كتاب المناظر، تحقيق ونشر علي أ. صبرا (الكويت: معهد المخطوطات العربية، ١٩٨٣)، المقالات الأولى - الثالثة، ص ١٨٩.

أي من الحالتين؛ وتنتشر الأضواء المنعكسة أو المنكسرة وفق خطوط مستقيمة في اتجاهات معينة. ونستطيع أن نرى بسهولة من أن أيًا من هذه المفاهيم لا يرتبط بالرؤية.



الصورة رقم (١٩ - ٢)

كمال الدين الفارسي، تنقيح المناظر لذوي الأبصار والبصائر
(اسطنبول، مخطوطة آيا صوفيا، ٢٥٩٨).

بحث ابن الهيثم في المقالة السادسة من كتاب المناظر في انخداع البصر نتيجة لعملية الانعكاس، كما أنه بحث في أخطاء البصر التي تحصل في المرايا المسطحة وفي المرايا الكروية والمرايا الاسطوانية والمرايا المخروطية من محدبة ومقعرة. وهذه الصورة تبين حالة المرايا الكروية المقعرة، كما خصها الفارسي.

ووفقاً لابن الهيثم توجد الألوان مستقلة عن الضوء في الأجسام الكمءاء، ونتيجة لذلك فإن الضوء وحده المنبعث من هذه الأجسام - ضوء ثانوي أو عابر - يصحب الألوان التي تنتشر عندئذ حسب نفس المبادئ ونفس قوانين الضوء. وكما أوضحنا في مكان آخر، فإن مذهب الألوان هذا هو الذي فرض على ابن الهيثم تنازلات للتقليد الفلسفي، وأرغمه على الاحتفاظ بلغة «الأشكال» التي سبق أن أفرغها من محتواها عندما كان يعالج الضوء فقط.

يجب على نظرية الرؤية مستقبلاً أن تستجيب ليس فقط للشروط الستة للرؤية، بل أيضاً لشروط الضوء وانتشاره. ويخصص ابن الهيثم ما بقي من المقالة الأولى من كتاب المناظر والمقالتين اللتين أعقبتهما لصياغة هذه النظرية، حيث يستعيد فيزيولوجية العين وبسيكولوجية الإدراك كجزء متكامل من نظرية الإدخال الجديدة هذه. وسندرس هذه النظرية لاحقاً إذ لا تنطرق إليها هنا.

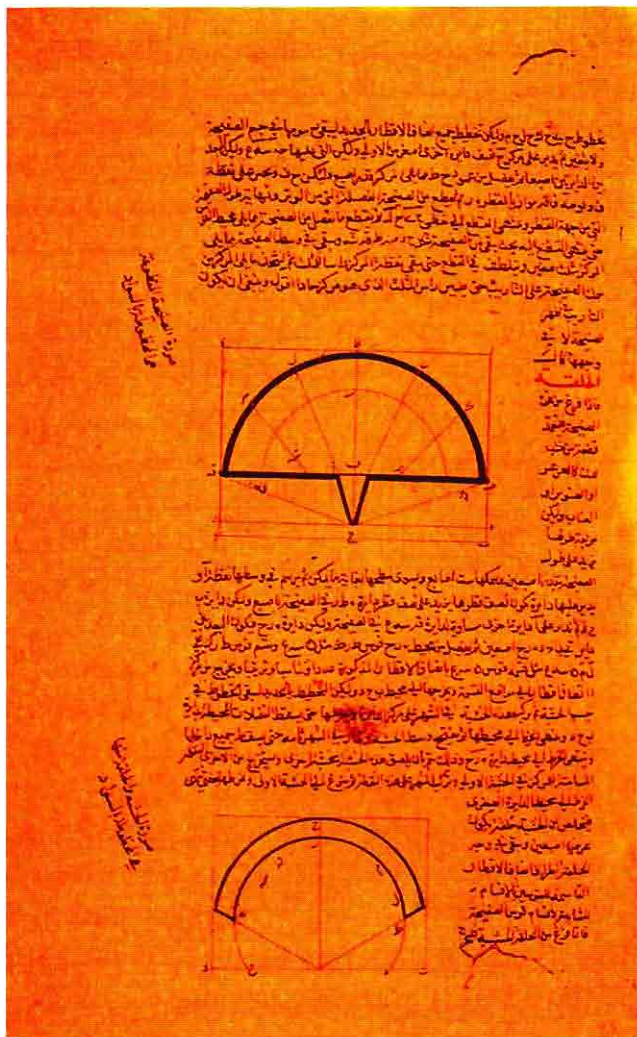
تعالج المقالات الثلاث من كتاب المناظر - من المقالة الرابعة وحتى السادسة - علم انعكاس الضوء. والواقع أن هذا المجال، قديم قدم علم المناظر نفسه، وقد درسه بطليموس باستفاضة في مناظره، لكنه لم يكن في يوم من الأيام موضع دراسة موسعة كتلك التي قام بها ابن الهيثم. وإضافة إلى مقالاته الثلاث الضخمة في مؤلفه كتاب المناظر، خصص مقالات أخرى مكملة لها أثناء بحثه لمسائل تتعلق بعلم الانعكاس كمقالة المرايا المحرقة. وتتميز دراسة ابن الهيثم في الانعكاس، من بين سمات أخرى، بإدخال مفاهيم فيزيائية لتفسير مفاهيم معروفة، وفي نفس الوقت للإمساك بظواهر جديدة. وخلال هذه الدراسة يطرح ابن الهيثم على نفسه مسائل جديدة، كتلك المسألة التي تحمل تحديداً اسمه^(٥٠).

لنأخذ بعض محاور بحثه هذا في الانعكاس. إنه يعطي القانون ويفسره بواسطة نموذج ميكانيكي ذكرناه سابقاً. ثم يدرس هذا القانون لمختلف المرايا: المستوية منها والكروية، والأسطوانية، والمخروطية. ويعير اهتماماً قبل كل شيء، وفي كل حالة منها، إلى تحديد المستوي المماس على سطح المرآة في نقطة السقوط، وذلك لكي يحدد المستوي المتعامد مع هذا السطح، والذي يحوي الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والناظم في هذه النقطة. هنا وكما هو الأمر في دراساته الأخرى، ولكي يتحقق من النتائج بالتجربة، نراه يصمم ويصنع جهازاً استوحاه من الجهاز الذي أعده بطليموس لدراسة الانعكاس، لكنه جاء أكثر تعقيداً^(٥١) ويناسب جميع الحالات. ويدرس ابن الهيثم أيضاً صورة

(٥٠) المقصود هو «مسألة ابن الهيثم» الشهيرة والتي حلّها ببراءة مصطفى نظيف. انظر: نظيف،

المصدر نفسه، ص ٤٨٧ - ٥٢١.

(٥١) المصدر نفسه، ص ٦٨٥ - ٦٩٠.

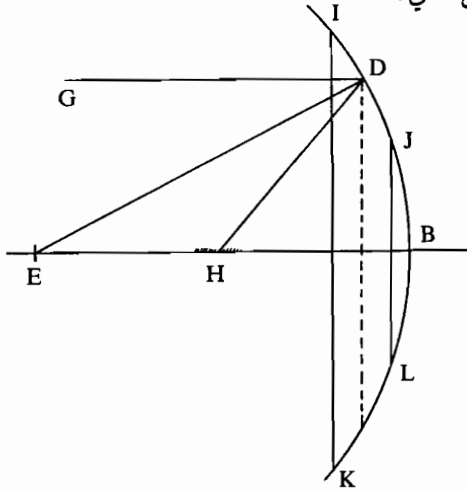


الصورة رقم (١٩ - ٣)
 كمال الدين الفارسي، تنقيح المناظر لذوي الأبصار والبصائر
 (طهران، مخطوطة سبيلار، ٥٥١).

قام ابن الهيثم بعمل عدة آلات علمية لدراسة ظواهر انتشار الضوء، وذلك في المقالة الرابعة من كتابه في المناظر الذي يشرح فيه بالتفصيل كيف تعمل إحدى هذه الآلات وكيف يكون استعمالها. وهذه الآلة هي كما يسميها «آلة الانعكاس» تُستخدم للتحقق من قانون الانعكاس في الأوضاع المختلفة. والجزء الأول منها - في أعلى الصورة - من نحاس، في حين أن الجزء الأسفل من خشب لادن.

الجسم وموضعها بالنسبة إلى المرايا المختلفة. ويهتم بمجموعة كبيرة من المسائل المتعلقة بتحديد زاوية السقوط لانعكاس معين مُعطى، وذلك بالنسبة إلى مختلف المرايا، وبالعكس. وطرح أيضاً، بالنسبة إلى مختلف المرايا، المسألة التي ارتبطت باسمه وهي التالية: لدينا مرآة وأمامها نقطتان، وينبغي تحديد نقطة ما على سطح هذه المرآة بحيث إن المستقيمين اللذين يصلان بين هذه النقطة والنقطتين المعطيتين سابقاً يكون أحدهما محددًا لاتجاه الشعاع الساقط والآخر لاتجاه الشعاع المنعكس. وقد توصل إلى حل هذه المسألة المعقدة^(٥٢).

يتابع ابن الهيثم أبحاثه الانعكاسية في مقالات أخرى ألف بعضها بعد كتاب المناظر مثل المرايا المحرقة بالدائرة^(٥٣). ولهذه المقالة أهمية خاصة، حيث يكشف فيها عن الزيف الكروي الطولي؛ كما يبرهن فيها الافتراض التالي:



الشكل رقم (١٩ - ٨)

لنأخذ على كرة ذات مركز E منطقة محددة بدائرتين ذات محور مشترك EB ؛ وليكن IJ القوس المولد لهذه المنطقة، والنقطة D هي منتصفه. يبرهن ابن الهيثم في افتراضين سابقين أن الأشعة الساقطة الموازية للمحور EB تنعكس على كل دائرة لتمر بعد الانعكاس في نقطة من المحور، وكل دائرة تملك نقطة خاصة بها على المحور. ويبرهن هنا أن جميع الأشعة، المنعكسة على المنطقة المذكورة سابقاً من الكرة، تتلاقى على المقطع المحدد على الشكل التالي: إذا

كان الشعاع GD الساقط الوسطي للمنطقة، نقرن النقطة H بالنقطة D ، ويكون المقطع على جانبي H . ويتعلق طول هذا المقطع بالقوس IJ (الشكل رقم (١٩ - ٨)).

يخصص ابن الهيثم المقالة السابعة والأخيرة من كتاب المناظر للانكسار. وكما فعل في دراسته للانعكاس، فإنه يُدخل في هذه المقالة عناصر تفسير فيزيائي - ميكانيكي - لعملية الانكسار. ثم يختم مقالته هذه برسائل مثل الكرة المحرقة ومقالة في الضوء، حيث يعود إلى

(٥٢) المقصود هو «مسألة ابن الهيثم». انظر: الهامش رقم (٥٠) السابق.

(٥٣) المرايا المحرقة بالدائرة، المقالة الرابعة في: أبو علي محمد بن الحسن بن الهيثم، مجموع الرسائل (حيدر آباد: [د.ن.] ١٩٣٨ - ١٩٣٩)؛ انظر أيضاً: Eilhard E. Wiedemann, «Ibn al-Haytham, Schrift über die Sphärischen Hohlspiegel», *Bibliotheca Mathematica*, 3^{ème} série, vol. 10 (1909- 10), pp. 393-407, and H. J. J. Winter and W. Arafat, «A Discourse on the Concave Spherical Mirror by Ibn al-Haytham», *Journal of the Royal Asiatic Society of Bengal*, 3^{ème} série (Science), vol. 16 (1950), pp. 1-6.

مفهوم الوسط على غرار ابن سهل .

يبدأ ابن الهيثم مقالته السابعة هذه من كتاب المناظر بالاستناد إلى قانونين نوعيين للانكسار، وإلى عدة قواعد كمية، مثبتة كلها بالتجربة بواسطة جهاز كان قد صممه وصنعه كما فعل في حالة الانعكاس السابقة. وينص القانونان النوعيان والمعروفان من سلفيه بطلميوس وابن سهل على ما يلي:

١ - إن الشعاع الساقط، والشعاع المنكسر، والناظم في نقطة الانكسار تقع جميعها في المستوي نفسه؛ يقترب الشعاع المنكسر من الناظم إذا نفذ الضوء من وسط أقل كمدّة إلى وسط أكثر كمدّة، ويبتعد عن الناظم إذا نفذ الضوء من وسط أكثر كمدّة إلى وسط أقل كمدّة.

٢ - مبدأ رجوع الضوء العكسي (العودة المتطابقة).

ولكنه بدل أن يتابع الخطوات التي سار عليها سلفه ابن سهل بفضل اكتشافه لقانون سنيلليوس، نراه يعود إلى النسب بين الزوايا ليصوغ قواعده الكمية:

أ - تتغير زوايا الانحراف بشكل مباشر مع زوايا السقوط: فإذا أخذنا في الوسط n_1 ، $i' > i$ ، يكون معنا في الوسط n_2 ، $d' > d$ هي زاوية السقوط، r هي زاوية الانكسار، d هي زاوية الانحراف، $(d = |i - r|)$.

ب - إذا زادت زاوية السقوط بمقدار ما، فإن زاوية الانحراف تزداد بمقدار أقل: إذا كانت $i' > i$ ، تكون $d' > d$ ، ونحصل على $i' - i < d' - d$.

ج - تزداد زاوية الانكسار بازدياد زاوية السقوط: فإذا كانت $i' < i$ ، نحصل على $r' > r$.

د - إذا نفذ الضوء من وسط أقل غلظاً (كمدّة) إلى وسط أكثر غلظاً، $n_1 < n_2$ ، يكون معنا في هذه الحالة $d < \frac{i}{2}$ ؛ وفي الانتقال العكسي، يكون معنا $d < \frac{i+d}{2}$ ، ونحصل على $2i > r$.

هـ - يعود ابن الهيثم إلى القواعد التي صاغها ابن سهل في مقالته البرهان على أن الفلك ليس هو في غاية الصفاء. ويؤكد أنه إذا دخل الضوء انطلاقاً من وسط n_1 ، بنفس زاوية السقوط، إلى وسطين مختلفين n_2 و n_3 ، عندها تختلف زاوية الانحراف لكل من هذين الوسطين وذلك تبعاً لاختلاف الغلظ (الكمدّة). فمثلاً، إذا كان الوسط n_3 أشد غلظاً من الوسط n_2 ، عندها تكون زاوية الانحراف في n_3 أكبر منها في n_2 . وبالعكس، إذا كان الوسط n_1 أشد غلظاً من n_2 ، وإذا كان n_2 أشد غلظاً من n_3 ، فتكون زاوية الانحراف في n_3 أكبر منها في n_2 .

وخلافاً لما اعتقده ابن الهيثم، فإن هذه القواعد الكمية ليست جميعها صالحة في كل

الأحوال^(٥٤). إلا أنها مثبتة في إطار الشروط الاختبارية التي عالجها ابن الهيثم في كتاب المناظر، أي في الأوساط التالية: الهواء والماء والبلور وبزايا سقوط لا تتجاوز ٨٠ درجة.

يخصص ابن الهيثم جزءاً أساسياً من مقالته السابعة لدراسة صورة جسم ما بواسطة الانكسار، وبخاصة إذا كان السطح الفاصل بين الوسيطين مستوياً أو كروياً. وخلال هذه الدراسة يتوقف عند الكاسر الكروي وعند العدسة الكروية لكي يتابع، بطريقة أو بأخرى، بحث ابن سهل، ولكن مع تعديل هذا البحث بعمق. إن دراسة الكاسر والعدسة هذه موجودة فعلاً في هذا الفصل المخصص لمسألة الصورة، وليست مفصلة عن مسألة الرؤية. وفيما يتعلق بالكاسر، فإن ابن الهيثم يميز بين حالتين للشكل، تبعاً لموقع المصدر الضوئي الذي يمثل نقطة والذي يقع على مسافة متناهية، أي تبعاً لوجوده من الجهة المقعرة أو من الجهة المحدبة لسطح الكاسر الكروي^(٥٥).

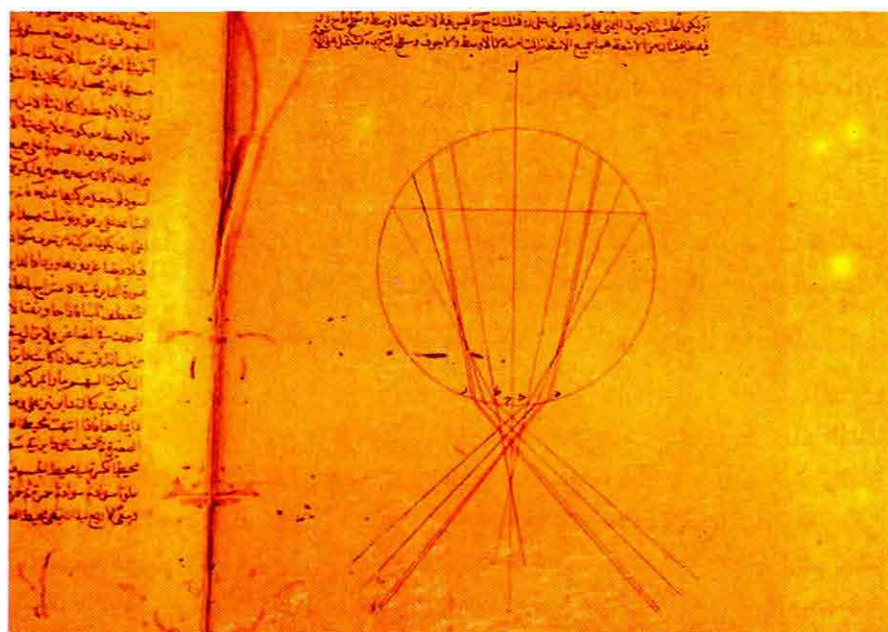
ثم يدرس العدسة الكروية مولياً اهتمامه بشكل خاص للصورة التي تعطيها العدسة عن الجسم. إلا أن دراسته هذه تقتصر على حالة واحدة وهي عندما يكون الجسم والعين على نفس القطر. وبتعبير آخر، فهو يدرس من خلال عدسة كروية صورة جسم موضوع في مكان خاص على القطر الذي يمر بالعين. ومساره يذكرنا بمسار ابن سهل في دراسة العدسة محدبة الوجهين زائدية المقطع. ويأخذ ابن الهيثم كاسرين منفصلين، ويطبق عليهما النتائج التي حصل عليها سابقاً. ويستخدم خلال دراسته للعدسة الكروية الزيغ الكروي لنقطة ما على مسافة متناهية في حالة الكاسر، لكي يدرس صورة مقطع يشكل جزءاً من المقطع الذي يحده الزيغ الكروي.

وفي مقالته المحرقة، التي تعتبر ذروة في البحث البصري الكلاسيكي، يوضح ابن الهيثم ويدقق بعض النتائج على العدسة الكروية التي حصل عليها في كتاب المناظر. ويرجع من جهة أخرى في كتابه إلى مسألة الإشعاع بواسطة هذه العدسة. ففي هذه المقالة نجد أول دراسة مفصلة عن الزيغ الكروي للأشعة المتوازية والساقطة على كرة من البلور والمتعرضة لانكسارين. ويستعمل خلال دراسته هذه قيماً عددية مأخوذة من كتاب المناظر لبطلميوس لزوايتي السقوط ٤٠ و ٥٠ درجة. ويعود إلى قيم الزوايا بدل أن يطبق قانون سنيلليوس المذكور ليفسر ظاهرة التركيز البؤري للضوء المنتشر وفق مسارات موازية لقطر الكرة.

وكما فعل ابن الهيثم في المقالة السابعة من كتاب المناظر أو في بعض الكتابات الأخرى حول الانكسار، فإنه يعرض في مؤلفه الكرة المحرقة بحثه بطريقة فيها شيء من

(٥٤) انظر: نظيف، المصدر نفسه، ص ٧٢٠ - ٧٢٣، و Roshdi Rashed, «Le Discours de la lumière d'Ibn al-Haytham (Alhazen)», *Revue d'histoire des sciences*, vol. 21 (1968), pp. 201-204.

(٥٥) انظر: Rashed, *Dioptrique et géométrie au X^e siècle: Ibn Sahl, Ibn al-Qūhī et Ibn al-Haytham*, chap. 2.



الصورة رقم (١٩ - ٤)

كمال الدين الفارسي، تنقيح المناظر لذوي الأبصار والبصائر
(طهران، مخطوطة سبهملار، ٥٥١).

من بين الظواهر الضوئية المهمة التي درسها ابن الهيثم ظاهرة انعطاف الأشعة
الضوئية في الكرة الشفافة. ففي مقاله عن الكرة المحرقة استطاع أن
يصل إلى مفهوم الزيف الكروي ويكتشفه. هذه الصورة تبين تلك الدراسة
التي استقاها الفارسي من ابن الهيثم.

المفارقة. ففي الوقت الذي يبذل فيه عناية كبرى لاستنباط وتركيب ووصف الأجهزة التجريبية التي تعتبر متقنة بالنسبة إلى ذلك العصر والتي بإمكانها تحديد القيم العددية، نراه يتجنب، في معظم الحالات، إعطاء هذه القيم. وعندما يضطر إلى استعمال هذه القيم، كما هي الحالة في الكرة المحرقة فإنه يستعملها بإيجاز واحتراز. أما هذا التصرف فربما يعود لسببين على الأقل. الأول هو نمط الممارسة العلمية نفسه آنذاك، إذ يبدو أن الوصف الكمي لم يكن بعد قاعدة ضرورية. والسبب الثاني يتعلق، من دون شك، بالسبب الأول، فالأجهزة التجريبية لم تكن تعطي سوى قيم تقريبية. لذلك، استناداً إلى ما ذكرناه، كان باستطاعة ابن الهيثم أن يأخذ بعين الاعتبار القيم التي أخذها من كتاب المناظر لبطلميموس.

رابعاً: كمال الدين الفارسي وتطور البحث الكمي

لقد تتبعنا مع ابن سهل وابن الهيثم تاريخ البحث البصري خلال نصف قرن من الزمن. فما هو تأثير ما قام به هذان الرياضيان من أعمال، على خلفائهما من العلماء العرب؟ وما هو تأثير إصلاح ابن الهيثم بخاصة على البحث البصري اللاحق بالعربية؟

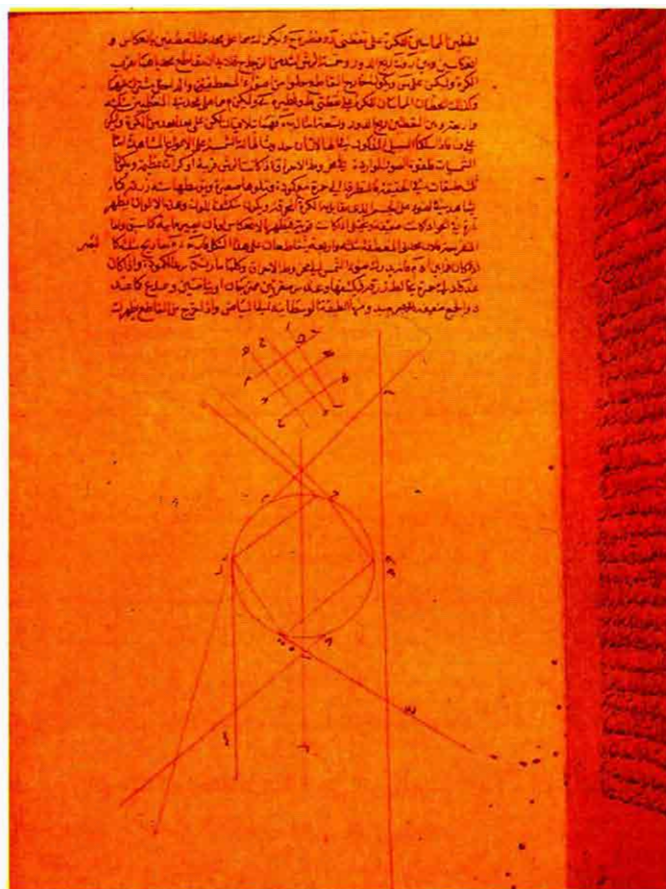
لا تسمح لنا معلوماتنا الراهنة بإعطاء الجواب الشافي على هذين السؤالين. لقد بينا فيما تقدّم أن كتاب ابن سهل، الحراقات، قد نسخه الغُندجاني الذي كان يهتم بعلم الفلك ويعلم المناظر في النصف الثاني من القرن الحادي عشر وأوائل القرن الثاني عشر، والذي شرح أعمالاً أخرى، كبحث أبي الوفاء البوزجاني في المرأة مكافئية القطع المحرقة. وفي منتصف القرن الثاني عشر نسخ قاضٍ من بغداد هو ابن المرخّم، الذي كان يهتم بعلم المناظر، كتاب ابن سهل ومقالته البرهان على أن الفلك ليس هو في غاية الصفاء، وبالتحديد انطلاقاً من نسخة ابن الهيثم^(٥٦). إن إشارتنا إلى هذه الآثار تهدف إلى إظهار مدى خطورة الاستنتاج بأن كتابات ابن سهل وابن الهيثم كانت مهمة من قبل خلفائهما (نشير إلى أن اكتشاف مقالة ابن سهل لم يمر عليه أكثر من عشر سنوات). وتجدر الإشارة من جهة أخرى إلى أن بعض مؤلفي الكتب المخصصة للتعليم وليس للبحث، كنصير الدين الطوسي (ت ١٢٧٠م)، قد استمروا في شرح إقليدس.

إن أول مساهمة وصلت إلينا من مدرسة ابن الهيثم تعود إلى كمال الدين الفارسي، المولود سنة ١٢٦٧م في بلاد فارس والمتوفى في ١٢ كانون الثاني / يناير ١٣١٩م. لقد كتب هذا الأخير «مراجعة» لكتاب المناظر لابن الهيثم^(٥٧)، أي شرحاً تفسيرياً وناقداً أحياناً. كما فعل الشيء نفسه بالنسبة إلى مقالات أخرى للعالم نفسه ولا سيما الكرة المحرقة وقوس

(٥٦) المصدر نفسه، من ص cxxxix إلى ص cxlii.

(٥٧) كمال الدين أبو الحسن الفارسي، تنقيح المناظر لذوي الأبصار والبصائر، ج ٢ (حيدر آباد الدكن: مطبعة مجلس دائرة المعارف، ١٣٤٧ - ١٣٤٨ هـ / ١٩٢٨ - ١٩٣٠م).

قزح. وقد تابع الفارسي في جميع هذه الكتابات تحقيق إصلاح ابن الهيثم، وتعارض معه أحياناً، ونجح حيث فشل سلفه: كما هي الحالة في تفسير قوس قزح. وإلى هذا النجاح المهم – إذ كان أول تفسير صحيح لشكل قوس قزح – يضاف تقدم في فهم ظاهرة الألوان. علاوة على ذلك، استعاد الفارسي البحث الكمي الذي أطلقه ابن الهيثم، ليعطيه مدى جديداً وليوصل مشروع سلفه إلى الهدف المنشود.



الصورة رقم (١٩ - ٥)

كمال الدين الفارسي، تنقيح المناظر لذوي الأبصار والبصائر
(طهران، مخطوطة سبهار، ٥٥١).

نجح كمال الدين الفارسي في شرح ظاهرة قوس قزح قبل أنطوان
دو دومينيس (Antoine de Dominis) وديكارت، ودرس أيضاً مسألة الهالة.
وهذه الصورة تبين «الهالة البيضاء».

وقد أعطى الفارسي في شرحه لمقالة ابن الهيثم الكرة المحرقة دراسة كمية بقيت لفترة طويلة من الزمن الأكثر تطوراً. لقد بحث الفارسي عن خوارزمية تستطيع، من جهة، التعبير عن الارتباط الدالي بين زوايا السقوط وزوايا الانحراف، لكي يستنتج منها بالتالي قيم الانحراف لأي سقوط ينشأ بين وسطين محددين؛ ومن جهة أخرى، فإن هذه الخوارزمية انطلاقاً من عدد صغير من قيم القياسات - قيمتين - تستطيع استكمال جميع درجات الفسحة. كانت طريقة الفارسي التالية: إنه يقسم الفسحة $[0^\circ, 90^\circ]$ إلى فستحتين صغيرتين، ثم يقارب الدالة $f(i) = \frac{d}{i}$ بدالة أفينية على الفسحة $[40^\circ, 90^\circ]$ وبدالة متعددة الحدود من الدرجة الثانية على الفسحة الباقية $[0^\circ, 40^\circ]$. ثم يصل ما بين الاستكمالين، فراضاً على الفرق الأول أن يكون نفسه في النقطة $i = 40^\circ$ ، ويتعبير آخر، فراضاً على المنحنيين أن يكونا مماسين في هذه النقطة. ونلاحظ أن الفارسي قد استعار هذه الطريقة من الفلكيين^(٥٨).

وبعد شرحه هذا حول الكرة المحرقة استعاد الفارسي تفسير قوس قزح. ولكي يدخل المعايير الاختبارية، حيث فشل ابن الهيثم في ذلك، نراه يمتنع عن الدراسة المباشرة والكاملة للظاهرة، لكي يطبق بتأن طريقة النماذج: فالكرة الزجاجية المملوءة بالماء تمثل نموذج قطرة ماء في الجو. وبهذه المقارنة المؤكدة رياضياً استطاع الفارسي البدء بدراسة انكسارين يتخللهما انعكاس أو انعكاسان داخل الكرة ليفسر شكل القوس الرئيس والقوس الثانوي، والترتيب المعكوس للألوان في كل من هذين القوسين^(٥٩).

وقد توصل الفارسي في تفسيره لألوان القوسين إلى تعديل مذهب ابن الهيثم، على الأقل في هذا الموضع. فأتثناء تجربة الحجرة المظلمة استطاع أن يثبت أن حدوث وتعدد الألوان يرتبطان في الوقت نفسه بمواضع الصور وقوتها الضوئية. فبالنسبة إليه تتعلق ألوان القوس بتمازج الانعكاس والانكسار الضوئي، ويعبر عن ذلك بقوله: «التقازيح ألوان مختلفة متقاربة فيما بين الزرقة والخضرة والصفرة والحمرة والدكن تحدث من ضوء نير قوي واردة إلى البصر بالانعكاس والانعطاف أو بما يتركب منهما»^(٦٠).

وبذلك نرى أن هنالك اختلافاً بينه وبين ابن الهيثم: فالألوان لم تعد موجودة بشكل مستقل عن الضوء في الأجسام الكامدة.

هذه هي باختصار الاتجاهات الجديدة للبحث والتي باشر بها كمال الدين الفارسي. وإلى هذه الإنجازات نضيف مجموعة من النتائج والرؤى الملائمة على امتداد «مراجعاته وشروحاته» لأعمال ابن الهيثم البصرية. فانتشار كتابه الضخم حيث يراجع ويفسر كتاب

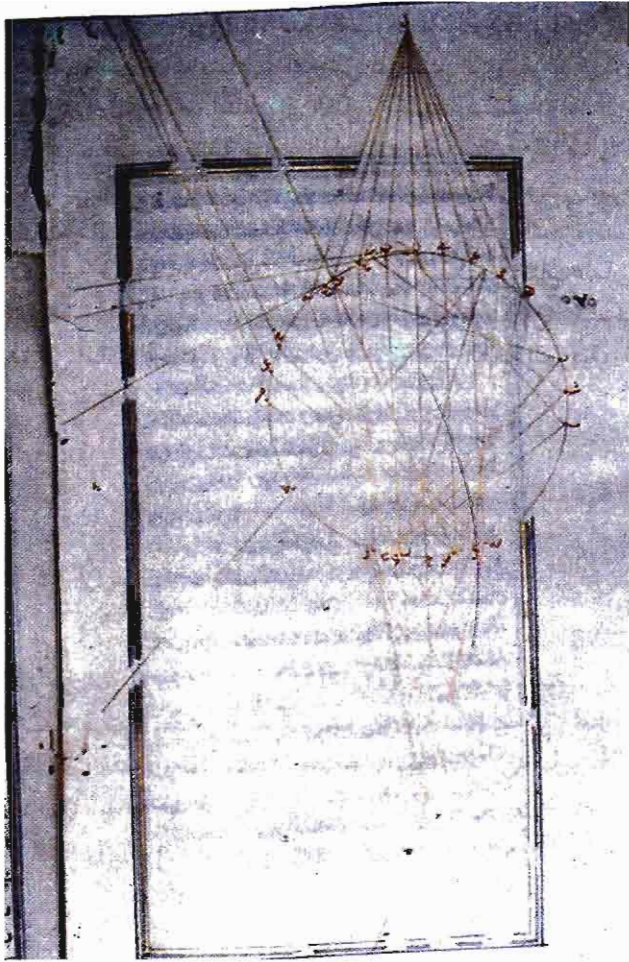
Rashed, Ibid., pp. ix-lxviii.

(٥٨) انظر:

(٥٩) انظر: Roshdi Rashed, «Le Modèle de la sphère transparente et l'explication de l'arc-

en-ciel: Ibn al-Haytham, al-Fārisi,» *Revue d'histoire des sciences*, vol. 23 (1970), pp. 110-140.

(٦٠) الفارسي، المصدر نفسه، ج ٢، ص ٣٣٧.



الصورة رقم (١٩ - ٦)

كمال الدين الفارسي، تنقيح المناظر لذوي الأبصار والبصائر
(اسطنبول، مخطوطة آيا صوفيا، ٢٥٩٨).

عرف كمال الدين الفارسي دراسة ابن الهيثم حول انعطاف الأشعة في الكرة،
وابتداء من هذا قام بدراسة انتشار الضوء في كرة زجاجية مملوءة بالماء وذلك لشرح
ظاهرة لم تكن قد شُرحت من قبل، وهي ظاهرة قوس قزح: تكوينه وشكله وألوانه.
ولأول مرة في التاريخ يستعمل «أنموذجاً» لشرح ظاهرة علمية.
ونرى في هذه الصورة الأشعة الساقطة تبعاً على زوايا سقوط 10° ، 20° ، ...
 90° . وفي هذه الدراسة يحاول الفارسي حقاً أن يضع نفسه خارج شروط تقريب
«Gauss» حتى يظهر تعدد الخيالات، ولا يخفى على أحد أهمية هذه الدراسة.

المنظر لابن الهيثم، كما يشهد على ذلك عدد المخطوطات وتاريخها والمكان الموجودة فيه، وكذلك انتشار مؤلف آخر حيث يستعيد الفارسي المواضيع الرئيسة من دون برهان^(٦١)، هذان الانتشاران لم يدفعنا بكتاب المناظر إلى الظل، لكنهما يسمحان لنا أن نستشف أن دراسة علم المناظر لم تتوقف بعد كتابة مؤلف الفارسي حوالى سنة ١٣٠٠م. إلا أن الدراسة الوحيدة المتميزة بغنى المضمون، التي جاءت بعد كتاب الفارسي والتي نعرفها في هذا المجال تبقى كتاب عالم الفلك تقي الدين بن معروف، والذي أنجزه سنة ٩٨٢ هـ/ ١٥٧٤م^(٦٢). لكن ابن معروف هذا اقتصر في عمله على تلخيص كتاب الفارسي دون أن يقدم أية مساهمة خاصة به. ومع ذلك، فقد كانت استمرارية كتاب ابن الهيثم، وفي الحقبة نفسها، مؤكدة في أماكن أخرى، وفي لغات أخرى غير اللغة العربية، في أوروبا، وبخاصة باللغة اللاتينية.

(٦١) المقصود هو مؤلف كمال الدين أبو الحسن الفارسي، البصائر في علم المناظر (مخطوطة اسطنبول، عزت أفندي، ٢٠٠٦، سليمانبة).

(٦٢) تقي الدين بن معروف، كتاب نور حدقات الأبصار ونور حدقات الأنظار (مخطوطة أوكسفورد، مكتبة بودلين، مارش ١١٩).

نشأة علم البصريات الفيزيولوجي

غول أ. راسل (*)

«هناك أشياء كثيرة للرؤية أكثر مما يصل العين». ن. ر. هانسون

سجل اكتشاف مونك (Munk) (١٨٣٩ - ١٩١٢)، الذي حدد بدقة موقع الإسقاطات انطلاقاً من الشبكية في قشرة الدماغ المخددة، نهاية عصر في تاريخ علم البصريات الفيزيولوجي. فقد تغيرت من جراء ذلك المهام الموكلة إلى هذا العلم، فلم يعد البحث يهدف إلى تعيين مراكز الإدراك، بل إلى تحديد طبيعة آليات الإدراك المركزية. كما لم يعد السؤال «أين» يقع في الدماغ ما يسمح لنا برؤية العالم، بل «ماذا يجري» في قشرة الدماغ البصرية^(١)؟

وقد مهدت لمفهوم تنظيم مراكز الرؤية، القائم على تجميع النقاط في قشرة الدماغ، مقدمات فكرية عبر التاريخ. فقد نُسب إلى ديكارت (Descartes) (١٥٩٦ - ١٦٥٠) إعادة تنظيم الصورة الشبكية نقطة بنقطة على امتداد المسالك المركزية. وكان يعتقد أن الجهاز البصري يبرز في الغدة الصنوبرية، تلك «الزائدة المحيرة في الدماغ»، حيث يلتقي الروح والجسد. ووراء هذا الاعتقاد يكمن مفهوم إعادة الإسقاط المركزي^(٢).

(*) قسم العلوم الإنسانية في الطب، جامعة «A & M»، تكساس - الولايات المتحدة الأمريكية.

قام بترجمة هذا الفصل نزيه عبد القادر المرعي.

(١) انظر: Stephen Lucian Polyak, *The Vertebrate Visual System*, 3 vols. (Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 1957), vol. 3, especially pp. 147-152.

(٢) المصدر نفسه، مج ٢، بخاصة ص ١٠٠ - ١٠٤. انظر: ديكارت، «نظرية الرؤية»، في: المصدر

نفسه، ص ١٥١ - ١٦٣.

أثبت كبلر (Képler) (١٥٧١ - ١٦٣٠) قبل ديكارت أن صورة معكوسة تتشكل في العين بفضل الجليدية التي تركز الأشعة الضوئية الصادرة من كل نقطة جسم ما على نقطة مقابلة من الشبكية. فبعد تحرره من النظريات السابقة، وصف الشبكية كسطح في العين حساس بالنسبة إلى الضوء (على أساس علم تشريح العين وفقاً لنظرية فيليكس بلاتر (Felix Platter)، بينما كان التشديد يتم سابقاً على الجليدية. كما فصل تحليل الآليات البصرية للعين عن المسألة الشائكة التي كانت تحاول التوفيق بين الصورة الشبكية المعكوسة والفكرة عن إدراك حقيقي للعالم^(٣)).

تملك صياغة مفهوم الصورة المسقطة أهمية أساسية من وجهة نظر تاريخية. فقد قدمت حلاً جذرياً للمشكلة القديمة المتعلقة بإدراك العالم الخارجي بواسطة حاسة النظر. كما سجلت، بجمعها لفيزياء الضوء وعلم تشريح العين، بداية علم البصريات الفيزيولوجي. إن ظهور هذا العلم في الحضارة الإسلامية سيعالج تبعاً للفئات التالية:

أولاً: نظريات الرؤية ما قبل علم البصريات، وهي النظريات الموروثة عن العلوم اليونانية - الهلنستية؛

ثانياً: ظهور عناصر جديدة من خلال نقد هذه النظريات؛

ثالثاً: الابتعاد عن المقاربة التقليدية من خلال إعداد نظرية عن تطابق نقاط الصورة العينية ومن خلال وضع تركيب لعلم البصريات وعلم التشريح^(٤).

أولاً: نظريات الرؤية ما قبل علم البصريات

تأثر التصور اليوناني عن الرؤية بالتصور عن اللمس، الذي بموجبه ترتبط المعرفة الحسية كلياً بتماس فيزيائي بين الجسم وجسد المراقب. إن «الإحساس» اللمسي بشيء ما، يعود إلى إقامة تماس ميكانيكي مع الأشكال المختلفة من الأسطح، حيث يحدد هذا التماس إحساسنا بالرطوبة، أو بالقساوة أو بالرخاوة. وبمجرد حصول التماس بين الجسم والجلد،

(٣) انظر: Johannes Képler, «De Modo Visionis», traduit par A. C. Crombie, dans: *Mélanges Alexandre Koyré, histoire de la pensée*; 12-13, 2 vols. (Paris: Hermann, 1964), vol. 1: *L'Aventure de la science*, pp. 135-172; David C. Lindberg, «Johannes Kepler and the Theory of the Retinal Image», in: David C. Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler* (Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 1976), pp. 193-205.

(٤) بيسيولوجية الإدراك هي خارج موضوع هذه المقالة، وتستهل دراسة على حدة. انظر: Gary C. Hatfield and William Epstein, «The Sensory Core and the Medieval Foundations of Early Modern Perceptual Theory», *Isis*, vol. 70, no. 253 (September 1979), pp. 363-384.

يكون الإدراك الحاسي (الشعور اللمسي) فورياً وكاملاً في آن معاً^(٥).

وبالمقارنة مع اللمس، فقد تم تحديد كيفية التماس بين عين المراقب والجسم بشكل سيئ. وقد كانت المسألة الأساسية، بالنسبة إلى اليونانيين، تتمثل في تحديد كيفية قدرة العين على إقامة تماس مع الجسم عن بعد، مع الأخذ بعين الاعتبار فقدان التواصل الفيزيائي الظاهر. لذلك كان الاستنتاج البديهي أن الرؤية تعمل باستخدام طريقة تماس غير مباشر مع الجسم من خلال عامل وسيط آخر.

وبالتالي، فقد بدت النظريات اليونانية كسلسلة من المحاولات لاكتشاف وسائل التماس بين عين المراقب والجسم المرئي، وذلك باستخدام التماثل مع حاسة اللمس. إن الإمكانيات المنطقية المأخوذة بعين الاعتبار تفرض وساطة: ١ - ردُّ ينقذ من الجسم نحو العين؛ ٢ - قدرة بصرية خفية أو شعاع يُقذف من العين نحو الجسم. وكما هو الأمر بالنسبة إلى اللمس، كان الإدراك البصري نتيجة فورية لأحد شكلي التماس^(٦).

١ - نظرية نسخة الجسم: نظرية «إيدولا» (Eidola)

تقول النظرية التي طورها الذريون وبالأخص إبيقور (Epicure) (حوالي ٣٤١ - ٢٧٠ ق.م) إن الأجسام تثب بشكل متواصل ردودها في جميع الاتجاهات. وتقطع هذه الردود الهواء بخط مستقيم، في تكتلات أو تجمعات متماسكة من الذرات، محافظة على الاتجاه والشكل واللون الذي كانت تملكه على الجسم الصادرة عنه. وتدخل هذه الأغشية الدقيقة (المسماة إيدولا) عين المراقب. وبذلك تعود المعرفة أو الإحساس البصري إلى هذا التماس غير المباشر مع إيدولا متلاحقة تواكب كل الخصائص المرئية للجسم^(٧).

(٥) بالنسبة إلى أرسطو، تأخذ حاسة اللمس اسمها من واقع أنها تعمل بالتماس المباشر، انظر: *De anima* (435a 17-18)؛ لمناقشة حول معيار التماس، انظر:

Richard Sorabji, «Aristotle on Demarcating the Five Senses», in: Jonathan Barnes, Malcolm Schofield and Richard Sorabji, eds., *Articles on Aristotle*, 4 vols. (London: Duckworth, 1975-1979), vol. 4: *Psychology and Aesthetics*, especially pp. 85-92.

(٦) لمناقشة حول نظريات الرؤية في العصور القديمة ومراجع مفصلة، انظر: Alistair Cameron Crombie: *The Mechanistic Hypothesis and the Scientific Study of Vision: Some Optical Ideas as a Background to the Invention of the Microscope* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1967), pp. 3-16; réed de «Proc. of the Royal Microscopical Soc», and «Early Concepts of the Senses and the Mind», *Scientific American*, vol. 210, no. 5 (May 1964), pp. 108-116, and Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, pp. 1-18.

(٧) لمناقشة حول الإيدولا (eidola)، انظر: Edward N. Lee, «The Sense of an Object: Epicurus

٢ - نظرية البث : عصا الأعمى

أ - الشعاع البصري

إن الموقف التصوري البديل عن نظرية الجسم يطرح مسلّمة تقول إن العين تبث أشعة غير مرئية تدخل في تماس مع الجسم، محدثة الإحساس البصري. وكان يُفترض بداهة أن الأشعة لا تقطع الفضاء إلا بخطوط مستقيمة تنتشر بشكل مخروط رؤية هندسي، يمتد انطلاقاً من العين إلى اللانهائي، بحيث يقع رأس المخروط في العين. وبمقدار ما تبتعد زاوية النظر، تكبر مساحة قاعدة المخروط بشكل مطابق. وبكلمات أخرى، كلما ازدادت المسافة التي تقطعها الأشعة البصرية، اتسع سطح حقل الرؤية. وتعمل هذه الرؤية عندما تلتقي الأشعة بجسم داخل حدود المخروط^(٨).

يشكل الشعاع البصري، إذن، الوسيلة غير المباشرة التي تؤمن التماس بين العين والأجسام المرئية. وهناك تشابه ضمني لهذه النظرية، على الرغم من أنه لم يكن مبيّناً بوضوح، يتمثل في ذلك الأعمى الذي يستخدم عصا بمثابة امتداد لمسي له، ليشعر بالأشياء الواقعة خارج متناول يده^(٩). وفي الواقع، إن صورة الأعمى الذي يحمل حزمة عصي متجهة إلى الأمام، كأسلاك مظلة، تشكل استعارة أكثر دقة.

دعّمت هندسة إقليدس (Euclide) (حوالي العام ٣٠٠ ق.م.) هذا التصور بقوة. ثم تم تطويره بشكل خاص بواسطة علم البصريّات الاختباري لبطلميوس (Ptolémée) (حوالي ١٢٧ - ١٤٨م)، حيث إن المخروط الإقليديسي بخطوط هندسية منفصلة يكتسب حقيقة فيزيائية بشكل حزمة متواصلة من الإشعاعات^(١٠). فمن خلال دمج المفهوم النظري للشعاع

on Seeing and Hearing.» in: Peter K. Machamer and Robert C. Turnbull, eds., *Studies in Perception: Interrelations in the History of Philosophy of Science* (Columbus, Ohio: [n. pb.], 1978), vol. 2, pp. 27-59.

(٨) حول *Définitions* لإقليدس (١ - ٧) والقضايا الأولى - الثامنة، التي تثير بوضوح تحليلاً هندسياً للرؤية بالاستناد إلى مخروط منظوري، انظر: Morris Raphael Cohen and I. E. Drabkin, *A Source Book in Greek Science*, Source Books in the History of Science (Cambridge, Mass.: Harvard University, 1948), pp. 257-258.

(٩) على رغم أن الرواقين استخدموا بوضوح التشابه مع «عصا الأعمى»، إلا أن أحد تلامذة إقليدس، الفلكي الرياضي هيباركوس، عبّر عن فكرة الامتداد اللمسي بوضوح عندما قارن الأشعة البصرية بأيد تمتد نحو الجسم. انظر: D. E. Hahm, «Early Hellenistic Theories of Vision and the Perception of Color,» in: Machamer and Turnbull, eds., *Ibid.*, vol. 3, p. 79.

(١٠) حول نظريات إقليدس وبطلميوس فيما يخص الأشعة البصرية، انظر: Albert Lejeune, *Euclide*, et Ptolémée: Deux stades de l'optique géométrique grecque, université de Louvain, recueil de

اللمسي / البصري مع النظام الاستدلالي الصارم للهندسة، تستطيع هذه النظرية في آن معاً تحديد وتعليل مسائل كانت غير قابلة للشرح بشكل آخر. فعلى سبيل المثال، لو أخذنا زاوية الرؤية في رأس المخروط، لكان ممكناً شرح إدراك القياس تبعاً إلى بعد الأجسام، وبالتالي تجنب معضلة الذرين الذين اصطدموا بمسألة رؤية الجبل (حتى ولو كان باستطاعتنا التصور أن شكل جسم بقياسات كبيرة للغاية، يضيق بمقدار كافٍ لكي يمر عبر الفتحة الصغيرة للعين، فكيف إذن يستطيع الشكل أن يحافظ على المعلومات عن قياسه الأول؟). غير أن القيمة الصغيرة لزاوية الرؤية تبين أهمية المسافة الفاصلة بين الجبل والمكان الذي يتم إدراكه منه^(١١).

علاوة على ذلك، وبما أن خيوطاً مفتولة غير مرئية يُفترض بها أن تقطع المسافة بين العين والجسم المرئي بخط مستقيم، تماماً مثل مسار السهم، لذلك فقد تم وصف طريقة انتشارها وفقاً لقوانين الانحراف باستعمال تشابهه ميكانيكية، ووفقاً لعلم المرايا (علم انعكاس الضوء)^(١٢). فكان الاعتبار أن الأشعة البصرية ترتد على جميع الأسطح المصقولة، أي على الأسطح الكثيفة غير المسامية، بالطريقة نفسها التي ينحرف فيها السهم بسبب درع برونزي. وقد قدم هذا الاعتبار الأساس الذي يسمح بشرح كيف أن الأجسام يمكن أن تكون مرئية بالانعكاس بفضل المرايا. والمبدأ العملي يقوم على تساوي زوايا السقوط والانحراف أو الارتداد^(١٣). فعندما ننظر مثلاً في مرآة موضوعة في زاوية حادة، بالنسبة إلى اتجاه النظر، نرى الأشياء الواقعة على جانبيها. في حين عندما نمسك المرآة في زاوية قائمة بالنسبة إلينا، نرى أنفسنا. وقد تم شرح هذا الأمر انطلاقاً من انحراف الشعاع اللمسي - البصري في المرآة. بما أن زاوية الارتداد مساوية لزاوية السقوط، فإن الشعاع

travaux d'histoire et de philologie; 3. sér., 31-fasc. (Louvain: Bibliothèque de l'université, bureaux = du «Recueil», 1948).

والنشرة النقدية، في: Albert Lejeune, ed., *L'Optique de Claude Ptolémée dans la version latine d'après l'arabe de l'émir Eugène de Sicile*, université de Louvain, recueil de travaux d'histoire et de philologie; 4. sér., fasc. 8 (Louvain: Bibliothèque de l'université, bureaux du «Recueil», 1956).

وللملخص لها مع مراجع، انظر: David C. Lindberg, «The Mathematicians: Euclid, Hero, and Ptolemy,» in: Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, pp. 11-18.

(١١) بخصوص نقد لنظريات الإدخال فيما يتعلق بمسألة القياس، انظر: Galenus, *De Placitis Hippocratis et Platonis*, (Sur les doctrines d'Hippocrate et de Platon), édité et traduit par P. de Lacy, Corpus Græcorum Medicorum; VII (Berlin: Akademie Verlag, 1978), VII, 5.2-5; 7-8.

(١٢) فيما يتعلق بالانعكاس في المرايا، انظر: Hero, «Catoptrics,» 1-7, 10, 15, and Ptolemy, «Optics,» III, in: Cohen and Drabkin, *A Source Book in Greek Science*, pp. 261-271.

(١٣) لمقارنة بين الرؤية والانحراف الميكانيكي، انظر: «Problémato des Péripatéticiens,» XVI, 13, 915b, in: Carl Benjamin Boyer, «Aristotelian References to the Law of Reflection,» *Isis*, vol. 36, no. 104 (1945-1946), p. 94.

يدخل في تماس مع الأجسام الموجودة على جانب المراقب. فالأمر يكون كما لو أن عصا الأعمى منحنية بزواوية حادة، من دون أن يعي الأعمى هذا الانحناء. وبمواجهته بشكل مباشر للمرأة، يرتد الشعاع البصري ويلمس وجه المراقب نفسه، وفي هذه الحالة تكون عصا الأعمى مطوية على نفسها. وعلى الرغم من القدرة المدهشة لهذه النظرية على معالجة مسائل مثل الانعكاس والقياس والمسافة، إلا أنها تبقى مع ذلك محدودة جداً. فالأشعة البصرية تصاب حتماً بالضعف مع اتساع المسافة، فكيف يتسنى لها أن تعانق السماوات بأسرها لتصل إلى النجوم؟ هذا السؤال بقي واحداً من أمهات مسائل النظرية^(١٤).

ب - التغييرات حول الأشعة البصرية: أفلاطون والرواقيون

وفق النظرية الأولى لأفلاطون (حوالي ٤٢٧ - ٣٤٧ ق. م) يندمج البث الصادر عن العين، والذي كان يصور كنار داخلية، مع الضوء الخارجي المحيط ليشكل وسيطاً بين العين والجسم. وتتم الرؤية عندما يدخل هذا الاندماج بين «النار» البصرية وضوء النهار، والذي يشكل عنصراً بسيطاً متجانساً، في تماس مع إشراق جسم ما^(١٥). إن الانصهار الحاصل بين الضوء البصري وضوء النهار هو الذي يحل مكان عصا الأعمى في نظرية أفلاطون. بالإضافة إلى ذلك، لا يحصل التماس البصري بين العصا والجسم نفسه، بل يحصل بين العصا والإشراق الصادر عن الجسم، والإشراق هذا ليس إيدولوناً (Eidolon)، بل لون^(١٦). وقد اكتسب موقف أفلاطون قدرة تصورية إضافية بتقديمه شرحاً لواقع أن الرؤية لا يمكن أن تعمل إلا بوجود ضوء، وذلك على الرغم من الطبيعة اللمسية للتماس بين العين والجسم. ويستطيع هذا الموقف أن يعرض بنجاح مسألة إدراك الأجسام البعيدة من دون اللجوء إلى مفهوم غير مستساغ عن الأشعة القابلة للامتداد حتى اللانهاية.

أما الرواقيون فقد أدخلوا إلى النظريات اللمسية جوهرًا فيزيولوجيًا مع مفهوم بنوما (pneuma). ففي البدء تم تصور البنوما كمزيج من الهواء والنار، وبعد ذلك تم ربطها بأمزجة الجسم. وبوجود الضوء، تحت بنوما معينة عمود الهواء الواقع بين العين والجسم

Galenus, Ibid., VII, 5.2-6.

(١٤) كمثال على هذا النقد، انظر:

(١٥) بخصوص نقاش لأفلاطون حول الرؤية في حوارهِ، في: Platon: *Timée*, 45 b-d, traduction française (Paris: Les Belles lettres, 1925), p. 162, et *Théétète*, 156 d-e, traduction française (Paris: Les Belles lettres, 1924), p. 178,

Crombie, *The Mechanistic Hypothesis and the Scientific Study of Vision: Some Optical Ideas as a Background to the Invention of the Microscope*, pp. 6-7, note (9), and Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, pp. 5-6.

(١٦) نوقش أيضاً الأساس اللمسي لنظرية البث لأفلاطون على يد: Hahm, «Early Hellenistic Theories of Vision and the Perception of Color», pp. 71-75.

بدفعه إلى التوتر كعصا. وكان الرواقيون يعتبرون أن الهواء غير المضاء هو على درجة من الرخاوة، بحيث إنه لا يستطيع أن يتوتر تحت تأثير البنوما، ولا يقدر حتى على الاستجابة للضغط. وبهذه الطريقة، يشكل الهواء المتوتر بتأثير البنوما مخروطاً يقع رأسه في العين. ويتم إدراك الأجسام المرئية الواقعة في حقل قاعدة المخروط، وتُنقل إلى العين بواسطة ساق من الهواء المضغوط. وهذه العملية ماثلة للطريقة التي يستعمل فيها الأعمى عصاه ليشعر بالأجسام الواقعة خارج متناول يده^(١٧). كما قارن الرواقيون أيضاً الرؤية، بواسطة اللمس، بصدمة تحدثها سمكة مكهربة، تنتقل من خلال الشبكة والعصا إلى يدي الصياد^(١٨).

إن الضوء، وفقاً لهذه النظريات، هو الذي يسمح بإقامة صلة أو تماس لمسي بين العين والجسم. فمن دون ضوء لا تستطيع القدرة البصرية (سواء أكانت شعاعاً أو بنوما) أن تشد الهواء. وهكذا، فإن التماس في الظلام مستحيل، لأن الهواء يبطل استخدامه «كعصا» تسمح بلمس الجسم. ولدفع التشابه إلى الأمام، يبدو الأمر في هذه الحالة وكأن عصا الأعمى قد فقدت صلابتها.

ج - التركيب الجالينوسي

تظهر للمرة الأولى مع جالينوس (Galen) (حوالي ١٢٩ - ١٩٩/٢٠٠م) مقارنة طبية بحتة للرؤية، إذ أدخلت نظريته الانتقائية إلى هندسة المخروط المنظوري تشديداً واضحاً على علم تشريح العين^(١٩). وقد أعطت النظرية الرواقية، حيث تشكل البنوما فيها عاملاً أساسياً في الرؤية، جالينوس وسيلة مثالية لاستخدام معرفته العميقة للعين. فبالنسبة إليه، تأخذ البنوما مصدرها في التجاويف الدماغية وتنتقل بدق ثابت نحو العينين عن طريق الأعصاب البصرية، التي كانت تعتبر مجوفة. وفي العينين تملأ البنوما الجليدية، التي اعتبرها جالينوس العضو الرئيس للرؤية. وقد دعم هذه الفكرة بفضل معرفته لتأثير إعتام العين. وكان الاعتقاد السائد أن الإعتام يظهر بين الجليدية والقرنية، حاجباً بذلك الرؤية. وبما أن استئصاله يعيد الرؤية، فقد كان الاعتقاد أنه يمنع مرور البنوما عبر البؤبؤ بين رطوبة

«Diogène Laerce», VII, p. 157,

(١٧) انظر:

Crombie, Ibid., p. 8, note (11).

نقلاً عن:

Samuel Sambursky, *Physics of the Stoics* (London: انظر: Routledge and Kegan Paul, 1959) pp. 21-29 and 124, and especially Hahm, Ibid., pp. 65-69.

Routledge and Kegan Paul, 1959) pp. 21-29 and 124, and especially Hahm, Ibid., pp. 65-69.

Hahm, Ibid., p. 85.

(١٨)

Galenus: *Galen, on the Usefulness of the Parts of the Body. De usu partium*, translated (١٩)

by M. T. May, 2 vols., II (Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, 1968), X, 1, pp. 463-464,

and *De Placitis Hippocratis et Platonis*, (*Sur les doctrines d'Hippocrate et de Platon*), VII, 6, pp. 28-29.

لم يكن ضرورياً في نظرية جالينوس أن تُقذف البنوما بعيداً أمام العين، فبمجرد حدوث التماس بينها وبين الهواء، يتبدل هذا الأخير فوراً (بوجود الضوء) ليصبح امتداداً حاسياً مباشراً لجهاز الرؤية. ومن وجهة نظر هندسية، يتشكل مخروط من الحساسية، مؤلف من خطوط بصرية تمتد من رأس المخروط الواقع في البؤبؤ وصولاً إلى الأجسام المرئية عن بعد. وبالنسبة إلى جالينوس، لا يستبدل الهواء المضغوط بعصا الأعمى، بل يصبح بديلاً عن ذراع الأعمى نفسها، كنوع من عضو غير مرئي^(٢١).

ويتم الإدراك عندما تلتقي قاعدة المخروط بجسم مرئي. إلا أن جالينوس أظهر أيضاً أن الانطباعات ترجع إلى رطوبة الجليدية التي تعتبر العضو الرئيس للنظر، ثم تنتقل عن طريق الشبكية والأعصاب البصرية «الجوفاء» لتصل إلى الدماغ، الحصن الأخير للإحساس والإدراك^(٢٢).

٣ - نظريات الانتقال

ظهرت فيما بعد سلسلة نظريات، أخذت تبتعد تدريجياً عن النظريات اللمسية. وللوهلة الأولى، لا يبدو مسار أرسطو (Aristote) (٣٨٣ - ٣٢٢ ق. م) لمسياً. فبالنسبة إليه، لا تدخل العين بفعالها الخاص في تماس مع الأجسام المرئية، أي بإرسال شعاع لمسي أو بنوما. كما لا تستقبل أيضاً نسخات عن الأجسام بأشكال أغشية مثل إيدولا بل تمثل الرؤية، مثل أي إحساس آخر، عملية سلبية^(٢٣). فما تستقبله أعضاء الحواس هو شكل

Galenus: *Galen, on the Usefulness of the Parts of the Body. De usu partium*, II, X, (٢٠) pp. 463-503, and *De Placitis Hippocratis et Platonis*, (Sur les doctrines d'Hippocrate et de Platon), VII, 3.10-6, 4.17.

لدراسة كاملة عن جالينوس نسبة إلى أسلافه وحول أهمية تشريحه، انظر:

Rudolph E. Siegel, *Galen on Sense Perception* (Basel; New York: Karger, 1970);

Harold Cherniss, فيما يتعلق بنظرية جالينوس كتركيب يجمع أفلاطون وأرسطو والرواقين، انظر: «Galen and Posidonius' Theory of Vision», *American Journal of Philology*, vol. 54 (1933), pp. 154-161.

(٢١) بخصوص نقاش لشابه «العصا التي تسير» بالنسبة إلى العصب في أعمال جالينوس، انظر:

Galenus, *De Placitis Hippocratis et Platonis*, (Sur les doctrines d'Hippocrate et de Platon), VII, 5.5-11, 5.40-41; 7.16-8.22.

(٢٢) بخصوص نقاش لهاتين وجهتي النظر عند جالينوس، انظر النقد من قبل روبرت ج. ريتشاردس

Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, Journal of (Robert J. Richards) لكتاب: the History of Behavioural Sciences, vol. 15 (1979), pp. 378-382. في:

= Charles H. Kahn, «Sensation and النظر: عند أرسطو، انظر:» (٢٣) بخصوص تحديد للإحساس عند أرسطو، انظر:

الجسم المرئي دون المادة التي تشكله، بالطريقة نفسها التي ينطبع فيها الشمع بشكل خاتم، دون أن يحتفظ منه بالمعدن. إلا أن كل جهاز حاسي يتأثر بالانطباعات الصادرة عن الأجسام الموافقة أو المختصة به. وفي تجربة الإدراك فقط تصبح العين، القادرة على الرؤية بالقوة، عضواً حاسياً حقيقياً^(٢٤).

يكثف أرسطو في وصفه للحواس بتحديد الشروط الضرورية للتجربة البصرية. فقبل كل شيء، يحدد بدقة أن الخاصة الأساسية لجسم مرئي هي اللون، فهو صنف يُدرج فيه أرسطو قوة الضوء والظلمة، وبواسطة هذا الصنف يمكن للخصائص المرئية أن تدرك. ثم يضع بعد ذلك الشفافية، كشرط أول لانتقال خصائص الجسم إلى العين. وهكذا، لكي تعمل الرؤية، إذن، يجب أن يكون الجسم المتمتع بلون ما، منفصلاً عن العينين بوسط شفاف. وما يسبب الشفافية هذه هو الضوء. وبالنسبة إليه، فليس الضوء جوهرًا ماديًا ولا حركة. إنه حالة شفافية الوسط (الهواء) الذي من خلاله يمكن للألوان أن تتم رؤيتها عن بعد. وبسبب شفافيتها أيضاً، تستطيع العين (أو «الهلام البصري») في آن واحد أن تنطبع بالألوان. وكمثل الخاتم، فإن جسمًا أخضر يلون العين بالأخضر^(٢٥). ونشير إلى أنه لم يتم تقديم أي شرح لهذه العملية ولا لما يجري داخل العين^(٢٦).

شكلت أفكار أرسطو لاحقاً نواة للحجج ضد المقاربة اللمسية للرؤية. وعلى الرغم

Consciousness in Aristotle's Psychology,» in: Barnes, Schofield, and Sorabji, *Articles on Aristotle*, = vol. 4: *Psychology and Aesthetics*, especially pp. 3-5.

(٢٤) انظر: R. D. Hicks, in: Cohen and Drabkin, *A De anima*, II, 6, 12, translated by R. D. Hicks, in: *Source Book in Greek Science*, pp. 542-543.

(٢٥) لإيضاحات حول تعريف أرسطو للرؤية بالعلاقة مع الأجسام المرئية، انظر:

Sorabji, «Aristotle on Demarcating the Five Senses,» pp. 76-99 and especially pp. 77-85.

(٢٦) كان جالينوس واعياً تماماً لواقع أن أرسطو لم يطور نظرية عن الرؤية، تسمح بتفسير «كيف نميز

وضع، قياس أو بعد كل جسم مرئي»، انظر: Galenus, *De Placitis Hippocratis et Platonis*, (Sur les doctrines d'Hippocrate et de Platon), VII, 7.4-15.

وهو في الواقع يعتمد نبرة لاذعة عندما ينتقد أرسطو لاستخدامه أشعة ميثوثة، وذلك في دراسته عن

«أشياء مرئية من خلال المرايا». انظر: Galenus, *Ibid.*, VII, 7.10-16.

بخصوص حسابات أرسطو بصدد الشعاع البصري في: Aristoteles, *Les Météorologiques*,

traduction par J. Tricot (Paris: J. Vrin, 1941); english translation by C. Petraitis, *The Arabic Version of Aristotle's Meteorology*, a critical edition with an introduction and greek - arabic glossaries, université Saint Joseph, institut de lettres orientales de Beyrouth, recherches, série 1: *Pensée arabe et musulmane*; t. 39 (Beyrouth: Dar El-Machreq, 1967),

وبالتناقض مع تصوراته، في *De anima* وفي *De sensu*، انظر: Boyer, «Aristotelian References to the Law of Reflection,» pp. 94-95, and Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindi to Kepler*, p. 217, note (39).

من أن مفهوم البث انطلاقاً من العين هو نفسه قابل للنقد، إلا أن الإنجازات المدهشة التي حققتها نظريات البث في حل مسائل الانعكاس وإدراك المسافة والقياس والوضع، ليست قابلة للنقد بدورها. ونتيجة لذلك، ظهر بعض شراح أرسطو الذين حاولوا تبني منهج انتقائي، مستخدمين في الوقت نفسه مبادئ هندسية وميكانيك الشعاع البصري للدفاع عن فرضياته ولاحقاً لإعادة النظر فيها^(٢٧).

دعم بعض الشراح، مثل إسكندر الأفروديسي (Alexandre d'Aphrodise) في القرن الثالث، فكرة مفادها أن لا شيء يتم بثه من العين نحو الجسم. ومع ذلك، فقد استخدم إسكندر المخروط البصري ومبدأ الانتشار المستقيم كما جاء في النظريات اللامسية، وذلك عندما تفحص انتقال الخصائص المرئية (الألوان) بواسطة وسط شفاف. وتكون الأجسام مرئية آنذاك من خلال مخروط على امتداد خطوط مستقيمة. ومع أن إدراك قياس الأجسام يتحدد بزوايا النظر التي تأخذ مكانها انطلاقاً من العين، فإن المخروط نفسه يتحدد في قاعدته بواسطة الجسم ولا يتحدد ببث ما من العين^(٢٨).

كانت وجهة نظر جان فيلوپون (Jean Philopon) (القرن السادس) واضحة. فلو أن الأشعة الضوئية تُبث بخط مستقيم وتنحرف على الأسطح الملساء تبعاً لقانون الزوايا المتساوية، فإنه باستطاعتنا آنذاك الافتراض أن تأثير (energia) الأجسام الملونة والمضيئة على العين يتم بخطوط مستقيمة وينعكس في المرايا وفقاً لقانون الزوايا المتساوية. وفي الواقع، إن استبدال مفهوم الأشعة البصرية بفرضية أرسطو، يسمح بتجنب المفهوم غير المنطقي عن البث مع الحفاظ على الظاهرة نفسها. وقد تجاوز فيلوپون أرسطو في هذه المسألة، عندما عالج الضوء واللون بشكل متواز. فعُدل مفهوم الضوء، إذ حوله من تغير حالة إلى «حركة» نوعية (أو «قفزة») تحدث بطريقة فورية، كما هو الأمر عند أرسطو بالنسبة إلى تأثير اللون على العين^(٢٩).

(٢٧) فيما يتعلق باختلافات وجهات النظر بين أرسطو والشرائح المشائين، انظر: Samuel Sambursky, «Philoponus' Interpretation of Aristotle's Theory of Light», *Osiris*, vol. 13 (1958), pp. 114-126.

انظر أيضاً نقد سورابجي (Sorabji) الذي سيرد لاحقاً في الهامش رقم (٢٩).

Alexander of Aphrodisias, «*De Anima Libri Mantissa*», translated by Robert J. (٢٨) Richards, *Journal of the History of Behavioural Sciences*, vol. 15 (1979), p. 381.

Sambursky, *Ibid.*, p. 116.

انظر أيضاً:

(٢٩) انظر: Philoponus, *De anima*, quoted in: Sambursky, *Ibid.*, pp. 117-118 and discussed in pp. 118-126.

لا يقبل سورابجي الفكرة التي مفادها أن فيلوپون «يرفض تماماً» نظرية أرسطو بتغيير تصويره عن الضوء، منتقلاً من ظاهرة سكونية إلى ظاهرة حركية، مبدلاً معنى «energia» الأرسطية. انظر: Richard Sorabji, «Directionality of Light», in: Richard Sorabji, *Philoponus and the Rejection of Aristotelian Science* (London: Duckworth, 1986), pp. 26-30.

وهكذا فقد ارتسم في العصور القديمة المتأخرة اتجاه جديد، جاء كرد على الأفكار الأرسطية. وتكشف انتقائية هذا الاتجاه أيضاً تأثير مبدأ الأفلاطونية المحدثة عن الإشراق (مثله الملموس هو الإشعاع الصادر عن الشمس)، وتأثير أفكار الذريين الأكثر دقة عن الفضاء والحركة^(٣٠). فالرؤية تعود إلى حركة نوعية (أو «قفزة متقطعة») للضوء انطلاقاً من الأجسام المرئية، وتواكب هذه الحركة (عن طريق الألوان) الخصائص المرئية للأجسام وصولاً إلى العين. بالإضافة إلى ذلك، فإن هذا الانتقال يستطيع أن يخضع للتحليل الهندسي^(٣١).

٤ - ميكانيك الرؤية في النظريات اليونانية

ترجع الشروحات التي أعدها اليونانيون إلى نموذجين أساسيين من النظريات:

أ - النظريات المسماة «نسخة الجسم»، التي بموجبها تستقبل العين رداً من الجسم، يسمى إيدولون.

ب - النظريات «اللمسية» الأكثر كمالاً، والتي لقيت نجاحاً أكبر.

وبموجب هذه النظريات، تمتد العين قدرتها بشكل مخروط من الإشعاع وصولاً إلى الأجسام المرئية. أما المقاربة غير اللمسية، التي بدأها أرسطو، فإنها لا تشكل نظرية قائمة بذاتها، علماً أنها استخدمت لاحقاً لنقض هاتين النظريتين.

وعلى الرغم من الاختلافات الظاهرة فيما بينها، فإن النظريات اليونانية عن الرؤية قد أعدت انطلاقاً من الفرضيات نفسها. فقبل كل شيء، تم اعتبار الوعي الحاسي كتسجيل حقيقي للواقع. فما يُنقل إلى العين ومنها إلى الروح، يمثل نسخة نوعية عن العالم الخارجي. وقد تم تبرير هذا التصور تجريبياً، باللجوء إلى ظاهرة التجلي الفعلي لوجه شخص في بؤبؤ شخص آخر، كما في المرأة^(٣٢). ونتيجة لذلك، كانت أجسام الإحساس البصري تعتبر ككيانات متماسكة. وإدراك هذه الكيانات يتم بطريقة إجمالية، إما بواسطة نسخة مادية

(٣٠) إن التصور عن الضوء كـ «نشاط» للجسم المضيء في «اتجاه خارجي» يظهر أيضاً في: Plotin, *Ennéades*, IV, 5.7 (ت حوالى ٢٧٠). انظر: Sambursky, Ibid., p. 116.

(٣١) بخصوص إعادة تعريف للضوء، بالنسبة إلى جدالات الذريين حول انقسامية الفضاء وعدم انقسامية الوقت، كامتداد لفكرة التغير أو «القفزة» النوعية، للانتقال إلى فكرة الحركة، انظر:

Richard Sorabji, *Time, Creation and the Continuum: Theories in Antiquity and the Early Middle Ages* (Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, 1983), pp. 52-62 and 384-390.

(٣٢) حول العلاقة بين الصورة على البؤبؤ واشتقاق محتمل لكلمة «pupil»، انظر:

Siegel, *Galen on Sense Perception*, pp. 49-50, and Galenus, *On Anatomical Procedures, the Later Books*, translated by W. L. H. Duckworth (Cambridge, [Eng.]: University Press, 1962), X, 3, 40.

انظر لاحقاً الهامش رقم (٨٠).

(إيدولون)، وإما بانطباع يحس به أو أيضاً بتصوير أو بشكل للجسم المحسوس^(٣٣).

يفرض مفهوم «النسخة» أن تكون التجربة الحسية الوسيلة الوحيدة لبناء نظرية عن الرؤية، والنموذج الوحيد القادر على شرح الإدراك. فقد كان معروفاً بوضوح وفي الوقت نفسه، أن الحواس ليست معصومة عن الخطأ، وأنه يمكن حصول اختلاف بين صفات الأجسام وإدراكنا لهذه الأخيرة. وقد تمت معالجة مسألة القمر والشمس والنجوم، كما لو كانت جميعها تقع على مسافة واحدة، في حين أن مسافات النسبية تبعاً للمراقب تختلف كثيراً^(٣٤). ويشكل «الخداع القمري» توضيحاً لمثال على محاولة تسوية هذه المسألة. فقد لوحظ أن القمر يبدو في الأفق أكبر حجماً، بالمقارنة مع وضعه على خط عمودي، على الرغم من أن قياسه الفيزيائي هو نفسه في الوضعين^(٣٥). وقد تم تطبيق هذا الاكتشاف في فن التصوير (رسم الزخرفة) وفي العمارة، حيث كانت تبني بإتقان أعمدة غير متوازية أو معقوفة قليلاً إلى الداخل، لكي تبدو متوازية للمراقب. وفي الواقع، كان علم البصريات آنذاك فرعاً من الرياضيات، يدرس الأجسام المدركة بالحواس. كما كان هذا العلم يبحث خداع النظر، مثل التقارب الظاهر للخطوط المتوازية، أو واقع أن الأجسام المربعة تبدو عن كذب وكأنها مكورة^(٣٦).

ومع ذلك، فقد اعتبر كبديهية واقع أن التجربة الحسية تتحدد بالحواس. وهكذا، على الرغم من أن النسخات قد تتكشف غير دقيقة في بعض الأحيان، إلا أن النسخات التي تنقلها الحواس تبقى حقيقية، كاملة وغير قابلة للتجزئة.

وانطلاقاً من فرضية وجود تماثل في الشكل بين ما يصل العين ومصدره في العالم الخارجي، كانت النظريات تسأل عن الوسيلة، التي تستطيع العين والروح بواسطتها أن تحصل على نموذج نوعي عن الواقع المرئي. وكانت «نسخة» الجسم تعتبر وسيلة تماس، سواء تم إدراكها بواسطة «إيدولون» أو قدرة بصرية. وبكلمات أخرى، تتميز النظريتان بمقاربة «لمسية»، تشرح الرؤية بمصطلحات التماس الميكانيكي.

(٣٣) من أجل مفهوم الرواقين عن «تصوير» نسخة متماسكة، انظر: Hahm, «Early Hellenistic Theories of Vision and the Perception of Color», p. 88.

(٣٤) انظر: A. I. Sabra, «Psychology Versus Mathematics: Ptolemy and Alhazen on the Moon Illusion», in: Edward Grant and John E. Murdoch, eds., *Mathematics and Its Applications to Science and Natural Philosophy in the Middle Ages* (Cambridge, Mass.: Cambridge University Press, 1987), pp. 217-247.

(٣٥) Nicholas Pastore, *Selective History of Theories of Visual Perception, 1600-1950* (New York: [n. pb.], 1971), pp. 4-6.

(٣٦) انظر: Proclus, «Commentary on Euclid's Elements I», in: Cohen and Drabkin, *A Source Book in Greek Science*, pp. 3-4.

كان وجود الضوء هو الذي يسمح بقيام التماس بين العين والجسم. فبدون ضوء مثلاً، لا تملك القدرة البصرية (شعاع أو بنوما) أية وسيلة لإقامة تماس مع الجسم^(٣٧). ولا يملك أي طراز من هذه النظريات علاقة تصورية مع فيزياء الضوء في معالجته للرؤية. فلم تكن «النسخة» الحاسية النوعية صورة بصرية. وبما أن العين لم تكن تعتبر عضواً يستخدم «لتشكيل» الصور، لذلك كانت المعرفة التفصيلية لتشريحها مستقلة عن أساس النظريات التي تعالج الرؤية، بالطريقة نفسها حيث لا توجد للتشريح التفصيلي لليد أية علاقة مع بعض النظريات، حتى تلك التي تشرح الإحساس اللمسي. فكان دور العين يتحدد بالفرضية الغائية، التي تقول إن تركيبها يعكس وظيفتها.

أخيراً، فإن العين كانت عيناً تدرك. إن فرضية «النسخة» تجعل مستحيلة الفكرة التي مفادها أن ما يصل إلى العين يمكن أن يكون مختلفاً عما يدرك. فبمجرد حدوث التماس، يكون الإدراك مباشراً وكاملاً. إن مفهوم الإدراك، بصفته عملية متميزة لتفسير التسجيل الحاسي، بمعنى إعادة بناء عالم بصري ثلاثي الأبعاد انطلاقاً من صورة مسطحة محرفة ومعكوسة موجودة داخل العين، إن هذا المفهوم لم يكن ممكناً تصوره. هذا، وقد شكلت هذه المفاهيم الموحدة قاعدة المقاربة الإسلامية للرؤية. وبقيت دون تغيير جوهري حتى إدخال فرضية الصورة المرئية المسقطة بصرياً.

ثانياً: الرواية العربية للنظريات اليونانية: استمرارية أم تحول؟

استخدم إرث نظريات الرؤية في الإسلام، وفي آن واحد، التغيرات النظرية للمواقف الهلنستية الكلاسيكية والحجج الموجودة في الشروحات الأرسطية والأرسطية الزائفة، العائدة إلى العصور القديمة المتأخرة. وكانت هذه الحجج تستند إلى تصورات عن تطور الفضاء والحركة والزمن^(٣٨). وبالإضافة إلى نظريات الرؤية، فإن معارف اليونانيين الرياضية والاختبارية في علم البصريات والميكانيك، وكذلك التشريح التفصيلي للعين واتصالاتها مع الدماغ، أصبحت جميعها متوفرة بفضل الترجمات التي نقلت إلى العربية^(٣٩).

(٣٧) يقارن جالينوس إزالة الضوء بالعصب الذي نقطعه فيفقد بذلك كل إحساس. انظر:

Galenus, *De Placitis Hippocratis et Platonis*, (Sur les doctrines d'Hippocrate et de Platon), VII, 5.5-13.

(٣٨) من أجل تأثير نظرية «impetus»، كتيار نقدي أكثر شمولاً للعلم الأرسطي، انظر: Richard Sorabji, «John Philoponus», in: Sorabji, *Philoponus and the Rejection of Aristotelian Science*, pp. 11-40.

(٣٩) لا نملك حتى الآن دراسات مقارنة ونقدية عن المصادر الهلنستية والمشائية للجدل الإسلامي بصدد الرؤية. فيما يتعلق بالعلاقات بين النظريات اليونانية والإسلامية من أجل المعايير الرياضية والفيزيائية والطبية، انظر: Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindi to Kepler*, pp. 18-58.

إنه لا يستعرض شراح أرسطو.

وفي هذا السياق، من الضروري الإشارة إلى أن هدف الرياضيين - الفلكيين والفلاسفة الطبيعيين والأطباء المسلمين لم يكن فقط الحفاظ على هذا الإرث، بل تعداه أيضاً إلى تدارك إغفال بعض الأمور وتصحيح ما كانوا يعتبرونه تناقضات وأخطاء عند إقليدس وبطلميوس وجالينوس على سبيل المثال، وذلك بالإلحاح أكثر فأكثر على الملاحظات الاختبارية^(٤٠). وكانت هنالك محاولات أعدت لتأمين الانسجام عند أفلاطون وللتوفيق بين جالينوس وأرسطو حول مسائل مختصة تثيرها نقاشات حول الرؤية^(٤١). وفي الواقع، فإنه من خلال هذه الانتقادات تسنى ظهور تعديلات مرفقة بإيضاحات، للمسائل المتعلقة بالرؤية. إلا أن أصالة واستقلالية الأبحاث في تطوير هذه الأعمال في العالم الإسلامي تستند إلى حد كبير إلى

(٤٠) فيما يتعلق بالإشارة الواضحة إلى أهداف كهذه وتطبيقها في بعض المؤلفات، انظر: أبو يوسف يعقوب بن إسحق الكندي، رسائل الكندي الفلسفية، تحقيق وتقديم محمد عبد الهادي أبو ريدة، ٢ ج (القاهرة: دار الفكر العربي، ١٩٥٠ - ١٩٥٣) بخاصة «في الفلسفة الأولى»، ج ١، ص ١٠٣، و«في الشعاعات» المراسل المحرقة، ٣، نقلاً عن:

Jean Jolivet and Roshdi Rashed, «Al-Kindī, Abū Yūsuf Ya'qūb Ibn Ishāq al-Sabbāh», in: *Dictionary of Scientific Biography*, 18 vols. (New York: Scribner, 1970-1990), vol. 15, p. 264.

انظر أيضاً: أبو بكر محمد بن زكريا الرازي، «الشكوك على جالينوس»، في:

Shlomo Pines, «Razi Critique de Galien», papier présenté à: *Actes du VII^e congrès international d'histoire des sciences, Jérusalem, 1953* (Paris: [s. n., s. d.]), pp. 480-487, réimprimé dans: Shlomo Pines, *The Collected Works of Shlomo Pines: Studies in Arabic Versions of Greek Texts and in Mediaeval Science* (Jerusalem: [n. pb.], 1986), vol. 2, pp. 256-258;

أبو علي محمد بن الحسن بن الهيثم، «الشكوك على بطليموس»، تحقيق عبد الحميد صبره ونبيل الشهابي؛ تصدير إبراهيم مذكور (القاهرة: مطبعة دار الكتب، ١٩٧١)، الورقة ١٦٢ ط، نقلاً عن:

Shlomo Pines, «Ibn al-Haytham's Critique of Ptolemy», in: Shlomo, *The Collected Works of Shlomo Pines: Studies in Arabic Versions of Greek Texts and in Mediaeval Science*, pp. 547-548.

أما الأجزاء المتعلقة بالبصرييات فقد أعاد نقلها: A. I. Sabra, «Ibn al-Haytham's Criticisms of Ptolemy's Optics», *Journal of the History of Philosophy*, vol. 4, no. 2 (April 1966), pp. 145-149.

حول النص العربي، انظر: أبو علي محمد بن الحسن بن الهيثم، كتاب في حل شكوك إقليدس في الأصول وشرح معانيه، صورة فوتوغرافية عن مخطوطة اسطنبول (فرنكفورت - أم - مان: [د. ن.], ١٩٨٥). يمثل كتاب المناظر لابن الهيثم في علم البصرييات ذروة المقاربة النقدية، التي يعبر عنها بشكل مباشر والمطبقة كبرنامج أبحاث، انظر: ابن الهيثم، كتاب المناظر (مخطوطة، اسطنبول، فاتح، ٣٢١٢)، الورقة ٢٤.

(٤١) انظر: B. Musallam, «Avicenna between Aristotle and Galen», in: *Encyclopaedia Iranica*, edited by Ehsan Yarshater (London: Routledge and Kegan Paul, 1986-1987), vol. 3, fasc. 1, pp. 94-99; Bruce S. Eastwood, «Al Fārābī on Extramission, Intromission, and the Use of Platonic Visual Theory», *Isis*, vol. 70, no. 253 (September 1979), pp. 423-425, reprinted in: Bruce S. Eastwood, *Astronomy and Optics from Pliny to Descartes* (London: Variorum Reprints, 1989), and Franz Rosenthal, «On the Knowledge of Plato's Philosophy in the Islamic World», *Islamic Culture*, vol. 14, no. 4 (October 1940), pp. 386-422 and especially pp. 412-416.

طبيعة الإرث، وبالأخص ذلك الإرث الوافد من العصور القديمة المتأخرة^(٤٢).

١ - الدفاع عن النظريات اللمسية: الكندي وحنين بن إسحق

قدم الكندي (حوالي ٨٦٦م)، وهو أحد المبادرين الكبار في نقل العلم اليوناني، مجموعة من الحجج ضد نظريات الإدخال في أعماله حول البصرييات (المنظر)، التي شكلت أيضاً نقداً لنظرية الرؤية العائدة لإقليدس. فقد أوضح، مستخدماً حججاً لم تكن دائماً جديدة تماماً، بعض الاختلافات المهمة بين نظريات «نسخات» الأجسام والنظريات اللمسية^(٤٣).

تتعلق صحة أية نظرية عن الرؤية، بالنسبة إلى الكندي، بقدرتها على معالجة مسائل، كممثل إدراك بعد الأجسام وموضعها ووضوحها، وكذلك شكلها واتجاهها في الفضاء، بطريقة يمكن في الوقت نفسه التحقق من صحتها بالملاحظة وإثباتها بالمنطق الهندسي. ولا تستطيع نظرية الإدخال أو نظرية نسخات الأجسام تلبية هذه الشروط^(٤٤).

تملك نظرية الإدخال قوة ملازمة لها، تتمثل في قدرتها على تحليل ميزة عادية لكنها أساسية في الإدراك اليومي. وهذه الميزة قوامها أننا ندرك فوراً أن جسماً يبقى هو نفسه دائماً في رسومه المنظورية الكبيرة الاختلاف. ففي الواقع تملك المنضدة دائماً ثلاث أرجل،

(٤٢) من أجل تقدير التطورات الحاصلة في العالم العربي، من الضروري في البداية معرفة الاستدلالات، بوضوح وجدية، التي قدمها اليونانيون سابقاً حول الرؤية، وصولاً إلى العصور القديمة المتأخرة. هذا ما تم التشديد عليه في نص كامل آخر لـ: Richard Sorabji «Atoms and Divisible Leaps in Islamic Thought», in: Sorabji, *Time, Creation and the Continuum: Theories in Antiquity and the Early Middle Ages*, chap. 25, p. 384.

وقد أثبت سورابجي أن الاستدلالات اليونانية الموازية للعربية (عندما نستطيع أن نقارن حجة بحجة) بمقدورها المساعدة في إعادة بناء الاستدلالات العربية، وأحياناً «تسلط عليها ضوءاً جديداً وتعيد إحياء معانيها»، بالأخص بالنسبة إلى المرحلة القديمة من الفكر العربي.

(٤٣) حول الكندي، انظر: Jolivet and Rashed, «Al-Kindī, Abū Yūsuf Ya'qūb Ibn Ishāq al-Sabbāḥ», pp. 261-267,

الذي يحتوي على مراجع مفصلة. إن بصريات الكندي موجودة في ترجمة من العربية إلى اللاتينية، في: Axel Anthon Björnbo and Seb Vogl, «Al-Kindī, Tideus und Pseudo-Euclid: Drei Optische Werke», *Abhandlungen zur Geschichte der Mathematischen Wissenschaften*, Bd. 26, no. 3 (1912), pp. 3-41.

(٤٤) حول إعادة بناء مفصلة ودراسة لحجج الكندي، انظر: David C. Lindberg, «Al-Kindī's Critique of Euclid's Theory of Vision», *Isis*, vol. 62, no. 214 (December 1971), pp. 469-489, reprinted in: Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, vol. 2, pp. 18-32.

وحول نسخة مختصرة، انظر: David C. Lindberg, «The Intromission-Extramission Controversy in Islamic Visual Theory: Al-Kindī Versus Avicenna», in: Machamer and Turnbull, eds., *Studies in Perception: Interrelations in the History of Philosophy and Science*, pp. 137-159, reprinted in: David C. Lindberg, *Studies in the History of Medieval Optics* (London: Variorum Reprints, 1983).

سواء أنظرنا إليها جانبياً أم من عل. ومع مفهوم النسخة (أكانت مثلاً سلسلة إيدولا أم سلسلة أشكال للجسم) والتي تنفذ إلى العين، تصبح إمكانية معالجة مسألة الرؤية بالمنظور خارج دائرة البحث.

يعطي الكندي فيما يتعلق بمسألة الاتجاه في الفضاء وإدراك الشكل، مثال الدائرة المرئية جانبياً. فلو أن الرؤية هي نتيجة دخول شكل تام إلى العين، لوجب آنذاك إدراك شكل الدائرة بكاملها، في حين إنه عندما ننظر إلى هذه الدائرة جانبياً، فما نراه عندها ليس دائرة، بل خط مستقيم^(٤٥). وبالتالي، فإن ما يدرك هو بوضوح محصور بزوايا المنظور الذي يحدد مظهر الجسم الداخل في تماس مع الشعاع البصري. (يبقى السؤال المطروح التالي: إذا كان ما يدرك من الدائرة المرئية جانبياً هو خط مستقيم، فكيف نعرف هذا الشيء بصفته دائرة؟). إنها لمفارقة أن الكندي عندما يدعو إلى الاحتكام إلى الاختبار، فإن ما يفكر به هو بالتأكيد اختبار مثالي أكثر مما هو تجريبي. فمن السهل إيضاح الصعوبة الفاتكة في رؤية جانب الدائرة بمظهر خط مستقيم عند استخدام دائرة من شريط حديدي (شبيه بالدوائر التي تحدث فقائيع الصابون). فإن أقل حركة من الرأس أو من اليد تحرفه جانباً، فتسبب فوراً إدراك الدائرة. كما أن مجموعة كبيرة من الرسوم المنظورية المائلة تجعلنا نرى قطعاً ناقصاً. وفي الواقع، نرى دائرة في العديد من حالات الرسوم المنظورية، في حين أن ذلك مستحيل فيزيائياً. وقد مثل هذا الثبات في إدراك الشكل، والذي لم يبينه الكندي، مسألة غير قابلة للحل في نظرية الشعاع البصري^(٤٦).

قدم الكندي، انطلاقاً من فرضية أن الأجسام المدركة هي متماسكة وغير قابلة للتجزئة، تفصيلاً آخر. فإذا كانت الرؤية تعمل بالإدخال، دون أن تأخذ، إذن، في الاعتبار وضع الأجسام في حقل الرؤية، ولا شيء سوى قربها أو بعدها، فإن هذه الأجسام تدرك في آن واحد وبقدر متساوٍ من الوضوح، بغض النظر عن معاملها (Paramètres). لذلك لا تحتاج العين إلى تعيين موضع الأجسام، وهذا الأمر مناف بوضوح لطبيعة الحال. وبالنسبة إلى الكندي، في تجربتنا اليومية لا تدرك الأجسام في الوقت نفسه، بل في تعاقب زمني كما هو الحال أثناء القراءة^(٤٧). وقد حاول بذلك أن يفسر وضوح الأجسام المرئية التي تقع، من

(٤٥) انظر: «De Aspectibus», prop. 7, in: Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindi to Kepler*, p. 23,

بخصوص مصادر هذه الحجة وكذلك غيرها في «مقدمة» ثيودور الإسكندري لبصريات إقليدس، انظر ص ٢٠ و ٢٢.

انظر أيضاً: Lindberg, «Al-Kindi's Critique of Euclid's Theory of Vision», p. 476, note (27) and p. 477.

(٤٦) حول معرفة ابن الهيثم لهذه المسألة، انظر: Gary C. Hatfield and William Epstein, «The Sensory Core and the Medieval Foundations of Early Modern Perceptual Theory», *Isis*, vol. 70, no. 253 (September 1979), p. 368.

(٤٧) انظر: Prop. 9, in: Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindi to Kepler*, p. 22.

جهة، قريبة، وباتجاه مركز حقل الرؤية، بالمقابلة مع تلك الأجسام التي تقع، من جهة أخرى، بعيدة أو في محيط حقل الرؤية، وذلك بضعف قدرة الرؤية بمقدار ما يبتعد الحقل عن العين، حيث يأخذ مصدره. وفي شرحه لم يربط الكندي بين قوة الشعاع المركزي للمخروط المنظوري وطول هذا الشعاع الذي كان أصغر طولاً بالمقارنة مع الأشعة الواقعة في محيط الحقل. وعوضاً عن ذلك، فقد انطلق شرحه من الضوء، معتبراً أن المخروط هو كتلة من الإشعاع المتواصل. لذلك فإن الأجسام الموجودة قرب المركز مرئية بوضوح أكثر، بسبب تركيز أكبر للأشعة في هذا الموضع. تماماً كما تنير شمعتان المكان نفسه بشكل أفضل من شمعة واحدة^(٤٨).

وتستند حجج الكندي حول الأشعة البصرية، بشكل معبر، إلى اعتبارات هندسية من الاختبارات التجريبية والمثالية مع مصادر ضوئية. فانطلاقاً من الفرضية الضمنية عن تماثل بين الشعاع الضوئي والضوء نفسه، ابتداءً الكندي بإثبات مسلمة إقليدس، والتي بموجبها يكون انتشار الشعاع بمسار مستقيم. إلا أنه أثبت عند قيامه بهذا العمل، الطبيعة الثلاثية الأبعاد والطبيعة الفيزيائية للأشعة الضوئية (بالمقابلة مع الخطوط الهندسية الإقليدية)، كذلك أثبت انتشارها المستقيم انطلاقاً من مصادر ضوئية^(٤٩). وعلى سبيل المثال، يذكر تجربة ممكنة، حيث توضع شمعة كمصدر ضوئي مقابل فتحة يوجد خلفها ستارة. فإذا رسمنا عند ذاك خطأ مستقيماً من الحد الخارجي للمنطقة المضاءة على الستارة، لمس الخط رأس الفتحة ليمس من ثم رأس الشمعة^(٥٠).

افترض الكندي بعد ذلك في نظريته عن البث أن أشعة تنطلق من كل نقطة في سطح العين وتتبع اتجاه كل خط مستقيم ينطلق من هذه النقاط. واستندت فرضيته هذه أيضاً إلى تماثل بين الإشعاعات والمصادر الضوئية. وهكذا نجد عنده ليس فقط سلسلة براهين عن الانتشار المستقيم للأشعة الضوئية، بل أيضاً وصفاً واضحاً للتشتت الشعاعي للضوء في جميع الاتجاهات انطلاقاً من كل نقطة من سطح جسم مضيء، وبذلك ينير الضوء كل ما يقع أمام الجسم على خط مستقيم^(٥١). إلا أن هذا الوصف، بصفته تماثلاً لكيفية انتشار الشعاع البصري، يشكل بالنسبة إلى الكندي أساساً لتحديد أكثر دقة لوضع الجسم المرئي داخل مخروط الإشعاع. فهو يفرض فوراً انقساماً كمياً إلى نقاط لفهوم الإشعاع البصري، الذي كان يعتبر حتى ذلك الوقت غير قابل للتجزئة في آن معاً على سطح العين وعلى سطح

(٤٨) انظر القضية ١٤، في: المصدر نفسه، ص ٢٦ - ٢٨.

(٤٩) انظر القضية ١١، في: المصدر نفسه، ص ٢٤ - ٢٥. يدعم ليندبرغ فكرة أن الأشعة بالنسبة إلى الكندي ليست كيانات جوهرية بل «انطباع الأجسام المضيئة على الأجسام المعتمنة».

(٥٠) انظر القضية ١ - ٣، في: المصدر نفسه، ص ٢٠، و Lindberg, «Al-Kindi's Critique of

Euclid's Theory of Vision», pp. 474-475.

Prop. 13, in: Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, pp. 28-30.

(٥١)

الجسم الذي يحصل معه التماس. وتعدل، بالتالي، مخروط إقليدس وبطلميوس وتحول إلى مجموعة مخروطات تشع من كل نقطة في سطح العين. والنتيجة الحاصلة هي «شبكة» ثلاثية الأبعاد من المخروطات، لا تترك أي جسم يفلت من الرؤية دون أن تكتشفه، مهما كان بعد الأشعة. وقد شكلت هذه المسألة سابقاً معضلة كبرى لنظريات المخروط البسيط^(٥٢). ومع أن الكندي كان قادراً على تصور وتحليل انقسام الإشعاع الضوئي هندسياً، إلا أن الانقسام هذا لا ينطبق على عالم الإدراك، حيث تبقى الكيانات غير قابلة للتجزئة.

وعندما اتجه الكندي لدراسة العين نفسها لتقوية موقفه، لم يلزمه إلا القليل من الوقت ليعين أن العين ليست مجوفة كالأذن لكي تستطيع التقاط الانطباعات. فالعين كروية ومتحركة بطريقة تستطيع معها توجيه نظرتها وانتقاء الجسم وإرسال أشعتها إليه^(٥٣). ويحتوي هذا المنطق على فرضية غائبة ضمنية تربط ما بين تركيب العين ووظيفتها. وقد استخدم أحد معاصري الكندي، حنين بن إسحق (حوالي ٨٧٧م)، الذي يعتبر من أهم ناقلي الأعمال عن اليونانية والسريانية، العين ليرفض في آن معاً نظريات الإدخال ونظريات الشعاع البصري^(٥٤). وقد تبنى في مؤلفاته العشرة عن تراكيب العين وأمراضها ومعالجتها (كتاب العشر مقالات في العين) نظرية جالينوس، التي بمقتضاها تحول البنوماء الهواء، بوجود الضوء، إلى امتداد لعضو الرؤية^(٥٥). ووصف هذا التحول بمصطلحات ميكانيكية، فالبنوماء

(٥٢) يجد مخروط الإشعاع المتواصل مصدره في بصريات بطلميوس. فيما يتعلق باختلاف بين مخروطات الكندي ومخروطات بطلميوس وإقليدس، انظر الشكل رقم (٣٧)، في: المصدر نفسه، ص ٢٢٦. وضعت الترجمة العربية لبصريات بطلميوس انطلاقاً من مخطوطة للكتاب الأول المفقود حالياً (حول نظرية الرؤية بشكل عام) وانطلاقاً من نهاية الكتاب الخامس، حول الانكسار.

(٥٣) انظر القضية ١٠، في: المصدر نفسه، ص ٢٢. يصدر هذا أيضاً عن: Théon d'Alexandrie, *Commentaire de Théon d'Alexandrie sur le premier livre de la composition mathématique de Ptolémée*, traduction française par N. Halma (Paris: [s. n.], 1821).

(٥٤) انظر: Hunayn Ibn Ishāq, *Kitāb al-'ashar maqālāt fī al-'ayn al-mansūb li-Hunayn Ibn Ishāq*: *The Book of the Ten Treatises on the Eye, Ascribed to Hunayn Ibn Ishāq (809-877 A.D.)*, edited and translated by Max Meyerhof (Cairo: Government Press, 1928).

إن ترجمة حنين بن إسحق مستوحاة من بعض أعمال جالينوس، ومن بينها: *De usu partium et De placitis Hippocratis et Platonis*.

G. Bergsträsser: *Hunayn b. Ishāq und seine Schule* (Leiden: [n. pb.], 1931), pp. 15-24, and *Neue Materialien zu Hunayn b. Ishāq's Galen Bibliographie* (Lichtenstein: Neudeln, 1966), pp. 95-98, and Max Meyerhof, «New Light on Hunayn Ibn Ishāq and His Period», *Isis*, vol. 8, no. 28 (1926), pp. 685-724.

(٥٥) حول نظرية حنين عن الرؤية، انظر: Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, pp. 33-42;

= Bruce S. Eastwood, «The» تحليل لبعض الاختلافات بين حنين وجالينوس، انظر: The

بعد خروجها من العين «تضرب» الهواء المحيط كما في «التصادم». ويبدو الطابع اللمسي لتصوره عن الرؤية واضحاً عندما يستخدم المقارنة مع عصا الأعمى: «مثال ذلك أن يكون إنسان يمشي في ظلمة ويده عصا قد نصبها بين يديه طولاً فتلقى العصا دفعة شيئاً يمنعها من الذهاب إلى قدام. فيعلم قياساً من ساعته أن المانع لعصاه من الذهاب إلى قدام إنما هو جسم مصمت مدافع لما يلقاه، والذي يدعوه إلى هذا القياس إنما هو أنه قد علم متقدماً أن الذهاب والسعي في الهواء ليس منه مانع والذهاب والسعي في جسم صلب مما هو ممتنع. وللبصر أيضاً مع هذه الأشياء أنه إذا وقع على جسم أملس براق خالص الملاسة والبريق رجع منعكساً عنه إلى الحدقة التي خرج منها بانكسار المناظر ورجوعها على زوايا مساوية للزوايا التي عليها كان خروج خطوط البصر من العينين».

وقد حاول حنين أن يشرح، بالتوافق مع هذه المقاربة، كيف أن الرؤية ممكنة في المرايا وفي الأجسام الأخرى الملساء على قاعدة الانحراف. وطبق على نظرية جالينوس مبدأ تساوي زوايا السقوط والانعكاس الصادر عن النظريات اللمسية للرؤية^(٥٦). إننا نمتلك مع «المقالات العشر» لابن إسحق ومع مؤلفه تركيب العين ليس فقط ترجمة أكثر منهجية لنظرية جالينوس، بل أيضاً تشريحاً تفصيلياً واسعاً للعين، نُقل على هذا الشكل في العالم العربي^(٥٧).

غير أنه لم يتم إثبات أي تقارب بين مبادئ الكندي ووصف تشريح العين لابن إسحق في القرن التاسع، على الرغم من الانتشار الواسع لتأثيرهما. مع ذلك، ويفضل الانتشار الذي حققه حنين لأعمال جالينوس، أصبح تشريح العين جزءاً مكملًا للنقاشات حول الرؤية، ليس فقط بين الأطباء وأطباء العيون الذين استندوا إلى الشرح الجالينوسي، بل أيضاً بين هؤلاء الذين كانوا يرفضون فكرة شكل ما من البث انطلاقاً من العين. وفي الواقع، فقد شكل تشريح العين لاحقاً جزءاً مهماً من نقد النظريات اللمسية لمصلحة نظريات الإدخال.

Elements of Vision: The Micro-Cosmology of Galenic Visual Theory according to Hunayn Ibn Ishāq,» *Transactions of the American Philosophical Society*, vol. 72, no. 5 (1982), pp. 1-59, reprinted in: Eastwood, *Astronomy and Optics from Pliny to Descartes*.

Manfred Ullmann, *Islamic Medicine*, Islamic: أما فيما يتعلق بمصدر وطبيعة بنوما، فانظر:

Surveys; 11 (Edinburgh: Edinburgh University Press, 1978), especially pp. 62-63,

الذي يستند إلى الموسوعة الطبية الكلاسيكية لعلّي بن العباس المجوسي (المتوفى حوالي ٩٨٢ - ٩٩٥ واسمه باللاتينية Haly Abbas).

Hunayn Ibn Ishāq, *Ibid.*, fols. 108.19-111.29 and especially fols. 108.19-110.6, (٥٦) انظر:

وفي الترجمة، ص ٣٥ - ٣٩.

(٥٧) انظر: المصدر نفسه، الأوراق ١٠٩، ١ - ١١٠، ٦، وفي الترجمة، ص ٣٦ - ٣٧.

٢ - نقض النظريات اللمسية: الرازي وابن سينا

أثار أبو بكر محمد بن زكريا الرازي (ت نحو ٩٢٣/٩٢٤م) في مؤلفه كتاب في الشكوك على جالينوس المسألة التالية: لو أن سبب تمدد البؤبؤ، عندما تكون إحدى العينين مغمضة، هو أن البنوما البصرية تنتقل إلى العين الأخرى، فكيف يكون باستطاعتنا، إذن، أن نشرح واقع أن العينين تتمددان وتضيقان سوية في ظروف مختلفة؟^(٥٨) فبعاً للرازي، لا يعود التغيير أبداً إلى الضغط الداخلي للبنوما المتمددة، كما فسر ذلك جالينوس، بل يعود إلى انخفاض في الضوء الخارجي^(٥٩). وقد أكد الرازي أن الضوء القوي يلحق الضرر بالعين إلى درجة التسبب في جرحها وإحداث الألم فيها، في حين أن العين لا تستطيع الرؤية أبداً في الظلام. لذلك كان لا بد من إيجاد تسوية تجمع ما بين الضدين، وقد تم تقديمها بواسطة تركيب العين. فإذا كان الجسم في مكان مضاء بقوة، فإن البؤبؤ يضيق حتى يسمح بمرور ما يكفي من الضوء تماماً لكي تعمل الرؤية، ويمنع مع ذلك أي ضرر يلحق بالبصر. أما إذا كان الجسم مضاء بدرجة أقل، فإن البؤبؤ يتسع لتأمين الضوء الكافي الذي يسمح بالرؤية. إن ما يصفه الرازي ليس التقلص العضلي وتمدد البؤبؤ، إنما قدرة العين على تغيير قياسات فتحتها تبعاً للضوء. ويوضح الرازي الطابع الميكانيكي لهذه العملية، بالتماثل مع عوامة أو صمام يتحكم بمنسوب الماء في نظام الري، وذلك بتوسيع وتضييق مدخل الخزان، ليسمح بتغذية ثابتة ومنظمة للحديقة^(٦٠). وهكذا، فإن الرازي يعتبر حركة البؤبؤ

(٥٨) فيما يتعلق بتأثير مناظر الكندي، انظر: Eilhard E. Wiedemann, «Über das Leben von Ibn al Haitham und al Kindi,» *Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik*, Bd. 25 (1911), pp. 6-7, and Max Meyerhof, «Die Optik der Araber,» *Zeitschrift für Ophthalmologische Optik*, Bd. 8 (1920), p. 20.

وحول حنين بن إسحق، انظر: J. Hirschberg, J. Lippert and E. Mittwoch, *Die Arabischen Lehrbücher der Augenheilkunde* (Berlin: Verlag der Königl. Akademie der Wissenschaften, 1905), pp. 19-20, and Max Meyerhof, «Eine Unbekannte Arabische Augenheilkunde des 11. Jahrhunderts n. Chr.,» *Sudhoff's Archiv für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften*, Bd. 20 (1928), pp. 66-67.

أما فيما يتعلق بدوره في انتقال المعرفة الطبية اليونانية إلى العربية، انظر: G. Anawati and A. Z. Iskandar, «Hunayn Ibn Ishāq,» in: *Dictionary of Scientific Biography*, sup. 1, pp. 230-249.

(٥٩) تستند المناقشة التي تلي إلى الفصل من كتاب في الشكوك على جالينوس (ملي مالك، مخطوطة ٢٣/٤٥٥٤، طهران)، في: A. Z. Iskandar, «Critical Studies in the Works of al-Rāzī and Ibn Sīnā,» paper presented at: *Proceedings of the First International Conference on Islamic Medicine*, 2 (Koweit: [n. pb.], 1981), pp. 149-150.

(٦٠) قارن مع شروحات جالينوس، في: Galenus: *Galen, on the Usefulness of the Parts of the Body. De usu partium*, p. 476, and *De Placitis Hippocratis et Platonis*, (Sur les doctrines = d'Hippocrate et de Platon), VII, 4.15.

كألية تنظم كمية الضوء النافذ إلى العين.

يبدو الرازي أكثر دقة في الجزء المتعلق بالتشريح من مؤلفه كتاب المنصوري، حيث يصف كيف يضيق البؤبؤ في ضوء وهاج ويتسع عندما يقل الضوء لكي يقدم تماماً ما تحتاجه الجليدية^(٦١). وقد لاحظ جالينوس وآخرون في العصور القديمة الخطر الجلي، الذي يحدث عندما ننظر مباشرة إلى الشمس. إلا أننا نجد عند الرازي هذه المرة ارتباطاً واضحاً بين كمية الضوء الذي يصل إلى العين، انطلاقاً من جسم مرئي، وبين تغير قياسات البؤبؤ، وبين الرؤية. ولسوء الحظ، لم يصلنا مؤلفه المكرس خصيصاً لحركة البؤبؤ، والأعمال المنسوبة إليه حول الرؤية^(٦٢). ومن غير الممكن، استناداً إلى أجزاء المعلومات المتوفرة لدينا، تقدير مدى تميز الرازي عن الأفكار الهلنستية والمثائية حول دور الضوء كوسيلة لمواكبة (من خلال اللون) الشكل المتماثل لجسم مرئي، وحول النقل المباشر لهذا الشكل^(٦٣).

وقد استعاد ابن سينا (٩٨٠ - ١٠٣٧م) العلاقة المثبتة بين الضوء وتشريح العين والرؤية، واستخدمها لنقض النظريات اللمسية سواء في صيغها الهندسية أو المتعلقة بالبنوما. كما جمع أصنافاً مدهشة من الحجج في أعمال كثيرة له، وبالأخص في موسوعته كتاب الشفاء وفي نسخته الموجزة كتاب النجاة، وذلك ليثبت أن فكرة البث من العين نحو

= انظر أيضاً: Pines, *The Collected Works of Shlomo Pines: Studies in Arabic Versions of Greek Texts and in Mediaeval Science*.

يوحي باينز أن وجهات نظر الرازي تختلف عن وجهات نظر جالينوس حول معرفة ما إذا كان العصب البصري «أجوفاً» أم لا، وحول مسار البنوما، وحول واقع أن شكل الجسم المرئي ينقل بواسطة الهواء، من خلال العصب البصري، وصولاً إلى التجاويف الدماغية الأمامية التي تحتوي على البنوما، وتسمح هذه الأخيرة بالإدراك الحاسي. فيما يتعلق بالمذهب الذري للرازي بالنسبة إلى ديموقريطس، انظر:

Shlomo Pines, *Beiträge zur Islamischen Atomenlehre* (Berlin: Gräfenhainichen, Gedruckt bei A. Heine, 1936).

(٦١) حول أمثلة عن الصمامات والفواش الأوتوماتيكية في المراقبة الهيدرولية عند معاصري الرازي، انظر: محمد بن موسى بن شاذان، كتاب الحيل، نشرة نقدية للنص العربي من قبل أحمد يوسف الحسن بالتعاون مع محمد علي خنطاة ومصطفى تعمري، مصادر ودراسات في تاريخ العلوم العربية الإسلامية، سلسلة تاريخ التكنولوجيا؛ ٣ (حلب: جامعة حلب، معهد التراث العلمي العربي، ١٩٨١)، والترجمة الإنكليزية له، في: Moḥammed Ibn Musa Ibn Shākir, *The Banū (Sons of) Mūsā Ibn Shākir: The Book of Ingenious Devices (Kitāb al-ḥiyāl)*, translated by Donald Routledge Hill (Dordrecht; Boston; London: Reidel Publishing Company, 1979).

(٦٢) انظر: Abū Bakr Muhammad Ibn Zakariyyah al-Rāzi, «Kitāb al-Manṣūr», dans: Abū Bakr Muhammad Ibn Zakariyyah al-Rāzi, *Trois traités d'anatomie arabes, par Muhammed Ibn Zakariyyā al-Rāzi, 'Alī Ibn al-'Abbās et Abū 'Alī Ibn Sīnā*, édité et traduit par P. de Koning (Leiden: Brill, 1903), livre 1, chap. 8, p. 53.

(٦٣) كان الرازي مطلعاً على *De anima*، المقالة الثانية، الذي ينسب إلى إسكندر الأفروديسي، انظر: Pines, «Razi Critique de Galien», p. 487, note (7).

الجسم هي محال منطقياً، ولا تتفق مع الواقع والتجربة اليومية ومع هندسة المخروط البصري نفسها في تحليل إدراك قياس الأجسام وبعدها^(٦٤).

كما أكد، بعد تدعيم مواقفه مرتكزاً على النقض الهلنستي والمشائي، أنه إذا حصل تماس مع أجسام مرئية في قاعدة مخروط الرؤية، فإنه ينتج عن ذلك بالضرورة أن قياساتها بالإضافة إلى خصائصها المرئية ستصل دون أن يكون لها علاقة مع بعدها. ومن جراء ذلك، لا يمكن تطبيق قوانين المنظور^(٦٥). في حين أن إدراك القياس الظاهري يتحدد، بالنسبة إلى ابن سينا، بالبعد نسبة إلى زاوية رأس مخروط الرؤية في العين. فكلما ابتعد الجسم، ضاقت الزاوية وصغرت المنطقة التي يحتلها شكل الجسم على سطح الجليدية. وبالتالي، فإن هندسة مخروط الرؤية لا معنى لها، إلا إذا اعتبرت الجسم، وليس العين، كنقطة انطلاق^(٦٦). ويوضح ابن سينا هذا الأمر، عندما يشرح أن جسماً ما موجوداً قرب العين يشكل زاوية تصغر باستمرار بمقدار ما يبتعد هذا الجسم عن العين؛ وهكذا نراه أصغر. وفي الواقع، فإن الزاوية تكون أحياناً صغيرة لدرجة أنه لا يمكن معها رؤية الجسم، حتى ولو كان منطقياً في تماس دائم مع قاعدة المخروط وكان بإمكان الشعاع اللمسي أن يلمسه (يشعر به). وهكذا، فإن زاوية المخروط تستخدم كإشارة إلى قياس الجسم بالنسبة إلى المسافة، إذا افترضنا أن «الشكل» يأتي من الجسم إلى العين^(٦٧).

(٦٤) انظر: Abū 'Alī Husain Ibn 'Abd Allah Ibn Sīnā: *Kitāb al-Shifā' (Avicenna's De Anima: Being the Psychological Part of Kitāb al-Shifā')*, edited by F. Rahman (London; New York: Oxford University Press, 1970), 115:20-150:19; *Kitāb al-Najāt (Avicenna's Psychology)*, translated by F. Rahman (Oxford: [n. pb.], 1952), books II, VI, ii, and

أبو علي الحسين بن عبد الله بن سينا، الشفاء - الطبيعيات، نشر ج. فتواتي وس. زايد (القاهرة: [د.ن.]، ١٩٧٠)، الفصل ٦: «كتاب النفس».

(٦٥) Lindberg: «The Intromission - Extramission: انظر: Controversy in Islamic Visual Theory: Al-Kindi Versus Avicenna», and *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, pp. 43-52.

(٦٦) انظر: Ibn Sīnā: *Kitāb al-Najāt (Avicenna's Psychology)*, II, 27: 23-29, and *Kitāb al-Shifā' (Avicenna's De Anima: Being the Psychological Part of Kitāb al-Shifā')*, 115: 20-150: 19.

Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, انظر: مع ابن سينا قد صُنف كـ «أرسطي»، pp. 43-52.

إلا أن صلات مقارنته لمسألة الرؤية مع مقاربة أرسطو أو الشراح الأرسطويين، مثل تومستوس وفيلوبون وغيرهم، الذين يبتعدون عن أرسطو حول بعض المسائل المحددة، لم تُدرس حتى الآن. أما فيما يتعلق بمصادر بعض حجج ابن سينا، المأخوذة من أرسطو وإسكندر الأفروديسي، فانظر:

Ibn Sīnā, *Kitāb al-Najāt (Avicenna's Psychology)*, pp. 76-77.

(٦٧) انظر: Ibn Sīnā, *Kitāb al-Najāt (Avicenna's Psychology)*, 29: 3-15; Lindberg, *Ibid.*, = figure 6, p. 50, and Abū 'Alī Husain Ibn 'Abd Allah Ibn Sīnā, *Le Livre de Science*, traduit par

إن نقض ابن سينا لنظريات الشعاع البصري ولنظريات البنوما لا يلفت النظر لأصالته، إذ إنه باستطاعتنا أن نجد معظم هذا النقض بدءاً بأعمال أرسطو ووصولاً إلى الأعمال العائدة إلى العصور القديمة المتأخرة، بقدر ما هو بارز بحججه المعروضة التي تثير الدهشة لكثرتها وتنوعها واتساعها، بالإضافة إلى فعاليتها.

يشكل التصور الخاص لابن سينا عن الرؤية مخططاً لنقاشه حول الإحساس، الذي يعتبر انطباعاً لشكل الأجسام على عضو الحاسة المعنية. إنه يدقق شروط هذه الرؤية، فعندما يلتقي الضوء بالجسم المرئي (جسم ملون) المعزول عن العين بوسط شفاف (غير ملون)، ينتقل شكل هذا الجسم إلى البؤبؤ، حيث ينطبع على سطح الجليدية. ويتابع مبرراً نظرية الإدخال، استناداً إلى تشريح العين، فيقول إنه إذا لم تكن وجهة النظر هذه صحيحة، فلم تكن العين لتخلق بهذه الغلافات وبهذه الأخلاط المتنوعة والتي تتنوع في الأشكال والتراكيب^(٦٨). إلا أنه لا يتوسع في هذا الموضوع. إن ما يبرز في وصفه لتشريح العين في القانون في الطب هو التشديد على دور الضوء، كما في أعمال الرازي. فمن جهة، على هذا الضوء أن يستطيع الوصول إلى الجليدية دون عائق، وهذا ما يفسر شفافية الرطوبة المائية، كما يفسر شفافية الغلاف الدقيق للغاية والسابق للجليدية. وفي الوقت نفسه، فإن الجليدية تقع في وسط الكرة العينية، بهدف حمايتها من فائض الضوء. وهكذا، فإن شفافية غلافات العين المختلفة، المشابهة لشفافية الوسط الواقع بين الجسم والعين، تسمح ببساطة للضوء أن ينقل فوراً، من خلال الألوان، الخصائص المرئية للأجسام الكمداء وصولاً إلى الجليدية. وما يتم إدراكه يبقى مرة أخرى نوعياً وغير قابل للتجزئة. إن الإسنادات المكررة لابن سينا إلى ظواهر المرأة كتشابه، تكشف تقليدية تصوره. وهو يملك نظرية معدة عن الإحساس يميز فيها الحواس الداخلية والحواس الخارجية. فالشكل التماسك، الذي تقدمه الرؤية، يجد تفسيراً له في تدخل «حواس داخلية» تتركز في الدماغ^(٦٩).

= Mohammad Agha et Henri Massé (Paris: Société d'édition «Les Belles lettres», 1955-1958), 2:61. حول حجة مماثلة أدلى بها إسكندر الأفروديسي، انظر: Alexander of Aphrodisias, «De Anima: Libri Mantissa», p. 381.

(٦٨) انظر: Ibn Sīnā, *Kitāb al-Najāt (Avicenna's Psychology)*, II, 27: 20; 29: 31. لقارنة نصوص حول تشريح العين في «القانون» مع جالينوس، انظر: Al-Rāzī, *Trois traités d'anatomie arabes, par Muhammed Ibn Zakariyyā' al-Rāzī, 'Alī Ibn al-'Abbās et Abū 'Alī Ibn Sīnā*, pp. 660-666, et notes M à O, pp. 799-802.

(٦٩) بخصوص «تمائل المرأة»، انظر:

Crombie, *The Mechanistic Hypothesis and the Scientific Study of Vision: Some Optical Ideas as a Background to the Invention of the Microscope*, p. 6, note (9), and Lindberg, *Ibid.*, p. 3.

انظر أيضاً: G. A. Russell, «The Rusty Mirror of the Mind: Ibn Tufayl and Ibn Sina's Psychology,» in: *The World of Ibn Tufayl: Interdisciplinary Perspectives on Hayy b. Yaqzan* (London: Oxford University Press, [Under Press]).

وقد استغنى ابن سينا عن الاستعارة بعضاً الأعمى في نقضه، وبخلاف ذلك فإنه دعم الفكرة القائلة إن الضوء يواكب فوراً المعلومات البصرية وصولاً إلى العين. إلا أنه لم يقدم أي شرح للطريقة التي تتم بها هذه الظاهرة. وتجدر الملاحظة أن ابن سينا رفض التماثل الميكانيكي للانحراف فيما يتعلق بالضوء. أما معاييرهِ للرفض فهي معبرة، فلو أن الضوء ينعكس بقفزة كما تقفز الطابة، فإنه سيرتد على جميع الأسطح غير النافذة، حتى ولو كانت هذه الأخيرة غير مصقولة. وهذا ما كان مرفوضاً بالنسبة إليه من وجهة نظر منطقية^(٧٠).

وهكذا لم يقدر ابن سينا أن يقدم بديلاً نظرياً قابلاً للحياة عن مفهوم الشكل التماسك. لكن مسيرته تكشف عن براعة تكتيكية محضة في إعادة صياغة المسائل، دون أن يقدم مع ذلك حلولاً ناجعة لها. ففي الوقت الذي يثبت فيه أن بعض النظريات لا تفي بالغرض، نراه يملك عناصر منها ليستخدمها ببراعة فائقة. وينتج عن ذلك عمل يمتاز بغنى موسوعي، يجمع في انتقائته على سبيل المثال: التصور الأرسطي «للأشكال» في الأحساس؛ كما يجمع التشرّيح الجالينوسي للعين واتصالاتها مع الدماغ، بالإضافة إلى الموقع المهم الذي تحتله الجليدية في الرؤية؛ والمفهوم المشائي للضوء كحركة نوعية من الجسم المضيء نحو العين؛ وأخيراً التحليل الهندسي للمخروط البصري.

ثالثاً: تركيب علم البصريات وعلم التشرّيح

أجرى ابن الهيثم في كتاب المناظر دراسة تجريبية في غاية الدقة لخصائص الضوء، الذي اعتبره كياناً فيزيائياً متميزاً للرؤية^(٧١). كما قدم في الوقت نفسه وصفاً واسع التفصيل لتركيب العين مع دراسة منفصلة لوظيفتها. ثم دمج بعد ذلك هاتين الدراستين، في محاولة لشرح الرؤية كنتيجة لتشكيل صورة في العين آتية من الضوء المبثوث والمنحرف^(٧٢).

(٧٠) انظر: A. I. Sabra, *Theory of Light from Descartes to Newton* (London: [n. pb.], 1967), p. 72, note (13).

(٧١) قُدمت نسخات الميكروفيلم لمخطوطات كتاب المناظر (أحد الثالث - ١٨١٩ وفتح ٣٢١٢ - ١٦) بلا مقابل من مكتبات توكاي والسليمانية. نشر صبرا (Sabra) المخطوطات الباقية للمقالات الثلاث الأولى من المقالات السبع لـ مناظر ابن الهيثم. انظر: «Ibn al-Haytham, Abū 'Alī al-Ḥasan Ibn al-Ḥasan», in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 6, pp. 189-210.

(٧٢) إن المسألة المعقدة حول اللون تقع خارج موضوع هذه المقالة. بالنسبة إلى ابن الهيثم، يكون اللون مصحوباً دائماً بالضوء. حول تحليل الاختلاف في معالجة اللون والضوء عند هذا المؤلف، انظر:

Roshdi Rashed, «Lumière et vision: L'Application des mathématiques dans l'optique d'Ibn al-Haytham», dans: René Taton, ed., *Roemer et la vitesse de la lumière* (Paris: Vrin, 1978), pp. 19-44, et surtout pp. 34-35.

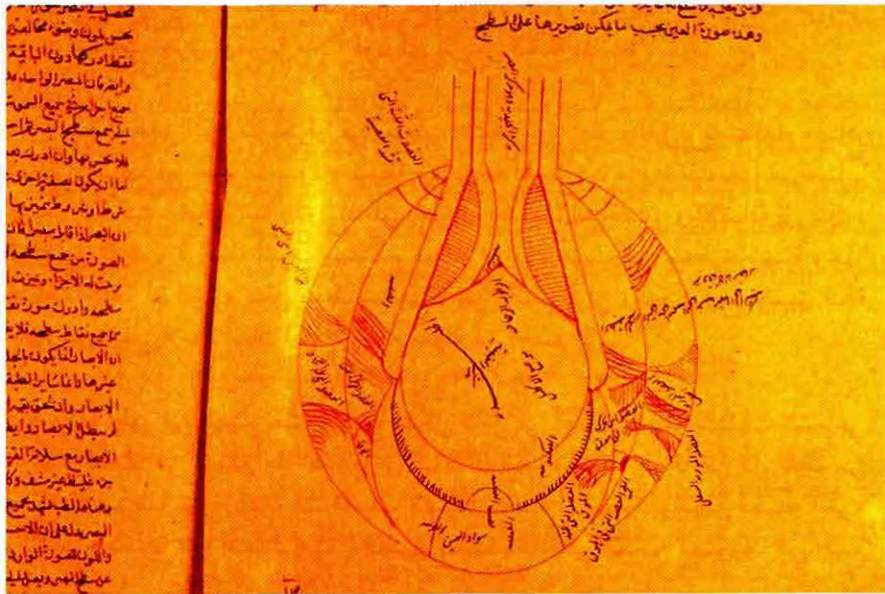
وتكمن أصالة أسلوبه في قدرته على تحويل المواضيع المعقدة إلى مسائل بسيطة، مستقلة على الرغم من أنها مرتبطة بشكل وثيق، وعلى إخضاع متغيرات كل مسألة لتحاليل كمية في شروط من التدقيق الصارم. ونستطيع أن نجد تعبيراً عن هذه المسيرة في مجموعة تجارب عن انتشار الضوء. فهو يستخدم حجرة سوداء يحمل أحد جدرانها فتحة لتقديم مصدر الضوء. ويسمح الغبار أو الدخان الموجود في الحجرة برؤية حزمة الضوء للتحقق من استقامة الأشعة. عندما تكون هذه الحجرة فارغة، فإننا نرى أن المصدر الضوئي يسقط نقطة ضوء على الحائط المقابل. ويتم تدقيق موقع النقطة بمسطرة، ثم يتبع ذلك تدقيقات أخرى باستخدام عملية تداخل. ومرة أخرى، تكون الخلاصة أن الضوء ينتقل بخط مستقيم، طالما أننا لا نستطيع حجب النقطة المضاءة إلا على امتداد مسار مستقيم. وببقى التداخل على امتداد مسارات أخرى (مقوسة مثلاً) دون أي أثر على النقطة المضاءة^(٧٣).

طبقت هذه التجارب تكراراً في ساعات مختلفة من النهار والليل، باستخدام مصادر مختلفة للضوء، مع حجرات سوداء بسيطة ومزدوجة الحجيرات مزودة بفتحات تم حسابها بعناية. كما تمت أيضاً دراسة الدور المتعلق باتساع وبعد هذا الفتحات. وبالإضافة إلى ذلك، أثبت ابن الهيثم، بواسطة أنبوب يستخدم كجهاز مراقبة، مثبت على مسطرة خشبية ومجهز بفتحة متغيرة، أن الضوء ينتقل بخط مستقيم ما بين الجسم المرئي والعين. ومع تضيق فتحة الجهاز تدريجياً، يلاحظ آنذاك اختفاء أجزاء مقابلة من الجسم المرئي^(٧٤).

كما أظهر ابن الهيثم نفسه منهجياً بشكل كامل في أعماله المتعلقة بالتشتت الشعاعي للضوء انطلاقاً من مصدر ما. فقد درس كيف أن الضوء يشع انطلاقاً من كل نقطة من سطح جسم ما، سواء أكان هذا الجسم مضيئاً بنفسه أم مضاءً بواسطة مصدر آخر، والإشعاع يكون على امتداد جميع الخطوط المستقيمة التي يمكن تصورها في جميع

(٧٣) انظر: أبو علي محمد بن الحسن بن الهيثم، كتاب المناظر، المقاتلان الأولى والثالثة، مخطوطة فاتح ٣٢١٢، الورقتان ١٤ ط - ١٥. وضعت التجارب اللاحقة في كتاب المناظر، المقالة الثانية، «خصائص الضوء» والمقالة الثالثة، «خصائص الأشعة الضوئية وكيف يحصل إشعاعها». حول النظريات الفيزيائية عن ابن الهيثم، انظر: Roshdi Rashed، «Optique géométrique et doctrine optique chez Ibn al-Haytham»، *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 6, no. 4 (1969-1970), pp. 271-298 and especially pp. 274-276, and A. I. Sabra، «The Physical and the Mathematical in Ibn al-Haytham's Theory of Light and Vision»، paper presented at: *The Commemoration Volume of al-Biruni International Conference in Tehran* (Tehran: [n. pb.], 1976), pp. 439-478 and especially pp. 457-459.

(٧٤) انظر: ابن الهيثم، كتاب المناظر، المقاتلان الأولى والثانية، مخطوطة فاتح ٣٢١٢، الأوراق ٥ ط - ٨. هناك براهين تجريبية أخرى لهذا البند باستخدام جهاز مراقبة خاص بفتحتين متغيرتين (أفقية وعمودية) في «الرسالة حول ضوء القمر». انظر: Matthias Schramm، *Ibn al-Haytham's Weg zur Physik*, Boethius; *Texte und Abhandlungen zur Geschichte der Exakten Wissenschaften*; Bd. 1 (Wiesbaden: F. Steiner, 1963), pp. 164-200.



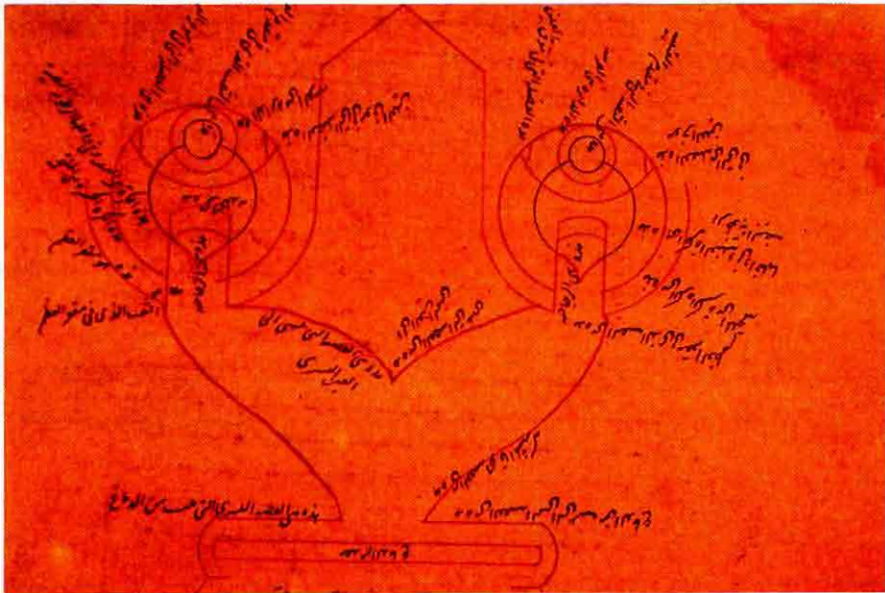
كمال الدين الفارسي، تنقيح المناظر لذوي الأبصار والبصائر
(طهران، مخطوطة سبيلار، ٥٥١).

غير ابن الهيثم تماماً مفهوم «الأبصار»، فقبله كان الاتجاه الأهم عند الرياضيين خاصة هو فكرة الشعاع البصري، أي الشعاع الخارج من البصر إلى المبصر، إلا أن ابن الهيثم عكس الأمر وبين خروج الأشعة من المبصر إلى البصر. وتطلب هذا الموقف الجديد معرفة العين بصورة أفضل لفهم كيفية قبولها للضوء وكيفية تكون الصورة فيها.

ولكن علم التشريح، في ذلك الوقت، لم يكن على مستوى يمكن معه معرفة العين على نحو تام.

نرى في هذه الصورة التي نقدمها كيفية هذا التصور عند ابن الهيثم كما نقلها الفارسي.

عند ابن الهيثم كما نقلها الفارسي.
 ترى في هذه الصورة التي تقدمها كيفية هذا الصور
 يمكن منه معرفة العين على نحو تام.
 ولكن علم التشريح، في ذلك الوقت، لم يكن على مستوى
 معرفة العين بصورة أفضل لكيفية كيف يتوصل للصور وكيفية تكوين الصورة فيها.
 عكس الأمر وبين خروج الأشعة من العين إلى الصور. وطلب هذا الوقت ابن الهيثم
 فكرة الشعاع الضوئي، أي الشعاع الضوئي، الذي يخرج من العين إلى الصور، ولا أن ابن الهيثم
 غير ابن الهيثم تماماً مفهوم «الأشعة» التي هي الآن الأشعة، عند الرازيين خاصة
 (طهران، ١٣٥١).
 كما أن الذين انتجوا للنظر في الأشعة والضوء والصور
 الصورة رقم (٢٠ - ٢١)



الاتجاهات^(٧٥). ثم أثبت بعد ذلك أن الضوء يصيب العين بهذه الطريقة. ولتحديد ما إذا كان الضوء يشع انطلاقاً من سطح المصدر الضوئي كله، فقد استخدم ليس فقط الحجرات السود، بل أيضاً جهازاً يسمح بأخذ قياسات دقيقة. نذكر منها، على سبيل المثال، قنديل زيت مزوداً بقنديل عريض جداً، لكي يشكل مصدر ضوء ثابت وحاد، وموضوعاً أمام طرف أنبوب من النحاس، بحيث يمر القنديل عبر المركز لكي يشكل النحاس ما يشبه الغطاء الذي يمنع مرور أضواء طفيلية محتملة. كما توضع ستارة في مقابل الطرف الثاني من الأنبوب. وعندما نحرك المصدر الضوئي حول فتحة الأنبوب، تبقى النقطة الضوئية المسقط على الستارة ثابتة بالنسبة إلى ٣٦٠ درجة دوران. وعندما تضيق فتحة الأنبوب، تستمر النقطة المضيئة بالظهور، على الرغم من أنها تصغر وتضعف. وهكذا، أثبت أن الضوء يشع بطريقة متساوية من كل أجزاء الفتيل ذي المقطع الواحد، أو أيضاً من كل النقاط وليس من جزء ما من المصدر الضوئي^(٧٦).

وقد أظهرت دراسات ابن الهيثم المدققة والتفصيلية أن الأجسام الكمءاء تستقبل الضوء من مصادر خارجية تنتج ضوءها الخاص بها (كالشمس)، وأن الضوء ينعكس على الأسطح الملساء والمصقولة في اتجاه يمكن التكهّن به.

وبالعكس من ذلك، ينحرف الضوء بطريقة متفككة على أسطح خشنة وغير مستوية، بحيث يبقى جزء منه على السطح «ثابتاً» أو ممتصاً، وينحرف جزء آخر في جميع الاتجاهات، انطلاقاً من السطح، متبعاً خطوطاً مستقيمة. وبناء على ذلك، «فإن كل جسم يدرك بصرياً، يجب أن يكون إما مضاءً أو مضيئاً بذاته». وبكلمات أخرى، فإنه يشرح بوضوح أن إمكانية رؤية الأجسام تعود لانحراف الضوء. حتى أن الأجسام الشفافة التي تسمح بمرور الضوء، تملك درجة معينة من الكمءة لكي تحرف الضوء وتصبح بذلك مرئية. وهذه الطريقة، أنشأ ابن الهيثم المبدأ البسيط، لكن المهم، والذي بمقتضاه نرى الأجسام العادية (أي غير المضيئة) فقط بواسطة الضوء المنحرف. هذا هو المبدأ الذي يشكل قاعدة نظريته عن النقاط المقابلة، مما يجعل مسألة الأشعة البصرية اللمسية و«النسخات المتماثلة» باطلة تماماً^(٧٧).

وقد شرح ابن الهيثم الانكسار (سواء بالنسبة إلى الأسطح المستوية أو المقوسة)، استناداً إلى مبدأ مفاده أن سرعة الضوء تتأثر بكثافة الوسط الذي يمر به. فيأخذ في الاعتبار

(٧٥) هناك تجارب عديدة وضعت في: ابن الهيثم، كتاب المناظر، المجلدات الأولى والثالثة، مخطوطة فاتح ٣٢١٢، انظر مثلاً عنها واضحاً، بوجه خاص في الورقتين ٢٥ - ٢٦.

(٧٦) المصدر نفسه، المجلدات الأولى والثالثة، الأوراق ٢٢ - ٢٥.

(٧٧) وصف ابن الهيثم في مقالته «في الضوء» المبادئ المستندة إلى التجارب من كتاب المناظر، انظر الترجمة النقدية، في: Roshdi Rashed, «Le Discours de la lumière d'Ibn al-Haytham (Alhazen)»,

Revue d'histoire des sciences, vol. 21 (1968), pp. 197-224.

عنصرين في حركة الضوء: العنصر الأول وهو عمودي متعامد مع السطح الذي يفصل الوسطين ويملك سرعة ثابتة، والعنصر الثاني وهو أفقي متوازٍ مع السطح ويملك سرعة متغيرة. وعند الانتقال من وسط إلى آخر أكثر كثافة (من الهواء إلى الماء مثلاً)، تنقص السرعة، في حين إنها تزداد عند الانتقال إلى وسط أقل كثافة (من الزجاج إلى الماء مثلاً). وقد استخدم ابن الهيثم هذا المبدأ لدراسة دور الأسطح الشفافة للعين في تشكيل الصور^(٧٨).

١ - من نسخات الأجسام إلى الصور المضيئة المسقطية

تقع تجارب ابن الهيثم عن الصور المضيئة المسقطية في قلب فرضياته عن العين والرؤية. فقبله كانت الصور تقتزن بالمرآيا وبالأسطح الأخرى الملساء بما فيها أجزاء العين^(٧٩). وكان يتم شرحها إما بمصطلحات انحراف الأشعة البصرية، وإما بوجود

(٧٨) إن النتائج التجريبية لابن الهيثم حول الانكسار، والتي يتبناها في ثمانين قاعدة، قد أحصاها صبرا في: A. I. Sabra, «Ibn al-Haytham», in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 6, p. 194.

وتتم مناقشتها، في: A. I. Sabra, «Explanation of Optical Reflection and Refraction: Ibn al-Haytham, Descartes, Newton», paper presented at: *Actes du X^e congrès international d'histoire des sciences, Ithaca, 1962* (Paris: [s.n.], 1964), vol. 1, pp. 551-554; Rashed: «Lumière et vision: L'Application des mathématiques dans l'optique d'Ibn al-Haytham», pp. 30-44, et «Optique géométrique et doctrine optique chez Ibn al-Haytham», pp. 293-296.

(٧٩) فيما يتعلق «بالصور» في المرآيا وكذلك في العين، انظر: Galenus: *On Anatomical Procedures, the Later Books*, X, 3, 40; Galen, *on the Usefulness of the Parts of the Body. De usu partium*, X, 6, 479.

إن البحث الذي قام به جالينوس من أجل موضوعة صورة البؤرية على السطح الأمامي للجليدية (على الغشاء العنكبوتي) قد تابعه: Hunayn Ibn Ishāq, *Kitāb al-‘ashar maqālāt fī al-‘ayn al-mansūb li-* Hunayn Ibn Ishāq: *The Book of the Ten Treatises on the Eye, Ascribed to Hunayn Ibn Ishāq (809-877 A. D.)* 109, pp. 36-37.

بخصوص التعبير عن نظريات الإدخال، انظر أيوب الرهاوي (Job d'Edesse)، توفي بعد العام ٨٢٢، Ayyūb Al-Ruhāwī, *Book of Treasures*, edited and translated by A. Mingana (Cambridge: Heffer, 1935), disc. 3, chap. 4, p. 134.

يدعم أيوب الرهاوي فكرة أنه مثلما يسقط ضوء الشمس على حائط انطلاقاً من أجسام نحاسية ملساء أو من أطباق فضية أو من سطح الماء أيضاً، «بنفس الطريقة عندما يصل ضوء الشمس إلى العين، فإنه يسبب في العين انعكاساً للأجسام أو للأشكال الخارجية». انظر أيضاً:

Abū 'Alī Husain Ibn 'Abd Allah Ibn Sīnā: «On the Soul», in: Ibn Sīnā: *Kitāb al-Najāt (Avicenna's Psychology)*, II, 27, fol. 30; *Le Livre de science*, p. 60, et *A Compendium on the Soul*, translated by Edward Abbott Van Dyck (Verona: Stamperia di N. Paderno, 1906), pp. 51-52, and Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, p. 49.

نسخات للأجسام^(٨٠) وبالتحديد مفهوم الصورة البصرية، كتنظيم لمصادر نقاط ضوئية، فقد أحدث قطعاً مع تلك المقاربة التي تعتبر الرؤية كعملية نوعية. وللمرة الأولى، فإن مفهومه عن الأشعة البصرية المسقط انطلافاً من كل نقطة من سطح جسم على نقطة مقابلة من الستارة، يقدم لنا شرحاً نوعياً بسيطاً عن تشكل صورة.

ونحن لا نملك قبل ابن الهيثم أي إثبات أو معرفة مباشرة عن جهاز إسقاط صورة من خلال «ثقب إبرة» في حجرة مظلمة^(٨١). ومع أنه فضل بوضوح أسس هذه الحجرة المظلمة، إلا أن التجارب مع ثقب الإبرة لم يتم وضعها في كتاب المناظر. وقد استخدم بخاصة في أبحاثه حول الضوء أجهزة يمكن تسميتها بشكل أفضل «الحجرات بالأشعة»، وكانت تتألف من حجرات سوداء مجهزة بفتحات تسمح بإسقاط أشعة الضوء على حائط أو سطح أكمد. كما يمكن تضيق هذه الفتحات، المصممة وفقاً لقياسات دقيقة، حسب الرغبة^(٨٢).

إن تجربة ابن الهيثم هذه، التي تقترب أكثر ما تقترب من الحجرة المظلمة، هي عبارة عن جهاز لإسقاط الضوء من خلال شق يمكن تضيقه، مؤلف من باب بمصراعين. وقد وضع عدة قناديل بشكل منفصل على مستوى أفقي مقابل الفتحة التي تطل على الحجرة السوداء (البيت المظلم). ووصف ظهور بقع ضوء على الحائط القائم وراء الأبواب، عندما يتم تضيق الفتحة إلى الحد الأدنى. كما لاحظ أنه إذا غُطيت شعلة أحد القناديل، فإن البقعة المقابلة هي التي تختفي وحدها على الحائط وراء الفتحة. أما إذا رفعنا الغطاء عن الشعلة، فإننا نجد مرة أخرى بقعة الضوء في المكان نفسه تماماً.

(٨٠) يعود الترابط بين ظاهرة الرؤية وظهور «نسخة» على البؤبؤ إلى ديموقريطس، انظر:

Crombie, *The Mechanistic Hypothesis and the Scientific Study of Vision: Some Optical Ideas as a Background to the Invention of the Microscope*, p. 6, note (9), and Lindberg, *Ibid.*, p. 3.

(٨١) حول أول ظهور في مصدر عربي لـ «البيت المظلم» في القرن التاسع قادم من أعمال اليونانيين

حول المرايا المحرقة، انظر: A. I. Sabra, «Ibn al-Haytham and the Visual Ray Hypothesis», in: S. H.

Nasr, ed., *The Ismaili Contributions to Islamic Culture* (Tehran: [n. pb.], 1977), p. 204, note (19).

كان الواقع، أن الضوء المار عبر فتحة يُسقط صورة عن مصدره، معروفاً وُوصف، على سبيل المثال، في *Problemata* الأرسطية المزعومة وفي وصف عن الأعمال الإسلامية *De Speculis* لإقليدس المزعوم.

انظر: David C. Lindberg, «The Theory of Pinhole Images from Antiquity to the Thirteenth Century», *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 5 (1968), pp. 154-176, reprinted in: Lindberg, *Studies in the History of Medieval Optics*.

هنا يُستخدم مصطلح «ثقب الإبرة» بمعنى أكثر شمولاً عن فتحات باتساع وأشكال مختلفة معدة لتشكيل الصور.

(٨٢) فيما يتعلق باللحظة التي توصل فيها ابن الهيثم إلى مفهوم الشعاع أو «أصغر عنصر من الضوء»

بالعلاقة مع الفتحات، انظر: Sabra, *Ibid.*, pp. 191-192.

أ - الاستشهاد الأول: «... في موضع واحد عدة سرج في أمكنة متفرقة وكانت جميعها مقابلة لثقب واحد وكان ذلك الثقب ينفذ إلى مكان مظلم وكان مقابل ذلك الثقب في المكان المظلم جدار لو قوبل الثقب بجسم كثيف فإن أضواء تلك السرج تظهر على ذلك الجسم أو ذلك الجدار متفرقة وبعدد تلك السرج وكل واحد منهما مقابلاً لواحد من السرج على السميت المستقيم الذي يمر بالثقب. وإذا سُبر واحد من السرج، بطل من الأضواء التي في الموضع المظلم الضوء الذي كان يقابل ذلك السرج الذي ستر فقط وإن رُفع الساتر عن السراج عاد ذلك الضوء إلى مكانه»^(٨٣).

سنلاحظ أن التجربة قد وضعت مباشرة من جديد، بشكل تعليمات تشير إلى كيفية تكرارها بسهولة. وفي هذا المثل الثاني، عندما يكون الشق بين البابين مغلقاً، تاركاً فقط ثقباً صغيراً جداً مقابل القناديل، يتنبأ ابن الهيثم أن بقعاً ضوئية منفصلة ستظهر مجدداً على الحائط بشكل مطابق لعدد القناديل، كما أن كل بقعة تتعلق بمدى اتساع «الثقب».

ب - الاستشهاد الثاني: «وإن ستر المعتبر الفرجة التي انفرجت من الباب وبقي منها ثقباً صغيراً فقط وكان الثقب مقابلاً للسرج فإنه يجد على حائط البيت أضواء متفرقة أيضاً بعدد تلك السرج وكل واحد منها بحسب مقدار الثقب...»^(٨٤).

إن إلحاحه على إثبات أن الإسقاط يتعلق باتساع الفتحة ذو مغزى كبير، على الرغم من أنه لا تظهر سوى بقع ضوئية وليس صورة واضحة ونقية (أي القنديل). ومع ذلك، فإن هذه التجربة لا تشكل مثلاً حقيقياً عن الحجرة المظلمة. إنها أيضاً شكل آخر للحجرة بالأشعة، مجهزة هذه المرة بشق متغير عوضاً عن الفتحة. وفي الواقع، فقد استخدمت الحجرة لإظهار أن الأشعة الضوئية المنفصلة تمر من خلال فتحة، بخطوط مستقيمة، دون أن تتداخل أو تمتزج حتى وإن تقاطعت، ودون أن تؤثر على الوسط الشفاف (الهواء) الذي تجتازه. وقد اهتم ابن الهيثم بتبيان أن المبدأ نفسه ينطبق على كل الأوساط الشفافة بما فيها الغلافات المختلفة للعين.

ج - الاستشهاد الثالث: «فالأضواء، إذن، ليس تمتزج في الهواء بل كل واحد منها يمتد على سموت مستقيمة ويتميز بالسموت التي يمتد عليها... ولا تمتزج صور الألوان

(٨٣) انظر: ابن الهيثم، كتاب المناظر، المقالتان الأولى والسادسة، خطوط فاتح ٣٢١٢، الورقتان

١١٥ - ٩ ط ١١٥ ٦.

(٨٤) المصدر نفسه، المقالتان الأولى والسادسة، الورقتان ١١٥ ط ٧ - ١١٦ ٤.

ولا ينصبغ الهواء بها بل تكون كل صورة من صور الألوان المختلفة المنفرقة متميزة سموتها... وكذلك حال جميع الأجسام المشقة تمتد صور الأضواء والألوان فيها ولا تمتزج ولا تنصبغ الأجسام المشقة بها وكذلك طبقات البصر المشقة تنفذ فيها صور جميع الألوان والأضواء التي تقابل البصر في وقت واحد ولا تمتزج الصور فيها ولا تنصبغ هي بها فأما العضو الحاس الذي هو الرطوبة الجليدية فليس قبوله لصور الألوان والأضواء كقبول الهواء والأجسام المشقة غير الحساسة...»^(٨٥).

ويتمثل ابتكاره في استخدام عدة قناديل، لا واحداً فحسب، وهي تشكل عدة مصادر منفصلة للضوء في الفضاء. وبفضلها استطاع بدقة تحديد تقابل وتعاكس الإسقاط بالنسبة إلى محور أفقي. وكان من المنطقي تكرار حساب هذا المحور الأفقي وتعميم هذا الحساب على كل المحاور الأخرى. لقد كان ابن الهيثم قادراً بدون أدنى شك، انطلاقاً من تجربة كهذه، على تكوين مفهوم واضح للمبادئ الأساسية حول الإسقاط من خلال ثقب الإبرة. فدراسته اللاحقة عن تعاكس الصورة في العين توحى أنه، في لحظة ما، قد أجرى تعميماً من هذا النوع^(٨٦).

وقد قدم إسقاط المصادر الضوئية المتعددة، من خلال شق بفتحة متغيرة، حقلاً تجريبياً إلى ابن الهيثم بالحدود الدنيا، لكنه مع ذلك كان كافياً لتأسيس نظرية انطلاقاً من هذا الحقل. وتقول نظرية ابن الهيثم إن إسقاط الضوء المنعكس بواسطة سطح جسم والمنطلق لتكوين صورة على ستارة، يكون بالتقابل نقطة بنقطة. إن المقارنة الضمنية بين العين وحجرة الأشعة هي التي قادته إلى إجراء تركيب لعلم البصريات ولعلم التشريح.

٢ - العين كجهاز بصري

وكما درس ابن الهيثم، بطريقة منهجية، انتشار الضوء بمعزل عن تأثيره على العين، فإنه وصف تشريح العين بشكل تفصيلي قبل أن يصوغ فرضيته عن تشكل الصورة في الرؤية. ولم يظهر أهمية العين الوظيفية كنظام بصري إلا بعد أن وضح تنظيمها التركيبي. وهكذا عالج، وللمرة الأولى بشكل منفصل، ما يمكن تسميته تخصيصاً التشريح «الوصفي»

(٨٥) المصدر نفسه، المقاتل الأولى والسادسة، الورقتان ١١٦ - ١١٦ ط ١٣.

(٨٦) في الرسالة «مقالة في صورة الكسوف»، التي كتبت بعد كتاب المناظر، يظهر ابن الهيثم دون غموض فهمه لمبادئ «الحجرة المظلمة» بثقب إبرة ولإسقاط صورة واضحة، آخذاً بعين الاعتبار قطر الفتحة والمسافة بين الستارة والجسم المسقط. كانت هذه الرسالة موضوع عدد كبير من الدراسات، انظر:

Sabra, Ibid., pp. 195-196, and Matthias Schramm, «Die Camera Obscura Effektes», in: Schramm, *Ibn al-Haythams Weg zur Physik*, pp. 202 - 274.

والتشريح «الوظيفي» للعين^(٨٧). وبما أن أعماله في وصف العين غالباً ما نقلت بشكل سيئ، لذلك لا بد من تقديم وصف مفصل عنها وقريب من النص العربي^(٨٨).

أ - التشريح الوصفي

ابتدأ ابن الهيثم، وبعد اعتباره العين زائدة مباشرة للدماغ، بوصف الأعصاب البصرية كقناتين منفصلتين تأتيان من أغشية الدماغ. وتبرز هذه الأغشية من جوانب الجزء الأمامي للدماغ وتتلاقى لتشكل التصلب البصري (العصب المشترك أو المفصل الموجود على الخط المتوسط). وبعد افتراقها من جديد، تلتحق بمحجر كل عين، بحيث يدخل العصب البصري «المجوف» إلى هذا المحجر من خلال الثقب، ثم يتوسع ليصبح العين ذاتها. وتقع المقلة في التجويف العظمي المحجري. ويكون الحيز الواقع بين هذا التجويف والمقلة مملوءاً بطبقة دهنية مغذية^(٨٩).

وقد درس ابن الهيثم كل جزء من العين، آخذاً بالارتقاء بطريقة منظمة صارمة. فقبل كل شيء، تفحص امتداد القناة الخارجية للعصب البصري الذي يشكل الصلبة بالإضافة إلى القرنية. وسجل ثانياً أن القناة الداخلية تشكل «العنية» أو «الغلاف» «العنقودي»، التي تتضمن الجسم الهدبي والقزحية وغلاف المشيمة. وعلى الرغم من أن هذا الوصف مطابق بأمانة لتشريح جالينوس الأولي، إلا أنه توجد اختلافات مهمة تتعلق بالمقاربة^(٩٠). وعلى سبيل

(٨٧) التشريح الوصفي موجود في الفصل الخامس، والتشريح الوظيفي في الفصل السابع من: ابن الهيثم، كتاب المناظر.

(٨٨) يلفت مصطفى نظيف الانتباه إلى وصف ابن الهيثم التفصيلي للعين، في دراسته المهمة بمجلدين حول أبحاث ابن الهيثم البصرية. انظر: مصطفى نظيف، الحسن بن الهيثم: بحوثه وكشفه البصرية، جامعة فؤاد الأول، كلية الهندسة؛ المؤلف رقم ٣، ٢ ج (القاهرة: مطبعة نوري، ١٩٤٢ - ١٩٤٣)، ج ١، القسمان ٤٨ - ٤٩، ص ٢٠٥ - ٢١٧. إن تفسيره لتشريح العين عند ابن الهيثم، المصور على شكل رسم بياني (ص ٢١١)، والذي أخذ كمرجع، هو لسوء الحظ مغلوط.

(٨٩) للحصول على تفسير صحيح لتشريح ابن الهيثم الوصفي، من الضروري الأخذ بعين الاعتبار أنه يستخدم المصطلحات نفسها لتسمية عدة تراكيب مختلفة. مثلاً، إن مصطلح «الملتحمة»، بالإضافة إلى المعنى الخاص به، يشير كذلك إلى الدهن المحجري (الذي أخذ، بشكل خاطئ، على أنه غلاف في التفسيرات الحديثة)، ويشير إلى الصلبة (التي يشير إليها أحياناً بمصطلح «بياض الملتحمة»). في كل حالة، إن الاستخدام أو الإسناد المعين للمصطلح يمكن تحديده انطلاقاً من وصفه، الذي هو دقيق وتفصيلي، ومن المضمون دون أي غموض.

(٩٠) ما نعلمه عن معرفة ابن الهيثم بنصوص جالينوس (وعن الموزات المقودة التي أنجزها حول النصوص)، يصلنا من العمل التاريخي الطبي لابن أبي أصيبعة (١٢٠٣ - ١٢٧٠). انظر: أبو العباس أحمد بن القاسم بن أبي أصيبعة، عيون الأنبياء في طبقات الأطباء، تحقيق ونشر أ. مولر (القاهرة؛ كونغسبرغ: [د.ن.])، ١٨٨٢ - ١٨٨٤)، ج ٢، ص ٩٠ - ٩٨. كان له مدخل إلى المخطوطة الأصلية من السيرة الذاتية =

المثال، فإن منطقة العين الواقعة خلف القرنية، والتي تطابق الحجرتين الخلفية والزجاجية للعين، تشكل ما يسميه ابن الهيثم بمجموعه «كرة العنب»^(٩١). والسطح الأمامي من هذه الكرة الكمءاء مغطى بالقرنية التي يشكل بؤبؤها المركز، والبؤبؤ هو الفتحة المدورة الواقعة بالضبط أمام قمع العصب البصري. كذلك فإن البؤبؤ والقرنية مغطيان بالقرنية، وهي غلاف قاسٍ وشفاف يشكل امتداداً للصلبة^(٩٢). وقد تم وصف السطحين الداخلي والخارجي لهذه القرنية بعناية تامة، كما تم اعتبارهما متوازيين بسبب سماكتهما الثابتة. وأما الحيز الواقع أمام القرنية، وكذلك الحيز الواقع خلفها، فهما ممتلئان بسائل مائي شفاف يملك كثافة الزلال. وهذا السائل هو في تماس مع السطح الداخلي المقور للقرنية وكذلك في تماس في البؤبؤ مع الجانب الداخلي للجليدية. ويظهر هذا الشرح أن ابن الهيثم قد

= لابن الهيثم، وإلى لائحة بأعمال هذا الأخير، انظر: G. Nebbia, «Ibn al-Haytham nel millesimo anniversario della nascita», *Physis*, vol. 9, no. 2 (1967), pp. 179-180,

حيث توجد لائحة بثلاثين عنواناً تحت باب «الطب». فيما يتعلق بالرباط بين السيرة الذاتية لابن الهيثم *De libris propriis* وكذلك «De methodo medendi» (الموجودة بالعربية في ترجمة حنين بن إسحق)، انظر: Franz Rosenthal, «Die Arabische Autobiographie», *Studia Arabia* (Analecta Orientalia; 14), Bd. 1 (1937), pp. 3-40; G. Strohmaier, «Galen in Arabic: Prospects and Projects», in: V. Nutton, ed., *Galen: Problems and Prospects* (London: [n. pb.], 1981), pp. 187-196, and Matthias Schramm, «Zur Entwicklung der Physiologischen Optik der Arabischen Literatur», *Sudhoff's Archiv für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften*, Bd. 43 (1959), p. 292.

Sabra, *Ibid.*, pp. 189-190 and 209.

حول تقويم للمصادر ومراجع أكثر أهمية، انظر:

(٩١) انظر: ابن الهيثم، كتاب المناظر، المقتلن الأولى والخامسة، مخطوطة فاتح (٣٢١٢)، الورقة ٧٣٥. (٩٢) هنا أيضاً يستخدم المصطلح نفسه (العنبية) للإشارة إلى عدة تراكيب مختلفة: القرنية والغشاء العنبي (أي الجسم الهدبي ومشيمة العين التي اعتبرت كامتداد للقناة الداخلية للعصب البصري)، والحجرة العنبية التي هي في المصطلحات الحديثة اتحاد الحجرات الخلفية والزجاجية. هذا لا يتطابق مع الاستخدام الجالينوسي، الذي بموجبه لا تعني العنبية، أو الغلاف «بشكل عنقود»، سوى القرنية والجسم الهدبي وليس مجموع غلاف مشيمة العين. انظر: Galenus, *Galen, on the Usefulness of the Parts of the Body. De usu partium*, p. 475.

يستخدم ابن الهيثم مصطلح «القمع» ليصف انتشار العصب البصري. تجدر الإشارة إلى أن القمع العربي كان مخروطياً بشكل مدور، كما نرى ذلك في رسائل بنى موسى في الميكانيك (القرن العاشر): انظر: Ibn Shākir, *The Banū (Sons of) Mūsā Ibn Shākir: The Book of Ingenious Devices (Kitāb al-ḥiyal)*, ونرى ذلك أيضاً عند الجزري (القرن الثاني عشر)، انظر: Abu al-Izz Ismail Ibn al-Razzaz al-Jazari, *A Compendium on the Theory and Practice of the Mechanical Arts*, critical edition by Ahmad Y. al-Hasan (Aleppo: University of Aleppo, Institute for the History of Arabic Science, 1979); english translation: *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices*, translated with notes by Donald Routledge Hill (Dordrecht; Boston: Reidel Publishing Company, 1974), أدين بهذا التأكيد لدونالد هيل (Donald Hill).

تعرف بشكل جيد للغاية على حجرات العين الأمامية والخلفية^(٩٣).

وراء البؤبؤ بالضبط تقع عدسة، وصفت كجسم بحجم صغير، كما نعتت كجسم «مشابه للجليد» بسبب طبيعتها الشفافة^(٩٤). أما سطحها الأمامي الشبيه بظاهر عدسة، فهو مسطح تبعاً لتقوس العنبية أي القرنية^(٩٥). ووراء الجليدية تقع الرطوبة الزجاجية أو «سائل شبيه بالزجاج». والعصب، الذي يمتد على شكل قمع والذي يحتوي على الرطوبة الزجاجية، موصول بالجسم الهدبي والجليدية وذلك على مستوى محيطه الاستوائي. ويعتبر ابن الهيثم أيضاً الجليدية والرطوبة الزجاجية كجسم واحد مؤلف من جزئين متمتعين بشفافية مختلفة. وترتكز حجته هذه على الشكل الكروي المركب للجسمين^(٩٦).

يضاف إلى ذلك أن الأجزاء السائلة كمثال الرطوبة المائية والجليدية والرطوبة الزجاجية، هي محصورة بأغشية العين المختلفة التي تحدد وتحافظ على الأشكال الكروية لهذه الأجزاء. وعلى سبيل المثال، فإن السائل المائي ليس محصوراً في القرنية والعنبية (الجسم الهدبي والقرنية) فحسب، بل كذلك إلى الوراء في غلاف دقيق للغاية يسمى «العنكبوتية». وهذه الأخيرة تغطي بدورها الجليدية والسائل الزجاجي. أما المقلة فهي مثبتة في المحجر بواسطة الصلبة^(٩٧).

وفي الوقت نفسه، فإن بعض العناصر من التشريح الجالينوسي تبدو موجودة، كالعصب البصري «الأجوف»، والثقب البصري الواقع مقابل البؤبؤ بدل أن يكون منحرفاً

(٩٣) إن وصف ابن الهيثم لحجرات العين الأمامية والخلفية لم يؤخذ به أيضاً. لا يظهر رسم نظيف البياني حجرة أمامية بين القرنية والقرنية. انظر النسخة عن هذا الرسم، في: Sabra «Ibn al-Haytham and the Visual Ray Hypothesis», p. 192.

(٩٤) يستخدم مصطلح «العدسة» هنا ببساطة للإشارة إلى البنية، دون تماثل مع المفهوم الحديث لآلة التركيز البؤري، التي لا تملك أية علاقة مع استخدام ابن الهيثم.

(٩٥) انظر: ابن الهيثم، كتاب المناظر، المقاتل الأول والخامسة، مخطوطة فاتح ٣٢١٢، الورقتان ٧٣ - ٧٤.

(٩٦) المصدر نفسه، المقالة الأولى؛ المقالة الخامسة، الورقة ٧٤ - ٧٥، والمقالة السابعة، الورقة ١٣٠ - ١٣١.

(٩٧) المصدر نفسه، المقاتل الأول والسابعة، الورقتان ١٣٠ - ١٣١. ٥ - ١. اعتبرت «العنكبوتية» في أعمال حنين بن إسحق، ولاحقاً في أعمال وصف التشريح العيني كأعمال علي بن عيسى، كغلاف دقيق يغطي الجزء الأمامي من الرطوبة الجليدية. لكن ابن الهيثم يستخدم المصطلح بشكل مختلف. تحافظ العنكبوتية على الشكل الكروي المركب من الجليدية والرطوبة الزجاجية وتشكل الغلاف الداخلي الأخير في مؤخر العين. على أساس دراسته للغلافات التي تحافظ على الشكل الكروي للأجزاء السائلة من العين، يمكن اعتبار أن العنكبوتية هي امتداد للشبكية. مع ذلك لا توجد عند ابن الهيثم أية إشارة إلى الشبكية أو إلى المشيمية. وبما أن الشبكية تشكل جزءاً متمماً في وصف تشريح العين لجالينوس، يمكن فقط الاستنتاج بأن ابن الهيثم لم يسقطها سهواً، بل أبدها عمداً، مثل أي شيء آخر يبدو له دون علاقة مع التشريح الوظيفي. كذلك لا توجد أية إشارة إلى عدد الغلافات أو السوائل الموجودة داخل العين، ولا إلى «غذاء» الجليدية، خلافاً للوصف التقليدي.

قليلاً نحو الأنف بالنسبة إلى البؤبؤ، والجلدية المتصلة مباشرة مع السائل الزجاجي، وأخيراً وجود غلاف «عنكبوتي»^(٩٨). ويقدم لنا ابن الهيثم، بالإضافة إلى بعض الاختلافات النوعية، عرضاً خالياً من التنميق، متجنباً اتباع نموذج الشرح الغائي حول تركيب النظرية النوعية للرطوبات وأمزجتها. فقد كان هذا الشرح ملازماً للتشريح التقليدي^(٩٩). إن ابن الهيثم يتميز بتركيز فكره بقوة على شكل ووضع وحالة أجزاء العين، وإصراره بحزم على أن هذه الأجزاء ثابتة وأن العلاقات المتبادلة بينها مستقرة^(١٠٠).

ثم بعد أن شرح كيفية تركيب العين، قدم مساهمته الأكثر أصالة، وهي دراسة مفصلة عن الأهمية الوظيفية لهذا التشريح بصفته نظاماً بصرياً. ونجد الدليل على هذه المساهمة في وصفه للجلدية ولمحور العين.

ب - التشريح الوظيفي

وبخلاف شروحاته السابقة عن الجلدية التي اعتبرها ببساطة «مسطحة» أو «بشكل عدسة»، قدم ابن الهيثم وصفاً دقيقاً للشكل «ثنائي التحدب» لهذا الغشاء، وذلك بالاستناد إلى اختلاف الطول الشعاعي لسطحيه الأمامي والخلفي^(١٠١). وقد عبر بوضوح أن السطح

(٩٨) للمقارنة، انظر: Galenus, *Galen, on the Usefulness of the Parts of the Body. De usu partium*, X, pp. 643-503,

وحول وصف الأعصاب بالعلاقة مع الدماغ، انظر: Galenus, *De Placitis Hippocratis et Platonis*, (Sur les doctrines d'Hippocrate et de Platon), VII, pp. 3-8,

وحول «العين» انظر بشكل خاص: Galenus, *De Placitis Hippocratis et Platonis*, (Sur les doctrines d'Hippocrate et de Platon), VII, 5.22-30.

(٩٩) يظهر هذا الاختلاف واضحاً انطلاقاً من تعريف الجلدية كـ «شبيهة بالجلد». عند ابن الهيثم، يعود ذلك إلى طبيعة شفافيتها، بحيث إن جزءاً منها كثيف (غليظ)، وإن جزءاً آخر صافٍ (شفيف)؛ بينما يتم الإرجاع عند علي بن عيسى إلى طبيعتها «الباردة» و«الجافة». انظر: J. Hirschberg and J. Lippert, 'Alī b. 'Isā (Leipzig: [n. pb.], 1904), pp. 8-10, and Casey Albert Wood, *Memorandum Book of a Tenth Century Oculist for the Use of Modern Ophthalmologists*, a translation of the Tadhkirat of Ali Ibn Isa of Baghdad (Evanston, Ill.: Northwestern University Press, 1936), book 1, chap. 20.

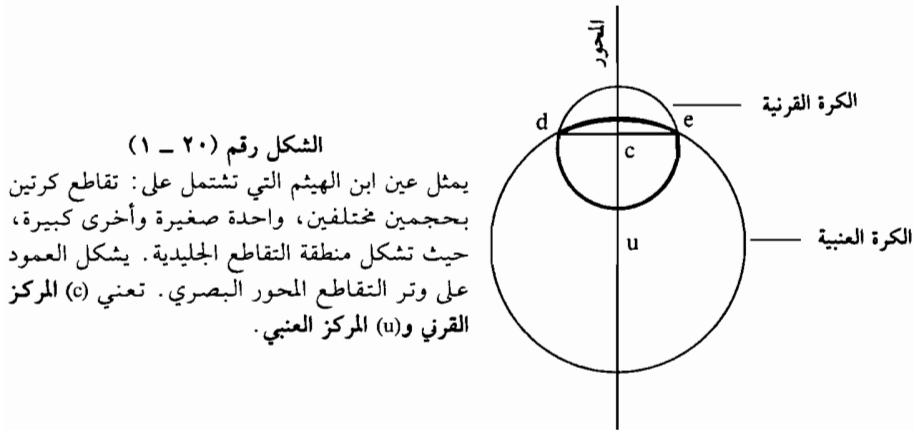
العمل الأول هو وصف موضوعي للميزات التي يمكن ملاحظتها، في حين أن العمل الثاني هو دراسة نوعية مستندة إلى مذهب نظري يكشفه عنوان الفصل، «عن طبيعة العين وأمزجتها». عن هذه المقاربة بالذات يتعد ابن الهيثم بوضوح.

(١٠٠) لا نملك أي أثر يسمح بمعرفة ما إذا كانت العلاقات الحيزية بين تراكيب العين، قد درست قبل ابن الهيثم. وكما لاحظ شرام بدقة، فإن ما ينقص وصف جالينوس، بالرغم من المعنى الكبير فيما يخص التفصيل، هو إشارات دقيقة إلى العلاقات الحيزية بين هذه التراكيب. انظر:

Schramm, «Zur Entwicklung der Physiologischen Optik der Arabischen Literatur», p. 290.

(١٠١) في الوصف التقليدي، يشار إلى شكلها الكروي «المسطح» بالعلاقة مع «واقع أنها أقل تعرضاً للجرح، وأنها تملك سطحاً أكبر للتماس مع انطباعات الأجسام، والتي توأمتها البنوما». انظر:

الأمامي للجليدية يشكل جزءاً من سطح كروي أكثر امتداداً من السطح الكروي للجزء الباقي (أي السطح الخلفي للجليدية): «وفي مقدم هذه الكرة تسطح يسير يشبه تسطح ظاهر العدسة، فسطح مقدمها قطعة من سطح كروي أعظم من السطح الكروي المحيط ببغيتها وهذا السطح مقابل للثقب الذي في مقدم العين ووضعه منه وضع مشابه وهذه الرطوبة تنقسم بجزءين مختلفين الشفاف أحدهما يلي مقدمها والجزء الآخر يلي مؤخرها»^(١٠٢). واعتبر أن سطحي الجليدية ينتميان إلى كرتين مختلفتين، إحداهما أكبر من الأخرى (الشكل رقم (٢٠ - ١)). وهذا يعني أن التقوس الأمامي للجليدية إذا امتد، فإنه سيحيط آنذاك بمؤخر العين وسيمثل محيط الكرة الكبرى، متضمناً بذلك الجليدية والرطوبة الزجاجية. تحتوي الكرة الكبرى، إذن، على الجليدية والرطوبة الزجاجية. إن تحليلاً كهذا يأتي مترابطاً تماماً مع وصفه السابق الذي يطرح مسلمة مفادها أن الجليدية والرطوبة الزجاجية، عندما يتم جمعهما في جسم واحد، فإنهما يملكان شكلاً كروياً. كما أنه أيضاً موافق لتصوره عن وحدانية «الكرة العينية»، التي تمثل في العين كل المنطقة الواقعة وراء القرنية، وتتضمن هناك أيضاً الجليدية والرطوبة الزجاجية^(١٠٣).

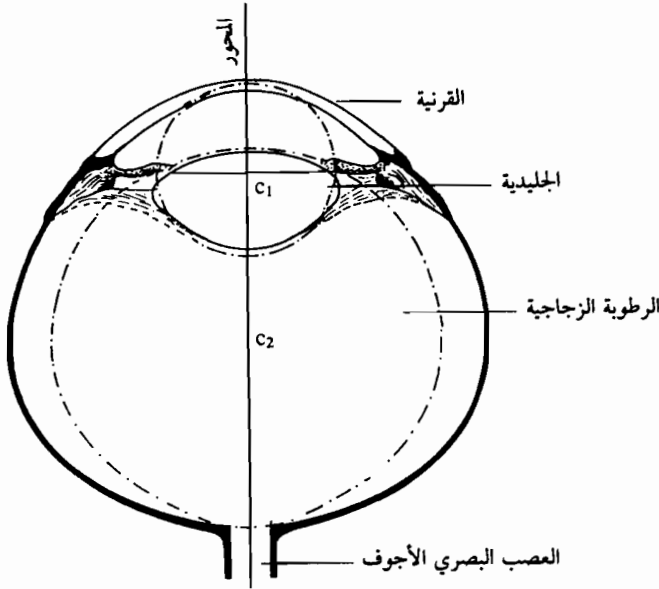


Galenus, *Galen, on the Usefulness of the Parts of the Body. De usu partium*, X, 6, 15, and Hunayn = Ibn Ishāq, *Kitāb al-ʿaṣḥar maqālāt fī al-ʿayn al-mansūb li-Hunayn Ibn Ishāq: The Book of the Ten Treatises on the Eye, Ascribed to Hunayn Ibn Ishāq (809-877 A.D.)*, pp. 3-4.

Schramm, *Ibid.*, p. 199, note 1, and Max Simon, *Sieben Bücher Anatomie des Galen* (Leipzig: [n. pb.], 1906), book 2, pp. 35-36.

(١٠٢) ابن الهيثم، كتاب المناظر، المقاتل الأولى والخامسة، مخطوطة فاتح ٣٢١٢، الورقة ٧٤ - ٧ - ١٠٣ (المصدر نفسه، المقاتل الأولى والخامسة، الورقتان ٧٤ - ١٠ - ١٣ و ٧٥ - ٦ - ١٠، والمقالة السابعة، الورقة ١٣٠).

وبالمقابل، فإن التقوس الشعاعي للسطح الخلفي للجليدية، وهو الأقصر، يشكل امتداداً للسطح الأمامي للقرنية. وبذلك تكون الكرة الصغرى مؤلفة من الجليدية والقرنية. وقد دافع ابن الهيثم كذلك عن هذا الموضوع في وصفه للسطح الداخلي المقعر للقرنية في تقاطعها مع العنبة، التي هي محدبة (هنا اعتبرت القزحية كسطح كروي)، والتي تشكل عندئذ امتداداً للسطح الخلفي للجليدية^(١٠٤). وتتقاطع هاتان الكرتان المؤلفتان على هذا الشكل عند ملتقى الجسم الهدبي والجليدية. كما أن موقعهما النسبي هو أيضاً مبيتين باختلاف شعاعيهما، أما مركز الكرة الكبرى فهو أكثر عمقاً في المقلة من مركز الكرة الصغرى^(١٠٥). إن هذا التحليل يتطابق تماماً مع تشريح ابن الهيثم الوصفي (الشكل رقم (٢٠ - ٢٢)).



الشكل رقم (٢٠ - ٢)

منظر بياني للعين بمقطع طولي. إن الرسم المنقط الذي يصور عين ابن الهيثم المؤلفة من كرتين، قد رُكب على الرسم الطبيعي وذلك لتوضيح ملائمة وضعه التشريحي. غير أن العصب البصري يقع مباشرة مقابل البؤبؤ خلافاً لوضعه الصحيح، حيث هو منحرف نحو الأنف.

(١٠٤) المصدر نفسه، المقتاتان الأولى والخامسة، الورقتان ٧٦^أ - ١٣ و ٧٦^ب - ٨ - ١٠.
(١٠٥) المصدر نفسه، المقتاتان الأولى والخامسة، الورقتان ٧٥^أ - ٧٦^ب. يلفت ابن الهيثم الانتباه إلى أن السطح الخارجي للقرنية يشكل جزءاً من المقلة، كامتداد للصلبة وليس بسبب مركز نصف قطري مشترك.

يصف ابن الهيثم، إذن، التقاطع مختلف المركز لكرتين مختلفتين، إحداهما صغيرة، والأخرى كبيرة، ومنطقة التقاطع بينهما هي الجليدية. لذلك لم يعد الأمر يتعلق بعين متحدة المركز «مورقة كبصلة». فقد تم وصف سطحي الجليدية كأسطح كروية تتقاطع^(١٠٦). وفي هذا التحليل، يكون موقع الجليدية محصوراً، دون التباس، أمام القرنية (الشكل رقم ٢٠ - ٢٢). ويصبح مركز العين بطبيعة الحال مركز الكرة العينية الكبرى، الواقعة وراء الجليدية في الرطوبة الزجاجية.

سمح كذلك هذا التركيب لابن الهيثم بأن يرسم محوراً للعين، بواسطة جمع المركزين المنفصلين للكرتين بواسطة خط مستقيم متعامد مع وتر تقاطع الكرتين ومقسّم هذا الوتر إلى جزئين بزاوية قائمة (الشكل رقم ٢٠ - ٢١). ويحدد ابن الهيثم بعناية الميزات المحددة لهذا المحور. إنه يمر في مركز المقلة، وإذا مددنا طرفيه، فإنه يمر في آن معاً عبر مركز البؤبؤ وعبر مركز قمع العصب البصري^(١٠٧). ويتحدد تعريفه الوظيفي من جديد بوصفه التشريحي، الذي بمقتضاه يقع العصب البصري مباشرة أمام البؤبؤ، بدل أن يكون منحرفاً قليلاً نحو الأنف. وبناءً عليه، فإن هذا الوصف يضع بشكل خاطئ على خط واحد مركز التقوس الخلفي مع مركز العصب البصري، وقد وقع ابن الهيثم، الذي حاول للمرة الأولى أن يحدد محوراً للعين بمصطلحات هندسية، تحت تأثير الفرضيات التشريحية الوافدة من التقليد الجالينوسي.

إن تحديد هذا المحور هو أساسي من أجل مقارنته الكمية لتشكيل الصور على قاعدة النقاط المقابلة. فهو محور بصري، تقع عليه مراكز جميع أوساط العين الكاسرة للضوء (الوسط المائي، الرطوبة الزجاجية، الجليدية، القرنية). وبفضله، يمكن الحفاظ على تقابل الموقع الطوبولوجي لكل نقطة بين الجسم والصورة، عند الحركات الجامعة للعين (حيث يتلاقى محورا العينين على نقطة من سطح الجسم)، وعند الحركات المترافقة (حيث ينتقل محورا العينين سوياً) أثناء انتقال النظر من جسم إلى آخر^(١٠٨).

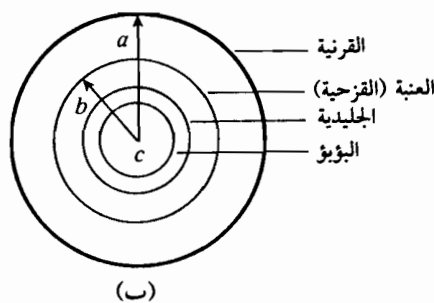
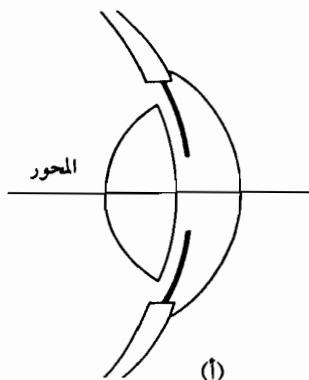
عندما يتعمق ابن الهيثم في تحديده لهذا المحور، فإنه غالباً ما يغير مصطلحات الإسناد، منتقلاً من الكرات إلى الأسطح، متفحصاً العين في مقطع طولي كما في مقطع جبهي (الشكل رقم ٢٠ - ٢٣). وهذا التمييز هام للغاية، ففي كل حالة تتركز سلسلة العلاقات الموصوفة على مستويات تشريحية مختلفة. وعندما يتفحص العين في مقطع طولي، فإن مراكز أجزاء العين تكون مترافقة على امتداد المحور الطولي (الشكل رقم ٢٠ - ٢٣).

(١٠٦) المصدر نفسه، المقاتلان الأولى والخامسة، الورقتان ٨٠٧٦ - ٨٠٧٨ - ١٣.

(١٠٧) المصدر نفسه، المقاتلان الأولى والخامسة، الأوراق ٥٧٦ - ٧٨٨.

(١٠٨) يظهر ابن الهيثم، بالاستناد إلى حركات العين المتقاربة، ضعف حجة بطليموس، الذي يرتكز إلى الشعاع المركزي أو المحوري لمخروط الرؤية. فيما يتعلق بالمقطع المذكور، المأخوذ من مؤلف لابن الهيثم الشكوك على بطليموس، انظر: Sabra, «Ibn al-Haytham's Criticisms of Ptolemy's Optics», pp. 145-149 and especially pp. 147-148.

وعندما يقارن المواقع النسبية للقرنية وللقرنية وللقرنية وللقرنية بالنسبة إلى هذا المحور ويؤكد على امتلاكها للمركز نفسه، فإنه يتفحص العين آنذاك تبعاً لمستوى جبهتي في ذلك الموضع، حيث تبدو المراكز (على الرغم من كونها تقع واحداً وراء الآخر على طول المحور) في نقطة واحدة (الشكل رقم (٢٠ - ٣ ب)). وعلى سبيل المثال، فمع أن شعاع القرنية أطول من شعاع القرنية، فإن مركزهما يبقى هو نفسه. وهذا يعني أنهما تملكان شعاعين مختلفين، يأتیان ظاهراً من المركز نفسه الواقع على المحور الطولي للعين (الشكل رقم (٢٠ - ٣ ب)).^(١٠٩)



الشكل رقم (٢٠ - ٣)

منظران يانيان للعين تبعاً لمستويين تشرحيين مختلفين.
منظر طولي (أ)، حيث المراكز فيه تتراصف على المحور، ومنظر جبهتي (ب)،
حيث تقع فيه كل المراكز في نقطة واحدة. (a) و (b) يعينان الخططين الشعاعيين.

(١٠٩) انظر: ابن الهيثم، المصدر نفسه، المقالتان الأولى والخامسة، الأوراق ٧٦ - ٦ - ١٠ و ٧٨ ظ
(خصوصاً ٨ - ١٤ - ٨٠ ظ).

وقد أدى واقع عدم تمييز تغير المنظور في هذه الأسطح المستوية التشرّحية المنفصلة إلى تفسير سيء لإصرار ابن الهيثم على هذا المركز المشترك. إن خلط السطحين المستويين الطولي والجيهي على المستوى نفسه (أي المحور المار بنقطة واحدة والمراكز الواقعة في نقطة واحدة) هو الذي أنتج التصور المغلوط في القرون الوسطى عن «العين البصلة» متحدة المركز والتي نسب مصدرها إلى ابن الهيثم^(١١٠).

وقد تميزت دراسته لتشريح العين بوصف موضوعي لأجزائها، تبعاً لتدرج منطقي منظم بدقة، كما تميزت، حسب علمنا، بأول تحليل مفصل في علم البصريّات الفيزيولوجي، لعلاقات أجزاء العين في الفضاء بمصطلحات وظيفية. إن أصالة طريقته التشرّحية تدشن ابتعاداً حاسماً عن المقاربة التقليدية. فهو لم يجعلها مثالية لكي تكون ملائمة لوصف بمصطلحات هندسية، كما أنه لم يُعْدها لكي تلبي حاجات موقف نظري، مثلما كان الافتراض سابقاً^(١١١). إن التحليل الوظيفي الذي قدمه يركّز كلياً على تشريحه الوصفي، الذي كان أكثر دقة من التشريح الوارد في النصوص الطبية (الشكل رقم (٢٠ - ٢٢)). وقد استطاع، وهو يتفحص بانتباه النسب في التركيب، أن يلاحظ بوضوح أن الجليدية هي ثنائية التحذب وأن يحدد بشكل صحيح موقعها المتقدم. كما استطاع أيضاً، وهو يصوغ وصفه بطريقة كمية أي بمصطلحات نسبية، أن يحدد محوراً بصرياً في العين. وهذا ما يظهر إلى أي مدى كانت البديهة المركزية لبصريّاته الفيزيولوجية راسخة في تدقيقاته التشرّحية.

٣ - الصورة المسقطة والعين

يمكن تفسير فرضيات ابن الهيثم عن الرؤية والعين كسلسلة محاولات هادفة إلى التوفيق بين مفهومه لإسقاط الصورة والتركيب التشرّحي للعين. إن مثل هذا النموذج وضعه أمام صعوبات مهمة تصورية وتقنية، عندما طبقه على العين المزودة بفتحة كبيرة، أي البؤبؤ، وبأسطح كاسرة شفافه. كما وجد نفسه، بالإضافة إلى ذلك، في صراع مع صورتين، واحدة لكل عين، في حين أن إدراكنا للعالم هو موحد.

أ - المسألة الأولى: اتساع الفتحة - البؤبؤ

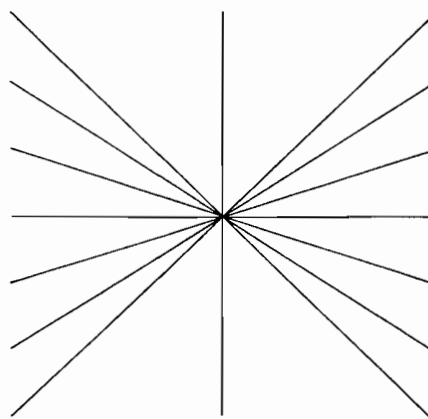
تحصن ابن الهيثم بتجاربه على الفتحات المتغيرة، لذلك كان يعرف تماماً أن الإسقاط بواسطة مصدر ضوئي في حجرة سوداء يتعلق باتساع الفتحة، وأنه لا يمكن الحصول على

(١١٠) نجد مثلاً على ذلك بشكل رسم بياني في النشرة المطبوعة للترجمة اللاتينية لـ كتاب المناظر، انظر: Abū 'Alī al-Ḥasan Ibn al-Ḥasan Ibn al-Haytham, *Optica Thesaurus. Alhazeni Arabis Libri Septem... Item Vitellonis Thuringopoloni Libri X*, edited by Federico Risner (Basel: Per Episcopios, 1572), reprinted (New York: Johnson Reprint Corporation, 1972).

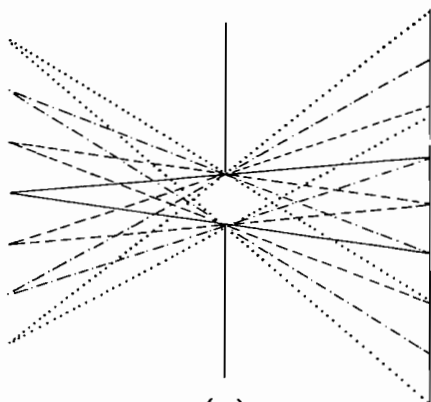
Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, p. 69.

(١١١)

صورة جلية إلا بواسطة فتحة يكون اتساعها في حده الأدنى^(١١٢). فتضييق الفتحة إلى الحد الأدنى يعمل كجهاز استبعاد يصفي الأشعة الضوئية العديدة الآتية من كل نقطة في سطح الجسم، ولا يدع سوى شعاع واحد يمر، وبذلك يسمح بإقامة تطابق نقطة بنقطة (الشكل رقم (٢٠ - أ)). وعلى العكس من ذلك، فعندما تملك كل نقطة من الجسم تصويراً متعدداً (أي في حالة الفتحة المكبرة)، فإن رسوم الأشعة تمتزج في بقعة غير جلية وتضيع الصورة (الشكل رقم (٢٠ - ب)).



(أ)



(ب)

الشكل رقم (٢٠ - ٤)

إسقاط الضوء من خلال ثقب الإبرة (أ) ومن خلال فتحة (ب).
في (أ) تتمثل كل نقطة - جسم بشعاع واحد؛ بينما في (ب) تملك كل نقطة تصويراً متعدداً.

(١١٢) ابن الهيثم، كتاب المناظر، المقالتان الأولى والسادسة، مخطوطة فاتح ٣٢١٢، الورقتان ١١٥ ط ٧

تلك هي المسألة التي كانت تطرح نفسها فيما يتعلق بالعين: إن فتحها، أي البؤبؤ هو كبير جداً، لذلك فهو لا يستطيع أن يصفى الأشعة المتعددة التي تصل إليه في آن معاً من كل نقطة من سطح جسم مرئي. فكيف يمكن عندئذ الحفاظ على التطابق نقطة بنقطة بين الجسم والعين^(١١٣)؟ ومع أن ابن الهيثم وصف الرطوبة الجليدية كجسم كاسر ثنائي التحدب، إلا أنه لم يَر فيها عدسة قادرة على إتمام وظيفة التركيز البؤري في العين. وبالتالي، فإن الحل الذي اقترحه كان مستلهماً من بدايات الميكانيك بدلاً من بصريات الانكسار. وقد استنتج، بالاستناد إلى ملاحظات تجريبية، أن الصدم الذي تحدثه الإسقاطات العمودية على الأسطح هو وحده قوي، بشكل كافٍ، لكي يسمح لها بالدخول، في حين إن الإسقاطات المائلة تنحرف. ولكي يشرح مثلاً ظواهر الانكسار عند انتقال الضوء من وسط خفيف إلى وسط أكثر كثافة، استخدم تشابهاً مأخوذاً من الميكانيك: تُقذف كرة معدنية على صفيحة أردواز دقيقة موضوعة على ثقب عريض تم إحداثه في صفيحة معدنية. فإذا قذفت الكرة عمودياً، فإنها تحطم الأردواز وتمر إلى الجانب الآخر. أما إذا قذفت مائلة، بقوة مائلة ومن مسافة مساوية، فإنها لا تستطيع تحطيم الأردواز. وكان ابن الهيثم يعرف أيضاً بفضل ملاحظاته، أن ضوءاً حاداً مباشراً يجرح العين. وقد ربط بين الأضواء «القوية» والأشعة العمودية وبين الأضواء «الضعيفة» والأشعة المائلة، مطبقاً بذلك تشابهاً مأخوذاً من الميكانيك على دراسة تأثير الأشعة الضوئية على العين. وكان الجواب البدهي على مسألة وفرة الأشعة بالنسبة إلى العين هو في اختيار الشعاع العمودي، طالما أنه لا يمكن أن يكون هناك سوى شعاع واحد من هذا النوع قادر على دخول العين انطلاقاً من كل نقطة من سطح الجسم^(١١٤).

(١) الأشعة العمودية: مبدأ المصفاة

استبعد ابن الهيثم، بتركيزه فقط على الأشعة العمودية على سطح العين، كل الأشعة المائلة أو العرضية. وهكذا، انطلاقاً من كل نقطة من جسم ما، يدخل شعاع واحد مباشر أغشية العين، وتحتفظ مجموعة من هذه الأشعة «الفردية» بالترتيب الذي كانت تملكه نقاطها المصدرة على سطح الجسم. وبهذه الطريقة يكون هناك تطابق نقطة بنقطة بين الجسم المرئي والصورة في العين. وما يقترحه ابن الهيثم هو، في الواقع، طريقة بديلة تكمن في تصفية الأشعة المتعددة القادمة من كل نقطة من الجسم، للحصول في النهاية على واحد فقط منها

(١١٣) المصدر نفسه، المقتاتان الأولى والسادسة، الورقة ٩٧، والمقالة الثانية، الثانية (II, ii)، الورقة ٧.

(١١٤) حول مناقشة استخدام ابن الهيثم لتشابه ميكانيكية للانكسار، انظر: Sabra, «Explanation of Optical Reflection and Refraction: Ibn al-Haytham, Descartes, Newton,» and Rashed, «Lumière et vision: L'Application des mathématiques dans l'optique d'Ibn al-Haytham,» pp. 28-32 et 44.

(على النقيض من ظاهرة ثقب الإبرة أو من التركيز البؤري بواسطة الجليدية).

وقد قدم ابن الهيثم العناصر الأساسية إلى هذه الفرضية في تحليله الوظيفي لتشريح العين. إن وصفه لها بـ«كرتين»، حيث تمثل الجليدية تقاطعهما، يحدد القرنية كقسم من الكرة الصغرى والسطح الأمامي للجليدية كقسم من الكرة الكبرى. إن خطأ طويلاً ماراً عبر المركزين الكرويين للكرة الصغرى أي القرنية وللكرة العنبية، يسمح له بإعطاء تحديد دقيق لمحور تتراصف عليه جميع الأسطح الشفافة الكاسرة، ويكون متعامداً مع جميع أسطح العين. وبواسطة هذا المحور يمكن تحديد وإبقاء التطابق بين الموقع الطوبولوجي لكل نقطة من سطح الجسم والموقع الطوبولوجي لكل نقطة من العين.

ويقدم ابن الهيثم إثباتاً مدعماً بحجج صارمة بحيث إن مراحل الأساسية متميزة بوضوح. قبل كل شيء يعتبر أن النظر هو في استقبال ما يتلقاه من شكل (أي من ضوء ولون) الأشياء المرئية،... وفقط في استقبال الأشكال التي تصله وفق خطوط معينة... كما يعتبر أن شكل أي نقطة من الشيء المرئي يصل إلى العين الموجودة أمامه وفق عدة خطوط مستقيمة مختلفة وأن العين لا يمكنها إدراك دقائق شكل الشيء بترتيبها الموجود على سطح هذا الشيء ما لم تتلقَّ العين الأشكال بالخطوط المستقيمة العمودية على سطح العين وعلى العضو الحساس (أي الجليدية). وأخيراً يبين أن الخطوط المستقيمة لا يمكنها أن تكون عمودية على هذين السطحين ما لم يكن مركزاهما موجودين على نقطة واحدة مشتركة. هنا، يتم الإسناد إلى العين في منظورها الجبهي، حيث يتقارب المركزان الكرويان، أي مركز سطح القرنية ومركز الجليدية، في نقطة واحدة (أي على المحور)؛ وبكلمات أخرى، يصدر شعاعاهما المختلفان من المركز نفسه (الشكل رقم (٢٠ - ٣ب)). بالتالي، فهو يعتبر أن العين لا تدرك أيّاً من الأشكال التي تصلها إلا بالخطوط المستقيمة الوهمية الموجودة بين الشيء المرئي ومركز العين وهي خطوط عمودية على جميع سطوح وأعشية العين (الشكل رقم (٢٠ - ١٣))^(١١٥).

إن سبب هذا الاختيار لأشعة عمودية هو أيضاً مصاغ بوضوح، إذ يقول إن وقع الأضواء الواصلة بخطوط عمودية أقوى من وقع تلك التي تصل بخطوط مائلة. وبالتالي فمن العدل أن تحس الجليدية في كل نقطة من سطحها بالشكل الواصل إلى هذه النقطة على امتداد الخطوط العمودية دون أن تحس في هذه النقطة بالشكل الواصل على امتداد الخطوط المنحرفة^(١١٦). كان همه الرئيسي، إذن، هو التطابق نقطة بنقطة. وفي استبعاد الأشعة

(١١٥) انظر: ابن الهيثم، المصدر نفسه، المقتاتان الأولى والسادسة، الأوراق ٩٧ - ٩٨ و ١٠٠ - ١٠٥.

حول ترجمة كاملة لهذا المقطع، انظر: Sabra, «Ibn al-Haytham and the Visual Ray Hypothesis», pp. 193-205.

(١١٦) ابن الهيثم، المصدر نفسه، المقتاتان الأولى والرابعة، الورقة ٩٠.

الساقطة الأكثر ضعفاً يكمن المبدأ الغامض عن مصفاة محدودة القوة مشتقة من مفهوم الصدم الميكانيكي .

(٢) حساسية الجليدية

إن ملاحظات ابن الهيثم، فيما يختص بتأثير ضوء حاد على العين، لم تدعم مبدأه عن مصفاة القوة فحسب، بل سمحت له أيضاً بشرح الإحساس البصري كتجربة مشاهة للآلم. إن ضوءاً حاداً يسبب الآلم، في حين أن أنواعاً أخرى من الضوء أقل حدة تجعل العين أقل حساسية بالنسبة لهذا الآلم^(١١٧).

وبالنسبة إلى ابن الهيثم، فإن الجليدية، سواء أكانت «شبيهة بالثلج» أم ذات طبيعة بلورية، هي جسم شفاف يسمح للضوء بالدخول وفقاً لمبادئ علم البصريات. لكنه في الوقت نفسه جسم كثيف، بما يكفي، لكي يحتفظ بالضوء وقتاً كافياً لتسجيل الإحساس. وبالتالي، فإنه يتميز عن الأوساط الشفافة الأخرى التي تنقل الضوء فقط دون أن تتأثر به^(١١٨). وبما أن ابن الهيثم يربط تأثير الضوء على الجليدية بسلسلة تجارب عن الحساسية، بدءاً بفقدان الإحساس ووصولاً إلى الآلم الحاد تبعاً لكمية الضوء المسلط، فإن حساسية الجليدية في رأيه تملك وظيفة تقديم معلومات عن قوة / صدم الضوء. إن الاهتمام الذي يعيره إلى أهمية وظائف القرحة والعنبة يؤكد وجهة نظره هذه. ففي اعتقاده أن القرحة والعنبة تقدمان سطحاً مظلماً وأكمد داخل الكرة العنبية في العين، أي حجرة سوداء، حيث إن أضعف الأضواء يمكن تمييزه^(١١٩).

ب - المسألة الثانية: عكس الصورة المسقطة

إن عكس الصورة الجانبية، الذي عرضه ابن الهيثم في تجربة القنديل، يقدم له نموذجاً تصورياً عن إسقاط الصور المرئية بنقاط متطابقة. فبالنسبة إليه، يثبت الاختبار تجريبياً أن إسقاطات كهذه هي بالضرورة معكوسة، آخذين بعين الاعتبار تقاطع الأشعة الضوئية المارة عبر فتحة صغيرة. وهذا يعني أنه عند تطبيق مثل هذا النموذج على الرؤية، فإنه ينبغي التوفيق بين عكس الصورة (أفقية وعمودية) وتصور حقيقي عن عالم طبيعي (في المكان).

(١١٧) المصدر نفسه، المقاتل الأول والرابعة، الورقة ٦٧، والمقالة السادسة، الورقتان ١٠٧ -

١٠٨.

(١١٨) المصدر نفسه، المقاتل الأول والسادسة، الأوراق ١٠٦ - ١٠٧ و ١١٧ - ١١٨.

(١١٩) المصدر نفسه، المقاتل الأول والسابعة، الورقة ١٣٠.

(١) محاولات للحل (ميكانيك بصريات العين)

إن وصف ابن الهيثم للعين، التي يصورها بشكل قسمين من كرتين متقاطعتين، هو أساسي لشرحه إسقاط الصور في العين. وقد أُلح، بتحديد الأشعة التي تنقل نقاط التطابق، على واقع أن تكون هذا الأشعة عمودية في آن معاً على سطح القرنية وعلى سطح الجليدية. كما طابق أيضاً مسارها مع الخطوط الشعاعية الوافدة من المركز الجبهي للعين. ويظهر سبب إلحاحه هذا في تصويره عن التركيب التشريحي للعين. وبالإضافة إلى ذلك، فإن حججه التي تبرز تحديده لهذه الأشعة بالنسبة إلى الخطوط الشعاعية تصبح مفهومة، عندما نأخذ بشكل منفصل مركز كل واحدة من الكرتين المكونتين للتقاطع. ويمكن حل تشابك الاستدلال عنده بإعادة بناء المراحل التي تُولف صياغته النظرية لإسقاط الصور في العين (الشكل رقم (٢٠ - ٥)).

إذا راقبنا العين في مستوٍ طولي، نستطيع أن نرى:

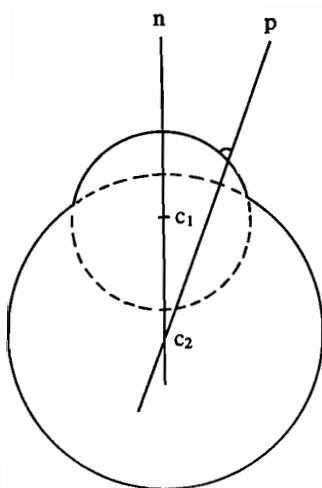
(أ) أن شعاعاً عمودياً على القرنية (أي على محور شعاعي بالنسبة إلى مركز الكرة الصغيرة، أي القرنية) سيكون عرضياً على السطح الأمامي للجليدية (الشكل رقم (٢٠ - ١٥)). وبصفته عرضياً، سيكون أضعف من أن يمر من خلال الجليدية لكي يشكل صورة.

(ب) وبالعكس، فإن شعاعاً عمودياً على سطح الجليدية (أي على محور شعاعي بالنسبة إلى مركز الكرة العينية الكبيرة) سيكون عرضياً على القرنية (الشكل رقم (٢٠ - ٥ب))، وهذا يعني أنه سيكون أضعف من أن ينفذ.

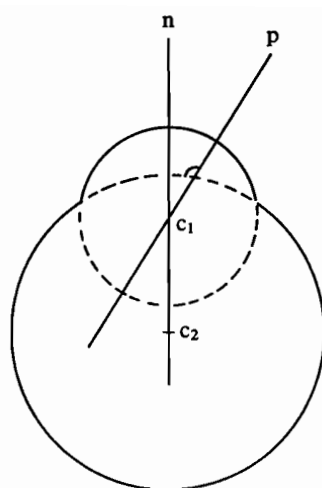
(ج) ولكي يشكل شعاع ما صورة، يجب أن يكون عمودياً في آن معاً على القرنية وعلى الجليدية. وهذا لا يتم إلا بطريقة واحدة، أي بالانكسار (الشكل رقم (٢٠ - ٥ج)). إن الشعاع العمودي على السطح القرني (وهو شعاعي في مركز الكرة الصغيرة) ينكسر عمودياً على السطح الأمامي للجليدية، ليمر بعد ذلك عبر المركز الثاني الشعاعي للكرة العينية.

(د) ومع أن الأشعة تكون عندئذ عمودية على السطحين، عندما تمر في مركز الكرة العينية للعين، فإنها ستباعد وستكون الصورة معكوسة في مؤخر العين.

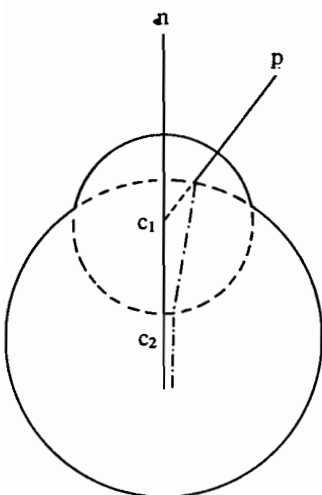
(هـ) وبما أن الصورة المعكوسة تتناقض مع إدراكنا لعالم قائم في المكان، لذلك فإنها لا يمكن أن تكون حقيقية أو مطابقة للواقع. وبالتالي، يطرح ابن الهيثم فكرة انكسار ثان على السطح الخلفي للجليدية. وإذا أخذنا بعين الاعتبار اختلاف الكثافة البصرية بين الجليدية والجسم الزجاجي، فإن الانكسار يتم خارج المحور باتجاه الناظم، كي يحافظ على تقاطع الأشعة في المركز، ويبقى بذلك على الاتجاه العمودي للصورة في مؤخر العين (الشكل رقم (٢٠ - ٥د)).



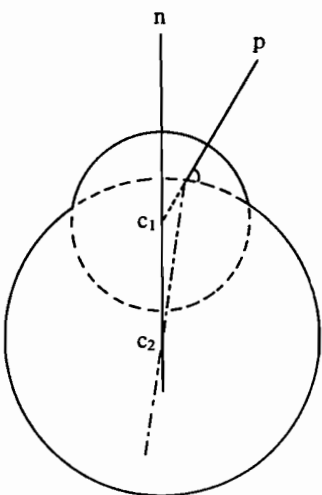
(ب)



(ل)



(د)



(ج)

الشكل رقم (٢٠ - ٥)

رسم بياني لتصورات ابن الهيثم عن تشكل الصور في العين،
 باستخدام مبادئ الأشعة العمودية والانكسار (انظر النص من أجل شرح مفصل).
 (n) تعني الناظم و (p) تعني العمود.

(و) إن دافع الأشعة الضوئية، بمحافظته على ترتيب تطابق النقاط وعلى اتجاهه العمودي، يسقط على تجويف العصب البصري الأجوف، ويصل إلى تصالب العصب المشترك.

يقدم ابن الهيثم بهذه الطريقة حلاً لائقاً لمسألة تشكل الصور في العين، مزاجاً ما بين البصريات والتشريح. ومع أن أجوبته مغلوطة، فإنه مع ذلك يقدم وللمرة الأولى شرحاً عن الآلية الانكسارية التي تضم وظائف أجزاء العين المختلفة.

(٢) الانكسار: اتساع مبدأ المصفاة

لنلاحظ أن ابن الهيثم لم يصير بطريقة حازمة على موقفه النظري المتعلق بتشكيل الصورة في العين، وبالعكس من ذلك، كان يطور فرضياته باستمرار مع تقدم معارفه في علم البصريات. فعندما اكتشف تجريبياً أن الأشعة العرضية تنقل أيضاً معلومات بصرية نحو العين، غير موقفه النظري. وقد أشار مثلاً إلى أن جسماً صغيراً، إبرة أو قلماً، يمكن رؤيته حتى عندما نمسكه بالقرب من الطرف الصدغي للعين، بينما الأخرى تكون مغمضة. وبما أنه لا يمكن رسم أي خط عمودي في هذا الوضع بين نقطة من الجسم والعين، لذلك فإنه يتعذر رؤية الجسم إلا بالانكسار. ومرة أخرى، فإن جسماً صغيراً (إبرة) جرى إمساكه قرب إحدى العينين، بينما الأخرى تكون مغمضة، لا يغطي نقطة - جسماً موضوعة مباشرة وراءه على الخط نفسه (المحور) القادم من مركز العين. وبما أنه لا يمكن رؤية النقطة - الجسم إلا تبعاً لشعاع مائل، لذلك ينكسر الشعاع بالضرورة على سطح العين. وقد أشار كذلك إلى أن الإبرة تبدو أكثر عرضاً، وشفافة، بحيث تسمح برؤية ما يقع وراءها. فقد لاحظ أن رسوماً دقيقة على الحائط تكون مرئية بشكل تام، ولا تحجبها الإبرة عندما تكون هذه الأخيرة موجودة قرب العين. وانطلاقاً من هذه الملاحظات، توصل ابن الهيثم إلى استنتاج مفاده أن الطريقة الوحيدة لإدراك الأجسام المرئية تكون بالانكسار. وقد كان مدركاً تماماً أن هذه المسألة لم تلاحظ ولم تُشرح مطلقاً قبل أن يقوم هو بهذا العمل^(١٢٠).

إذا اعتبرنا أن مسلمة ابن الهيثم «نرى بالانكسار» هي «مساھمته الأصيل» (في المقالة السابعة من كتاب المناظر)، فإن هذه المسلمة تبدو مناقضة للواقع الذي يستبعد فيه تماماً الأشعة المنكسرة، وفق ما جاء في المقالة الأولى. ويتعلق الأمر، في الواقع، بتطور مهم لمبدئه عن التصفية على أساس الأشعة العمودية. فعندما دمج الانكسار مع فرضيته عن تشكل الصورة، لم يغب عن ذهنه مبدأ مصفاة القوة. فقد أثبت أن النظام البصري للعين لا يستطيع تصفية كثرة الأشعة الصادرة من كل نقطة من جسم ما إلا على أساس العمودية

(١٢٠) انظر: Sabra, Ibid., pp. 193-194, and Rashed, «Lumière et vision: L'Application des mathématiques dans l'optique d'Ibn al-Haytham,» pp. 40-41.

منها. لذلك، لكي يحافظ على التطابق نقطة بنقطة بين الجسم والصورة، فإنه لا يعتبر، مرة أخرى، الأشعة فعالة، إلا تلك التي تنكسر عمودياً. وهذه الطريقة، استبعد كل الأشعة الأخرى العرضية. وقد تم تحديد الانكسار العمودي على السطح الأمامي للقرنية وللجلدية، بالنسبة إلى مركزيهما الكرويين (الشكل رقم (٢٠ - ٥ج)). وبذلك، فقد كانت الأشعة مدركة، كما لو أنها كانت تتبع خطوطاً شعاعية قادمة من المركز الجبهي للعين.

وما يقترحه ابن الهيثم في هذا المجال ليس متناقضاً على الإطلاق. إنه انتقال من موقف أولي يفترض تماثلاً مطلقاً، حيث تُعتبر الأشعة العمودية المباشرة هي الفعالة فقط، إلى موقف يفترض تماثلاً نسبياً ويدرج بعض الأشعة العرضية؛ وبشكل أكثر دقة، تلك الأشعة التي تنكسر عمودياً. وتبقى الأشعة العمودية هي القاسم المشترك لهذه الفرضيات عن النقاط المتطابقة. ومع ذلك، يشكل إدراج الانكسار عنده خطوة مهمة في الانتقال من حل ميكانيكي لمسألة الصورة المسقط على حل بصري.

ج - المسألة الثالثة: الشفع (ازدواجية الصور ووحدة التجربة البصرية)

تحتل الحاجة إلى عرض التجربة الذاتية لوحدة الإدراك حيزاً مركزياً في كل محاولات تفسير الآلية الفيزيولوجية للرؤية. إن المسألة، وبكلمات أخرى، هي التالية: كيف يمكن تفسير امتلاكنا إدراكاً وحيداً، في حين أن استخدام العينين يفترض إنتاج رؤية مزدوجة أو شفع. وكان اليونانيون قد أحسوا بالحاجة الواضحة إلى توحيد «النسخات» النوعية النافذة إلى العين، فحددوا موقع هذا التوحيد في التصالب المسمى «العصب المشترك». وقد قدم بطلميوس تفسيرات مشابهة على أساس العلاقة التماثلية القائمة بين المخروط البصري لكل عين. كما قدم جالينوس أيضاً تفسيرات على أساس الترافف التشريحي التام للعينين (وبكلمات أخرى، يجب أن يكون البؤبؤان على المستوى نفسه، كما يجب أن تكون الأعصاب البصرية على السطح المستوي نفسه). وقد أصرا على أن الشعاع المركزي يصل إلى وسط الجسم المرئي، بحيث تكون قواعد المخروطين البصريين متحدة عند حصول التماس^(١٢١).

غير أن الحل الذي قدمه ابن الهيثم، والنتائج عن هذا الانتقال، يركز على تكافؤ كمي دقيق بين المعلومات الحاسوبية لكل عين. فكل دافع يقطع قناة العصب البصري، محتفظاً بمعلوماته (تنظيمه الفضائي)، ليندمج في العصب المشترك قبل أن يصل إلى الجزء الأمامي من الدماغ^(١٢٢). وعلى الرغم من أننا لا نعرف جيداً إلى أي مدى ترتكز هذه العملية على

(١٢١) حول مقارنة شروحات جالينوس بشروحات بطلميوس، انظر: Siegel, *Galen on Sense Perception*, pp. 103-117.

(١٢٢) ابن الهيثم، كتاب المناظر، المجلد الأول والسادس، مخطوطة فاتح ٣٢١٢، الورقتان ١١٢ - ١١٣.

مبادئ بصرية، إلا أن النقاش الذي يقترحه ابن الهيثم حول السرعة غير المحسوسة التي بها يصل دافع الإحساسات إلى التصالب، يوحي بتشابه مع انتقال الضوء في حجرة بالأشعة. فهو يقول إن الضوء يدخل تجوف العصب المشترك، بالطريقة نفسها التي ينفذ فيها الضوء عبر فجوات أو فتحات، إلى الأشياء (الجدران، الشاشات) الموجودة قبالة هذه الفتحات^(١٢٣). وهنا أيضاً يصف إسقاطاً نقطة بنقطة وتراكباً لصورتين صادرتين من العينين. وبكلمات أخرى، تتحد مقاييس حاسية منفصلة في «العصب المشترك»، وإذا تراكبت بإحكام، فإنها تندمج في جوهر واحد^(١٢٤).

وتلعب حركة العينين، بالنسبة إلى ابن الهيثم، دوراً أساسياً في اندماج أو تراكب عملية التكامل ثنائي العينين. إن حركات متقاربة متساوية هي ضرورية للحفاظ على التطابق الموضوعي الطوبولوجي للصورة في كل عين. كما أن حركات مترافقة للعينين، تحصل عند انتقال النظر من جزء من الجسم إلى جزء آخر أو من جسم إلى آخر، تملك الوظيفة نفسها. فعلى سبيل المثال، عندما ينظر المراقب إلى جسم مرئي، موجهاً بؤبؤه في اتجاهه، فإن محوري العينين يتقاربان في نقطة ما من سطح الجسم. وعندما يرفع هذا المراقب عينه فوق الجسم المرئي، فإن المحورين يتجهان سوية فوق جميع أجزاء سطحه. ويستحيل توجيه عين نحو جسم مرئي وإبقاء العين الأخرى في حالة سكون إلا إذا تم إرغامها على ذلك^(١٢٥).

يحصل الشفع، أو الرؤية المزدوجة، عندما لا تكون الصورتان مترافقتين في الفضاء، أي عندما ينظر المراقب إلى جسم ما بإحدى العينين ويحرف العين الأخرى. في هذه الحالة لا يكون الدافعان على السجل الطوبولوجي نفسه، بسبب تفاوت الصورتين في العين، وبذلك لا يمكن حصول أي اندماج في التصالب، مما يسبب رؤية مزدوجة. ولا يبدو هنا أن ابن الهيثم قد استخدم تباين الصور «المطابقة» في كل عين، لكي يفسر إدراك العمق^(١٢٦).

الإحساس والإدراك

لو تأملنا المنطق الداخلي لتحليل ابن الهيثم، لرأينا أن ما يحدد الإحساس البصري عنده هو «الصورة» الموجودة في التصالب والمنقولة بالقناة البصرية وصولاً إلى الجزء الأمامي من الدماغ^(١٢٧). إنه لا يفسر الرؤية، لا عن طريق تشكل صورة في العين ولا بتوحيد صورتين صادرتين عن العينين بواسطة التصالب. لقد فهم تماماً أن عملية الرؤية تبقى ناقصة

(١٢٣) المصدر نفسه، المقتاتان الأولى والثانية، الورقتان ٤٤ ظ - ٤٥.

(١٢٤) المصدر نفسه، المقتاتان الأولى والسادسة، الأوراق ١٠٨ ظ - ١١٤.

(١٢٥) انظر الهامش رقم (١٠٨) السابق.

(١٢٦) انظر: Schramm, «Zur Entwicklung der Physiologischen Optik der Arabischen Literatur», p. 234.

(١٢٧) ابن الهيثم، المصدر نفسه، المقتاتان الأولى والسادسة، الورقة ١١٣ ظ.

إذا لم يشرح كيف أن رسماً من نقاط ضوء ولون يمكن إدراكه كجسم بثلاثة أبعاد، يقع على مسافة ويملك قياساً وشكلاً ووضعاً وكذلك حركة معينة. وبالتالي، فإن الصورة الموجودة في العين، بما تمثله من مادة خام للإحساس البصري، يتم تفسيرها خلال سلسلة عمليات ذهنية، تستخدم التعرف والاستدلال والمعارف السابقة والذاكرة والمقارنة.

ما نراه هو، إذن، نتيجة ملاحظة جرى التحقق منها بواسطة فعل «الكاشف النهائي» أو «قدرة التمييز». إنه تفسير بيسيولوجي معقد لما تقدمه لنا حاسة الرؤية^(١٢٨).

خاتمة

لقد أظهر ابن الهيثم أن ما ينتج الإحساس ليس الجسم نفسه، بل ما ينتجه هو نقاط من الضوء لا تعد ولا تحصى، منعكسة من سطح الجسم وصولاً إلى العين، وتسمح هذه النقاط بإحساس «الصورة البصرية» المشكلة وفقاً لمبادئ البصريات. إن تعرفنا الحاسي على العالم الخارجي لا يكون، إذن، مباشراً وفورياً، بل هو غير مباشر ويتعلق بتفسيرنا لأحاسيسنا (تجميع نقاط الضوء واللون) على مستوى الإدراك. وبالنسبة إلى الإرث اليوناني، فإن مقارنة ابن الهيثم للرؤية تمثل تغييراً في المفاهيم يحيل إلى العدم صحة النظريات السابقة.

لقد ميز ابن الهيثم في الشرح الذي قدمه عن الرؤية بين: أ - ميكانيك الرؤية (مسار مستقيم للضوء من خلال أغشية العين) الذي لا يعالج إلا الأسباب الميكانيكية ويستبعد الأحاسيس؛ ب - الإحساس (بواسطة الجليدية والتصلب) الذي لا يشتمل على التعرف إلى الأجسام الخارجية؛ ج - تفسير الأحاسيس البصرية بالروح أو «الحاسة النهائية» التي تعالج ما تقدمه حاسة الرؤية إليها، وتسمح بإدراك العالم الخارجي.

بالإضافة إلى ذلك، وبفضل ابن الهيثم، فإن التشريح الذي كان في السابق تتمتع غير فعالة أحياناً وأحياناً أخرى فعالة، بالنسبة إلى ما يدور من نقاش حول الرؤية، قد أصبح الشريك الأساسي للبصريات متساوياً معها في الأهمية، إذ إن فهم الرؤية يتطلب أكثر فأكثر تركيزاً للتشريح (للبيولوجيا) ولفيزياء الضوء. لذلك تدين البصريات الفيزيولوجية بوجودها لهذا الاتحاد. وفي الواقع، فقد انتقلت دراسة الرؤية من المسألة الإجمالية وهي «كيف ندرك نحن العالم الخارجي بحاسة النظر» إلى سلسلة مسائل مختصة تثيرها تضمينات مفهوم الصورة البصرية المشكلة من نقاط والموجودة في العين. أما المسائل المختصة فهي: أ - الحفاظ على التطابق نقطة بنقطة بين الجسم والصورة؛ ب - عكس الصورة وإدراك حقيقي (في المكان) للجسم؛ ج - وحدة الإدراك أو اندماج ثنائي العينين لصورتين منفصلتين آتيتين من كل

(١٢٨) أعدت هذه النظرية في الكتاب الثاني. انظر: A. I. Sabra, «Sensation and Inference in

Alhazen's Theory of Visual Perception,» in: Machamer and Turnbull, eds., *Studies in Perception: Interrelations in the History of Philosophy and Science*, pp. 169-185.

واحدة من العينين؛ د - تمييز بين الصورة كتركيب ذي بعدين في العين وإدراكها كجسم بثلاثة أبعاد بواسطة الروح/الدماغ. وقد أصبحت هذه المسائل مركزية فيما بعد، وحددت اهتمامات علم البصريات الفيزيولوجية وصولاً إلى ديكرات وما بعده.

لا يوجد حتى الآن أي إثبات يؤكد أن تضمينات نظرية ابن الهيثم عن تطابق النقاط قد استخدمت في العلوم الإسلامية، باستثناء كمال الدين الفارسي (نحو العام ١٣٢٠م)^(١٢٩) الذي جمع في أبحاثه البصريات والتشريح معاً. فقد تابع في مؤلفه تنقيح المناظر، المستند إلى أعمال ابن الهيثم، الدراسات الاختبارية حول دور الأشعة الساقطة في تشكل الصورة في العين. وأثبت مثلاً، وبشكل صحيح، أن «الصورة البؤرية» التي كانت تنسب إلى الجليدية هي في الواقع صورة منعكسة بشكل رئيس بواسطة القرنية، ومصحوبة بصورة أخرى أكثر ضعفاً منعكسة بواسطة الجليدية. كما تفحص أيضاً الصورة [الضوئية] التي تظهر على جليدية خروف ذبح حديثاً. إن مساهماته المتعلقة بتشكيل الصورة وإدراك العمق، وكذلك بميادين أخرى من علم البصريات الفيزيولوجية، تنتظر دائماً أن تتم دراستها^(١٣٠).

لا نستطيع في هذه المقالة أن نقيس كل اتساع الدور الخاص لابن الهيثم في تغيير النموذج الذي حصل بالنسبة إلى العالم القديم. وما زلنا غير قادرين على تحديد مصدر أصلاته. وقد يكون من التهور استبعاد إمكانية تأثيرات مهمة على أعماله، وهي ضائعة بالنسبة إلينا. وتدل بعض الإشارات إلى أنه كانت هنالك اختلافات عميقة في فكر عصر ما قبل الإسلام مباشرة. وربما تقدم لنا أيضاً أبحاث مقبلة مفاتيح أخرى مهمة تتعلق بإبداع ابن الهيثم، وذلك بإخراجها إلى النور أعمالاً أخرى قام بها أسلافه المباشرون وكذلك معاصروه. وقد نُسب إليه التغيير النوعي لكتاب المناظر، نظراً للانقطاع الحاصل في ما وصل إلينا. وما لا يدع أي مجال للشك هو أن كتاب المناظر يمثل الأثر الأكثر قدماً لهذا التغيير الحاسم الذي طرأ على الفكر المتعلق بالرؤية.

مع ابن الهيثم نشهد انتقالاً من ميكانيك التماس إلى ميكانيك الضوء. لقد أورثنا الانتقال الأساسي، أي من الميكانيك اللمسي للرؤية إلى نظرية عن تشكل الصورة بتطابق النقاط عائد إلى الضوء المنحرف. ومع أن صياغاته عن الانعكاس والانكسار مستمدة من مبادئ الميكانيك، إلا أن عمله هذا يشكل القاعدة الأساسية لكل الدراسات البصرية عن الرؤية التي حصلت فيما بعد.

(١٢٩) حول البصريات الفيزيائية لكمال الدين الفارسي، انظر: Roshdi Rashed, in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 7, pp. 212-219,

الذي يتضمن مراجع غزيرة.

(١٣٠) انظر: Schramm, «Zur Entwicklung der Physiologischen Optik der Arabischen Literatur,» pp. 299-316.

الاستقبال الغربي لعلم المناظر العربي

دايفيد ليندبرغ (*)

إن إحدى الميزات الأكثر إثارة للاهتمام والأكثر بروزاً في تاريخ بدايات علم البصريات هي استمرارية هذا العلم بغض النظر عن الحدود الثقافية واللغوية. لكن هذا القول لا يعني أن علم البصريات قد بقي ساكناً تماماً، وأنه كان في منحنى عن ضرورة التأقلم مع متغيرات الظروف، الثقافية منها واللغوية والفلسفية. لكن من الأهمية بمكان أن نفهم أنه على الرغم من تطور هذا العلم وتأقلمه، فإنه قد حافظ على تجانس كبير بدءاً بعصر اليونانيين القدماء وحتى بداية القرن السابع عشر.

وتبرز هذه الاستمرارية مذهشة بشكل خاص في الفترة ما بين زمن ابن الهيثم في القرن الحادي عشر وزمن جوهانس كيبلر في القرن السابع عشر. إذ نشهد تطورات مهمة ومثيرة للاهتمام في النظرية البصرية خلال هذه الفترة، ولكننا ندهش عندما نتثبت كم كانت ضئيلة التغيرات في المسائل التي طرحتها النظرية، وفي فرضياتها الأساسية وكذلك في معايير النجاح النظري الذي كان عليها أن تحدته. ولهذا السبب فإن مسائل الانتقال والاستيعاب كانت أموراً أساسية لدراسة تاريخ تطور علم البصريات. وهذا الفصل مخصص لدراسة استقبال علم المناظر العربي في الغرب اللاتيني في القرون الوسطى.

أولاً: الترجمات

لم يكن الغرب، قبل الترجمات في القرنين الثاني عشر والثالث عشر، مطلعاً سوى على النزر القليل من علم المناظر. إننا نجد في موسوعات پلين (Pline) القديم (ت ٧٩م) وسولين (Solin) (حوالي القرنين الثالث أو الرابع)، وإيزودور الإشبيلي (Isodore de Séville)

(*) معهد تاريخ العلوم، جامعة ويسكونسين - الولايات المتحدة الأمريكية.

قام بترجمة هذا الفصل شكر الله الشالوحي.

(القرن السابع)، مناقشات أولية حول ظاهرات بصرية عديدة، لكن النظرية البصرية ذاتها بقيت في مستوى بدائي جداً. فهي تخبرنا مثلاً بأن الرؤية تتم بواسطة النور الصادر عن العين، وبأن موضع الرؤية هو البؤبؤ أو مركز العين، وبأن الضوء هو أسرع من الصوت، وبأن تيار يورس قيصر كان يستطيع الرؤية في الظلمة، وبأن قوس قزح يحصل من التقاء نور الشمس مع غيمة جوفاء. كما نجد فيها قليلاً من التشريح البدائي للعين. وإذا استثنينا عرض بليين الموجز حول شكل الظلال تبعاً لقطر الأجسام المضيئة ولقطر الأجسام التي تلقي ظلها، فإننا نجد أن التحليل الرياضي كان غائباً تماماً^(١).

وللحصول على مناقشات أكثر دقة من وجهة نظر فلسفية، وهي مناقشات تعيد وضع الضوء والرؤية إلى إطار نظري أشمل، وتقدم تقديراً للخيارات الممكنة، يجب علينا التخلي عن الموسوعات والتوجه نحو أنواع أخرى من الأدب. فإننا نرى في أعمال لاهوتية متنوعة، وعلى سبيل المثال في سفر التكوين بالمعنى الحرفي (*Genèse au sens littéral*)، أن أغسطينوس أسقف هيبون (٣٥٤ - ٤٣٠ م) يستوحي ميثافيزيقا الضوء العائدة للمدرسة الأفلاطونية المحدثة، لكي يفسر خلق العالم، وعلاقة الجسم بالروح واكتساب المعرفة. ويعالج أيضاً بلايغز، ولكن بطريقة مقنعة، طبيعة الضوء المرئي وعملية الإدراك البصري. كما أن هنالك مصدراً آخر كان متوفراً منذ القرن الرابع وهو النصف الأول من مؤلف أفلاطون تيمائوس لكن تأثيره كان ضعيفاً قبل القرن الثاني عشر. وقد ضمن أفلاطون كتابه هذا عرضاً متماسكاً حول طبيعة الضوء وكيفية انتقال الحركات انطلاقاً من جسم مرئي إلى روح المراقب، لكي يحدث الإدراك البصري^(٢).

ويجب الإشارة إلى سمات عديدة لهذا الأدب اللاتيني لبدايات علم البصريات. نرى أولاً أنه لا توجد أية مقالة مخصصة كلياً لمواضيع بصرية، إذ لم يوضع لعلم البصريات حتى

(١) بما يخص الظلال، انظر: Plin l'Ancien, *Histoire naturelle*, établi et traduit par J. Beaujeu :

(Paris: Les Belles lettres, 1950), vol. 2, p. 8,

لمناقشة حول العين، انظر: المصدر نفسه، مج ١١، ص ٥٢ - ٥٥ (نص مثبت ومترجم من قبل أ. أرنوت A. Ernout) و ر. بيبان (R. Pépin)، ص ٧٢ - ٧٧.

لا يوجد عرض مُرضٍ حول بدايات الفكر البصري في الغرب. لإلقاء جولة سريعة، انظر: David C. Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler* (Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 1976), pp. 87-90.

(٢) انظر: Augustin d'Hippone, *La Genèse au sens littéral*, édité et traduit par P. Agaësse et :

A. Solignac, 2 vols. (Paris: Desclée de Brouwer, 1970), et Platon, «Timæus a Calcidio translatus commentarioque instructus», edited by J. H. Waszint and P. J. Jensen, in: Raymund Klibanksy, ed., *Plato Latinus* (Leiden: E. J. Brill, 1962), vol. 4.

ذلك الوقت تصور كعلم أساسي قائم بذاته وبحاجة إلى أدب خاص متخصص؛ بل كان يمثل جزءاً من المعلومات العامة مرتبطاً بعدد من المواضيع الأخرى، ونتيجة لذلك لم يكن يستحق سوى اهتمام متواضع في مؤلفات الفيزياء والماورائيات واللاهوت وفي النصوص الموسوعية.

ومن ناحية ثانية، فإن المناقشات التي كانت تدور حول البصريات، كتلك المناقشات التي وردت في هذه المراجع، لم تكن لها مطلقاً أية سمة رياضية تقريباً. فالمسائل المطروحة كانت محصورة بطبيعة الضوء وطبيعة الإدراك البصري أكثر مما هي معنية بالرياضيات الانتشار والمنظور. وثالثاً كان التصور عن الضوء كجوهر مادي، يستند ربما إلى القرابة بين الضوء والنار. ورابعاً وأخيراً كان الاعتقاد العام بأن الرؤية هي نتيجة عملية إرسال، بحيث تنتشر نار الرؤية من العين إلى الجسم المرئي (وربما أيضاً في الاتجاه المعاكس). وهكذا فالبصريات لم تذهب إلا نادراً إلى أبعد من هذه المواضيع الأولية.

لقد أحدثت الترجمات في القرنين الثاني عشر والثالث عشر تحولاً جذرياً. فللمرة الأولى يجد الغرب اللاتيني في القرون الوسطى بحيازته مقالات مخصصة بكاملها لعلم البصريات. ويرجع بعض منها إلى أصل عربي، وبعضها الآخر هو عبارة عن مقالات يونانية نُقلت إليه بواسطة العرب^(٣).

كانت المقالة الأولى المترجمة والمخصصة كلياً لمواضيع في علم البصريات هي مقالة حنين بن إسحق واسمها تركيب العين، وقد ترجمها إلى اللاتينية قسطنطين الأفريقي في أواخر القرن الحادي عشر (ونسبت فيما بعد إما لقسطنطين هذا وإما لجالينوس). وتقدم هذه المقالة عرضاً جالينوسياً في تشريح وفيزيولوجيا العين كما تدافع عن نظرية جالينوس في الرؤية. وبالإضافة إلى هذه المقالة هناك مقالات أخرى جاءت على أثرها بقليل تناولت تشريح وفيزيولوجيا العين وكذلك أمراضها، مثل: كتاب الكامل في الصناعة الطبية لعل بن العباس (الذي ترجمه قسطنطين، كما ترجمه مرة أخرى إسطفان الأنطاكي في القرن التالي)، وكتاب القانون لابن رشد، وكتاب المنصوري للرازي، وكتاب الكناش الصغير ليوحنا بن سراييون (وقد ترجم جيرار دو كريمون (Gérard de Crémone) هذه الكتب الثلاثة الأخيرة في النصف الثاني من القرن الثاني عشر).

لقد شهد القرن الثاني عشر ترجمة سلسلة من المقالات في علم البصريات، وقد كانت في أكثريتها، وليس بشكل حصري، رياضية. ومن بين المقالات الأولى نذكر ثلاثاً منها يونانية (المنظر والانعكاس المنسوبتان إلى إقليدس، والمنظر المنسوبة إلى بطليموس)، وقد

(٣) حول خلاصة لترجمة المقالات البصرية، المحتوية على استشهادات منتقاة من الأدب المتخصص

Lindberg, Ibid., pp. 209-213.

بالموضوع، انظر:

جرت ترجمتها جميعها حوالى منتصف القرن الثاني عشر. وقد عرفت مناظر إقليدس ثلاث ترجمات على الأقل اثنتان منها عن العربية وواحدة عن اليونانية، في حين أن مناظر بطليموس قد ترجمت انطلاقاً من نسخة عربية غير كاملة وتكتنفها الشوائب^(٤). ثم انضمت سريعاً إلى هذه الترجمات الأولى مجموعة ترجمات لجيرار دو كريمون، أو لمدريته، مثل: المناظر للكندي، والغسق لابن معاذ والمناظر لتيديوس (Tideus)، وكتاب الانعكاس (المنسوب غالباً إلى إقليدس) والذي تم جمعه بالعربية انطلاقاً من مصادر يونانية، وكذلك مؤلف *De speculis comburentibus* لابن الهيثم الذي ربما ترجمه جيرار دو كريمون. أما المؤلف الذي كان له التأثير الأكبر لفترة طويلة فهو كتاب المناظر لابن الهيثم، وقد نقله مترجم مجهول في أواخر القرن الثاني عشر أو في بداية القرن الثالث عشر^(٥).

وأخيراً، هناك صنف ثالث من الأعمال يعالج مسائل في علم البصريات وهو يجمع مؤلفات في فلسفة الطبيعة، ويتناول بخاصة الإدراك وعلم الأرصاد. ونذكر من بين هذه الأعمال تلك المؤلفات التي كان لها التأثير الأكبر: النفس، الحس، الآثار العلوية لأرسطوطاليس (المؤلف الأول والأخير كانا موجودين في الترجمات المنقولة عن العربية منذ القرن الثاني عشر أو الثالث عشر)، ومؤلف النفس لابن سينا (ترجم في النصف الثاني من القرن الثاني عشر)، وشرح ابن رشد لكتاب النفس لأرسطوطاليس وموجز لمقالة *Parva naturalia* لأرسطوطاليس أيضاً (يبدو أن هاتين الترجمتين قد حصلتا في بداية القرن الثالث عشر)^(٦).

وعلى الرغم من أن لائحة الأعمال هذه المتعلقة بعلم البصريات غير مكتملة، فإنها تظهر تحولاً جذرياً في الكمية وفي النوعية أيضاً للأدب البصري المتوفر في الغرب، وذلك

(٤) لترجمات مناظر إقليدس Optica، انظر: Wilfred R. Theisen, «Liber de visu: The Greco-Latin Translation of Euclid's Optics», *Mediaeval Studies*, vol. 41 (1979) pp. 44-105.

ترجمات ثلاث في القرون الوسطى لكتاب إقليدس الانعكاسيات *Catoptrique* كان قد نشرها حديثاً كنيشي تاكاهاشي. انظر: Kenichi Takahashi, *Medieval Latin Traditions of Euclid's «Catoptrica»*: Toward a Critical Edition of *De speculis* (Fukuoka, Japan: Kyushu University, College of General Education, 1986).

تساهل ويلبر كنور (Wilbur R. Knorr) حديثاً عن موضوع الإسناد التقليدي لكتاب المناظر إلى بطليموس، انظر: Wilbur R. Knorr, «Archimedes and the Pseudo-Euclidean *Catoptrics*: Early Stages in the Ancient Geometric Theory of Mirrors», *Archives internationales d'histoire des sciences*, vol. 35 (1985), pp. 96-104.

فيما يخصنا، فإن هوية المؤلف لا أهمية لها، ودون أن أشكك في حجج كنور، سأتابع الرجوع إلى كتابي المناظر *De aspectibus* وكأنهما لبطليموس.

(٥) Lindberg, *Ibid.*, pp. 209-211.

(٦) المصدر نفسه، ص ٢١٢ - ٢١٣.

انطلاقاً من اكتساب المعارف اليونانية والعربية. وقد كانت المسيحية، في أوائل القرون الوسطى، تكافح من أجل الحفاظ على بقايا الإرث القديم؛ أما بعد الترجمات فقد انصب الجهد على استيعاب مجموعة جديدة واسعة ومتنوعة من المعارف.

ثانياً: رياضيات الضوء والرؤية

إن إحدى سمات الأدب البصري الجديد التي تثير الاهتمام أكثر من غيرها كانت حلته الرياضية. وعلى الرغم من أن هذه الحلقة لم تكن بالتأكيد السمة المميزة لمجمل الإسهام الجديد، فإن الصيغة الرياضية كانت مع ذلك أمراً واضحاً. فبينة بعض الرسائل المقدمة على شكل قضايا بالإضافة إلى الشكل الهندسي للجزء الأكبر من الاستدلالات لم يكن لهما مثيل سابق في تجربة الغرب البصرية. ومناظر إقليدس (بعنوان *De visu* أو *De aspectibus* في ترجمتها اللاتينية) تركت أثرها في المجال: فانطلاقاً من مجموعة مسلمات، تتشكل المقالة من ثمانية وخمسين افتراضاً تحتوي على براهين هندسية مرفقة بأشكال. وعلى قدر المستطاع، يختصر إقليدس علم المناظر بتحليل الأشعة الهندسية الصادرة عن عين المراقب (في خط مستقيم، شرط ألا تنعكس أو تنكسر) والتي لها شكل مخروط. ويشكل مخروط الأشعة هذا قاعدة لنظرية رياضية للرؤية^(٧).

وقد توسعت المقاربة الهندسية للضوء والرؤية في مؤلفات أخرى، مثل: الانعكاس المنسوبة إلى إقليدس، والمناظر لبطلميوس والمناظر للكندي. كما نجدها بخاصة في *De speculis comburentibus* لابن الهيثم وكذلك في مؤلفه الضخم كتاب المناظر. وعلى الرغم من أننا لا نستطيع اعتبار أية من هذه الرسائل ذات محتوى رياضي صرف – ربما باستثناء اثنتين منها في المرايا – إلا أن الرياضيات تشغل حيزاً مهماً في كل منها. ولا يستطيع أي قارئ أن ينتقص من قيمة الاستدلال الرياضي؛ وبالإضافة إلى ذلك فإن الأشكال الهندسية فيها تكشف عن نفسها بمجرد إلقاء نظرة سطحية عليها.

ولم تكن المقاربة الهندسية الموجودة في هذه المقالات جديدة ومدهشة فحسب، بل كانت أيضاً سهلة الاستيعاب. فلم يكن هناك أي اعتراض صريح أكان لاهوتياً أم فلسفياً، أو أي عائق ثقافي مهم يمنع استعمال الرياضيات في تحليل الظواهر البصرية. حتى أن أولئك الذين كانوا يظهرون تحفظات مبدئية فيما يتعلق باتساع التطبيق المحتمل للرياضيات على الطبيعة لم يكن باستطاعتهم الطعن بالمقاربة الهندسية لعلم البصريات – وعلى أي حال لم

(٧) حول مناظر إقليدس، انظر: Albert Lejeune, *Euclide et Ptolémée: Deux stades de l'optique géométrique grecque*, université de Louvain, recueil de travaux d'histoire et de philologie; 3. sér., 31-fasc. (Louvain: Bibliothèque de l'université, bureaux du «Recueil», 1948).

يكونوا يفترضون أن هذه المقاربة هي الوحيدة الممكنة^(٨). لقد كانت البصرييات الهندسية اليونانية والعربية تمثل بكل بساطة إنجازاً تقنياً مؤثراً جداً بحيث لا نستطيع إهماله أو رفضه.

إن أول عالم تأثر بالمقاربة الهندسية في الغرب كان العالم روبر غروستست (Robert Grosseteste) (حوالي ١١٦٨ - ١٢٥٣) الذي كتب على الأرجح في أوائل السنوات ١٢٣٠^(٩). لقد جاء هذا العالم، الذي كان قد قرأ إقليدس والكندي، بفكرة وضع تحديد هندسي للمنظور وإعداد برنامج هندسي لتحليل الإشعاع. ففي مؤلفه *De iride* يحدد علم الرؤية على الشكل التالي: «إنه العلم المرتكز على أشكال تتضمن خطوطاً مشعة وسطوحاً، سواء أكان هذا الإشعاع صادراً عن الشمس، أم عن النجوم، أم عن أي نوع آخر من الأجسام المشعة»^(١٠). ثم يقسم غروستست المنظور إلى أقسام رئيسة وفقاً للطرق المختلفة لانتشار الضوء: المستقيم والمنعكس والمنكسر. وفي مؤلفه *De lineis, angulis, et figuris* (الخطوط والزوايا والأشكال) يقترح غروستست بياناً لمصلحة الصيغة الهندسية للطبيعة من خلال الصيغة الهندسية للضوء وأشكال أخرى من الإشعاعات حيث يقول: «من الآن وصاعداً يجب التعبير عن جميع علل الظواهر الطبيعية بواسطة خطوط وزوايا وأشكال، لأنه يستحيل تفسيرها بشكل آخر. وهذا بديهي للسبب التالي: إن عنصراً طبيعياً يضاعف قدرته انطلاقاً من ذاته إلى التقبّل، سواء مارس تأثيره على الحواس أو على المادة. وتدعى هذه القدرة أحياناً «Species» وأحياناً صورة، ومهما تكن التسمية فهي نفسها؛ ويرسل هذا العنصر نفس القدرة في الحواس وفي المادة، أو في نقيضه الخاص، كما ترسل الحرارة نفس الشيء في حاسة اللمس وفي جسم بارد»^(١١).

كان روجر بيكون (Roger Bacon) (حوالي ١٢٢٠ - حوالي ١٢٩٢) مطلعاً على جميع

(٨) ألبير الكبير (Albert le Grand) هو مثال جيد؛ انظر: David C. Lindberg, «Roger Bacon and the Origins of *Perspectiva* in the West», in: Edward Grant and John E. Murdoch, eds., *Mathematics and Its Applications to Science and Natural Philosophy in the Middle Ages* (Cambridge, Mass.: Cambridge University Press, 1987), pp. 249-268.

(٩) انظر: James McEvoy, «The Chronology of Robert Grosseteste's Writings on Nature and Natural Philosophy», *Speculum*, vol. 58, no. 3 (July 1983), pp. 631-635.

وحول بصريات روبر غروستست، انظر: Bruce S. Eastwood, «Grosseteste's *Quantitative Law* of Refraction: A Chapter in the History of Non-Experimental Science», *Journal of the History of Ideas*, vol. 28 (1967), pp. 403-414, reprinted in: Bruce S. Eastwood, *Astronomy and Optics from Pliny to Descartes* (London: Variorum Reprints, 1989), and Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, pp. 94-102.

(١٠) انظر: Edward Grant, ed., *A Source Book in Medieval Science*, Source Books in the History of the Sciences (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1974), p. 389.

(١١) المصدر نفسه، ص ٣٨٥.

المصادر التي كانت بتصرف غروستست، لكنه كان يعرف أيضاً مناظر بطليموس وكتاب المناظر لابن الهيثم اللذين تحققت فيهما وعود المقاربة الرياضية بشكل أوسع بكثير مما في المراجع الأخرى. لقد كان لهذين الكتابين، وكتاب ابن الهيثم بشكل خاص، وقع جذري على المحتوى الرياضي، وعلى تدقيق كتابات سيكون في علم البصريات.

لقد أعطى بيبكون عرضاً مجملًا لهندسة الإشعاع التي أخذها بشكل أساسي من ابن الهيثم. فقد حدد خمس طرق لانتشار الضوء: المستقيم، والمنعكس، والمنكسر، والعرضي (ويقصد بهذا النوع الأخير الإشعاع الثانوي الذي ينطلق من نقاط حزمة ضوء أولية)، والنمط «الملتوي أو الأعوج» الذي يميز بعض الأوساط الحية^(١٢). ثم يعطي عرضاً كاملاً لقوانين الانعكاس، حيث يؤكد فيها ليس فقط على تساوي زوايا السقوط والانعكاس، بل يحدد أيضاً مستوي الشعاع الساقط والشعاع المنعكس بالنسبة لسطح المرآة^(١٣). ثم يقدم عرضاً متقناً للمبادئ الهندسية للانكسار، محدداً مسار الشعاع المنكسر (بعبارة هندسية، لكنها غير عديدة) في مختلف أشكال الأوساط خفيفة الكمدا والكمداء وللسطوح الداخلية الشفافة، المستوية منها والكروية^(١٤). ثم يحدد، متبعاً دائماً المصادر اليونانية والعربية، موضع صورة الجسم المرئي بواسطة إشعاع منعكس أو منكسر، ويكون الموضع عند تلاقي الشعاع الساقط (ممدداً إلى ما وراء العين) مع الخط العمودي الممدود من الجسم إلى سطح الانعكاس أو الانكسار. كما يطبق هذه المبادئ على بعض الحالات المثيرة للاهتمام بشكل خاص كـ «المرآيا المحرقة»^(١٥) و«البلورات المحرقة» أيضاً^(١٦).

ومهما كانت دلالات المبادئ البصرية التي استوعبها بيبكون فإن أهم ما استخلصه من

(١٢) انظر: Roger Bacon: *Roger Bacon's Philosophy of Nature: A Critical Edition with English Translation, Introduction and Notes, of 'De multiplicatione specierum' and 'De speculis comburentibus'*, edited and translated by David C. Lindberg (Oxford: Clarendon Press, 1983), vol. 2, 2, pp. 97-105, and *The 'Opus Majus'*, edited by John Henry Bridges, 3 vols. (London: Williams Norgate, 1900), vol. 1, pp. 111-117.

الوسط النشيط الخاص الذي يفكر بيبكون فيه هو «pneuma» البصرية التي تملأ العصب البصري. حول بيبكون وانتشار الضوء، انظر أيضاً: David C. Lindberg, «Laying the Foundations of Geometrical Optics: Maurolico, Kepler, and the Medieval Tradition», in: David C. Lindberg and Geoffrey Cantor, eds., *The Discourse of Light from the Middle Ages to the Enlightenment* (Los Angeles: William Andrews Clark Memorial Library, 1985), pp. 11-31.

(١٣) انظر: Bacon, *Roger Bacon's Philosophy of Nature: A Critical Edition with English Translation, Introduction and Notes, of 'De multiplicatione specierum' and 'De speculis comburentibus'*, especially: *De multiplicatione specierum*, vol. 2, 6, pp. 137-147.

(١٤) المصدر نفسه، مج ٢، ص ٣، ص ١٠٥ - ١١١.

(١٥) الحزقة أو المحرقة؛ استعمل ابن سهل التعبير الأول بينما استعمل ابن الهيثم التعبيرين معاً. انظر مقالة ابن سهل، «الحراقات»، ومقالة ابن الهيثم، «الكرة المحرقة بالدائرة». (الترجم).

Bacon, *Ibid*, vol. 2, 4, pp. 117-119 and vol. 2, 7, pp. 147-155. (١٦)

مصادره هو طريقة تصور الإشعاع المنبعث من جسم ذي امتداد معين. فقد استخلص انطلاقاً من الكندي وابن الهيثم أن الضوء يشع بشكل مستقل في كل الاتجاهات، ومن كل نقطة (أو جزء صغير) من الجسم المرئي. وهذا التصور لعملية غير متماسكة أساساً للإشعاع، كان مجهولاً في العصور اليونانية القديمة، فقد صاغه الكندي للمرة الأولى ثم طبقه ابن الهيثم لاحقاً. وقد تبين أن هذا التصور يمثل أحد المبادئ الأساسية لعلم المناظر الهندسي، إذ إنه لعب دوراً حاسماً في نظريات الإشعاع وفي نظريات الرؤية في آن معاً.

لم يستطع بيكون أن يجاري الدقة الرياضية لابن الهيثم، ومؤلفات هذا الأخير كانت أفضل مصادره. لكن ما نقله قد تمّ بأمانة كبيرة وبذكاء حاد. وقد استوحى آخرون على ما يبدو مثاله، فاعتمدوا مقارنة لعلم البصريات شبيهة بمقاربتة^(١٧). نذكر منهم تيل وبتلو (Tel Witel) (ت بعد ١٢٨١م) وهو مؤلف كتاب ضخّم جداً عنوانه المنظور (*Perspectiva*) وهو كناية عن موسوعة لعلم المناظر، حيث يحاول فيها استعادة مجموعة الأعمال اليونانية والعربية في علم البصريات (ولكن بارتكاب خطأ في الترتيب الزمني)؛ ونذكر أيضاً جون باشام (John Pecham) (ت ١٢٩٢م) وهو راهب فرنسيسكاني يافع ومعاصر لبيكون، وقد كتب موجزاً شعبياً بعنوان *Perspectiva communis* لخص فيه، وبكفاءة، النقاط الأساسية لعلم المناظر^(١٨). فمن خلال هذه المصادر، وكذلك بواسطة النصوص اليونانية والعربية الأصلية (التي واصلت انتشارها في ترجماتها اللاتينية) تعلم العلماء الغربيون كيف يعالجون علم المناظر بطريقة رياضية.

ثالثاً: طبيعة الضوء

عندما دخلت هندسة الإشعاع إلى الغرب كانت تمتاز ليس فقط بالجدّة والحدّات، بل بالحياد الفلسفي أيضاً^(١٩). بالإضافة إلى ذلك، فقد كانت تظهر كمذهب موحد نسبياً، قليل التأثير بالتزاعات الداخلية. بالمقابل، كانت طبيعة الجوهر الإشعاعي مسألة مثيرة للجدل؛ إذ

(١٧) انظر: David C. Lindberg, «Lines of Influence in Thirteenth - Century Optics: Bacon, Witelo, and Pecham», *Speculum*, vol. 46, no. 4 (1971), pp. 66-83, reprinted in: David C. Lindberg, *Studies in the History of Medieval Optics* (London: Variorum Reprints, 1983).

(١٨) حول تيل وبتلو انظر الطبعات الحديثة المرفقة بالترجمة الإنكليزية من: Sabetai Unguru and A. Mark Smith, *Perspectiva*, *Studia Copernicana*; XV and XXIII (Wroclaw: Ossolineum, 1977; 1983), vols. 1 and 5.

خلاصة حول الموضوع، انظر: David C. Lindberg, «Witelo», in: *Dictionary of Scientific Biography*, 18 vols. (New York: Scribner, 1970-1990), vol. 14, pp. 457-462.

حول باشام، انظر: David C. Lindberg, *John Pecham and the Science of Optics* (Madison, Wis.: University of Wisconsin Press, 1970).

(١٩) لا أريد القول بهذا الشأن بأن الصيغة الهندسية للظواهر البصرية هي مجردة كلياً من التضمينات الفلسفية، لكنني ألفت النظر ببساطة إلى أن القواعد التقليدية للبصريات الهندسية متوافقة مع جميع النظريات =

كانت تثير مسائل أخرى، بحيث تتطلب خيارات حذرة وتفكيراً متيقظاً في استدلالات الباحثين.

ظهرت النظريات اليونانية في الضوء بمظاهر عديدة ومتنوعة. فكان الضوء بالنسبة إلى الذريين إشراقاً مادياً. وكانت الرؤية تحدث، بنظرهم، بانتقال غشاء رقيق من الذرات من الجسم المرئي إلى عين المراقب، حاملاً معه الخاصيات المرئية لهذا الجسم إلى ذرات روح المراقب. أما معتقد أرسطوطاليس، الذي كان تأثيره أكثر أهمية لفترة طويلة، فكان يقول إن الضوء هو حالة للوسط الشفاف، وبواسطة هذه الحالة تكون الشفافية في أوج نشاطها؛ وكان يعتبر اللون تغيراً نوعياً تابعاً مُحَثّاً في الشفافية النشطة بواسطة جسم ملون. ويمكن نقل هذا التغير النوعي، من خلال الوسط، إلى عين المراقب الذي يرى نتيجة لذلك. وقد طور الفيثاغوريون، ظاهرياً، نظرية نار الرؤية المنبعثة من العين وهي نظرية نجد أصداء متواصلة لها خلال العصور القديمة والعصر الوسيط. كما طور أفلاطون نظرية الإشراق البصري هذه التي استعملها إقليدس وبطلميوس في نظريتهما الرياضية للرؤية، وحولها جالينوس والرواقيون إلى نظرية «الروح» (Pneuma) البصرية^(٢٠).

وكان كل هذا لم يكن معقداً بما فيه الكفاية، فقد طور أفلوطين، مؤسس الأفلاطونية المحدثة (ت ٢٧٠م)، ميتافيزيقا إشراقية في أواخر العصور القديمة، وفيها أن كل كائن هو ثمرة «الواحد» بواسطة عملية إشراق شبيهة بإشعاع الضوء. ففي العالم الطبيعي كما في العالم الماورائي، يكون كل جسم مركز نشاطات، ويسقط صوراً عن نفسه في محيطه. وهذا الضوء المشع غير مادي على الإطلاق، فهو لا يتكون من جزئيات متحركة (كما يعتقد الذريون) وهو لا يتمثل كذلك في تغيرات نوعية ناتجة في الوسط (كما يعتقد أرسطوطاليس)؛ فالأمر يتعلق بضوء غير مادي ينبثق توأماً فوق الوسط دون أن يتفاعل معه مطلقاً. ويميز أفلوطين أخيراً بين الضوء المشع والضوء الخاص بجسم منير، بحيث إن هذا الضوء الأخير يعمل كالشكل المادي للجسم المنير^(٢١).

لقد نُقل هذا الإرث المعقد إلى العالم العربي حيث استعادته جبهة من الفلاسفة الأكفاء. وقد تبني الكندي، أحد أوائل الفلاسفة العرب (ت نحو ٨٧٣م)، ميتافيزيقا

= تقريباً حول طبيعة الضوء وأنها تتكيف مع الفرضيات الميتافيزيقية المختلفة. وبشكل مبسط، فإن دعاء التصور «المادي» ودعاء التصور «اللامادي» ينضون تحت قوانين الانعكاس والانكسار نفسها. انظر:

David C. Lindberg, «Continuity and Discontinuity in the History of Optics: Kepler and the Medieval Tradition», *History and Technology*, vol. 4 (1987), pp. 430-436.

Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, chap. 1. (٢٠) انظر:

David C. Lindberg, «The Genesis of Kepler's Theory of Light: Light : انظُر» (٢١)

Metaphysics from Plotinus to Kepler», *Osiris*, vol. 2, no. 2 (1986), pp. 9-12.

الإشراق لأفلوطين، إذ زعم أن أي شيء في العالم، مادة كان أم حادثاً، ينتج أشعة على مثال النجوم... بحيث إن أي مكان في العالم يحتوي على أشعة صادرة عن أي جسم له وجود فعلي^(٢٢).

إلا أن الكندي يختلف مع أفلوطين بصدد طبيعة الجوهر المشع، فهو يصر على أن الضوء هو «انطباع» يحدثه الجسم المضيء في وسط شفاف^(٢٣).

كان للمدارس اليونانية الكبيرة الأخرى أنصار أيضاً في العالم العربي. فحنين بن إسحق (ت حوالي ٨٧٧م) الذي ساهم في ترجمة العلم اليوناني إلى العربية، قد تبنى ونشر النظرية الرواقية أو الجالينوسية، التي بموجبها تبرز روح بصرية عن العين وتحول الهواء إلى عضو حساس، أي إلى امتداد للعصب البصري، قادر على إدراك الأجسام التي يلامسها^(٢٤). واعتمد ابن سينا (٩٨٠ - ١٠٣٧م) موقف أرسطوطاليس واعتبر أن الضوء هو خاصية للوسط الشفاف مُحَثّاً بواسطة الأجسام المضيئة. إلا أن ابن سينا يميز، ربما باستعارة من المدرسة الأفلاطونية المحدثة، بين الضوء كما هو في الأجسام المضيئة والضوء في الوسط (وقد سميا «Lux» و«Lumen» في الترجمة اللاتينية لكتابه)؛ ويعرف أيضاً بجوهر ضوئي ثالث وهو الوهج أو الإشعاع الذي يظهر حول الأجسام... كشيء ينبعث عن هذه الأجسام^(٢٥).

لم يحاول ابن الهيثم (٩٦٥ - ١٠٣٩م)، الذي تنتمي أهم مساهماته البصرية إلى حقل الهندسة، دراسة طبيعة الضوء بشكل مدعم أو منهجي. مع ذلك تُظهر أعماله بوضوح أنه اعتمد اعتقاد الطبيعيين الأساسيين الذين، حسب رأيه، اعتبروا أن الضوء شكل جوهري للأجسام المضيئة بذاتها وشكل عرضي للأجسام المضاءة^(٢٦). وهكذا اقترح التمييز المهم بين الضوء الجوهري والضوء العرضي أو المستعار. وقد عالج أيضاً الضوء في وسط شفاف

(٢٢) انظر: Marie Thérèse d'Alverny et F. Hudry, «Al-Kindī, *De radiis*,» *Archives d'histoire doctrinale et littéraire du moyen âge*, vol. 41 (1974), pp. 224 et 228.

Lindberg, *Ibid.*, pp. 12-14.

(٢٣)

Bruce S. Eastwood, «The Elements of Vision: The Micro-Cosmology of Galenic Visual Theory according to Ḥunayn Ibn Ishāq,» *Transactions of the American Philosophical Society*, vol. 72, no. 5 (1982), pp. 1-59, reprinted in: Eastwood, *Astronomy and Optics from Pliny to Descartes*, and Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, pp. 37-41.

(٢٥) انظر: ما ورد من مصادر لابن سينا في قائمة المراجع. انظر أيضاً: Avicenna, *Liber de anima seu sextus de naturalibus*, I, II, III, edited by S. Van Riet (Louvain: E. Peeters; Leiden: E. J. Brill, 1972), pp. 170-172.

(٢٦) انظر: A. I. Sabra, «Ibn al-Haytham,» in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 6, pp. 190-192, and Roshdi Rashed, «Optique géométrique et doctrine optique chez Ibn al-Haytham,» *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 6, no. 4 (1969-1970), p. 273.

باعتباره شكلاً منقولاً من الأجسام المضيئة أو المضاءة إلى المرسل إليه . ويدعم (مع ابن سينا ضد أرسطوطاليس) الرأي القائل بأن الضوء، وكذلك اللون، هما من مواضيع الرؤية؛ فأشكال الضوء واللون تنتشر معاً عبر وسط ملائم وتؤثر في نفس الوقت على القدرة البصرية^(٢٧).

وأخيراً، فإن ابن رشد (ت ١١٩٨م)، ومع أنه مناصر لنظرية أرسطوطاليس في الضوء واللون بشكل عام، قد أجهد نفسه ليوضح الظاهرة المربكة للألوان المختلفة التي تحتل ظاهراً نفس المكان دون أن يختلط بعضها ببعض أو أن تتداخل فيما بينها (كأن يدخل في نفس الوقت شكلان لجسمين أحدهما أبيض والآخر أسود في يؤبؤ عين مراقب). يستنتج ابن رشد أن الأشكال في الوسط ليس لها وجود روحي أو مادي، بل تملك حالة متوسطة بين هذين الطرفين^(٢٨).

إن مهمتنا الرئيسة في هذا الفصل ليست بالتأكيد إجراء إحصاء جديد للمساهمة العربية في علم البصريات، بل تحديد تأثيرها في الغرب. لقد اطلع العلماء الغربيون على مجمل الأفكار اليونانية والعربية حول طبيعة الضوء، واستناداً إليها فقد أعدوا نظريات متنوعة. لقد مارس الكندي، من دون أدنى شك، تأثيراً كبيراً في تصوره الذي يعتبر أن كل الأجسام هي مراكز نشاط تثبت قدرتها أو صورتها في جميع الاتجاهات. ويتوافق هذا التصور جيداً مع تمييز ابن سينا، بين الشكل النشط للأجسام المضيئة، وما ينتج عنها، أي الصورة أو الشكل في الوسط. وربما نجد التعبير الأكثر منهجية عن وجهة النظر هذه في المذهب الذي طوره غروستست وبيكون والمعروف بـ «تعدد الصور» (Species) والقائل بأن الصور تشع في جميع الاتجاهات انطلاقاً من جميع الأجسام لكي تحدث مجمل التأثيرات الطبيعية^(٢٩).

ومن المحتمل أن يكون المظهر الأشد بروزاً في النظريات الغربية حول طبيعة الضوء هو الرفض الإجماعي لفهوم أفلوطين «اللامادي». فجميع العلماء الغربيين تقريباً الذين بحثوا طبيعة الضوء، وتأثير من أرسطو والكندي وابن سينا وابن الهيثم، اعتبروا الضوء كخاصية أو تغير لوسط مادي. لقد انضم «الأفلاطونيون» الذين تبعوا غروستست وبيكون إلى

(٢٧) انظر: David C. Lindberg, «The Science of Optics», in: David C. Lindberg, ed., *Science in the Middle Ages* (Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 1978), pp. 356-357, reprinted in: Lindberg, *Studies in the History of Medieval Optics*.

(٢٨) انظر: Ibn Rushd, *Epitome of the Parva Naturalia*, translated by Harry Blumberg, Mediaeval Academy of America; Publication no. 54 (Cambridge, Mass.: Mediaeval Academy of America, 1961), pp. 15-16.

(٢٩) Lindberg, «The Genesis of Kepler's Theory of Light: Light Metaphysics from Plotinus to Kepler», pp. 14-23, and Bacon, *Roger Bacon's Philosophy of Nature: A Critical Edition, with English Translation, Introduction and Notes, of 'De multiplicatione specierum' and 'De speculis comburentibus'*, pp. xlix-xxi.

«الأرسطوطالين» المتزمتين في اعتقادهم بأن الضوء والوسط مرتبطان بطريقة مبهمة بحيث إنه لا يمكن أن يكون هناك إشعاع ضوئي في غياب الوسط. وإذا استثنينا موقف غليوم دوكام (Guillaume d'Ockham) الذي كان مستعداً لتصور الفعل عن بعد (دون أي وسيط من أي نوع كان)، وحتى للدفاع عن هذا التصور، فقد سادت فكرة الترابط هذه بين الضوء والوسط من دون معارضة حتى أواخر القرن الخامس عشر، عندما حاول مارسيليو فيشين (Marsilio Ficino) إحياء نظرية أفلوطين^(٣٠).

رابعاً: نظريات الرؤية

لم يكن تنوع نظريات الرؤية أقل إرباكاً من تعدد الأفكار حول طبيعة الضوء. ولقد بينا في مكان آخر أن النظريات القديمة للرؤية تشكل ثلاثة أصناف^(٣١):

١ - نظرية البث لإقليدس ولبطلميوس، التي تقول بأن الإشعاع البصري ينبعث من العين. وكان لهذه النظرية غاية رياضية في الأساس: فهي تمثل، قبل كل شيء، نظرية المنظور البصري.

٢ - نظريات الإدخال عند الذريين وأرسطوطاليس، التي كانت في بادئ الأمر نظريات فيزيائية، مخصصة لعرض الاتصال بين المراقب والجسم المرئي، ولتفسير فيزياء النقل^(٣٢).

٣ - نظرية جالينوس التي تتميز عن نظيراتها بالعناية بالتفاصيل التشريحية والفيزيولوجية مع أنها لا تخلو من المحتوى الرياضي والفيزيائي.

وتخرج كل واحدة من هذه النظريات بعض الميزات التفسيرية مع عيوب متنوعة على مستوى التفسير. فنظرية إقليدس الرياضية تقترح تفسيراً هندسياً لإدراك المكان، بطرحها فكرة المخروط البصري؛ لكنها تعود وتتجاهل مسألة الاتصال الفيزيائي بين المراقب والمرئي؛ أما عند بطلميوس، فهذه النظرية نفسها تكتسب محتوى فيزيائياً مادياً^(٣٣)، لكن خاصياتها وتأثيرها تبقى، في الأساس، على المستوى الرياضي. أما نظرية أرسطوطاليس الفيزيائية فإنها تحل مسألة الاتصال الفيزيائي بشكل رائع، لكنها (وبالشكل الذي عرضه أرسطوطاليس) بعيدة عن الرياضيات سواء بمحتواها أم بافتراضياتها. أما نظرية الذريين

Lindberg, Ibid., pp. 14-29.

(٣٠)

Lindberg: *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, pp. 85-86, and «The Science of Optics», pp. 341-342.

(٣٢) يفضل بعض المؤرخين وصف نظرية أرسطو كنظرية «الوسط» أو «التغيير» ومعارضتها مع النظريات الإدخالية. من ناحيتي أفضل اعتبارها كصيغة إدخالية لنظرية التغيير.

(٣٣) أثبتت هذه النقطة من قبل سميث، في: A. Mark Smith, «The Psychology of Visual Perception in Ptolemy's *Optica*», *Isis*, vol. 79 (1989), pp. 189-207.

الفيزيائية فإنها فشلت، على الأرجح، في تحليل الظواهر الفيزيائية - وهذا كان رأي أرسطوطاليس من دون أدنى شك - وبقيت خارج كل اهتمام رياضي. وأخيراً، لاقت نظرية جالينوس في البنوما (Pneuma) البصرية نجاحات لأنها بشكل أساسي عرضت علم التشريح وفيزيولوجيا الرؤية، لكنها لم تذكر إلا القليل بصدد نظرية المنظور، ونظريتها الفيزيائية تبدو غير مستحبة بالنسبة إلى فلاسفة الطبيعة. إن مدى كل واحدة من هذه النظريات كان محدوداً. فانتقاء نظرية للرؤية كان يعني إذاً، وعلى نطاق واسع، اختيار المعايير - الرياضية أو الفيزيائية أو الطبية - التي يراد تليتها^(٣٤).

لقد تحول النقاش في العالم العربي عن طريق اعتبارين نظريين مهمين وعلى قدر كبير من العمق الفكري. قبل كل شيء لقد اقترح الكندي، وكما رأينا، اعتبار الإشعاع الصادر عن جسم مضيء هو عملية غير متماسكة، بحيث إن الجسم لا يشع في هذه العملية كوحدة، بل إن كل نقطة أو كل منطقة صغيرة منه ترسل صورة مستقلة في الوسط المحيط. وهكذا وضح الكندي تصوراً تبيّن أنه أساسي لنظريات الرؤية اللاحقة.

اهتم الكندي بعملية الإشعاع وحدها، ولم يدمج إذاً مبدأه غير المتماسك حول الإشعاع من كل نقطة في نظريته الخاصة للرؤية بواسطة البث. إنما كان هذا من إنجاز ابن الهيثم، بعد قرن ونصف من الزمن، إذ أظهر كيفية إنشاء نظرية إدخالية مرضية عن الرؤية انطلاقاً من مبدأ الكندي. لقد أدرك ابن الهيثم أنه إذا أرسلت كل نقطة من الحقل البصري إشعاعاً بشكل مستقل في جميع الاتجاهات، فإن كل نقطة من العين تستقبل إشعاعاً من كل نقطة من الحقل البصري؛ والخلط في كل نقطة من العين، والنتائج من الأشعة الآتية من مختلف نقاط الحقل البصري، يحدث تشوشاً كاملاً. وهكذا، لتفسير رؤية واضحة ينبغي إيجاد طريقة تتأثر بموجها كل نقطة من العين بنقطة وحيدة من الحقل البصري وبحيث تملك نقاط العين نفس الشكل الذي تملكه نقاط الحقل البصري المؤثر^(٣٥).

حل ابن الهيثم هذه المعضلة مستنداً إلى مبادئ الانكسار. فقد افترض أن شعاعاً واحداً، من بين الأشعة الصادرة عن نقطة معينة من الحقل البصري، يسقط عمودياً على سطح العين، ويدخل بذلك دون انكسار. واعتبر ابن الهيثم أن هذا الشعاع وحده يحدث الإدراك البصري في حين تفقد بقية الأشعة تأثيرها بسبب الانكسار. بالإضافة إلى ذلك، يشكل مجموع الأشعة العمودية مخروطاً بصرياً يقع رأسه في مركز العين وتكون قاعدته الأجسام المختلفة التي تشكل الحقل البصري. وهكذا تم إدخال المخروط البصري لمدرسة

(٣٤) وُسعت هذه النقطة بتعمق أكثر في: Lindberg: *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, pp. 57-60, and «The Science of Optics», pp. 339-342.

(٣٥) حول نظرية الرؤية لابن الهيثم، انظر: Lindberg: *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, chap. 4, and «The Science of Optics», pp. 345-349.

إقليدس الرياضية للمرة الأولى في نظرية إدخالية للرؤية؛ وبذلك تحقق للمرة الأولى المزج بين الميزات الرياضية للمخروط البصري من ناحية (والمقصود هنا نظرية متكاملة للمنظور البصري) والتفسيرات الفيزيائية أو السببية التي تعطيها تقليدياً النظريات الإدخالية من ناحية أخرى. بالإضافة إلى هذا النجاح فقد نجح ابن الهيثم في إدخال النتائج التشريحية والفيزيولوجية لجالينوس وللمدرسة الطبية إلى نظريته، مقدماً بذلك نظرية للرؤية تليها الاهتمامات الرياضية والفيزيائية والطبية في نفس الوقت.

وقبل ترجمات القرنين الثاني عشر والثالث عشر سيطرت نظرية البث، بشكل أو بآخر من أشكالها، على التأملات الغربية في الرؤية، وربما كان ذلك بسبب تأثير أفلاطوني ورواقي. وفي سفر التكوين بالمعنى الحرفي يعلن أغسطينوس أسقف هيبون أن الضوء الصادر عن العين هو من نار تنشأ في الكبد، ومنه تذهب إلى الدماغ، ومن ثم إلى العينين، وذلك عبر «مسالك رقيقة»؛ ويسقط هذا الضوء على الأجسام المرئية ويكشفها لحاسة الرؤية: «إن الأشعة التي ترسلها أعيننا هي، بلا شك، بث نوع من الضوء قادر على التقلص عندما ننظر إلى ما هو قرب العينين وعلى التمدد عندما ننظر في اتجاه الأجسام البعيدة. ونشير، من ناحية أخرى، إلى أن الشعاع البصري يرى الأجسام البعيدة حتى ولو كان متقلصاً، لكنه يراها أقل وضوحاً فيما لو امتد نظرنا إليها. غير أن هذا الضوء الموجود في حاسة الناظر ضعيف لدرجة أنه من دون الضوء الخارجي لا نستطيع الرؤية أبداً»^(٣٦).

وأكد إيزيدورس الإشبيلي في القرن السابع أن «العين هي أضواء أيضاً (Lumina). نسميها أضواء لأن الضوء (Lumen) ينبثق منها، إما لأنها تتضمن ضوءاً داخلياً أصلياً (Lucem)، أو لأنها تبث إلى الخارج ضوءاً وارداً وبذلك تحدث الرؤية»^(٣٧).

إن المكانة التي ازدادت أهميتها أكثر فأكثر في القرن الثاني عشر لمؤلف أفلاطون تيمائوس (Timée) دعمت نظرية النار البصرية. لقد دافع أفلاطون في هذا المؤلف عن الرأي القائل بأن النار البصرية تفيض من العين وتمتزج مع ضوء النهار ليعطيا «جسماً متجانساً وحيداً» وتمدداً من العين إلى الجسم المرئي؛ ويقوم هذا الجسم بدور وسط ناقل لحركات الجسم المرئي إلى الروح. لقد استوعب بسرعة علماء القرن الثاني عشر، مثل أدلار دو باث (Adélar de Bath) وغلوم دو كونس (Guillaume de Conches)، وجهة نظر أفلاطون هذه وحسنوها بإثارتهم بعض الأسئلة الدقيقة، ولكنهم دعموا بشكل عام الاعتقاد القائل بأن النظر ينتج عن إشراق النار من العين^(٣٨).

(٣٦) انظر: Augustin d'Hippone, *La Genèse au sens littéral*, I.16. 31, vol. 1, p. 165.

(٣٧) انظر: Isidore de Séville, *Isidori Hispalensis Episcopi Etymologiarum sive originum libri XX*, edited by W. M. Lindsay, 2 vols. (Oxford: Clarendon Press, 1911), XI.1, pp. 36-37.

(٣٨) Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindī to Kepler*, pp. 5-6 and 91-94.

إن الإجماع النسبي في أوائل العصر الوسيط حول مسألة نظرية الرؤية قد تبدد بسرعة مع الترجمات، التي جلبت للغرب المجموعة الكاملة للفكر اليوناني والعربي حول هذه المسألة. آنذاك اكتسبت نظرية البث دعماً إضافياً انطلاقاً من إقليدس وبطلميوس والكندي والجالينوسيين - علماً بأن فحصاً دقيقاً أظهر اختلافات مهمة بين هؤلاء المؤلفين في كثير من النقاط المحددة. وقد ظهرت في تلك الفترة نفسها النظريات الإدخالية، والمدعومة من سلطات فاعلة والمثبتة بحجج مقنعة. لذلك وجد العلماء الغربيون أنفسهم في مواجهة التحدي في انتقاء وإيجاد توسط بين الخيارات.

إن أول مسعى متواضع للخروج من هذا الارتباك قد قام به غروستست: لقد كان، على الأقل، مطلعاً بشكل محدود على النظرية الإدخالية، بحيث كان يبدو مؤهلاً لاعتمادها جدياً مع بقاءه أميناً للنظرية الأفلاطونية في النار البصرية^(٣٩). كان استنتاج غروستست بأن كل واحدة من هاتين النظريتين تتضمن أشياء صحيحة. فدافع عن نظرية البث ضد «أولئك الذين يأخذون الجزء وليس الكل»، مقدراً أن «بث الأشعة البصرية» ليس «وهمياً وخالياً من الحقيقة»^(٤٠). كما اعتقد من ناحية أخرى أن النظرية الإدخالية غير كاملة أكثر مما هي غير صحيحة؛ ويقول عن الرؤية بأنها «ليست مكتملة باستقبال الشكل الحسي وحده من دون مادة، بل بهذا الاستقبال نفسه الممزوج مع انبثاق الإشعاع الصادر عن العين»^(٤١).

وفي الجيل التالي قام ألبير الكبير (ت ١٢٨٠م) بتحليل أوسع لنظرية الرؤية. لقد دافع في مؤلفات متنوعة عن نظرية الإدخال لأرسطوطاليس ضد النظريات المنافسة لها، وبخاصة ضد نظرية الذرين الإدخالية ونظريات البث لأفلاطون وإقليدس والكندي. ومع ذلك لم يعترض على توسيع نظرية أرسطوطاليس باعتماد عناصر بصرية هندسية مأخوذة من ابن سينا وابن رشد وابن الهيثم، ومفاهيم تشريحية أيضاً مستقاة من التقليد الجالينوسي^(٤٢).

(٣٩) حول نظرية الرؤية لغروستست، انظر: المصدر نفسه، ص ١٠٠ - ١٠١. كانت مهمة غروستست معقدة، لأنه كان يستعمل ترجمة ميشال سكوت (Michael Scott) لكتاب أرسطو *De animalibus*؛ وبسبب خطأ في الترجمة، يبدو أرسطو مدافعاً عن نظرية الانبعاث. انظر: Sybil Douglas Wingate, *The Mediaeval Latin Versions of the Aristotelian Scientific Corpus, with Special Reference to the Biological Works* (London: Courier Press, 1931), p. 78.

(٤٠) *De iride*، نقلاً عن: Grant, *A Source Book in Medieval Science*, p. 389.

(٤١) انظر: Grosseteste, *Commentarius in Posteriorum Analyticorum Libros, II.4*, edited by: Pietro Rossi (Florence: Leo S. Olshki, 1981), p. 386.

لوحظ وترجم هذا المقطع لأول مرة بواسطة كرومبي انظر: Alistair Cameron Crombie, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science, 1100-1700* (Oxford: Clarendon Press, 1953).

(٤٢) Lindberg: *Theories of Vision from al-Kindi to Kepler*, pp. 104-106, and «Roger Bacon and the Origins of *Perspectiva* in the West», pp. 249-268.

إن ردة الفعل الغربية والتي اتضح أنها الأكثر تأثيراً كانت لروجر بيكون، معاصر ألبير الأكبر. لقد كان بيكون أول عالم غربي استوعب بشكل تام نظام ابن الهيثم البصري؛ إننا لا نعلم على وجه الدقة متى وكيف اطلع على كتاب المناظر، لكنه عندما ابتداء بتأليف أعماله الرئيسية في البصريات، في السنوات ١٢٥٠ أو ١٢٦٠م، برزت فيها نظريات ابن الهيثم التي دلت بقوة على فهمه لهذا العلم. وهكذا اعتمد بيكون تصوراً واسعاً لأهداف علم المناظر، معترفاً بأنه يطال في الواقع مواضيع رياضية وفيزيائية وتشريحية وفيزيولوجية وحتى نفسية.

لقد استمد بيكون جميع الجوانب الأساسية لنظريته في الرؤية من ابن الهيثم. فإن أشكالاً (Species) تنبعث في جميع الاتجاهات من كل نقطة من الحقل البصري. والإشعاع الذي يسقط مائلاً على عين المراقب ينكسر ويضعف. في حين أن الأشعة العمودية هي الوحيدة الفاعلة في عملية الرؤية، وهي تشكل مخروطاً بصرياً يفسر الخصائص الرياضية للإدراك البصري. وكانت فيزياء الإدراك أيضاً موضوع انتباه كبير من طرف بيكون. فقد وسعها في نظريته حول تعدد الأشكال. إن هذه الأشكال تدرك داخل العين في عدسات الجليدية، ومن ثم تنتقل عبر «الطريق البصري»، الذي حدده جالينوس وحنين بن إسحق، إلى الدماغ^(٤٣).

لكن بيكون كان يملك ميولاً توفيقية قوية. لقد وجد ابن الهيثم مقنعاً، لكنه لم يرد إنكار نفوذ أفلاطون أو إقليدس أو أرسطوطاليس أو بطليموس أو القديس أغسطينوس أو الكندي. لذلك حاول إثبات التوافق بين جميع هذه المرجعيات الرئيسة في علم البصريات، فمفاهيم هؤلاء العلماء قد تكون جزئية، لكن أياً منها ليس خاطئاً. وهكذا انقاد إلى طرح مسائل مثيرة للاهتمام كمسألة معرفة ما إذا كان تحول الوسط الذي اقترحه أرسطوطاليس، وأشكال ابن الهيثم، وأشكال غروستست ما هي إلا الشيء نفسه (في الواقع كان هذا أيضاً هو رأي بيكون). أما معضلة التوفيق بين نظرية الإدخال لأرسطوطاليس وابن الهيثم، ونظرية البث لإقليدس وبطليموس والقديس أغسطينوس والكندي فقد كانت أكثر صعوبة. لقد حل بيكون هذه المعضلة بطريقة بارعة، إذ أوضح أنه على الرغم من أن أرسطوطاليس وابن الهيثم كانا محقين في تأكيدهما أن إدخال الأشعة هو السبب المباشر للرؤية، إلا أن لا شيء في أعمالهما يستبعد وجود إشعاع متزامن للأشكال الصادرة عن العين – فالأشكال هذه تُستخدم لتحسين الضوء أو الأشكال الواردة إلى العين، بتحضير هذه الصور الأخيرة للتأثير في العين وفي القدرة البصرية.

من غير المفيد هنا الدخول في تفاصيل نظرية بيكون. والشيء المهم هو أنه قدم تركيباً

(٤٣) حول نظرية الرؤية لبيكون، انظر: Lindberg, *Theories of Vision from al-Kindi to Kepler*, pp. 107-116.

ضخماً للمعارف البصرية اليونانية والعربية، وقد أظهر هذا التركيب تأثيره الكبير لأكثر من ثلاثمئة سنة. لم تكن النسخ المخطوطة لأعمال بيكون البصرية وحدها واسعة الانتشار، بل إن أفكاره أيضاً تعممت بشكل واسع النطاق عبر الكتب الشعبية لمعاصريه الأصغر منه سناً أمثال ويتلو وجان باشام. كذلك استمرت أعمال ابن الهيثم في نفس العصر، في نشر المعارف في علم البصريات وفي توجيهها بشكل مباشر. وتابعت مدرسة المنظور (Perspectiva) مسيرتها عبر القرون الرابع عشر والخامس عشر والسادس عشر بدمج إنجازات ابن الهيثم وأعمال مؤلفين آخرين، يونانيين وعرباً. وعندما تطرق جوهانس كبلر (Johannes Kepler) إلى مسألة الرؤية في أوائل القرن السابع عشر، ابتداءً من حيث كان ابن الهيثم قد توقف^(٤٤).

(٤٤) حول تأثير البصريات العربية، انظر دايفيد ليندبرغ، «المقدمة»، لإعادة طبع:

Abū 'Alī al-Hasan Ibn al-Hasan Ibn al-Haytham, *Opticæ Thesaurus. Alhazeni Arabis Libri Septem... Item Vitellonis Thuringopoloni Libri X*, edited by Federico Risner (Basel: Per Episcopios, 1572), reprinted (New York: Johnson Reprint Corporation, 1972), pp. xxi-xxv, and Lindberg, *Ibid.*, chaps. 6-9.