

Chapter 2

Arabic Text and Translation

F MS Fāṭih
B MS Bodleian
P MS Petersburg
O MS India Office 1270
L MS India Office 461

F117r O79r P21v B81v L8v

In the name of God, the Merciful¹

al-Ḥasan ibn al-Ḥasan ibn al-Haytham's Epistle on the Shape of the Eclipse

<1. *The Observations*>

<1.1 *Effect of the Size of the Aperture on the Image of the Sun*>

A crescent-shaped image of the light of the Sun can be seen² at the time of the eclipse, if its light has passed through a narrow circular aperture and has reached³ a plane opposite the aperture, provided the eclipse is not a total one and the shape of its remaining part <of the Sun> is crescent-shaped. No such thing happens with the eclipse of the Moon, nor in the early or last days of the month⁴ when the Moon is crescent-shaped, and even though the remaining part of the Sun, when the eclipse is not a total one, resembles the shape of the Moon at the beginning or at the end of the month. Whenever a substantial part of the Sun remains, it looks like a crescent <Moon>, ^{F117v} when it is seen on clear nights. And if, in the early or last days of the month, the Moon is facing a body with an aperture similar to that which produces a crescent-shaped image when the Sun is facing that aperture at the time of its eclipse,

-
1. O add. "Glory to Allah" and B add. "Help me Lord."
 2. Lit.: "There may be a crescent-shaped image..."
 3. Lit.: "has ended up to..."
 4. Lit.: "months" in plural, that is, "when the Moon is waxing or waning."

بسم الله الرحمن الرحيم

مقالة للحسن بن الحسن بن الهيثم في صورة الكسوف

قد يوجد صورة ضوء الشمس في وقت كسوفها، إذا خرج ضوءها من ثقب ضيق مستدير وانتهى إلى سطح مقابل الثقب على مثل شكل الهلال، إذا لم يستغرق الكسوف جميعها وكان شكل ما تبقى منها هلالياً. وليس يظهر⁵ مثل هذه الحال في كسوف القمر ولا في أوائل الشهور وأواخرها إذا كان القمر هلالاً، وشكل ما تبقى من الشمس، إذا لم يستغرق الكسوف جميعها، يشبه شكل القمر في أوائل الشهور وأواخرها. وإذا^{omL} كان ما تبقى من الشمس جزءاً مقتدرًا، فهو يشبه الهلال، إذا مضت له^{F117v} ليالي يسيرة. وإذا^{omL} قبل القمر في أوائل الشهور وأواخرها بجسم فيه ثقب مثل¹⁰ الثقب الذي يظهر منه صورة الهلال عند مقابلة الشمس بذلك الثقب في وقت كسوفها، وظهر ضوء القمر على سطح مقابل الثقب انما يوجد الضوء

وإذا 8 || marg P] اذا كان القمر ... واواخرها 6 || om L] في 2 || add B رب أعن add O العزة لله] الرحيم 1 post
16 words om L by homoioarkhton] كان ما تبقى ... ليالي يسيرة. وإذا

and <if> the moonlight appears on the plane opposite the aperture, its light will always be circular. It <the moonlight> will never be like the image ^{L9r} of the sunlight, even if the two apertures facing the Sun and the Moon are equal, ^{P22r} and if the distance that separates the two planes displaying the light from the two planes of the apertures⁵ are equal on both occasions. |^o||^b

And this is true⁶ in the event the eclipse of the Moon is not a total one and what remains of it is crescent-shaped; its light coming from the aperture is not crescent-shaped. |^o||^b

However, ^{B82r} the image that results from the light of the Sun at the time of its eclipse only appears such <i.e. crescent-shaped> if the aperture is narrow and up to a certain extent of capacity. Then, if the aperture is expanded further,⁷ the image of the shape appearing on the plane opposite the aperture is changed. And the more increased the capacity of the aperture, the more changed the image. This change continues until some limit of capacity of the aperture, at which the figure that appears in the light emerging from the aperture is no longer crescent-shaped, but circular.⁸ Subsequently, no matter how large the aperture afterwards, the light will always be displayed as circular provided that the aperture is circular. |^o||^b

5. Lit.: “the two planes of the two apertures.”

6. Lit.: “Similarly in the case of the Moon, at the time of the eclipse...”

7. This notion already appears in Pseudo-Aristotle’s *Problemata Physica* XV, 11, where one reads: “διὰ μεγάλων ὀπῶν,” “per foramina ampliora,” and also, with a little more doubt, “<μικρ>αὶ ... ὀπαὶ γίνονται,” “<parva> ... foramina fiunt.”

8. Lit.: “and the light that comes out from the aperture becomes circular.”

أبدًا مستديرًا. ولا يوجد في وقت من الأوقات على مثل الشكل الذي يظهر
 من ضوء L_{9r} الشمس، وان كان الثقبان اللذان يقابلان بهما الشمس والقمر
 متساويين، وكان بُعد السطحين P_{22r} اللذين يظهر عليهما الضوء عن سطحي
 الثقبيين في الوقتين متساويين. I^{PO}

وكذلك حال القمر في وقت كسوفه، إذا لم يستغرق الكسوف جميعه
 وكان ما يبقى منه على مثل شكل الهلال، ليس يكون ضوءه الذي يخرج
 من الثقب هلالياً. I^{OB}

ومع ذلك B_{82r} فإن الصورة التي تظهر من ضوء الشمس في وقت كسوفها
 إنما تظهر إذا كان الثقب ضيقاً وإلى حد من السعة. ثم إذا وسع الثقب،
 تغيرت صورة الشكل التي يظهر على السطح المقابل الثقب. وإذا زيد في
 سعة الثقب زاد التغير الذي في الصورة. ثم يتمادى هذا التغير إلى أن ينتهي
 الثقب إلى حد من السعة، فتبطل الهلالية التي يظهر في الضوء omL الذي
 يخرج من الثقب ويصير omF الضوء الذي يخرج من الثقب $omFL$ مستديرًا.
 ثم كلما وسع الثقب omF بعد ذلك ظهر الضوء أبداً omF مستديرًا omL إذا
 كان الثقب مستديرًا. $I^{OB} \text{ } omL$

BOL the verb يظهر [تظهر 20 || O سطح [سطحي 15 || F يظهرهما [عليهما 15 || BPL يقابل FO يقابلان [يقابلان 14
 الذي يخرج من الثقب 24 || B صورت [صورة 22 || BOL يظهر [تظهر 21 || الصورة follows the fem sing تظهر
 بعد ذلك ظهر 26 || 5 words om F [الضوء الذي يخرج من الثقب 25 || 10 words om L [ويصير الضوء الذي يخرج من الثقب
 4 words om L [إذا كان الثقب مستديرًا 26 || 5 words om F [الضوء أبداً

If one experiments⁹ with sunbeams¹⁰ emerging from wide apertures at the time of the solar eclipse, they will always appear similar to the shape of the apertures: If the wide aperture is circular, the light that comes out from it will appear circular; If the aperture is square,¹¹ the light^{P22v} coming out from it will appear square,^{L9v} and so on, with any other shape of the aperture, provided that it is wide. The shape of the sunlight that comes from it at the time of the eclipse will be as the shape of the aperture, provided that the plane displaying¹² the light is parallel to the plane of the aperture. ||^P||^{BO}

<1.2 A Different Observations in the Case of the Moon>

But if the moonlight¹³ comes out from one of these apertures and appears on the plane parallel to the aperture, and if the aperture is circular, the light will only be circular,¹⁴ whenever the aperture is narrow, the Moon is full or crescent-shaped, as is the case within the first or last days of the month, or at the time of an eclipse. Likewise, while the moonlight comes out from apertures of different forms, the image of its shapes will be similar to the shapes of the apertures. ||^P||^{BO}

9. On the verb to experiment (*i'tabara*) see Commentary, pp. 95–6.

10. Lit.: “If the lights of the Sun emerging... are experimented.” Light in plural denotes the rays of the Sun observed in different situations. See Commentary, p. 145.

11. This passage is reminiscent of Pseudo-Aristotle’s *Problemata Physica* XV, 6: “Why is it that when the Sun passes through quadrilaterals, as for instance in wickerwork, it does not produce a figure rectangular in shape but circular?” (trad. Hett 1936: 333). This notion again appears in Book XV, 11 (1936: 341). The Greek and Latin wordings are: “διὰ τί δ’ ἥλιος διὰ τῶν τετραπλεύρων διέχων οὐκ εὐθύγραμμα ποιεῖ τὰ σχήματα, ἀλλὰ κύκλους,” “Cur sol, per quadrangula penetrans, non figuras rectis lineis terminatas, sed circulos efficit?” The notion also appears in Book XV, 11: “δι’ ὁπῆς ἐὰν λάμπῃ εὐγονίου τὸ φῶς,” or “per angulatum foramen lux illuscescit.”

12. Lit.: “on which the light is displayed...”

13. Lit.: “As for the moonlight, if it comes...”

14. The idea of comparing the Sun and the Moon also goes back to *Problemata Physica* XV, 11: “ἀπὸ δὲ τῆς σελήνης οὐ γίνονται, οὐτ’ ἐκλειπούσης, οὐτ’ ἐν αὐξήσει οὕσης, ἢ φθίσει,” “Luna autem huiusmodi lunulas non producit, neque deficiens, neque increscens, neque decrescens.”

وإذا اعتبرت أضواء الشمس التي تخرج من الثقوب الواسعة في وقت كسوف الشمس، وجدت أبداً على مثل أشكال الثقوب: إن كان الثقب الواسع مستديراً r^{omF} ظهر الضوء الذي يخرج منه r^{omF} مستديراً، وإن كان 30 r^{omF} الثقب مربعاً ظهر الضوء الذي يخرج منه $P22v$ مربعاً، $L9v$ وبأي شكل كان الثقب، إذا كان واسعاً. فإن شكل ضوء الشمس الذي يخرج منه في وقت كسوفها يكون r^{omF} على مثل شكل الثقب، إذا كان السطح الذي يظهر عليه الضوء موازياً لسطح الثقب. $I^{p||BO}$

35 r^{omF} وأما ضوء القمر فإنه إذا خرج من r^{omL} ثقب من الثقوب وظهر على سطح موازي للثقب وكان الثقب مستديراً، فليس يكون الضوء إلا مستديراً وان كان الثقب ضيقاً r^{omF} كان القمر هلالاً أو كان ممتلئاً أو فيما بين r^{omF} ذلك في أول الشهر كان ذلك أو في آخره أو في وقت كسوفه. وكذلك إذا خرج ضوء القمر من r^{omL} الثقوب المختلفة r^{omF} الأشكال إنما يكون صورها 40 على مثل أشكال الثقوب. $I^{p||BO}$

الشمس follows the mağāzī fem sing تخرج BP the verb OL s.p. يخرج F يخرج [تخرج 28 || FBPOL أضوا [أضواء 28
الثقب 31 || 5 words om F [ظهر الضوء الذي يخرج منه 30 || om F [الثقب الواسع 29 || om F [الشمس 29 ||
ضوء الشمس 32 || marg F [ظهر الضوء الذي يخرج منه مربعاً 31 || 26 words om F [مربعاً ظهر ... وقت كسوفها يكون
ثقب من الثقوب ... إذا خرج ضوء 35 || 27 words om F [وأما ضوء القمر ... وان كان الثقب ضيقاً 35 || L الضوء [الذي
om L [صورها 39 || 21 words om F [ذلك في أول الشهر ... من الثقوب المختلفة 38 || 48 words om L [القمر من
add L وا كانت ضيقه [الثقوب post 40

^{B82v} Since things are so, we resolved to investigate the cause that makes this effect appear with the Sun and not with the Moon, and why, in the case of the Sun, it happens through narrow apertures and not through wide apertures. |^o When we carefully investigated the matter and we deeply examined it, its cause was disclosed to us and its reason appeared to us. We then composed this epistle about it. This is when we began our discourse by saying: |^{FOp}||^B

<2. The Principles of the Demonstration>

<2.1 Rectilinear Propagation of Light; Homothety>

^{P23r} From every point of every self-luminous body, light radiates in every straight line that can be extended from that point. We have explained that, with due proof and experimentation, in the first book of our work on *Optics*.¹⁵ Every self-luminous body ^{O79v} facing a dense body with an aperture throws light from each of its points to that aperture by means of a cone, whose apex¹⁶ is that point <of the self-luminous body>, and whose base is the aperture. This implies that if the light diffused¹⁷ in that cone is prolonged towards ^{L10r} its base and hits the plane of the body parallel to the plane of the aperture, <a light> will appear on that plane, whose form is like that of the aperture, because any plane cutting the body of a cone parallel to the base of the cone produces a section of the envelope surface of the cone similar to the

15. Lit.: “in the first section (*maqāla*) of our book of Optics.” This passage is a paraphrase of the *Optics* I, 3.19: “From every part of every self-luminous body, light radiates in every straight line extending from that part” (Sabra 1989, I: 20), a matter which is studied in depth in Chapter 3. Ibn al-Haytham performed various experiments to test this property, especially in Prop. 3.3, dealing with the propagation of light in dusty chambers, and proved it to be true for the light of the Sun, the Moon, the fire and even accidental lights. Interestingly, Prop. 3.11 considers the light of the Sun at the time of the eclipse.

16. Lit.: “head” (رأسه).

17. Lit.: “extended.”

B82v ولما كان ذلك كذلك رأينا أن نبحث عن العلة التي من أجلها يظهر هذا المعنى في الشمس ولا يظهر في القمر، ويظهر في الشمس من الثقوب الضيقة ولا يظهر من الثقوب الواسعة. ^{١٥} ولما أنعمنا البحث ^{omL} عن ذلك واستقصينا النظر فيه انكشفت لنا علته وظهر لنا سببه فالفنا فيه هذه المقالة ^{omL}. وهذا حين ابتدأنا بالقول في ذلك: ^{FOP}||^B

45

P23r كل جسم مُضيء فإنه يخرج من كان نقطة منه ضوء على كل خط مستقيم يصح أن يمتد من تلك النقطة. وقد بينا ذلك بالبرهان والاعتبار جميعا في المقالة الأولى من كتابنا في المناظر. فكل جسمٍ مضيء ^{O79v} يقابل جسمًا كثيفًا فيه ثقب، فإن كل نقطة من ذلك الجسم المضيء يخرج منها ضوء إلى ذلك الثقب على شكل مخروط رأسه تلك النقطة ⁵⁰ وقاعدته ذلك الثقب. فيلزم من ذلك أن ذلك الضوء الممتد في ذلك المخروط، إذا امتدّ المخروط في جهة ^{L10r} قاعدته وانتهى إلى سطح جسم مواز لسطح الثقب، أن يظهر على ذلك السطح، ضوء شكله شكل ذلك الثقب، لأن كل سطح مستو يقطع جسمًا مخروطًا ويكون ذلك السطح

om L [الثقوب 43] صار هذا F [يظهر هذا 41] OL s.p. P يبحث FB يبحث [نبحت 41] || marg B [ذاك 41]
 16 [عن ذلك واستقصينا ... فيه هذه المقالة 43] || om F 4 words الحث عن ذلك واستقصينا and فلما انعمنا F [ولما أنعمنا 43] ||
 || add F انما [فانه 46] || add F وقول [كل 46] ante 46 || ابتدأنا BPO ابتدأنا FL [ابتدأنا 45] || words om L
 على 50 || om B [ضوء 50] || om F [كتابنا في 48] || transp F يخرج منه كان نقطة من [يخرج من كان نقطة منه 46]
 [مستو 54] || BO موازي [مواز 53] || F كل [ذلك 51] || marg B [شكل مخروط راسه تلك النقطة وقاعدته ذلك الثقب
 مستوي BO

base of the cone. |^o This has been shown in the first chapter of the book of *Conics*.¹⁸ Therefore, what appears from the body of the Sun at the time of the eclipse is crescent-shaped. ^{P23v} If, at the time of the eclipse, the Sun is facing a dense body with a circular aperture, from each point of the self-luminous crescent,¹⁹ which is the <visible> part of the Sun, a light is emitted to the entire ^{B83r} area²⁰ of the aperture and any following surface. It is thus clear that the light, coming from every point of the luminous part of the Sun to the aperture opposite the Sun, is in the form of a cone, whose apex is the point of that luminous part <of the Sun> and the base is the plane of the aperture. All light endlessly extends in straight lines, unless it is intercepted by a dense body. On hitting a dense body, it appears on the surface of that body. The light cone, which comes out from a point of the Sun to the aperture ^{F118r} opposite the Sun, extends in straight lines to the plane of the body opposite the aperture, and light appears on this plane. If this plane is parallel to the plane of the aperture, the shape of the light that appears on the plane ^{L10v} parallel to the aperture will be in the form of the aperture. |^p||^{BO}

18. This is a reference to Apollonius, *Conics*, I,4: “Si l’une ou l’autre de deux surfaces opposées par le sommet est coupée par un certain plan parallèle au cercle sur lequel se déplace la droite qui décrit la surface, le plan intercepté par la surface sera un cercle ayant son centre sur l’axe” (Decorps-Foulquier et al. 2008: 17). This property was generalized to all sections in *Conics* VI, 26 (hyperbolas) and VI, 27 (ellipses). Although only basic knowledge of conics appears here, Ibn al-Haytham gained—conceivably at a later date—extensive knowledge of Apollonius, as evidenced by his *Completion of the Conics*, which aimed at reconstructing the lost Book VIII (Hogendijk 1985; Rashed 2000: 146–271).

19. Arabic has two words for light: ضوء (*daw’*) refers to the light of the light source *per se*, whereas نور (*nūr*) refers to the effect of the light on surrounding objects. This is roughly the difference between the light emitted and the light received. The word *daw’* corresponds to the Greek “φῶς” and to the Latin “lux,” while *nūr* agrees with the Latin “lumen.” In addition, the Arabic term شعاع (*shu‘ā’*) refers to the lightbeam or radiation of light, which corresponds to the Greek “ἄκτινες” and to the Latin “radius.” Surprisingly enough, there is no difference whatsoever in *On the Shape of the Eclipse*, where the term *daw’* is used throughout in all three situations. In order to dispel ambiguity, I have translated throughout the crescent Sun by “self-luminous crescent” and the patch of light by “light crescent.”

20. Lit.: “surface.”

موازيًا لقاعدة ذلك المخروط، فإن الفصل المشترك بين السطح المستوي 55 وبين سطح المخروط يكون شكله شبيهاً بشكل قاعدة المخروط. 1° وقد تبين هذا المعنى في المقالة الأولى من كتاب المخروطات. والذي يظهر من جرم الشمس في وقت كسوفها r_{omL} يكون على شكل الهلال. $P23v$ فإذا قوبلت الشمس في وقت كسوفها r_{omL} بجسم كثيف فيه ثقب مستدير، فإن كل نقطة من الهلال المضيء، الذي هو جزء من الشمس، يخرج منها 60 ضوء إلى جميع $B83r$ سطح الثقب r_{omL} وإلى جميع ما يليه من سطوح الأجسام. فيعرض من ذلك أن يكون الضوء، الذي يخرج من كل نقطة من الجزء المضيء من الشمس إلى الثقب المقابل للشمس، r_{omL} على شكل مخروط، رأسه تلك النقطة من الجزء المضيء وقاعدته سطح الثقب. وكل ضوء فهو يمتدّ أبداً على استقامة ما لم يلق جسمًا كثيفًا. فإذا لقي جسمًا 65 كثيفًا ظهر على سطح ذلك الجسم. فالمخروط المضيء، الذي يخرج من نقطة من الشمس إلى الثقب $F118r$ المقابل للشمس، يمتد على استقامة إلى أن ينتهي إلى سطح الجسم المقابل للثقب ويظهر الضوء على هذا السطح. وإذا كان هذا السطح موازيًا لسطح الثقب، كان شكل هذا الضوء الذي يظهر على السطح $L10v$ الموازي للثقب على مثل شكل الثقب. $I^{P||OB}$ 70

والى جميع ما 61 || 10 words om L] يكون على شكل ... في وقت كسوفها 58 || L فإذا قومت] والذي يظهر من جرم 57
 follows يمتد s.p.BP the verb] يمتد 67 || add L التي] النقطة post 64 || 27 words om L] ... الثقب المقابل للشمس
 B موازيًا لسطح] موازيًا لسطح 69 || FO لسطح BPL سطح] سطح 68 || المخروط, the masc.sing.

<2.2 The Point-Analysis of the Image>

It is clear from what we have mentioned ^{P24r} that if, at the time of the eclipse, the Sun is facing a dense body with a circular aperture, its light emerges from every point of the visible crescent of the Sun to the aperture, extends to the plane parallel to the aperture and forms a circular light on this plane. Therefore, on the plane parallel to the aperture, there will be circular lights, compact and overlapping each other, none of which is distinguished from the rest. The totality of these lights is endlessly surrounded by a continuous shadow, which is the shadow of the dense body surrounding the aperture. ||^{FBO}

Consider²¹ now the shape of the perimeter of this <solar crescent-shaped> light and its magnitude. |^{Fo}

We say that, if from every point of every self-luminous body a light is emitted along any straight line properly extended from that point, then the entire body will be luminous, and the light will be emitted from all of it to any opposite point, provided that there is no dense body between that ^{B83v} point and the self-luminous body that would cut off some of the imaginary lines which lie between that point and the whole self-luminous body.²² This implies that each point of the plane of the aperture opposite the Sun at ^{L11r} the time of the eclipse receives the light cone, whose base is the self-luminous crescent, which is the visible part of the Sun, and whose apex is that point of the aperture. If this cone is prolonged ^{P24v} on the side of its apex, it will hit the plane parallel to the aperture. Thus is formed another cone, whose apex is

21. Lit.: “the shape... is investigated” (passive form).

22. This is reminiscent of Ibn al-Haytham, *Optics* I, 3.1: “We find that the light of every self-luminous body radiates on every body opposite to it when there is not between them an opaque or non-transparent body that screens one from the other” (Sabra 1989, I: 13).

فيتبين مما ذكرناه أن ^{P24r} الشمس في وقت كسوفها، إذا قوبلت بجسمٍ كثيفٍ فيه ثقب مستدير، فإن كل نقطة من الهلال الظاهر من الشمس يخرج منها ضوء إلى الثقب ويمتد إلى السطح الموازي للثقب ويحدث في هذا السطح ضوءًا مستديرًا. فيصير في السطح الموازي للثقب أضواء مستديرة متراصة متداخلة بعضها في بعض لا يتميز أحدها عن الباقية. ⁷⁵ ويكون جملة هذه الأضواء متناهية يحيط بها ظل مُتصل، هو ظل الجسم الكثيف المحيط بالثقب. ^{FBO} ||

فليبحث الآن عن شكل محيط هذا الضوء وعن مقداره. ^{FO} |
^{omB} فنقول إنه إذا كان كل نقطة من كل جسم مضئ يخرج منها ضوء على كل خط مستقيم يصح أن يمتد ^{omL} من تلك النقطة، فإن كل الجسم ⁸⁰ مُضئ فإن الضوء يخرج من جميعه إلى كل نقطة تقابله، إذا لم يكن بين تلك ^{B83v} النقطة وبين الجسم المضئ جسم كثيف يقطع شيئًا من الخطوط المتخيلة التي بين تلك النقطة وبين جميع الجسم المضئ. فيلزم من ذلك أن كل نقطة من سطح الثقب المقابل للشمس في ^{L11r} وقت كسوفها يخرج إليها مخروط مضئ قاعدته الهلال المضئ، الذي هو الجزء الظاهر من ⁸⁵

فبقول 79 || L فليبحث FBO فليبحث 78 || FBOL من P عن 75 || F ضوء مستدير [ضوءًا مستديرًا 74
 FBPOL جسم [الجسم 80 || marg P [فان كل جسم... المضئ 80 || 20 words om B [إنه إذا كان ... يصح أن يمتد
 om L [المتخيلة 83 || transp L فإن يخرج الضوء [فإن الضوء يخرج 81 ||

that point of the aperture, and opposite the first cone.²³ This cone is cut by the plane parallel to the aperture. The plane of the aperture is parallel to the plane of the circle tangent to the first cone along the perimeter of the Sun, or nearly. Between them, namely, the plane of the aperture and the plane of the circle bounding the Sun, there is no perceptible <angular> difference;²⁴ for the plane parallel to the aperture is parallel to the plane of the circle bounding the Sun, whenever the aperture is opposite the Sun. The surface of this circle is cut by the hidden surface of the Sun along a concave line, which is the perimeter of the hidden part of the Sun within the plane of the circle bounding the Sun. Thus the plane parallel to the aperture is parallel to the plane of the crescent-shaped figure which ^{080r} appears to be the perimeter of the luminous part of the Sun. I mean by the surface of the crescent: the surface that is bounded by two arcs in the plane of the circle surrounding the Sun, for this is the crescent-shaped figure perceived by the sense²⁵ as the perimeter of the luminous part of the Sun. Light, which occurs on the plane parallel to the aperture from the cone

23. This passage possibly alludes to Pseudo-Aristotle's *Problemata* XV, 11, reasoning by similarity in opposite cones. The Greek and Latin passages read as follows: “δύο γίνονται κῶνοι, δ' τ' ἀπὸ τοῦ ἡλίου πρὸς τὴν ὀπὴν καὶ δ' ἐντεῦθεν πρὸς τὴν γῆν, καὶ συγκόρυφοι,” “Duo fiunt coni eodem apice utentes, qui de sole ad foramen extenditur, et qui inde ad terram.”

24. اختلاف محسوس (*ikhtilāf maḥsūs*) or “significant difference,” has the same root as the word “sense”—Latin: “differentia sensibilis.” See note 25. Wiedemann translates this passage as: “Der Tangentialkreis des Kegels liegt etwas näher bei uns als der Sonnenmittelpunkt” (1914: 156). This is a mistake: Wiedemann points out the *difference of distance* between the circle tangent to the Sun and the center of the Sun, while Ibn al-Haytham had in mind the *angular difference* between the circle tangent to the Sun and the plane of the aperture.

25. الحس (*al-hiss*) here refers to eyesight. The Arabic root *hss* is long-winded: *aḥassa* (sentire), *al-ḥass*, *ḥassā*, *ḥiss* and *iḥsās* (sensus), *ḥassās* and *maḥsūs* (sensibilis) and *al-ḥass* (sentiens). *On the Shape of the Eclipse* has no fewer than twelve items of “sense” and its derivatives. They could have been rendered by the French “sens, sensible, insensible” but, given the peculiarities of English, I decided on “perception, perceptible, imperceptible, etc.” to avoid any confusion. For a study of Ibn al-Haytham's approach to perception, see Sabra (1978: 169–85; 1989, I: 67–8). For a Latin echoing of this theory (Smith 2001, 1: lii–lxxx).

الشمس، ورأسه تلك النقطة من الثقب. وهذا المخروط إذا امتد من P24v جهة رأسه، فهو ينتهي إلى السطح الموازي للثقب. ويحدث منه مخروط رأسه تلك النقطة من الثقب مقابلاً للمخروط الأول. وهذا المخروط ينقطع بالسطح الموازي للثقب. وسطح الثقب موازي لسطح الدائرة التي تماس عليها المخروط الأول محيط الشمس، أو ليس بينه، أعني سطح الثقب، 90 وبين سطح الدائرة المحيطة بالشمس اختلاف محسوس؛ فالسطح الموازي للثقب مواز لسطح الدائرة المحيطة بالشمس، إذا كان الثقب مواجهاً للشمس. وسطح هذه الدائرة يقطع السطح المستتر من الشمس، فالخط المقعر الذي هو محيط الجزء المستتر من الشمس في سطح الدائرة المحيطة بالشمس. فالسطح الموازي للثقب هو مواز لسطح الهلال الذي 95 يظهر محيطاً بالجزء المضيء من الشمس. وأعني بـ O80r سطح الهلال: السطح الذي يحيط به قوسان وهو في السطح الدائرة المحيطة بالشمس، لأن هذا الهلال هو الذي يدركه الحس محيطاً بالجزء المضيء من الشمس. فالضوء، الذي يحدث في السطح الموازي للثقب من المخروط الذي قاعدته الهلال المضيء من الشمس، موازي لشكل الهلال المضيء 100

BO موازي [مواز 92 || om L [الشمس 90 || om L [التي تماس 89 || om L [مقابلاً 88 || om L [الموازي 87
 وأعني [وأعني 96 || om F [محيطاً 96 || BO موازي [مواز 95 || marg F الثقب scr del الشمس [الثقب 92 ||
 [في 97 || om F [يحيط به 97 || om B [السطح 97 || O سطح FBPL بـسطح [بـسطح 96 || B أعني FPOL
 marg P [الذي يدركه للحس محيطاً بالجزء المضيء من الشمس. فالضوء 98 || repet O

whose base is the self-luminous crescent of the Sun, is parallel and similar²⁶ to the self-luminous crescent ^{P25r} as required in opposite cones. This notion has been shown in the first book ^{B84r} of *Conics*.²⁷ |^o

Each point of the plane of the aperture receives from the self-luminous crescent of the Sun a cone, whose base is the self-luminous crescent and whose apex is that point of the aperture. This cone hits the plane parallel to the aperture and, from it <the aperture>, an opposite cone is produced. Light cast by the opposite cone onto the plane parallel to the aperture has a shape similar to the shape of the self-luminous crescent, and it is luminous too. |^o

Light, which appears on the plane parallel to the aperture at the time of the solar eclipse, is an aggregate of light crescents,²⁸ contiguous²⁹ and overlapping each other, none of which is distinguished from the rest. Light, which appears at the time of the solar eclipse on the plane parallel to the aperture, is a compound of those contiguous and overlapping equal circles, and its perimeter consists of parts of the perimeters ^{L12r} of the contiguous circles. Also, it is composed of the contiguous crescents overlapping one another, and the perimeter therefore consists of the <outermost parts of the> arcs bounding the crescents. |^p||^{OB}

26. Lit.: “is parallel to... and is similar to...”

27. This is again a reference to Apollonius, *Conics* I, 4: “Si l’une ou l’autre de deux surfaces opposées par le sommet est coupée par un certain plan parallèle au cercle sur lequel se déplace la droite qui décrit la surface, le plan intercepté par la surface sera un cercle ayant son centre sur l’axe” (Decorps-Foulquier and Federspiel 2008: 17).

28. About the difference between the “self-luminous” and “light” crescents, see note 19.

29. Lit.: “connected” or “contiguous,” perhaps under the influence of Persian.

فهو على شكل الهلال P25r المضيء لأن ذلك يلزم في المخروطات

المتقابلة. وقد تبين هذا المعنى في المقالة B84r الأولى من المخروطات. ١٥

فكل نقطة من سطح الثقب يخرج إليها من الهلال المضيء من الشمس

مخروط قاعدته الهلال المضيء ورأسه تلك النقطة من الثقب. وينتهي هذا

المخروط إلى السطح الموازي للثقب ويحدث منه مخروط مقابل له. 105

ويحدث من المخروط المقابل ضوء في السطح الموازي للثقب يكون

شكله على شكل الهلال المضيء وشبهًا به. ١٥

فالضوء، الذي يظهر في السطح الموازي للثقب في وقت كسوف

الشمس، هو مركب من أهلة مضيئة متصلة متداخلة بعضها في بعض، لا

يتميز أحدهما من الباقية. فالضوء، الذي يظهر في وقت كسوف الشمس 110

على السطح الموازي للثقب، مركب من دوائر مُتصلة متداخلة متساوية،

محيطه مركب من أجزاء من L12r محيطات الدوائر المتصلة. وهو مع ذلك

مركب من أهلة متصلة متداخلة، فمحيطه مركب من محيطات القسي

المحيطة بالأهلة. ١٥^{OB}

^{F118v} Each cone coming from the full self-luminous crescent to one point of the aperture is bounded by two <envelope> surfaces of cone, one convex, the other concave. The convex one is tangent to the Sun ^{P25v} sphere. Its base is an arc of the perimeter of the circle bounding the Sun sphere, its center is under the center of the Sun and nearby the center of the Sun. The concave surface is tangent to the Moon sphere along an arc of the circle that bounds the Moon sphere. Then, this concave surface of the cone extends to the Sun sphere. The Sun sphere is cut off along an arc of a circle equal to the circle, which is the base of the convex surface, for the cone ^{B84v} bounding the Sun sphere is equal to the cone bounding the Moon sphere, as shown by the mathematicians. The bases of the two <envelope> surfaces of the cone, the convex and the concave, are two arcs of two equal circles. If we imagine the intersection of the convex surface of the cone ^{L12v} with the concave surface of the cone, this makes a crescent-shaped figure bounded by two arcs of two equal circles. The line joining the apex of the cone to the center of the base of the convex surface, which is the axis³⁰ of the convex surface, ends at the center of the Sun. Similarly, the line joining the apex of the cone to the center of the base of the concave surface, which is the axis of the concave surface of the cone, passes through the center of the Moon.

||^P||^{OB}

30. Lit.: “arrow” (سهم). This term refers to both the axis and the generatrix of the cone. Here it is the axis of the cone.

- 115 F118v وكل مخروط يخرج من جميع الهلال المضيء إلى نقطة من الثقب
يحيط به سطحان مخروطان أحدهما محدّب والآخر مقعر. فالمحدّب
مماسّ لكرّة P25v الشمس. وقاعدته قوس من محيط دائرة محيطة بكرّة
الشمس مركزها تحت مركز الشمس وقريب من مركز الشمس. والسطح
المقعر مماس لكرّة القمر على قوس من دائرة محيطة بكرّة القمر. ثم يمتد
120 هذا السطح المخروط المقعر حتّى ينتهي إلى كُرّة الشمس. فيقطع كُرّة
الشمس على قوس من دائرة مساوية للدائرة التي هي قاعدة السطح
المحدّب، وذلك أن المخروط B84v الذي يحيط بكرّة الشمس مساو
للمخروط الذي يحيط بكرّة القمر، وقد تبين ذلك أصحاب التعاليم.
فالسّطحان المخروطان المحدّب والمقعر قاعدتهما قوسان من دائرتين
125 متساويتين. فإذا توهمنا سطح [قاعدة] المخروط المحدّب يقطع L12v سطح
المخروط المقعر، حدث منهما شكل هلال يحويط به قوسان من دائرتين
متساويتين. فيكون الخط الذي يخرج من رأس المخروط إلى مركز قاعدة
السطح المحدّب، الذي هو سهم السطح المحدّب، ينتهي إلى مركز
الشمس. ويكون الخط، الذي يخرج من رأس المخروط إلى مركز قاعدة
130 السطح المقعر، الذي هو سهم السطح المخروط المقعر، يمر بمركز القمر.

P||OB

بين FO تبين 123 || OB مساوي 122 || O لكرّة 1 لكرّة 119 || L نقطتين om F من 1 نقطة من 115
BL s.p.P || repet B ويتبين 125 || FBPOL قاعدة 125 قاعدة 125 || L المحدّب 1 المحدّب 128 ||
om FO 2 السطح 130 || L المحدّب 2 المحدّب 128 || O السهم 128 || L المحدّب 1 المحدّب 128 ||
om F 130 القمر 130

If the convex surface ^{P26r} is prolonged on the other side of its apex, which is a point of the plane of the aperture, and reaches the plane parallel to the aperture, it will form an arc of a circle on this plane. |^o

If the generatrix³¹ of the surface of the cone is prolonged up to the plane parallel to the aperture, it will describe an arc on this plane. The convexity of this arc will be on the side opposite³² the convexity of the self-luminous crescent, which is part of the Sun. Similarly, if the concave surface is prolonged on the other side of its apex and reaches the plane parallel to the aperture, it will form an arc of a circle. If the axis of this cone is prolonged up to the plane parallel to the aperture, it will end at the center of the arc that occurs in this plane. The concavity of the arc will be on the side opposite ^{L13r} the concavity of the self-luminous crescent. The convex face of these two arcs will be on the side of the concave face ^{B85r} of the self-luminous crescent; their concave face will be on the side of the convex face of the self-luminous crescent. Therefore these two arcs ^{O80v} form a crescent-shaped figure similar to the self-luminous crescent, though contrary in position.³³ And the two arcs of this crescent are made of two equal circles, because the arcs of the self-luminous crescent <are> made of two equal circles. |^o||^p

31. Lit.: “arrow” (سهم). This is now the “generatrix.” See note 30.

32. Lit.: “against, versus.”

33. See Commentary, pp. 114–6.

ويكون السطح المحدب إذا ^{P26r} امتد من جهة رأسه، الذي هو نقطة من سطح الثقب، وانتهى إلى السطح الموازي للثقب، يحدث في هذا السطح قوساً من دائرة. ^{١٥}

- 135 وإذا امتد سهم هذا السطح المخروط وانتهى إلى السطح الموازي للثقب، انتهى إلى القوس التي يحدث في هذا السطح. ويكون حدة هذه القوس في ضدّ الجهة التي تلي حدة الهلال المضيء الذي هو جزء من الشمس. ويكون السطح المخروط المقعر، إذا امتدّ في جهة رأسه وانتهى إلى السطح الموازي للثقب، يحدث فيه قوساً من دائرة. وإذا امتدّ سهم هذا المخروط وانتهى إلى السطح الموازي للثقب، انتهى إلى مركز القوس الذي يحدث في هذا السطح. ويكون تقعر هذه القوس في ضد ^{L13r} الجهة التي فيها تقعر الهلال المضيء. ويعرض في هاتين القوسين أن يكون حدبتهما في ^{B85r} جهة تقعر الهلال المضيء؛ وتقعرهما في جهة تحدب الهلال المضيء، ويصير من هاتين القوسين ^{O80v} هلال شبيه بالهلال المضيء ويكون وضعه مخالفاً لوضعه. ويكون قوساً هذا الهلال من دائرتين 145 متساويتين، لأن قوس الهلال المضيء < يكون > من دائرتين متساويتين.

||^{١٥}||

141 || om FOL] هذا 140 || om FOL] السطح 135 || L سطح] سهم 135 || L المحدث] المحدب 132
|| marg B] وتقعرهما في جهة تحدب الهلال المضيء 143 || L حدبهما B حدبهما] حدبهما 143 || FOL التي] الذي
F تقديم OL تحدب] تحدب 143

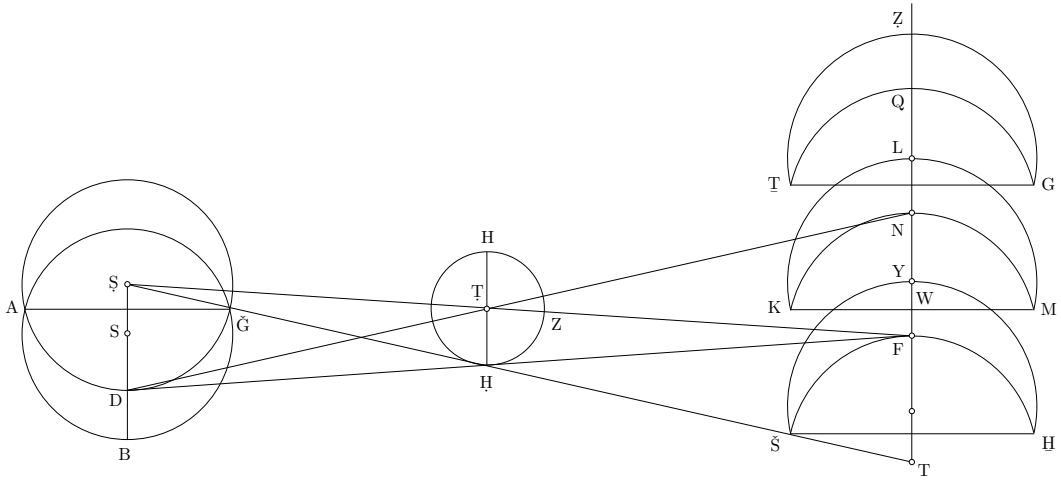
<2.3 Geometric Construction>

If we imagine ^{P26v} a cone, whose base is the self-luminous crescent that is part of the Sun and the apex is the center of the aperture, and imagine the cone extended to the plane parallel to the aperture, the plane parallel to the aperture will display a crescent similar to the self-luminous crescent. The endpoints of the axes of the two conic surfaces that bound the cone will be the centers of its arcs.³⁴ We imagine a straight line between the two tips of the crescent. We divide it in two halves, and we produce a perpendicular line through the midpoint. This <line> will go through the centers of the two arcs bounding the crescent. This vertical line and the axes of the two <envelope> surfaces of the cone are in one plane. This plane will cut across the plane of the aperture, forming there a diameter parallel to the vertical line that passes through the centers ^{L13v} of the two arcs bounding the crescent on the plane parallel to the aperture. This plane will cut the self-luminous crescent, which is part of the Sun, and will pass through the centers of the two arcs that bound it. $\parallel^{FO}\parallel^{BP}$

34. This is the cone whose directrix is crescent-shaped.

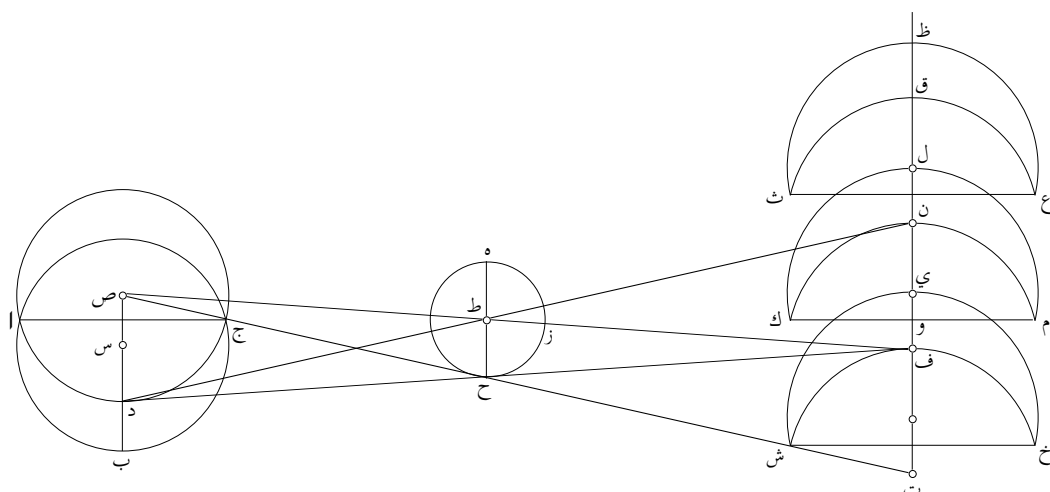
وإذا توهمنا ^{P26v} مخروطاً قاعدته الهلال المضيء الذي هو جزء من الشمس ورأسه مركز الثقب، وتوهمنا المخروط ممتداً حتّى ينتهي إلى السطح الموازي للثقب، حدث في السطح الموازي للثقب هلال شبيه بالهلال ¹⁵⁰ المضيء. ويكون مركزا قوسيه طرفي سهمي السطحين المخروطين المحيطين بهذا المخروط. فإذا توهمنا خطأ مُستقيماً يصل بين طرفي هذا الهلال. وقسمناه بنصفين وأخرجنا من منتصفه عموداً، فإنه يمر بمركزي القوسين المحيطين بالهلال. ويصير هذا العمود وسهما السطحين المخروطين في سطح واحد. وهذا السطح يقطع سطح الثقب، فهو يحدث ¹⁵⁵ فيه قُطراً موازياً للعمود، الذي يمر بمركزي ^{L13v} قوسي الهلال الذي في السطح الموازي للثقب. وهذا السطح يقطع الهلال المضيء الذي هو جزء من الشمس ويمر بمركزي القوسين المحيطين به. ^{I^{FO}||BP}

[للعمود 156 || B موازاً] موازياً 156 || L قوسين B قوسية O قوسية FP قوسيه [قوسيه 151 || om L] المضيء 148
 [marg P] ويمر بمركزي القوسين ... هو الذي يحيط به قوسا 158 || L العمودي

Diagram 1³⁵

<Diagram 1> Let the self-luminous crescent, which is part of the Sun, be bounded by the arcs $AB\check{G}$ and $AD\check{G}$, and let the line joining its two tips be $A\check{G}$. Let the center of the arc $AB\check{G}$ be point S , and let the center of the arc $AD\check{G}$ be point S' . Let the aperture be the circle $H\check{H}$ of center T . The crescent, which is received on the plane parallel to the aperture and bounded by the cone whose base is the ^{P27r} self-luminous crescent and the apex is the center of the aperture, ^{B85v} is that crescent bounded by the arcs KLM KNM . Let the chord joining its two tips be line KM , its midpoint W , and let the perpendicular drawn through point W down to point T , be line NL . Thereby the centers of the arcs KNM KLM are on the line WT . Let the

35. Diagram 1 depicts the rays of the Sun $AB\check{G}$, partially eclipsed by the Moon $AD\check{G}$, that enter the aperture $HZ\check{H}$ and produce upside down images beyond: $\check{S}Y\check{H}F$ is obtained through point \check{H} , $KLMN$ through point T .



< شکل ۱ >

160 <Fig. 1> فليكن الهلال المضيء، الذي هو جزء من الشمس، هو الذي يحيط به قوسا اب ج ادج والخط الواصل بين طرفيه اج. وليكن مركز قوس اب ج نقطة س ومركز قوس ادج نقطة ص. وليكن الثقب ه ح وليكن مستديراً وليكن مركزه ط. وليكن الهلال الذي يحصل في السطح الموازي للتقب الذي تحد به المخروط الذي قاعدته الهلال ^{P27r} المضيء ورأسه مركز الثقب، هو ^{B85v} الهلال الذي يحيط به قوسا ك ل م كنم. والخط

165 الواصل بين طرفيه خط ك م، ووسطه نقطة و والعمود الذي يخرج من نقطة و عمود ونل ولننفذه في جهة و إلى نقطة ت. فيكون مركزا قوسي ك ن م ك ل م على خط وت. وليكن مركز قوس ك ن م نقطة ف ومركز قوس ك ل م

167 || L يحد ثه [تحد به 164 || $\overline{\text{marg B}}$] أج وليكن مركز قوس 161 || $\overline{\text{marg P}}$] والخط الواصل بين طرفيه أج 161
 $\overline{\text{marg B}}$] ومركز قوس كالم نقطة ي 168 || PO نقطة ن [نقطة ت 167 || B ولنفيذه FPOL ولنفيذه ولنفيذه

center of arc KNM be point F, and the center of arc KLM, ^{F119r} be point Y. Then points F Y are the endpoints of the axes of the two surfaces of the cone that emerge from the two arcs ADĞ ABĞ, and whose apex is the point Ṫ, which is the center of the aperture. ^{L14r} Let the diameter of the aperture, which is made in the plane to which the line WT and the axes of the two surfaces of the cone belong, be line ḢṪH. This plane <TẆṪ> cuts across the plane of the arcs ABĞ ADĞ and goes through their centers <ṠṠ>. Let the intersection of this plane <TẆṪ> with the plane of the two arcs <ABĞ ADĞ> be line ṠṠDB. We draw ṠṪ and extend it straight on. It will end at point F, which is the center of the arc KNM, because line ^{P27v} ṪF is the axis of the surface of the cone, whose apex is the point Ṫ and the base is the arc KNM. I mean this cone <KNMṪ> is linked to the <opposite> cone whose apex is the point Ṫ and the base is the arc ADĞ. ¶^{FPO}

<2.4 Relation Between the Distance and Size of the Aperture>

We draw ṠḢ and extend it straight on; it will intercept the line FT, for the lines FT ṪḢ are parallel, and as point Ṡ is in the same plane, line ṠḢ will end at point T. I say first that: if the ratio of (the semi-diameter of the aperture) to (the semi-diameter of the Sun, which is line ḊṠ)³⁶ is equal to, or has no perceptible³⁷ difference with, the ratio ^{B86r} of (ṪF, which is the distance between the plane parallel to the aperture and the plane of the aperture) to (ḞṠ, which is the distance between the plane parallel to the aperture and the Sun), then (line FT, ^{L14v} which is the distance between the center of the arc KNM and the point T) is equal to (the semi-diameter of the circle KNM, which is line FN).³⁸

36. Because ḊṠ, the radius of the Moon, equals the radius of the Sun BṠ.

37. Lit.: “sensible” (محسوس). See note 25.

38. See Commentary, p. 118.

F119r نقطة ي. فيكون نقطتا ف ي هما طرفا سهمي السطحين المخروطين

170 اللذين يخرجان من قوسي ادج ابج، اللذين رأسهما نقطة ط التي هي مركز الثقب. L14r وليكن قطر الثقب الذي يحدثه السطح الذي فيه خط وت، وسهما السطحين المخروطين خط ح طه. وهذا السطح يقطع سطح قوسي ابج ادج ويَمُر بمركزيهما. فليكن الفصل المشترك بين هذا السطح وبين سطح القوسين خط ص س د ب. ونصل ص ط وننفذه على استقامة. فهو ينتهي إلى نقطة ف التي هي مركز قوس كنم، لأن خط P27v ط ف هو سهم السطح المخروط، الذي رأسه نقطة ط وقاعدته قوس كنم. أعني 175 المخروط المتصل بالمخروط الذي رأسه نقطة ط، وقاعدته قوس ادج. FPO

ونصل ص ح وننفذه على استقامة؛ فهو ينتهي إلى خط فت، لأن خطي فت ط ح متوازيان ونقطة ص في سطحهما فلينته خط ص ح إلى نقطة 180 ت. فأقول أولا أنه: إذا كانت نسبة 'نصف قطر الثقب' إلى 'نصف قطر الشمس، الذي خط دص' مساو له أو ليس بينهما اختلاف محسوس كنسبة 'ط ف الذي هو البعد بين السطح الموازي للثقب وبين سطح الثقب' B86r إلى 'ف ص الذي هو البعد بين السطح الموازي للثقب وبين الشمس' فإن 'خط فت L14v الذي هو البعد بين مركز قوس كنم وبين نقطة ت' مساو

[دص 181 || B تنبئة] نسبة 180 || om BL] أنه 180 || FO وت] خط فت 178 || B طرفي FPOL طرفا] طرفا 169
FO ت ف] فت 184 || B دم

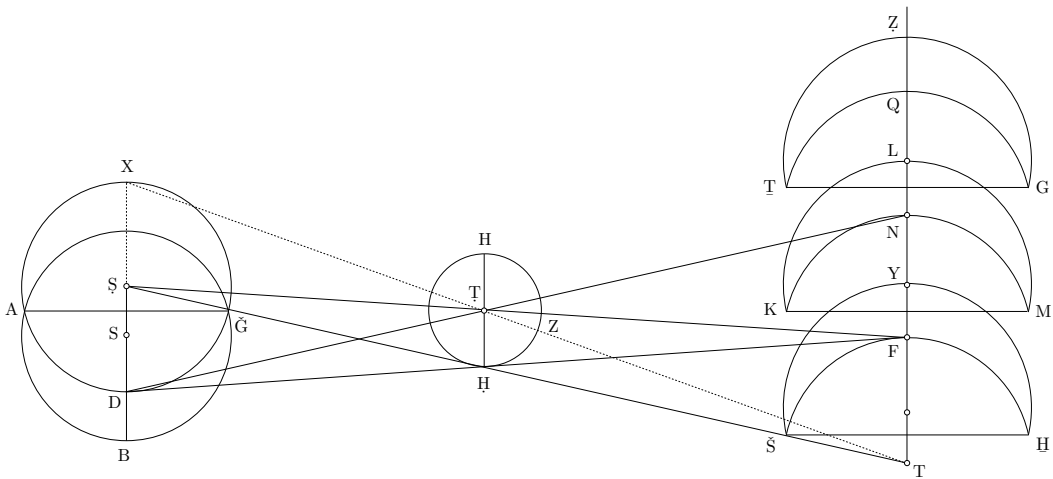


Diagram 1B

<Diagram 1B> If the ratio is such, and line $T\bar{T}$ is drawn and extended straight on to the Sun, it will cut line $B\bar{S}$ beyond point \bar{S} <at point X >. ^{P28r} The ratio of (line $\bar{H}\bar{T}$) to (line $T\bar{S}$) is equal³⁹ to the ratio ($\bar{T}\bar{H}$) to (the line < $\bar{S}X$ > that is between point \bar{S} and the line going through points T \bar{T} , and ends on line $B\bar{S}$). Thus the line < $\bar{S}X$ > that separates point \bar{S} from the line going through points T \bar{T} is the semi-diameter of the circle $AD\check{G}$. It is equal to line $\bar{S}D$. The ratio $F\bar{T}$ to $\bar{S}D$ is composed of the ratio $F\bar{T}$ to $\bar{T}\bar{H}$, which is the ratio $T\bar{S}$ to $\bar{S}\bar{H}$, and of the ratio ^{O81r} $\bar{T}\bar{H}$ to $\bar{S}D$, which is the ratio $\bar{H}\bar{T}$ to $T\bar{S}$ by hypothesis. The ratio $\bar{H}\bar{T}$ to $T\bar{S}$ composed with ratio $T\bar{S}$ to $\bar{S}\bar{H}$ is ratio $\bar{T}\bar{H}$ to $\bar{H}\bar{S}$. Thus the ratio $F\bar{T}$ to $\bar{S}D$ is equal to the ratio $\bar{T}\bar{H}$ to $\bar{H}\bar{S}$, which is the ratio $F\bar{T}$ to $\bar{T}\bar{S}$. We join D \bar{T} . The line $D\bar{T}$ is on the surface of the cone, whose base is the arc $AD\check{G}$ and the apex ^{L15r} is point \bar{T} . Line $D\bar{T}$ belongs⁴⁰ to the plane of lines $\bar{S}D$ $\bar{S}\bar{T}$ NF , for lines NF ^{B86v} $\bar{T}\bar{H}$ $\bar{S}D$ are parallel, and line $D\bar{T}$ is in the same plane. If line $D\bar{T}$ is extended straight on, it will end at point N , ^{P28v} which belongs to

39. I modernize the writing of ratios and proportions by translating مثل and -ك as “equal to.”

40. Lit.: “is” (nominal clause).

- لنصف قطر دائرة كنم، الذي هو خط فن'. وذلك أنه إذا كانت النسبة 185
هذه النسبة ووصلنا خط ت ط، وأنفذناه على استقامة حتى ينتهي إلى
الشمس، فإنه يلقي خط ب ص خارجاً عن نقطة ص. P28r ويكون نسبة
'خط ح ت' إلى 'خط ت ص' كنسبة 'ط ح' إلى 'الخط الذي يفصل بين
نقطة ص وبين الخط الذي يمر بنقطتي ت ط وينتهي إلى خط ب ص'.
فيكون الخط الذي يفصل بين نقطة ص وبين الخط الذي يمر بنقطتي ت 190
ط، هو نصف قطر دائرة ادج. فهو مساو لخط ص د. ونسبة فت إلى ص د
مؤلفة من نسبة فت إلى ط ح التي هي نسبة ت ص إلى ص ح ومن نسبة
ط ح إلى ص د، التي هي نسبة ح ت إلى ت ص بالفرض. والنسبة المؤلفة 081r
من نسبة ح ت إلى ت ص، ومن نسبة ت ص إلى ص ح، هي نسبة ت ح إلى
ح ص. فنسبة فت إلى ص د كنسبة ت ح إلى ح ص، التي هي نسبة ف ط 195
إلى ط ص. ونصل د ط. فيكون د ط في السطح المخروط الذي قاعدته قوس
ادج ورأسه L15r نقطة ط. وخط د ط هو في السطح الذي فيه خطوط ص د
ص ط ن ف، لأن خطوط ن ف B86v ط ح ص د متوازية، وخط د ط في
سطحها. فإذا خرج خط د ط على استقامة فهو ينتهي إلى نقطة ن، التي هي
P28v في السطح المخروط وفي السطح الذي فيه خط ن ف. فيكون نسبة 200

[خارجاً 187] O بدص [ب ص 187] B بط [ت ط 186] om L [قطر 185] BO مساوي [مساو 185]
F ص ح [ص د 193] BO مساوي [مساو 191] F ط ت [ت ط 190] F ط ت [ت ط 189] O خارجا FL خارجا
B ط ن ف ط ص د [ن ف ط ح ص د 198] marg P [لأن خطوط ... فإذا خرج 198] P الذي [التي 195]

both the surface of the cone and the plane where line NF is. Thus the ratio NF to $\S D$ is equal to FT to $\T \S$. But the ratio of FT to $\S D$ is equal to the ratio of FT to $\T \S$. Thus line FT is equal to line FN. From this proof, it results that if the ratio of (the semi-diameter of the aperture) to (the semi-diameter of the Sun) is smaller than the ratio of (the distance between the aperture and the plane parallel to the aperture) to (the distance between this plane and the Sun), then line FT, which is the distance between the centers of the two arcs, will be smaller than the semi-diameter of the arc KNM.⁴¹ |°

<Conversely> if the ratio of (the semi-diameter of the aperture) to (the semi-diameter of the Sun) is greater than the ratio of (distance) to (distance), then line FT will be greater than the semi-diameter of the circle KNM. It <necessarily> follows that, when the aperture is moved away⁴² from the plane that displays the light, or the plane away from it <the aperture>, the line between the two centers⁴³ will be smaller than the semi-diameter of the arc, because the ratio of distance to distance is then ^{L15v} greater than the ratio of the semi-diameter of the aperture to the semi-diameter of the Sun. <Conversely,> when the aperture ^{P29r} is moved closer to the plane <displaying the light>, or the plane closer to it <the aperture>, the line between the two centers will be greater than the semi-diameter of the arc. And if the aperture is moved away from the plane that displays the light, the center of the convex arc will fall inside the concave arc, because the line that bisects⁴⁴ the crescent is the same

41. These relationships are further explained in the Commentary, pp. 117 sq.

42. The design of this observation seems to date back to *Problemata Physica* XV, 6: “ἐὰν δὲ πλεόν ἄφιστῇ,” “si vero amplius removeatur.”

43. This is the distance between two crescents $TF' = KS = NF$.

44. Lit.: “is in the middle.”

ن ف إلى ص د كنسبة ف ط إلى ط ص. وقد كانت نسبة ف ت إلى ص د كنسبة ف ط إلى ط ص. فخط ف ت مثل خط ف ن. ويلزم من هذا البرهان، أنه إن كانت نسبة 'نصف قطر الثقب' إلى 'نصف قطر الشمس' أصغر من نسبة 'البعد الذي بين الثقب وبين السطح الموازي للثقب' إلى 'البعد الذي بين هذا السطح وبين الشمس'، فإن خط ف ت، الذي هو 205 البعد بين مركزي القوسين، يكون أصغر من نصف قطر قوس ك ن م. ^{١٥}

فإن كانت نسبة 'نصف قطر الثقب' إلى 'نصف قطر الشمس' أعظم من نسبة 'البعد' إلى 'البعد'، فإن خط ف ت يكون أعظم من نصف قطر دائرة ك ن م. فيلزم من ذلك، أنه متى بَعُدَ الثقب عن السطح الذي يظهر عليه الضوء أو بَعُدَ السطح عنه، أن يصير الخط الذي بين المركزين أصغر من 210 نصف قطر القوس، لأنه يصير نسبة البعد إلى البعد ^{L15v} أعظم من نسبة نصف قطر الثقب إلى نصف قطر الشمس. ومتى قرب الثقب ^{P29r} من السطح، أو قرب السطح منه، صار الخط الذي بين المركزين أعظم من نصف قطر القوس. فإذا بَعُدَ الثقب من السطح الذي يظهر عليه الضوء، صار مركز القوس المحدبة في داخل القوس المقعرة، لأن الخط الذي في 215 وسط الهلال مساو للخط الذي ^{B87r} بين المركزين. وإذا قرب الثقب من

212 || FPOL بعد B بُعِدَ [بُعِدَ 210 || FPOL بعد B بُعِدَ [بُعِدَ 209 || FO قطره [قطر 208 || L ك ن م [ك ن م 206
|| marg P [الضوء، صار مركز 214 || FPOL بعد B بُعِدَ [بُعِدَ 214 || repet del O [صار 213 || om P [نصف
transp F السطح من الثقب [الثقب من السطح 216 || O مساوي B repet [مساو 216

as the line ^{B87r} between the two centers. <Conversely,> if the aperture is moved closer to the plane <displaying the light>, the center of the convex arc will fall inside the crescent, on the bisector⁴⁵ of the crescent. |^{op}

<2.5 Distinction of the Convex and Concave Faces of the Crescent>

<Diagram 1B> If we imagine a cone whose base is the self-luminous crescent ^{F119v} bounded by the arcs ABĠ ADĠ, and whose apex is point H, this cone will be enclosed by the convex surface of the cone whose base is the arc ABĠ, and by the concave surface of the cone whose base is the arc ADĠ. The axis of this concave surface is the line SH, which ends at point T. If we extend line DH, this line will belong to both the concave surface and the plane where are the lines ST SD FT. If we imagine this cone, whose base is the crescent ABĠD and the apex is point H, is extended on ^{L16r} the side of H, it will hit the plane parallel to the aperture. A crescent ^{P29v} is bounded by two arcs, one convex, the other concave. The center of the concave arc is point T. The line DH ends at a point <F> of the concave arc, which is the intersection between the surface of the cone and the line FT. Let (the line, which is between this point <F> and point T) to (the line DŠ) be equal to the ratio (TH) to (HŠ). This is the ratio ^{O81v} FT to DŠ. Line DH ends at point F; thus the concave arc passes through point F and the convex arc is <taken> from a circle equal to the circle of

45. Lit.: “the line which is in the middle of the crescent.”

السطح، صار مركز القوس المحدبة في داخل الهلال τ_{omB} وعلى الخط الذي في وسط الهلال. $|^{OP} \tau_{omB}$

وإذا توهمنا مخروطاً قاعدته الهلال المضيء الذي F_{119v} يحيط به قوساً
 220 اب ج ادج ورأسه نقطة ح، فإن هذا المخروط يحيط به سطح مخروط
 محدب قاعدته قوس اب ج و سطح مخروط مقعر قاعدته قوس ادج. ويكون
 سهم هذا السطح المقعر هو خط ص ح الذي ينتهي إلى نقطة ت. وإذا
 وصلنا خط د ح كان هذا الخط في السطح المقعر وفي السطح الذي فيه
 خطوط ص ت ص د وت. وإذا توهمنا هذا المخروط أعني الذي قاعدته
 225 هلال اب ج د ورأسه نقطة ح قد امتد في L_{16r} جهة ح، فهو ينتهي إلى
 السطح الموازي للثقب ويحدث فيه هلالاً P_{29v} يحيط به قوسان محدبة
 ومقعرة. ويكون مركز القوس المقعرة نقطة ت. وينتهي خط د ح إلى النقطة
 من القوس المقعرة، التي هي الفصل المشترك بين السطح المخروط وبين
 خط ف ت. ويكون الخط الذي بين هذه النقطة وبين نقطة ت نسبته إلى
 230 خط د ص كنسبة ت ح إلى ح ص. وهذه النسبة هي نسبة O_{81v} ف ت إلى
 د ص. فخط د ح ينتهي إلى نقطة ف؛ فالقوس المقعرة تمر بنقطة ف،
 ويكون القوس المحدبة من دائرة مساوية للدائرة التي منها القوس المقعرة

|| B اليه F التي [إلى 222 || marg B] وإذا توهمنا مخروطاً قاعدته الهلال 219 || om B] وعلى الخط الذي في وسط الهلال 217
 [ينتهي إلى 231 || O ث [ت 229 || L الفضل [الفصل 228 || F التي [إلى 227 || FO ويحدث فيه [ويحدث فيه 226
 add O مساوي [ويكون post 232 || القوس OL the verb follows the masc sing يمر FB تمر [تمر 231 || marg B

the concave arc, whose semi-diameter is equal to line FT. Let the concave arc be ŠFH. It has been found⁴⁶ that line FT equals line FN, and line LY equals line NF, because the crescents KLMN^{B87v} ŠYHF are equal. The two circles that bound them are equal, for they stand at the same distance away from the aperture. The two arcs of each of the two crescents are <made of> two equal circles. |°

<3. Analysis of the Image of the Convex Face>

<3.1 Geometric Construction>

<Diagram 1> The convec arc passes through the point Y. Let it be the arc ŠYH. If we join points A Ğ^{L16v} to point H, and extend the two lines^{P30r} on the side of H, they will end at points Š H. Draw ŠH. The ratio ŠH to the line AĞ is equal to the ratio of distance to distance, which is the ratio FH to HD, as well as FT to TS, and FT to SD. Similarly, the ratio KM to AĞ is equal to the ratio of distance to distance, because if we join the two points A Ğ to point T, and extend both lines straight on, they will end at points K M. Thus line ŠH is equal to KM and parallel to it, because both lines are parallel to line AĞ. ||^{BOP}

46. See above, line 202.

فَنَصِفُ قَطْرَهَا مَسَاوِلَ خَطِّ فَت. فَلَیْکِنَ الْقَوْسُ الْمُقْعَرَةُ قَوْسُ شَفْخ. وَقَدْ
تَبَيَّنَ أَنَّ خَطَّ فَتٍ مِثْلَ خَطِّ فَن، فَخَطُّ لِي مِثْلَ خَطِّ نَف، لِأَنَّ هَلَالِي
كُلَّ مَن ^{B87v} شَيَخَفٍ مَتَسَاوِيَان. وَدَوَائِرُهُمَا الَّتِي تَحِيطُ بِهِمَا مَتَسَاوِيَةٌ، لِأَنَّ
بُعْدَهُمَا مِنَ الثَّقْبِ بَعْدَ وَاحِدٍ. وَقَوْسَا كُلِّ وَاحِدٍ مِنَ الْهَلَالَيْنِ مِنْ دَائِرَتَيْنِ
مَتَسَاوِيَتَيْنِ. ^{١٥}

فَالْقَوْسُ الْمَحْدَبَةُ تَمُرُ بِنَقْطَةِ ي. فَلَیْکِنَ قَوْسُ شَيَخ. ^{١٥P} وَإِذَا وَصَلْنَا نَقْطَتِي
أَج ^{L16v} بِنَقْطَةِ ح وَأَنْفَذْنَا ^{P30r} الْخَطَّيْنِ فِي جِهَةِ ح، فَإِنَّهُمَا يَنْتَهِيَانِ إِلَى
نَقْطَتِي شَخ. وَنَصَلَ شَخ. فَيَكُونُ نِسْبَةُ شَخٍ إِلَى خَطِّ أَج كَنِسْبَةِ الْبَعْدِ
إِلَى الْبَعْدِ، الَّتِي هِيَ نِسْبَةُ فَحٍ إِلَى حِدٍ وَكَنِسْبَةِ فَطٍ إِلَى طَصٍ وَكَنِسْبَةِ
فَتٍ إِلَى صَدٍ، وَكَذَلِكَ نِسْبَةُ كُمٍ إِلَى أَج هِيَ كَنِسْبَةُ الْبَعْدِ إِلَى الْبَعْدِ،
لَأَنَّا إِذَا وَصَلْنَا نَقْطَتِي أَج بِنَقْطَةِ ط وَأَنْفَذْنَا هُمَا عَلَى اسْتِقَامَةٍ انْتَهَيَا إِلَى
نَقْطَتِي كُم. فَخَطُّ شَخٍ مِثْلُ خَطِّ كُمٍ وَهُوَ مُوَازٍ لَهُ، لِأَنَّ كُلَّ وَاحِدٍ مِنْهُمَا
مُوَازٍ لَخَطِّ أَج. ^{BOP}

245

دَوَائِرُهُمَا FOL the plural يحيط B تحيط 235 || FO شَخَف [شَفْخ 233 || B وليكن POL فليكن 233
requires agreement in fem sing || B المحدثه [المحدثه 238 || marg B] ح، فأنهما ينتهيان إلى نقطتين شَخ ونصل 239 ||
|| O موازي [موازي 245 || BO موازي [موازي 244 || marg F] إلى البعد 242 ||

Imagine a cone, whose base is the self-luminous crescent and the apex is point H, extended on the side of H. It is a figure <made> upon a part of the crescents of the equal circles of the two convex arcs, that passes through point Y. The arc ŠYĤ is cast on the plane parallel to the aperture and forms a crescent there. This crescent is equal to the first two crescents, because it is as far from the aperture as the first two crescents, or no perceptible⁴⁷ difference exists between them. Its distance to the middle crescent is ^{P30v} equal to the distance from the middle crescent to the last crescent, because the distance from point H to point T̄ is equal to the distance from point Ĥ to point T̄. In this crescent, which is bounded by the arcs T̄ZG T̄QG, the distance from arc T̄ZG to arc KLM is equal to the distance from arc KLM to arc ŠYĤ, and the distance from arc T̄QG to arc KNM is equal to the distance from arc KNM to arc ŠFĤ. Each one of these distances ^{B88r} is equal to line FT, which is equal to the semi-diameter of any of these arcs, as can be seen and shown in the distance between the first two crescents. |^{op}

Line TL is drawn so that it cuts these two arcs, and it will cut them at points Q Z. We draw line T̄G. It is clear that it is equal to each one of the two lines KM ŠĤ, as it has been shown for lines KM and ŠĤ. If, from any point on arc ADĜ, ^{F120r} a line is drawn to point T̄, it will end at a point on arc KNM. That point on arc KNM is

47. See note 25.

ونتوهم مخروطاً قاعدته الهلال المضيء ورأسه نقطة ه، ونتوهمه ممتداً
 في جهة ه. فهو $\neg \text{omFOBL}$ شكلٌ وجزءٌ من الهالين من دائرتين مساويتين
 بالقوسين المحدبة يمر بنقطة ي. فليكن قوس ش ي $\neg \text{omFOBL}$ ينتهي إلى
 السطح الموازي للثقب ويحدث فيه هلالاً. فيكون هذا الهلال مساوياً
 250 للهلال الأول، لأن بُعداً من الثقب مثل بُعد الهالين الأولين، أو ليس
 بينهما فرق في الحس. ويكون بُعداً من الهلال الأوسط P30v مثل بُعد الهلال
 الأوسط من الهلال الأخير، لأن بُعد نقطة ه من نقطة ط مثل بُعد نقطة ح
 من نقطة ط. وليكن هذا الهلال، هو الذي يحيط به قوسا ث ط ع ث ق ع،
 فيكون بُعد قوس ث ط ع من قوس كل م $\neg \text{omL}$ مثل بُعد قوس كل م من قوس
 255 ش ي خ، ويكون بُعد قوس ث ق ع من قوس كنم $\neg \text{omL}$ مثل بُعد قوس كنم
 من قوس ش ف خ. ويكون كل واحدٍ من B88r هذه الأبعاد مثل خط فت
 الذي هو مساو لنصف قطر كل واحدة من هذه القسي، لأن ذلك يتبين
 كما تبين في البعد الذي بين الهالين الأولين. I^{OP}

فيخرج خط ت ل حتى يقطع هاتين القوسين، وليقطعهما على نقطتي ق
 260 ظ. ونصل ث ع. فيتبين أنه مساو لكل واحد من خطي كم ش خ كما تبين

[الأولين 250] FO بُعدها [بُعد 250] P واخراً [وجزء 247] 14 words om FBOL [شكلٌ وجزءٌ من ... ش ي خ 247]
 مثل بُعد قوس كل م ... قوس P marg [مثل بُعد قوس كل م 254] om L [نقطة 252] FO بُعدها [بُعد 251] om L
 [واحد 256] om L [بُعد 255] marg P [بُعد قوس ث ق ع ... قوس ش ف خ 255] 14 words om L [كنم
 ويخرج scr del [فيخرج 259] FBO واحد [واحدة 257] marg B الأبعاد scr del البعاد [الأبعاد 256] O واحدة
 BO مساوي [مساو 260] F s.p.P وتصل B ويصل OL وتصل [وتصل 260] repet L [القوسين 259] marg B

the center of the circle, which is the base of the cone whose apex is that point of arc $AD\check{G}$ and the base is the perimeter of the aperture that gets light from that point of arc $AD\check{G}$. ^{P31r} If a line is drawn from any point on arc $AB\check{G}$ to point T , it will end at a point on arc KLM . That point of arc KLM will be the center of the circle, which is the base of the cone, whose apex is that point of arc $AB\check{G}$ and whose base is the perimeter of the aperture that gets light from that point of ^{L17v} arc $AB\check{G}$. \parallel^{80}

Consequently, each point of arc KNM is the center of a light circle, whose perimeter falls⁴⁸ on the two arcs $\check{S}F\check{H}$ TQG . Similarly, each point of arc KLM is the center of a light circle, whose perimeter is completed with the two arcs $\check{S}Y\check{H}$ TZG . \parallel^o

Based on what has been established, we say that if light comes from the self-luminous crescent, which is the remaining part of the Sun during the eclipse, ^{B88v} and faces a dense body with a circular aperture, and the aperture is facing a dense body, light will pass through the circular aperture and will stop at the body opposite the aperture. There it will form a crescent-shaped figure if the plane opposite the aperture is parallel to the aperture and if (the diameter of the aperture) to (the diameter

48. Lit.: "ends up."

في خطي كـم شـخ. فكل نقطة من قوس ادج F120r إذا خرج منها خط إلى
 نقطة ط فهو ينتهي إلى نقطة من قوس كـنـم. ويكون تلك النقطة من قوس
 كـنـم مركز الدائرة، التي هي قاعدة المخروط الذي رأسه تلك النقطة من
 قوس ادج وقاعدته محيط الثقب، التي يخرج إليها الضوء من تلك النقطة
 265 من قوس ادج. وكل P31r نقطة من قوس ابـج، إذا خرج منها خط إلى
 نقطة ط، فهو ينتهي إلى نقطة من قوس كـلـم. ويكون تلك النقطة من قوس
 كـلـم مركز الدائرة، التي هي قاعدة المخروط الذي رأسه تلك النقطة من
 قوس ابـج وقاعدته محيط الثقب، التي يخرج إليها الضوء من تلك النقطة
 من L17v قوس ابـج. ||^{BO}
 270 فكل نقطة من قوس كـنـم هي مركز دائرة مضيئة محيطها ينتهي إلى
 قوسي شـفـخ ثـقـع. وكل نقطة من قوس كـلـم هي مركز دائرة مضيئة
 محيطها ينتهي إلى قوسي شـيـخ ثـظـع. ||^O

وإذ قد تبين ذلك فإننا نقول أن الضوء الذي يخرج من الهلال المضيء،
 الذي هو الجزء من الشمس الباقي بعد المنكسف منها، B88v إذا قبل
 275 بجسم كثيف فيه ثقب مستدير وقبول الثقب بجسم كثيف، فإن الضوء
 يخرج من الثقب المستدير وينتهي إلى الجسم المقابل للثقب. ويكون

^{P31v} of the Sun) is equal to the ratio of (the distance that is between the aperture and the plane parallel to the aperture) to (the distance that is between this plane and the Sun). We introduce a lemma for that:

<3.2 A Lemma>

Whatever two equal circles, ^{O82r} any straight line drawn parallel to the line joining the two centers is equal to the line joining the two centers. ^{|op}

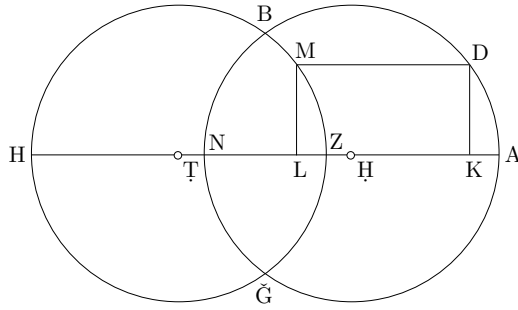


Diagram 2⁴⁹

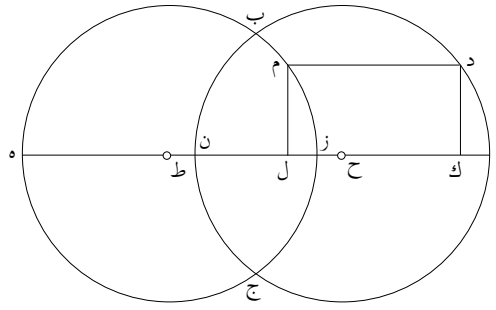
<Diagram 2> Let the two equal circles be ABĜ BHĜ, with their centers H T. We draw HT and extend it on both sides to A and H. ^{L18r} It will cut the perimeter of circle ABĜ at points A N and the perimeter of circle BHĜ at points Z H. Take on circle BHĜ any point as agreed, and let it be point M. Line MD is drawn parallel to line AT. This line will cut the circle ABĜ at point D. ^{B89r} From the two points M D two perpendiculars are drawn to line AH; they are DK ML. The two perpendicular

49. The lemma illustrated in Diagram 2 is meant to be applied to the crescent-shaped images ŠYHF, KLMN and T̄ZGQ in the following Diagram 3.

شكله شكلاً هلالياً، إذا كان السطح المقابل للثقب موازياً للثقب وكان
'قطر الثقب' نسبته إلى 'قطر P_{31v} الشمس' كنسبة 'البعد الذي بين الثقب
وبين السطح الموازي للثقب' إلى 'البعد الذي بين هذا السطح وبين
الشمس'. P_{32r} ولنقدم لذلك مقدمة:

280

وهي أن كل دائرتين متساويتين O_{82r} يخرج فيما بينهما خط مستقيم مواز
للخط الذي يصل بين مركزيهما فإنه مساو للخط الذي يصل بين
مركزيهما. I^{OP}



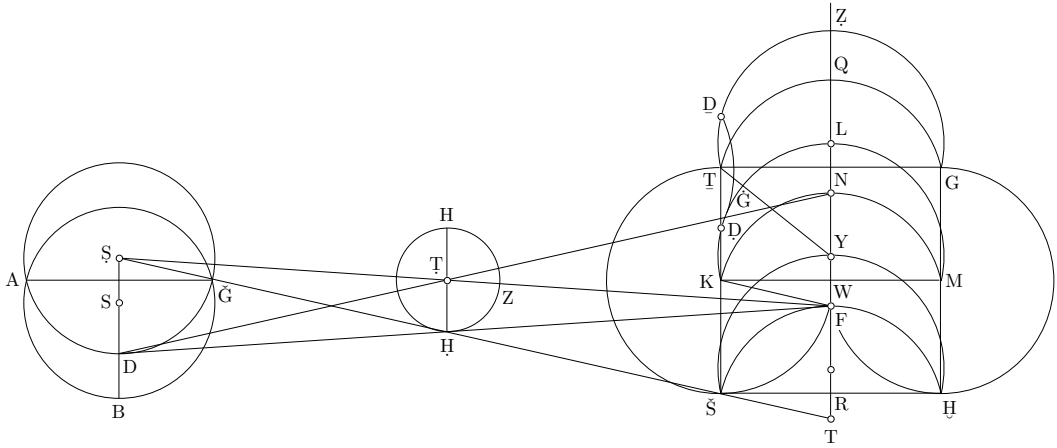
< شكل ٢ >

285 [Fig. 2] وليكن دائرتا $ابج$ $بهج$ متساويتين ومركزاهما $ح$ $ط$. ونصل $حط$

وننفذه في الجهتين إلى $ا$ وإلى $هـ$ L_{18r} . وليقطع محيط دائرة $ابج$ على
نقطتي $ا$ $ن$. ويقطع محيط دائرة $بهج$ على نقطتي $ز$ $هـ$. ونفرض على دائرة

[مساو 282 || BO موازي] مواز 281 || B ذلك] لذلك 280 || $marg P$] وبين السطح الموازي للثقب إلى البعد الذي 278
[ما 288 || BO وينفذه FL وننفذه] وننفذه 286 || $om B$ by homoioteleuton] $ح ط$. ونصل 285 || BO مساوي
[$om P$] خط 288 || $O s.p. BP$ ونخرج FL ونخرج] ويخرج 288 || $om BL$

lines are equal, because the two lines DM AH are parallel, and because the two circles are equal. It follows that arcs AD ZM are equal and lines AK ZL are equal. We thus get KZ, the intersection. KL is equal to AZ, and KL is equal to DM. Then AZ is equal to DM, and AH is equal to ^{P32v} ZT, with HT, the intersection. Then AZ is equal to HT and AZ is equal to DM. Therefore, line DM is equal to line HT, which is between the two centers. That is what we wanted to demonstrate. ^{FP0}

Diagram 3⁵⁰

50. Diagram 3 reproduces Diagram 1, with the addition of arcs DD, FST, FHG. MS B has a marginal addition that aims at criticizing the wrong lines of Diagram 3:

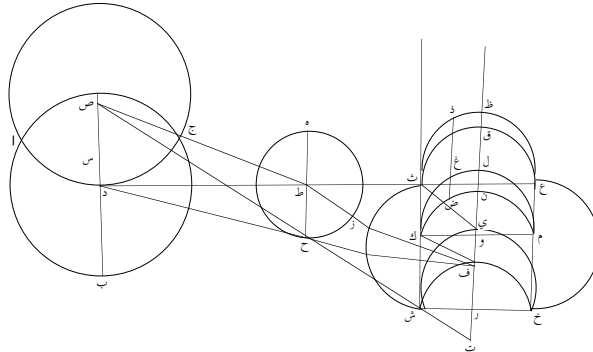
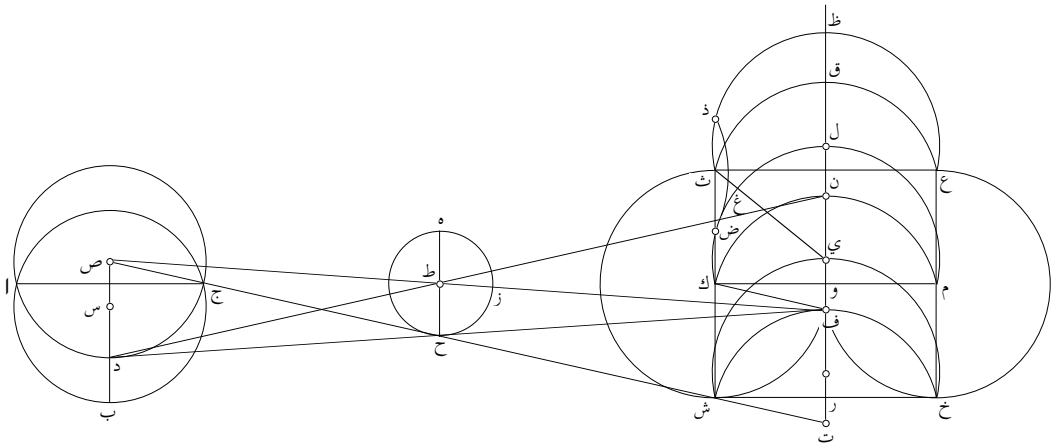


Diagram 3B

“Line SĜF is straight as well as DHF is straight. And we seek to draw a line from A to T that does not touch DT. DT could be tangent to the [circular] segment KNM at point N” (lectio incerta).

بـ هـ ج نقطة كيف ما اتفق، وليكن نقطة م. ويخرج خط م د موازيا لخط
 ا ط. فهذا الخط يقطع دائرة ا ب ج فليقطعها على نقطة د. B89r ونخرج من
 290 نقطتي م د عمودين على خط اه وليكونا د ك م ل. فيكون هذان العمودان
 متساويين، لأن خطين دم اه متوازيان، ولأن الدائرتين متساويتان. يكون
 قوسا اد زم متساويتين ويكون خط اك زل متساويتين. ونأخذ ك ز مشتركاً.
 فيكون كل مثل از و كل مثل دم ف از مثل دم ف اح مثل P32v ز ط وح ز
 مشترك. ف از مثل ح ط و از مثل دم ف خط دم مثل خط ح ط الذي بين
 295 المركزين. وذلك ما أردنا أن نبين. ^{FPO}



< شكل ٣ >

|| marg B [لأن خطين دم اه متوازيان ولأن الدائرتين متساويتان 291 || BL متساويتين [متساويين 291 || om F [دائرة 289
 || L كمل [اك 293 || scr del O قوسا [خط 292 || BL متوازيين [متوازيان 291
 خط ص ج ف مستقيم وكذلك د ح ف مستقيم. ونسعى ان نخرج من ع إلى ث [ت] 27 words, criticizing the wrong lines of Diagram 3: lectio incerta خط ليس على اتصال د ط. يكون قد يكون د ط مماسا لقطعة كنم على نقطه ن

<3.3 Application of the Lemma>

<Diagram 3> Once this is established, let us go back to the first figure, where it was found that lines $\check{S}\check{H}$ $K\check{M}$ $\underline{T}G$ are equal and parallel, and line $T\check{Z}$ is perpendicular to line $K\check{M}$, and thus perpendicular to each one of the two lines $\check{S}\check{H}$ $\underline{T}G$. <Line> $T\check{Z}$ passes through the centers of all the arcs, cutting each one of the two lines $\check{S}\check{H}$ $\underline{T}G$. We bisect $\check{S}\check{H}$ at point R and get $K\check{S}$. It is parallel ^{L18v P33r} to line WR , for KW is equal to $\check{S}R$ and parallel to it. Then line $K\check{S}$ is parallel to line NF and equal to it, for $K\check{S}$ is equal to line FT , which lies between the two centers. And FT is equal to FN . Then line $K\check{S}$ is equal to line NF , and this holds true of each point of arc KNM . The line drawn up to arc $\check{S}F\check{H}$ is parallel to line NF , and equal ^{F120v} to line NF . The same applies on the two arcs KLM $\check{S}Y\check{H}$, on the two arcs $\underline{T}QG$ KNM and on the two arcs $\underline{T}\check{Z}G$ KLM . In other words, any line drawn ^{B89v} between two of these arcs, parallel to the line that bisects the two arcs and passes through their centers, is equal to the line between the midpoints of the two arcs, and is equal to the line between their centers. We draw $K\underline{T}$. It appears, as we have shown of $K\check{S}$, that $K\underline{T}$ is equal to QN and parallel to it. Then line $K\underline{T}$ is equal to line $K\check{S}$ and aligned⁵¹ with it, for they lie on both sides of one point, which is point K , and are both parallel to one line, which is line $T\check{Z}$. Thus $\check{S}K\underline{T}$ form ^{P33v} a straight line, divided in two halves at point K . Like-

51. Lit.: “connected straight on...”

<Fig.3> وإذ قد تبين ذلك فلنعد [إلى] الشكل الأول وقد تبين أن خطوط

شخ كم ث ع متساوية متوازية، وخط ت ظ عمود على خط كم فهو عمود
على كل واحد من خطي شخ ث ع. وتط يمر بمراكز جميع القسي، فهو

يقسم كل واحد من خطي شخ ث ع بنصفين. ولنقسم شخ على نقطة ر

ونصل كش. فيكون موازياً ^{L18v P33r} لخط ور، لأن كو مساو لشر ومواز

له. فخط كش مواز لخط نف ومساو له، لأن كش مساو لخط فت

الذي بين المركزين. وف ت مساو ل ف ن. فخط كش مساو لخط نف،

وكل نقطة تفرض على قوس كنم. ويخرج منها خط إلى قوس ش ف خ

موازياً لخط نف، فانه يكون مساوياً ^{F120v} لخط نف. وكذلك قوسا كل م

ش ي خ، وكذلك قوسا ث ق ع كنم وقوسا ث ظ ع كل م. أعني أن كل خط

يخرج فيما ^{B89v} بين قوسين من هذه القسي، ويكون موازياً للخط الذي

يقطع وسطي القوسين ويمر بمركزيهما، فهو مساو للخط الذي فيما بين

وسطي القوسين ومساو للخط الذي بين مركزيهما. ونصل كش. فيتبين كما

تبين في كش، أن كش مساو لقن ومواز له. فخط كش مساو لخط كش

وهو مُتصّل به على استقامة، لأنهما خارجان من نقطة واحدة وهي نقطة

300] يقسم الخـط follows the masc sing يمر BO the verb تمر FL يمر] يمر 299 FO فلنعد B فلنعد] فلنعد 297

301 F وليقسم P ونقسم BOL ولنقسم 300 هو follows the masc sing يقسم O the verb ينقسم FBPL يقسم

302] مواز لخط نف ومساو له، لأن كش 302 موازي and مساوي BO have in the next three lines] مساو

306 نقطة follows the fem sing تفرض FB s.p.p the verb يفرض OL تفرض] تفرض 304 add F خط 2 كش ante

O خارجا] خارجان 311 OB مساوي] مساو 308 FPOL شخي] ش ي خ

wise, if we join MH MG by a straight line, and bisect it ^{L19r} at point M , then take K as a center, and $\text{K}\check{\text{S}}$ as a circle opening, the circle will pass through point T . Likewise, if we take M as a center, and MH as a circle opening, the circle will pass through point G . Therefore, circle $\check{\text{S}}\text{T}$ will cut the circle $\text{T}\check{\text{Z}}\text{G}$, for circle $\check{\text{S}}\text{T}$ is tangent to line TG , for KT is perpendicular to TG , and TG cuts the circle $\text{T}\check{\text{Z}}\text{G}$. Therefore, circle $\check{\text{S}}\text{T}$ cuts circle $\text{T}\check{\text{Z}}\text{G}$, thus forming an angle at point T between the two circles. Likewise, circle $\text{H}\check{\text{G}}$ cuts circle $\text{T}\check{\text{Z}}\text{G}$, thus forming an angle at point G . We draw YT . It cuts arc LK because point Y is the center of arc KLM , and cuts it at point $\check{\text{G}}$.

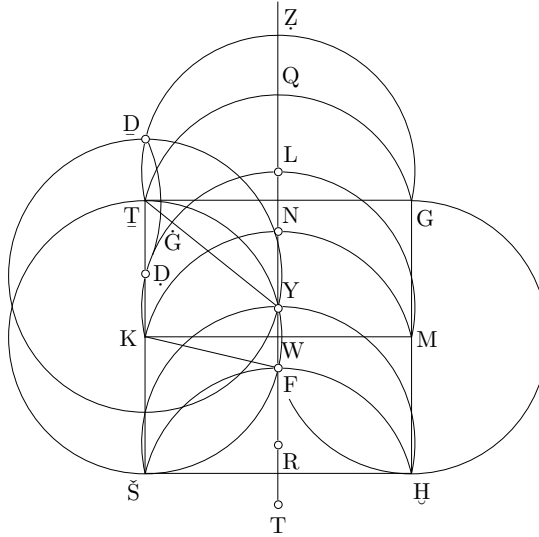


Diagram 3C

<Diagram 3C> We take onto the arc $\check{\text{G}}\text{K}$, a point between the two points $\check{\text{G}}$ K , close to point K . Let it be point $\check{\text{D}}$. The line joining the two points $\check{\text{D}}$ T is smaller than line KT , because it is closer to line $\text{T}\check{\text{G}}$. Line $\check{\text{D}}\check{\text{D}}$ is parallel to ^{P34r} line KT . It will be equal to line KT , because it is equal to line $\text{L}\check{\text{Z}}$. ^{B90r} Line $\check{\text{D}}\check{\text{D}}$ is greater than the line joining the two points $\check{\text{D}}$ T . If point $\check{\text{D}}$ is taken as a center, and a circle is drawn with opening $\check{\text{D}}\check{\text{D}}$, the perimeter of the circle will pass ^{L19v} outside ^{O82v} the

ك، وموازيان لخط واحد وهو خط تظ. فخط شركث متصل P33v على استقامة ومنقسم بنصفين على نقطة ك. وكذلك إذا وصلنا م خ م ع اتصلا على استقامة وانقسما بنصفين L19r على نقطة م، فنجعل ك مركزا وندير بُعد 315 r_{omB} كش دائرة فهي تمر بنقطة ث. وكذلك نجعل م مركزا وندير بُعد r_{omB} م خ، دائرة فهي تمر بنقطة ع. فيكون دائرة شركث مقاطعة الدائرة ث ظ ع، لأن دائرة شركث تماس خط ث ع، لأن ك ث عمود على ث ع وث ع يقطع دائرة ث ظ ع. r_{omF} فدائرة شركث تقطع دائرة ث ظ ع، r_{omF} فيحصل عند نقطة ث زاوية ما بين الدائرتين. وكذلك دائرة خ ع تقطع دائرة ث ظ ع، ويحصل عند نقطة ع زاوية ما. ونصل ي ث. فهو يقطع قوس ل ك لأن نقطة ي 320 مركز قوس م ل ك، فليقطعه على نقطة غ. ونفرض على قوس غ ك نقطة فيما بين نقطتي غ ك وقريبة من نقطة ك. وليكن نقطة ض. فيكون الخط الواصل بين نقطتي ض ث أصغر من خط ك ث، لأنه أقرب إلى خط ث غ. ويخرج ض ذ موازيا P34r لخط ك ث. فيكون مساويا لخط ك ث، لأنه يكون 325 مُساويا لخط ل ظ. B90r فخط ض ذ أعظم من الخط الذي يصل بين نقطتي ض ث. فإذا جُعِل نقطة ض مركزا وأدير بُعد ض ذ دائرة، كان محيط الدائرة L19v خارجا O82v عن نقطة ث. فالدائرة التي مركزها ض ونصف

|| 315 ante م نقطة add L || 12 words om B [كش دائرة فهي ... بُعد م ح 315-6] || P ص خ م ع [م خ م ع 313 || B لأن [فيكون 316 || marg B [مقاطعة الدائرة ث ظ ع لأن دائرة شركث 316 || B لأن [فيكون 316 || FOL s.p.BP the same as above يقطع 319 || دائرة FOL s.p.P the verb follows the fem sing يقطع B تقطع [تقطع 318 || om P د [ض ذ 325 ||

point \underline{T} . The circle, whose center is \underline{D} and semi-diameter \underline{DD} , surrounds the angle that is at point \underline{T} . Light from this circle will cover the angle at point \underline{T} , as any other <circle from a> point of arc \underline{KLM} would do, if it is close to point \underline{K} . The perimeter of the circle, whose center is that point, passes outside point \underline{T} and covers angle \underline{T} . The light circles, whose centers belong⁵² to the arc \underline{KLM} , are compact and interlocked⁵³ with each other. These circles are all equal. The semi-diameter of each one of these circles ends on arc \underline{TZG} , and full diameter ends on arc $\underline{\check{S}YH}$. The perimeter of each one of these circles cuts arc \underline{TZG} . Some part of their perimeters⁵⁴ ^{P34v} stand outside the arc, following point \underline{T} , and some part inside the arc \underline{TZG} , because every perpendicular drawn from a point of arc \underline{TZG} to the diameter \underline{TL} is at right angles to the endpoint of the diameter of the circle, whose center is on arc \underline{KLM} . The endpoint of the diameter is the point where the perpendicular is raised. This circle will be tangent^{L20r} to the perpendicular. That part of this circle^{B90v} following line \underline{TL} will be inside circle \underline{TZG} , and that part of this circle following point \underline{T} will be partly located outside the circle, because if the above-mentioned perpendicular is extended on the side of point \underline{T} , it will pass outside the circle. |°

52. Lit.: “are” (nominal clause).

53. Lit.: “connected with each other.”

54. Lit.: “its perimeter.”

قطرها ضذ تحيط بالزاوية التي عند نقطة ث. فالضوء الذي يكون في هذه الدائرة يغطي الزاوية التي عند نقطة ث، وكذلك كل نقطة من قوس كل م، إذا كانت قريبة من نقطة ك. فإن الدائرة، التي يكون مركزها تلك النقطة، فإن محيطها يكون خارجاً عن نقطة ث وهي تغطي زاوية ث. والدوائر المضئية، التي مراكزها على قوس كل م، متراصة متصل بعضها ببعض. وهذه الدوائر كلها متساوية. وكل واحدة من هذه الدوائر نصف قطرها ينتهي إلى قوس ث طع وتمام قطرها ينتهي إلى قوس ش ي خ. محيط كل واحدة من هذه الدوائر يقطع قوس ث طع. ويكون بعض محيطها P34v 330 خارجاً من القوس مما يلي نقطة ث، وبعضها في داخل قوس ث طع، وذلك أن كل عمود يخرج من نقطة من قوس ث طع على قطر ظل، يكون قائماً على طرف قطر الدائرة التي مركزها على قوس كل م. وطرف قطرها النقطة التي خرج منها العمود. فهذه الدائرة تكون L20r مماسة للعمود. فما كان من هذه الدائرة B90v يلي خط ظل، فهو داخل دائرة ث طع، وما كان من هذه الدائرة يلي نقطة ث فبعضه يقع خارج الدائرة، لأن العمود الذي تقدم ذكره، إذا امتد في جهة نقطة ث حصل خارج الدائرة. 10 340

F يغطي] يغطي 329 || add P ها] عند 328 || الدائرة FB the verb follows the fem sing تحيط O يحيط] تحيط 328
يعطي FB تغطي] تغطي 331 || om L ك] نقطة ك 330 || الضوء O the verb follows the masc sing يعطي B تغطي PL يغطي
] تكون 339 || corr B متصل scr del متراصة FPOL متصل] متصل 332 || هي O the verb follows the fem sing تعطي PL
P من] في 342 || transp F ظ ث ع] ث طع 340 || الدائرة OL om B the verb follows the fem sing يكون F تكون

Therefore each point of arc \underline{TZ} is crossed by a light circle,⁵⁵ whose center is on arc KL , and some part of which remains outside arc \underline{TZ} until the center reaches point L , <when> the circle, whose center is point L , will cover the <entire> arc \underline{TZG} . Similarly, every point of arc \underline{ZG} is crossed by a light circle, whose center is on arc LM , and some part of which remains outside arc \underline{ZG} .^{P35r} What is close to it from the side of point G covers the angle at point G . All these circles are interlocked <with one another>. There is no gap between them, <so that> the interlocking of these circles form a <single> round light from point \check{S} to point Z , and similarly from point G to point H . \parallel^o

The perimeters of all these circles should end on arc \check{SYH} , because the parallel lines, which are the semi-diameters of these circles, end on arc \check{SYH} such as line $K\check{S}$,^{L20v} and because the lights are interlocked <with one another> from arc \underline{TZG} to arc \check{SYH} . Therefore the perimeter of light that appears on the plane parallel to the aperture is convex and circular. \parallel^o

<3.4 The Archimedean Analysis>⁵⁶

^{B91r} To demonstrate this notion otherwise, the self-luminous crescent, which is the remaining part of the Sun, <sends>⁵⁷ to every point of the perimeter of the aperture a light in the form of a cone, whose base is the light crescent and the apex is that point of the perimeter of the aperture. Each one of these cones extends from that

55. Lit.: “a light circle passes through each point of arc \underline{TZ} ...”

56. See Commentary, pp. 90–1 and 132–4.

57. Reordering the sentence: “that self-luminous crescent... comes out of it... a light...”

فكل نقطة من قوس ث ظ تمر بها دائرة مضيئة مركزها على قوس ك ل،
وبعضها خارج عن قوس ث ظ إلى أن ينتهي المركز إلى نقطة ل، فيكون
345 الدائرة التي مركزها نقطة ل منطبقة على قوس ث ظ ع. وكذلك كل نقطة
من قوس ظ ع تمر بها دائرة مضيئة مركزها على قوس ل م. فيكون بعضها
خارجاً عن قوس P35r ظ ع. ويكون ما يقرب منها من نقطة ع تغطي الزاوية
التي عند نقطة ع. وهذه الدوائر متصلة. وليس فيما بينها فرج، ويعرض من
اتصال هذه الدوائر أن يكون الضوء مستديراً من نقطة ش إلى نقطة ظ،
350 وكذلك إلى نقطة ع وإلى نقطة خ. ^{١٠} ||

ويكون جميع هذه الدوائر تنتهي محيطاتها إلى قوس ش ي خ، لأن
الخطوط المتوازية التي هي أنصاف أقطار هذه الدوائر تنتهي إلى قوس
ش ي خ كمثل خط ك ش. ^{L20v} فيتصل الأضواء من قوس ث ظ غ إلى قوس
ش ي خ. فمحيط الضوء الذي يظهر على السطح الموازي للثقب، يكون
355 محدبه مُستديراً. ^{١٠} ||

^{B91r} ولنبين هذا المعنى على وجه آخر، وهو أن الهلال المضيء، الذي هو
الجزء الباقي من الشمس، يخرج منه إلى كل نقطة من محيط الثقب، ضوء

OL s.p.P the verb follows the fem sing FB تمر [تمر 346 || marg B تمر بها [تمر بها 346 || BL المراكز [المركز 344
FOL the verb follows the fem sing B ينتهي [تنتهي 351 || منها FO يعطي BPL تغطي [تغطي 347 || نقطة sing
FOL s.p.PB the same as above ينتهي [تنتهي 352 || requires agreement in fem sing plural المحيطات
P من كل FO إلى [إلى كل 357 || F s.p.P متصل B فتتصل OL فيتصل

point ^{F121r} and ends at the plane parallel to the aperture, thus creating a cone ^{P35v} opposite the first cone, with its base on the plane parallel to the aperture, and its shape similar to the light crescent-shaped figure. |°

We have explained this lightening earlier in this discourse. The cones, which extend from the self-luminous crescent to the perimeter of the aperture, are interlocked and overlap one another. The light, which is on the perimeter of the convex <part of the> crescent appearing on the plane parallel to the aperture, is that light coming from arc ABĜ. |°

This <result> has been shown too. The convex surface of each cone <that> comes from the self-luminous crescent to a point of the perimeter of the aperture, is the surface whose base is arc ABĜ, ^{L21r} and the center of this arc is point S. The line that comes out from point S to the point of the perimeter of the aperture, which is the apex of the cone, is the axis of the cone. If the axis is extended to the plane parallel to the aperture, its endpoint will reach the center of the arc bounding ^{B91v} the crescent, which is in the plane parallel to the aperture. |°||°

على شكل مخروط قاعدته الهلال المضيء، ورأسه تلك النقطة من محيط
الثقب. وكل واحد من هذه المخروطات يمتد من تلك النقطة ^{F121r} وينتهي
إلى السطح الموازي للثقب، ويحدث منه مخروط ^{P35v} مقابل المخروط
الأول قاعدته في السطح الموازي للثقب، ويكون شكله شبيهاً بشكل
الهلال المضيء. ^{١٥}

وقد بينا هذا المضيء فيما تقدم من هذا القول. والمخروطات، التي
تخرج من الهلال المضيء إلى محيط الثقب، متصلة متداخلة بعضها في
بعض. ويكون الضوء، الذي في محيط محدب الهلال الذي يحدث في
السطح الموازي للثقب، هو الضوء الذي يخرج من قوس اب ج. ^{١٥}
وقد تبين ذلك أيضاً. والسطح الحذب من كل مخروط <الذي>
يخرج من الهلال المضيء إلى نقطة من محيط الثقب، هو السطح الذي
قاعدته قوس اب ج، ^{L21r} ومركز هذه القوس هو نقطة س. فالخط الذي
يخرج من نقطة س إلى النقطة من محيط الثقب، التي هي رأس المخروط،
هو سهم هذا المخروط. وإذا امتد هذا السهم حتى ينتهي إلى السطح
الموازي للثقب، فإن طرفه ينتهي إلى مركز القوس المحيطة ^{B91v} بالهلال
الذي في السطح الموازي للثقب. ^{١٦}

359 post scr del B [الهلال] الثقب 360 O مخروطا [مخروط 361 om L [المخروط 362 om B [بشكل 363 om L [الثقب 364 requires agreement in fem sing والمخروطات OL the plural subject يخرج FB يخرج [تخرج 364 365 om P [يحدث 366 om P [أيضاً 367 FL s.p. BP the verb follows the masc sing يخرج O يخرج [يخرج 368 369 om F قوس قاعدته [قاعدته قوس 368 om L [من الهلال 368 مخروط

This being the case, the interlocked cones, whose apices are on the perimeter of the aperture, amount to a single cone whose base is the self-luminous crescent ^{P36r} and its apex can move around the perimeter of the aperture until it returns to its <original> position. If the apex of the cone ^{O83r} moves⁵⁸ along the perimeter of the aperture, its <entire> axis will move along the perimeter of the aperture all together. Thus the endpoint of the axis, which is in the plane parallel to the aperture, will describe a perimeter of a circle parallel to the perimeter of the aperture, provided that the aperture is circular. The full cone of light, which is behind⁵⁹ the aperture, moves in <one> movement with the axis. The light crescent, which is on the plane parallel to the aperture, moves along the circle on which the endpoint of the axis moves. The distance of the endpoint of the axis to the convex <part of> the light crescent does not change, because the crescents that appear on the plane parallel to the aperture are equal, ^{L21v} the distances of these crescents to the perimeter of the aperture are equal, and the distances from the perimeter of the aperture to the Sun are equal. Thus the convex <part of> the crescent, which is on the plane parallel to the aperture, draws on that plane a circle parallel to the circle along which the endpoint of the axis is moving. This circle is the perimeter of the light that appears on the plane parallel to the aperture, that is, the convex perimeter, not the concave, except that the circle is not drawn by only one of the lines in the surface of the light cone. When the apex ^{P36v} of the light cone is moved along the perimeter of the aperture, every line within the surface of the light cone moves along the perimeter of the aperture all together, and every line of the convex surface of the light cone ends at ^{B92r} the apex of the cone. Then <on the opposite side> it ends on the convex line of

58. The mechanical reasoning could be strengthened by saying: "If the apex of the cone is driven along the perimeter of the aperture..." see Commentary, pp. 90–1.

59. Lit.: "below."

وإذا كان ذلك كذلك، فالمخروطات المتصلة التي رؤوسها على محيط
 375 الثقب هي بمنزلة مخروط واحد قاعدته الهلال المضيء، P36r ورأسه قد
 تحرك على محيط الثقب حتّى عاد إلى موضعه. وإذا تحرك رأس المخروط
 083r على محيط الثقب، فسهمه يتحرك على محيط الثقب. فطرف هذا
 السهم، الذي هو في السطح الموازي للثقب، يتحرك على محيط دائرة
 موازية لمحيط الثقب، إذا كان الثقب مستديرًا. وجميع المخروط المضيء،
 380 الذي يحد الثقب، يتحرك مع حركة السهم. فالهلال المضيء، الذي في
 السطح الموازي للثقب، يتحرك حول الدائرة التي يتحرك عليها طرف
 السهم. وبُعد طرف السهم من محدب الهلال المضيء لا يتغير، لأن الأهلة
 التي تحدث في السطح الموازي للثقب متساوية، L21v لأن أبعاد هذه الأهلة
 من محيط الثقب متساوية، وأبعاد محيط الثقب من الشمس متساوية.
 385 فمحدب الهلال، الذي في السطح الموازي للثقب، يرسم في هذا السطح
 دائرة موازية للدائرة التي تتحرك عليها طرف السهم. وهذه الدائرة هي
 محيط الضوء الذي يظهر في السطح الموازي للثقب، أعني المحيط
 المحدب دون المقعر، إلا أن هذه الدائرة ليس يرسمها خط واحد من
 الخطوط التي في سطح المخروط المضيء. وذلك أنه إذا تحرك P36v رأس

380 || marg B] حتّى عاد إلى موضعه ... على محيط الثقب 376 || FPL رؤوسها] رؤوسها 374 || om B] ذلك 374
 || L عن] من 382 || المخروط L the verb follows the masc sing يحب B تحت FO يحد] يحد 380 || om O] الذي
 382 || requires agreement in fem sing الأهلة OL s.p.BP the plural subject يحدث] تحدث 383 || om L] المضيء 382
 || marg B] وذلك أنه إذا تحرك رأس المخروط المضيء 389 || F الدوائر] الدائرة 388 || L تساوية] متساوية 384 ||

the crescent on the plane parallel to the aperture; each line moves along the perimeter of the aperture, and the endpoint moves along the perimeter of a circle on the plane parallel to the aperture.

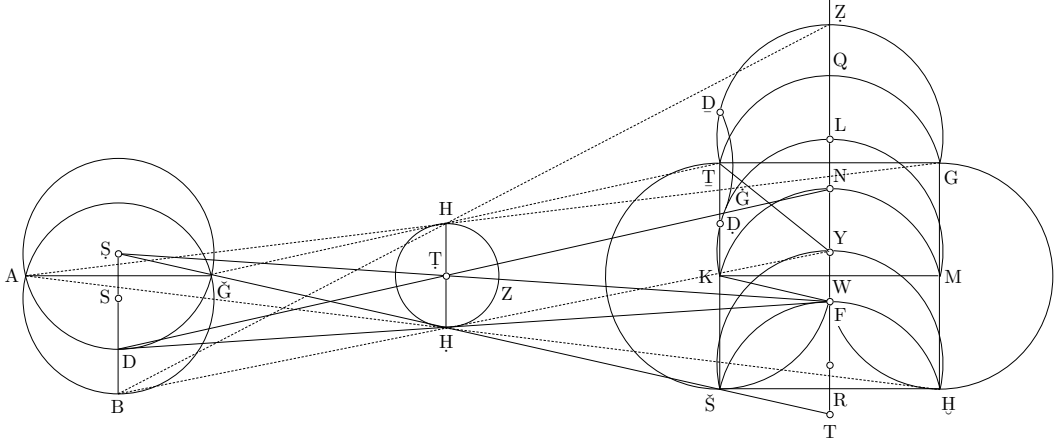


Diagram 3D⁶⁰

<Diagram 3D> The line that comes from point \check{G} to ^{L22r} point \check{H} , ends at point \check{S} . If the apex of the light cone then moves from point \check{G} to point B,⁶¹ the endpoint of the line, which is point \check{S} , will move along the perimeter of the circle whose center is point K, because the line that comes from point \check{G} to point \check{T} ends at point K, and because this line is the axis of the cone, whose apex is point \check{G} and whose base is the perimeter of the aperture. For that reason,⁶² the line that comes from point \check{G} to point \check{H} ends at point \check{S} . If the apex of the cone moves along the perimeter of the aperture, the endpoint of this line moves along the perimeter of circle $\check{S}T$ all together, ^{P37r} until the apex of the cone reaches point H, so that the endpoint of this line

60. In Diagram 3B, Ibn al-Haytham considers the projection of a straight line when its endpoint travels around the entire perimeter of the Sun, from \check{G} to B and from B to A, hence the addition of the new dotted lines.

61. Lit.: "... point \check{G} , going to point B."

62. ف introduces the conclusion, where the author repeats the statement of line 442.

390 المـخـروـط المـضـيـء عـلـى مـحـيـط الثـقـب، تـحـرك كـل خـط فـي سـطـح المـخـروـط
 المـضـيـء عـلـى مـحـيـط الثـقـب، و كـل خـط فـي السـطـح المـحـدب مـن المـخـروـط
 المـضـيـء يـنـتـهـي إـلـى B92r رآس المـخـروـط. ثـم يـنـتـهـي إـلـى الخـط المـحـدب الـذي
 فـي الـهـلـال، الـذي فـي السـطـح المـوازي للثـقـب، و كـل خـط يـتـحـرك عـلـى
 مـحـيـط الثـقـب، فـإن طـرفـه يـتـحـرك عـلـى مـحـيـط دأـئـرة فـي السـطـح المـوازي
 للثـقـب. فـالـخـط الـذي يـخـرج مـن نـقـطـة ج إـلـى L22r نـقـطـة ح، هـو يـنـتـهـي إـلـى
 395 نـقـطـة ش. ثـم إـذا تـحـرك رآس المـخـروـط المـضـيـء مـن نـقـطـة ج ذأهـباً فـي جـهـة
 ب، فـإن طـرف الخـط، الـذي عـلـى نـقـطـة ش، يـتـحـرك عـلـى مـحـيـط الدأـئـرة الـتي
 مـركـزها نـقـطـة ك، لآن الخـط الـذي يـخـرج مـن نـقـطـة ج إـلـى نـقـطـة ط يـنـتـهـي
 إـلـى نـقـطـة ك، لآن هـذا الخـط هـو سـهم المـخـروـط، الـذي رآسـه نـقـطـة ج
 400 و قاعـدـته مـحـيـط الثـقـب. فـالـخـط الـذي يـخـرج مـن نـقـطـة ج إـلـى نـقـطـة ح يـنـتـهـي
 إـلـى نـقـطـة ش. وإـذا تـحـرك رآس المـخـروـط عـلـى مـحـيـط الثـقـب، تـحـرك طـرف
 هـذا الخـط عـلـى مـحـيـط دأـئـرة ش ت إـلـى P37r أن يـنـتـهـي رآس المـخـروـط إـلـى
 نـقـطـة ه. فـيـكـون طـرف هـذا الخـط قـد قـطـع قـوس ش ت و انـتـهـي إـلـى نـقـطـة ث.
 و يـكـون الخـط الـذي يـخـرج مـن نـقـطـة ا إـلـى نـقـطـة ح يـنـتـهـي إـلـى نـقـطـة خ،
 405 و يـتـحـرك حـول مـحـيـط الثـقـب بـحـركـة رآس المـخـروـط. فـيـتـحـرك طـرفـه عـلـى

om P by ج إلى نقطة 395 || marg B] فإن طرفه يتحرك على محيط دائرة 394 || scr del الهلالات] الهلال 393
 homoioteuton || 405 || om L] نقطة 404 || repet del B ذاهباً في جهة ب ... مركزها نقطة ك] لأن ante 398 || PO يحركة] بحركة
 BL s.p.F

can describe the arc $\check{S}\underline{T}$ and stop at point \underline{T} . The line that comes from point A to point \check{H} ends at point \check{H} , and moves along the perimeter of the aperture, driven by⁶³ the apex of the cone. Its endpoint moves along the perimeter of circle $\check{H}G$, though taking the direction of \check{S} . If the apex ^{B92v} of the cone ends at point H, ^{L22v} the endpoint of this line will end at point G, so that the crescent $\underline{T}ZGQ$ is completed. Each point of the arc ^{F121v} $AB\check{G}$ comes from its line to the apex of the cone and ends at some point of arc $\underline{T}ZG$. Then, if the apex of the cone moves⁶⁴ from point H to point Z, the endpoint of the line coming from point \check{G} to the apex of the cone and hitting point \underline{T} , describes the full circle $\check{S}\underline{T}$. The fullness of this circle occurs within the light that lies between arc $\underline{T}ZG$ and arc $\check{S}Y\check{H}$. And so moves the endpoint of the line that comes from point A to the apex of the cone, that is, the line reaching point G of the arc $G\check{H}$, which ^{P37v} completes⁶⁵ the full circle. \parallel^o

If the apex of the cone moves from point \check{H} to point H, as well as the line coming from point \check{G} to point \check{S} on the perimeter of circle $\check{S}\underline{T}$, every line coming from the convex surface, whose base is arc $AB\check{G}$ and the apex is point \check{H} , moves along the perimeter of the aperture all together. Each one of these lines describes the perimeter of some circle in the plane parallel to the aperture, and ^{L23r} its center is a point of arc KLM. The endpoint of the line that comes from point \check{G} to the apex of the cone and

63. Lit.: “according to the movement of...”

64. Or, equivalently, “if the apex of the cone is driven from...” see note 58.

65. Lit.: “is the full circle” (nominal clause).

محيط دائرة خ ع، إلا أنه يكون آخذاً نحو جهة ش. فإذا انتهى رأس B92v
 المخروط إلى نقطة ه، L22v يكون طرف هذا الخط قد انتهى إلى نقطة ع،
 ويكون هلال ث ظ ع قد تم. ويكون كل نقطة من قوس F121v اب ج يخرج
 منها خط إلى رأس المخروط وينتهي إلى نقطة من قوس ث ظ ع. ثم إذا
 تحرك رأس المخروط من نقطة ه نحو نقطة ز، تحرك طرف الخط الذي
 خرج من نقطة ج إلى رأس المخروط الذي انتهى إلى نقطة ث، على تمام
 دائرة ش ث. وتتمام هذه الدائرة يكون في داخل الضوء فيما بين قوس
 ث ظ ع وقوس ش ي خ. ويتحرك طرف الخط الذي يخرج من نقطة ا إلى
 رأس المخروط، أعني الخط الذي انتهى إلى نقطة ع على قوس ع خ،
 الذي هو P37v تمام الدائرة. I^p||^o

415

وإذا تحرك رأس المخروط من نقطة ح إلى نقطة ه، وتحرك الخط الذي
 يخرج من نقطة ج وينتهي إلى نقطة ش على محيط دائرة ش ث، تحرك كل
 خط يخرج في السطح المحدب، الذي قاعدته قوس اب ج ورأسه نقطة ح،
 على محيط الثقب. وكل واحد من هذه الخطوط يتحرك على محيط دائرة
 في السطح الموازي للثقب، يكون L23r مركزها نقطة من قوس ك ل م. والخط
 الذي يخرج من نقطة قوس من ^{om}F نقطة ج إلى رأس المخروط، ينتهي

420

إلى 416 || marg P انتهى إلى scr del يخرج [الذي 414 post || marg B] ه يكون طرف هذا الخط قد انتهى إلى نقطة 407
 17 words [نقطة ج إلى رأس ... على دائرة قريبة 421 || F ح [ه 416 || marg B] نقطة ه وتحرك الخط الذي يخرج من نقطة ج
 om F

reaches the arc, hits a point near point Š, and moves along a circle near circle ŠT, with its center near point K on arc KL. Thus if the endpoint of the line moving on the circle near circle ŠT ^{O83v} to ^{B93r} a point of arc TȲ arrives close to point T, the arc TȲ will be described. ||^F||^{BPO}

The same holds for each line within the convex surface, whose base is the arc ABĠ: its endpoint moves on the perimeter of a circle, reaches the arc TȲG and describes this arc. ||⁰

^{P38r} It has been demonstrated that if the apex of the cone, whose base is the light crescent and <whose> apex is a point of the perimeter of the aperture, moves along the perimeter of the aperture, the convex <part> of the crescent that occurs on the plane parallel to the aperture completes the perimeter of a true circle on this plane through a curve parallel to the circle that is applied to the apex of the cone. The appearance of this circle, namely, that drawn by the convex <part of> the crescent, ^{L23v} does not <result> solely from the movement of a single line, but from the movements of many shifting lines. Whenever one of them leaves the perimeter of the circle, it is followed by another line that takes its place so as to complement the circle. |^{BO}

425

430

435

423 فوس لئل] three words om B || 425 ويقطع] قطع FBPOL a shared error that must be corrected to complete the sentence || 429 ذكرناه] ذكرنا L || 430 محيط ₁] om L || 433 أعني] om F || 435 يليه] يليه B || 435 يليه] يليه L
lectio incerta

According to our previous two demonstrations, we may conclude that the perimeter of the light, which appears at the time of the solar eclipse on the plane parallel to the aperture, is a proper circular line, <even if> the curve does not achieve a full revolution. And this is what we wanted to show. ||^{FBP}

<4. Analysis of the Image of the Concave Face>

We have now to study <analytically> the image of the concavity that appears in this light. ||^{BO}

<Diagram 3D> We say that it has been shown that line ŠK is equal to line FT, which is between the two centers, and equal ^{P38v} to the line FN, which is between the two arcs. We draw FK. ^{B93v} FK is equal to FN, because F is the center of arc KNM. Thus line KŠ is equal to line KF, and circle ŠT passes through point F, goes back to point Š, and a part of it falls within arc ŠFĤ. Similarly, every line drawn parallel to line NF from a point of arc KNM, ends on arc ŠFN and is equal to line NF. Every line that comes from a point of arc KNM to point F is equal to line NF. Thus it is equal to the line ^{L24r} parallel to it, because point F is the center of the arc <KNM>. Therefore the perimeter of each circle, whose center is a point of arc KNM and semi-

فقد تبين مما بيناه بالوجهين جميعاً أن محيط الضوء الذي يظهر في وقت كسوف الشمس على السطح الموازي للثقب، هو خط مستدير صحيح الاستدارة ليس بتام الإحاطة. وذلك ما أردنا أن نبين. ^{IO||FBP}

^{omL} وقد بقي أن نبين ^{omL} صورة التقعير الذي يظهر في هذا الضوء. ^{BO}

440 فنقول أنه قد تبين أن خط شك مساو لخط فت الذي بين المركزين، ومساو ^{P38v} لخط فن الذي هو بين القوسين. ونصل فك. ^{B93v} فيكون فك متساويا لفن، لأن ف مركز قوس كنم. فنخط كش مساو لخط كف، فدائرة شت تمر بنقطة ف وتعود إلى نقطة ش، ويصير جزء منها في داخل قوس ش ف خ. وكذلك كل خط يخرج من نقطة من قوس كنم. 445 ويكون موازيا لخط نف ينتهي إلى قوس ش فن، ويكون مساويا لخط نف. وكل خط يخرج من نقطة من قوس كنم إلى نقطة ف، يكون مساويا لخط ^{omF} نف. فيكون مساويا للخط ^{L24r omF} الموازي له، لأن نقطة ف مركز القوس. فكل دائرة مركزها نقطة على قوس كنم ونصف قطرها مساو لخط نف، فإن محيطها يمر بنقطة ف ويقطع قوس ش ف خ،

436 يظهر om F || 439 [وقد بقي أن نبين om L || 439 هذا om F || 440 أن om L || 440 مساو in the next three lines, BO have مسايي || 441 هو om FBOL || 441 ونصل] ونصل B s.p.P || 441 [فيكون فك marg B || 443 BPL شت] 443 تمر] تمر FO BL the verb follows the fem sing دائرة 447 om F [فيكون مساويا للخط BO the verb follows the fem sing ويعود FL وتعود 443 دائرة 448 repet L لخط نف. فيكون مساويا محيط 449 F فنم] كنم 448 || 449 FBL يمر] يمر O the verb follows the masc sing

diameter is equal to line NF, goes through point F and cuts the arc ŠFĤ, and a part of it falls within the concavity of arc ŠFĤ, because every line that comes from point F to the endpoint of the line parallel to line NF, will fall within arc ŠFĤ, thus forming an acute angle with it, except the circle of center N, which is tangent to arc ^{P39r} ŠFĤ. And all remaining circles, whose centers are on the arc KNM, cut across arc ŠFĤ at two point: one is point F, and the other is the endpoint of the line parallel to line NF. These circles are interlocked, compact and overlap one another from point ^{B94r} Š to point Ĥ. That of center K cuts arc ŠFĤ on the two points F Š. That of center M cuts arc ŠFĤ on the two points F Ĥ. The remaining circles cut this arc on compact subsequent points, and <cut> the part ^{L24v} of the circle of center K that falls inside arc ŠF, and most parts that are within this arc. The same applies to the part of the circle of center M, which falls ^{F122r} within arc FĤ, and most parts that are within arc FĤ. That parts of the remaining circles which are closer to the two outermost circles, will be greater than the following <ones>. |^{Bo}

ويحصل جزء منها في داخل تقعر قوس ش ف خ، لأن كل خط يخرج من
 نقطة ف إلى طرف الخط الموازي لخط ن ف يقع في داخل قوس ش ف خ،
 ويحيط معه بزاوية حادة، ألا الدائرة التي مركزها ن فإنها تكون مماسة لقوس
 ش ف خ. P39r وجميع الدوائر الباقية التي مركزها على قوس كنم تكون
 قاطعة لقوس ش ف خ على نقطتين: أحدهما نقطة ف والأخرى طرف الخط
 الموازي لخط ن ف. وهذه الدوائر تكون متصلة متداخلة متراصة من نقطة
 ش إلى نقطة خ. B94r والتي مركزها ك تقطع قوس ش ف خ على نقطتي ف
 ش. والتي مركزها نقطة م تقطع قوس ش ف خ على نقطتي ف خ. والدوائر
 الباقية تقطع هذه القوس على نقط متوالية متراصة. فيكون الجزء L24v من
 الدائرة التي مركزها ك، الذي يقع في داخل قوس ش ف، أعظم الأجزاء التي
 تقع في داخل هذه القوس. وكذلك الجزء من الدائرة التي مركزها م، الذي
 يقع في F122r داخل قوس ف خ، أعظم الأجزاء التي تقع في داخل قوس
 ف خ. ويكون الأجزاء من الدوائر الباقية ما قرب منها من الدائرتين
 المتطرفتين أعظم مما بُعد. ^{BO}

الدوائر OL the plural يكون FB تكون [تكون 453 || الدائرة OL the verb follows the fem sing يكون FB تكون [تكون 452
 OL s.p.F يكون B تكون [تكون 455 || FO احديهما BPL احدهما [أحدهما 454 || requires agreement in fem sing
 FOL the verb يقطع [تقطع 457 || marg B [متداخلة 455 || requires agreement in fem sing الدوائر
 OL the plural subject يقطع B تقطع [تقطع 458 || om B [على نقطتي ف خ 457 || الدائرة the fem sing follows the fem sing
 marg B [ش ف أعظم الأجزاء التي تقع في داخل هذه القوس 459 || من F add requires agreement in fem sing. F
 O يقع FB تقع L om [2 تقع

The circle whose center is K, going through the two points Š F, is tangent to line ŠR, because ŠR ^{P39v} is perpendicular to ŠK, which is the semi-diameter of this circle. And if this circle, namely, that going through the two points Š F, is tangent to line ŠR, it will take a small part of the sector ŠFR, when the rest of the sector is free. Likewise, the circle that passes through the two points H F is tangent to line HR, and takes a small part of sector HFR, when the rest of the sector is free. So do all remaining circles: each and every one of them is tangent to the perpendicular line that comes from ^{O84r} the endpoint of its diameter to line FT, and takes a small part of the concavity of the arc. |^{BPO}

<4.1 *Effect of the Size of the Aperture on the Image of the Concave Face*>⁶⁶

It has been shown that these circles, ^{L25r} namely those whose ^{B94v} centers are on arc KNM, are illuminated with the lights that come from the point of arc ADČ, which is the base of the concave surface of the cone. Lights that emerge from the arc ADČ, take two small parts of arc ŠFH, and the rest of the concavity of arc ŠFH is devoid of light. There is at point F some angle from the intersection of the two circles, whose centers are the two points K M. And because all the equal circles that we have mentioned ^{P40r} intersect at point F, point F gets a great number of lights. Thus, the angle that is at point F is illuminated by accidental lights that shine from the

66. See Commentary, pp. 135–42.

والدائرة التي مركزها ك التي تمر بنقطتي ش ف هي مماسة لخط شر،
 لأن شر P39v عمود على شك الذي هو نصف قطر هذه الدائرة. ^{omL} وإذا
 كانت هذه الدائرة، ^{omL} أعني التي تمر بنقطتي ش ف مماسة لخط شر،
 فهي تأخذ من قطعة ش ف ر جزءًا يسيرًا، ويكون بقية القطعة خالية منها.
 وكذلك الدائرة التي تمر بنقطتي خ ف تكون مماسة لخط خر فهي تأخذ
 من قطعة خ ف ر جزءًا يسيرًا، وتكون بقية القطعة خالية منها. وكذلك
 جميع الدوائر الباقية: كل واحد منها مماسة للعمود الذي يخرج من O84r
 طرف قطرها على خط ف ت، فهي تأخذ من تقعر القوس جزءًا يسيرًا. ^{BPO}

وقد تبين أن هذه الدوائر، ^{L25r} أعني التي ^{B94v} مراكزها على قوس كنم، وهي
 مضيئة بالأضواء التي تخرج من النقط التي على قوس ادج، الذي هو قاعدة
 السطح المخروط المقعر. فالأضواء التي تخرج من قوس ادج تأخذ من
 قوس ش ف خ جزءين صغيرين، ويكون بقية تقعر قوس ش ف خ خالية من
 الضوء. ويحصل عند نقطة ف زاوية ما من تقاطع الدائرتين، اللتين
 مركزاهما نقطتا ك م. ولأن جميع الدوائر المتساوية التي ذكرناها P40r تتقاطع

om F] الدائرة 468 || om L] وإذا كانت هذه الدائرة 465-6 || om L] لأن شر 465 || om F] مركزها ك 464
 OL the same as above ويكون F تكون] وتكون 469 || الدائرة OL the verb follows the fem sing يكون F تكون B] تكون 468
] تخرج 474 || requires agreement in fem sing OL s.p.BP the plural يخرج F تخرج] تخرج 473 ||
 ويحصل عند نقطة ف ... نقطتا ك 476-7 || repet L] من قوس ادج 474 || OL s.p.P the same as above يخرج FB تخرج
 B the plural يتقاطع OL يتقاطع F مقاطع] تتقاطع 477 || P لأن] ولأن 477 || L مراكزهما] مركزاهما 477 || marg P] م
 requires agreement in fem sing الدوائر

light in the air surrounding them. Some of the light that is inside the concavity of the arc scatters,⁶⁷ because light does not come to the perimeter of even one of these circles, except from a single point of arc $AD\check{G}$, which is the tip⁶⁸ of the light crescent. Yet, the light that comes from a single point is very weak. If the angle at point F is lit,^{L25v} and light which is in the concavity of arc $\check{S}F\check{H}$ scatters, then the concavity of light becomes a circular concavity, even though this concavity it is not of proper circularity. However, the inequalities in this concavity are not perceived by the sense⁶⁹, so that the form of light that appears on the plane parallel to the aperture is a crescent-shaped figure, whose convex arc is of perfect circularity and concave arc is not of perfect circularity, though it looks round to the sense. ¶⁸⁰

*<4.2 Effect of the Focal Distance on the Image of the Concave Face>*⁷⁰

If afterwards the aperture is moved away from the plane parallel to it, or the plane is moved away from the aperture, the ^{P40v} distance ^{B95r} between the centers of the two arcs, which is line FT, will be smaller than the semi-diameter of each one of these

67. Lit.: “Some of the light... split up.”

68. Lit.: “the end.”

69. See note 25.

70. See Commentary, pp. 142–5.

على نقطة ف، يحصل عند نقطة ف أضواء كثيرة. فتضيء الزاوية التي عند نقطة ف بالأضواء العرضية التي تشرق عليها من الضوء الذي في الهواء المحيط بها. ويتشعب بعض الضوء الذي في داخل تقعر القوس، لأنه ليس يخرج إلى محيط الدائرة الواحدة من هذه الدوائر ضوء، إلا من نقطة واحدة من قوس ادج، التي هي نهاية الهلال المضيء. والضوء الذي يخرج من نقطة واحدة يكون ضعيفاً جداً. وإذا أصاب الزاوية التي عند نقطة ف L25v وتشعب الضوء الذي في تقعر قوس ش ف خ، صار تقعر الضوء تقعرًا مستديرًا، إلا أنه ليس يكون هذا التقعر صحيح الاستدارة. ولكن التفاوت الذي يكون في هذا التقعر لا يحققه الحس، فيكون شكل الضوء الذي يظهر في السطح الموازي للثقب، شكلاً هلالياً محدبه مستدير صحيح الاستدارة، ومقره مُستدير ليس بصحيح الاستدارة لكنه عند الحس مستدير. BO

ثم إن بوعد الثقب عن السطح الموازي له، أو بوعد السطح عن الثقب، فإن P40v البعد B95r الذي بين مركزي القوسين، الذي هو خط فت، يكون أصغر من نصف قطر كل واحدة من القسي، كما تبين من قبل. فيكون

FBL تشرق [تشرق 479 || FO فيضي [فتضيء 478 || FO the same as above فحصل B تحصل L يحصل [يحصل 478
FBL ويتشعب [ويتشعب 480 || om F [بها 480 || requires agreement in fem sing الأضواء O the plural subject يشرق
L om 2 نقطة 483 || L اضاءت FO اضات B أصاب [أصاب 483 || الضوء O the verb precedes the masc sing ونيشعث
F بوعد [2 بوعد 490 || OL يوعد FB بوعد [1 بوعد 490 || O مستديرا [مستدير 489 || om B [الضوء تقعرًا 484 ||
BO يوعد L بوعد

arcs, as shown before. Line NF becomes smaller than the semi-diameter of arc KNM and the center of the arc falls within the concavity of arc ŠFĤ. Line FK is greater than line FN, FN is always equal to KŠ, and line FK is greater than line KŠ. Thus, circle ŠT cuts line KF under arc ŠF. The same holds for all circles equal to circle ŠT whose centers are on arc KNM: The lines that ^{L26r} come from their centers to point F are greater ^{F122v} than their semi-diameters. Thus, all these circles have their perimeters below⁷¹ point F. The circle, whose center is point N, passes alone through point F and is tangent to arc ŠFĤ. Each one of the remaining circles cut arc ŠFĤ, and a part of it falls within the concavity of the arc ŠFĤ. However, each one of the parts that fall inside the concavity of the arc ŠFĤ of these circles ^{P41r} is smaller than that of the circles passing through point F. From that it follows that this concavity is sharper⁷² than the first concavity, because the intersection of the light circles is under point F, and the luminous parts that are within arc ŠFĤ are fewer⁷³ than the lights that are inside the arc of the first concavity. And this implies that whenever the

71. I translate تحت differently: “under arc ŠF” and “below point F.”

72. Lit.: “stronger.”

73. Lit.: “less.”

خط ن ف أصغر من نصف قطر قوس ك ن م، ويكون مركز هذه القوس في داخل تقعر قوس ش ف خ. فيكون خط ف ك أعظم من خط ف ن وف ن هو أبداً مثل ك ش، فخط ف ك يكون أعظم من خط ك ش. فدائرة ش ث تقطع 495 خط ك ف تحت قوس ش ف. وكذلك جميع الدوائر المساوية للدائرة ش ث التي مراكزها على قوس ك ن م: يكون الخطوط التي L26r تخرج إلى مراكزها من نقطة ف أعظم F122v من أنصاف أقطارها. فجميع هذه الدوائر تكون محيطاتها تحت نقطة ف. وتكون الدائرة التي مركزها نقطة ن فقط تمر 500 بنقطة ف وتماس قوس ش ف خ. وكل واحدة من الدوائر الباقية تقطع قوس ش ف خ، ويحصل جزء منها في داخل تقعر قوس r_{omF} ش ف خ. إلا أن الأجزاء التي تحصل في داخل تقعر قوس r_{omF} ش ف خ من هذه الدوائر كل واحد P41r منها < يكون > أصغر من نظيره من الدوائر التي تمر بنقطة ف. فيلزم من ذلك أن يكون هذا التقعر أشد من التقعر الأول، لأن تقاطع الدوائر المضئية يكون تحت نقطة ف، والأجزاء المضئية التي في داخل 505 قوس ش ف خ تكون أقل من الأضواء الذي في داخل هذه القوس من التقعر

لدائرة B للدائرة [للدائرة 496] || دائرة FOL the verb follows the fem sing يقطع B تقطع [تقطع 495] L ش [ك ش 495]
 OL يخرج FB تخرج [تخرج 497] || الخطوط FB the verb precedes the masc plur تكون OL يكون [يكون 497] || FPOL
 الدائرة [الدوائر 498] || scr del F من أقطارها فيها [أعظم 498] || the plural requires agreement in fem sing
 OL the ويكون [وتكون 499] || OL the plural requires agreement in fem sing يكون FB تكون [تكون 498] F
 om FP [جزء 501] || كل واحدة O the verb follows the fem sing يقطع [تقطع 500] || الدائرة the verb precedes the fem sing
 OL the plural requires agreement in fem sing تحصل 502 || 10 words om F [ش ف خ إلا أن الأجزاء التي تحصل في داخل تقعر قوس 501] ||
 OL the same as above يكون B تكون [تكون 506] || om B [في 506]

aperture is far ^{B95v} from the plane parallel to it, the concavity <subjected> to the light will be increasingly deep. |^o

The reverse occurs if the aperture is moved close to the plane parallel to it, or the plane is moved close to it <the aperture>, ^{L26v} and thus makes the line that is between the centers of the two arcs greater than the semi-diameter of the arc. Therefore line NF is greater than the semi-diameter of arc KNM, line FK is smaller than line FN, and FK is smaller than line KŠ. Consequently, circle ŠT cuts the line KF above point F. The same applies to the remaining circles: the luminous parts collected within arc ŠFH outnumber⁷⁴ the luminous parts collected within ^{P41v} this arc from the circles passing through point F. From this, ^{O84v} it follows that the concavity is less <sharp> and smaller <in size>. As a result, whenever the aperture comes closer to the plane that displays its light, the concavity that appears in the light will be less <sharp>. |^o

It is clear from all we have explained that, when the light of the Sun at the time of its eclipse, provided it is not a total eclipse, has gone through a narrow aperture and has appeared on a plane parallel to the aperture, then its form is crescent-shaped, its convexity is round of perfect circularity, while its concavity is round to

74. Lit.: “are... more.”

الأول. فيلزم من ذلك أن يكون الثقب، كلما بعد B95v عن السطح الموازي له، كان التقعير، الذي في الضوء أكثر وأشد انخماصاً. ١٥

ويعرض ضد ذلك إذا قرب الثقب من السطح الموازي له أو قرب

السطح منه، وذلك أنه يعرض L26v من ذلك أن يكون الخط الذي بين

مركزي القوسين أعظم من نصف قطر القوس. فيكون خط نصف أعظم من

نصف قطر قوس كنم، فيكون خط فك أصغر من خط فن، فيكون

فك أصغر من خط كش. فيكون دائرة شت تقطع خط كف فوق نقطة

ف. وكذلك الدوائر الباقية: فيكون الأجزاء المضيئة التي تحصل في داخل

قوس ش ف خ أكثر من الأجزاء المضيئة التي تحصل في داخل P41v هذه

القوس من الدوائر التي تمر بنقطة ف. فيلزم من ذلك O84v أن يكون التقعير

أقل وأصغر. فيلزم أن يكون الثقب كلما قرب من السطح الذي يظهر عليه

الضوء كان التقعير الذي يظهر في الضوء أقل. ١٥

فقد تبين من جميع ما بيناه أن ضوء الشمس في وقت كسوفها، إذا لم

يستغرق الكسوف جميعها، إذا خرج من ثقب ضيق وظهر على سطح مواز

للقب، فإن شكله يكون هلالياً، محدبه مستدير صحيح الاستدارة ومقعره

OL يقطع F تقطع [تقطع 513 || rep F [أعظم من نصف قطر القوس فيكون خط نصف 511 || B بحد FPOL بعد [بعد 507
the verb follows the fem sing دائرة 514 || OL يحصل FB تحصل [تحصل 514 || OL the plural requires agreement in fem
sing || 517 om FO [الثقب 517 || marg P [القوس من 516 || OL يحصل FB تحصل [تحصل 515 || 519 ضوء [ضوء 519 ||
|| 521 om [هلالياً 521 || BO موازي [مواز 520 || O الثقب [ثقب 520 || om PL [في 519 || O الضوء [ضوء 519 ||
F || marg P [صحيح الاستدارة ومقعرة مستدير 521 ||

the sense only. The farther the aperture from the plane parallel to it, the sharper the concavity of the crescent; ^{L27r} The closer the aperture to the plane parallel to it, the less sharp the concavity. If ^{P42r} the remoteness or closeness varies widely, the sharpening or softening of the concavity is perceived by the sense;⁷⁵ If the remoteness or closeness varies little, the sharpening or softening of the concavity does not appear. The ^{B96r} crescent displayed⁷⁶ is greater than the ones <that are> similar to the self-luminous crescent. This means that the ratio of (light) to (shade) in its concavity is greater than the ratio of (the light that originates from the Sun) to (the darkness that arises from the concavity).⁷⁷ And that is what we wanted to show. ||^{BOP}||^F

<4.3 A Condition for Light to Appear Crescent-Shaped or Circular>

It is clear from all that we have explained above that if any circular aperture is facing the luminous part of the Sun, if there is behind the aperture a plane parallel to the plane of the aperture, and if the ratio of (the diameter of the aperture) to (the diameter of the self-luminous body, of which the self-luminous crescent is a part) is no greater than the ratio of (the distance from the aperture to the plane parallel to it) to (the distance between the plane parallel to the aperture and the self-luminous crescent), then the light appears crescent-shaped on the plane parallel to the aperture. ||^o

^{P43r} As a result of what has been found, I say: if ^{L27v} the ratio of (the distance between the aperture and the plane parallel to the aperture) to (the distance between ^{B96v} the plane parallel to the aperture and the body) is equal to the ratio of (the

75. Lit.: “the increase and decrease.” About perception, see note 25.

76. Lit.: “appears.”

77. Lit.: “the dark concavity that appears.”

مستدير في الحس. فإن الثقب كلما بُعدَ عن السطح الموازي له كان تقعر الهلال أكثر؛ L27r وكلما قرب الثقب من السطح الموازي له كان التقعر أقل. وإذا كانت P42r زيادة البعد والقرب كثيرة ظهرت الزيادة والنقصان في التقعر للحس؛ وإذا كانت زيادة البعد والقرب يسيرة لم يظهر الزيادة 525 والنقصان في التقعر. فإن هذا B96r الهلال الذي يظهر هو أعظم من الشبيه بالهلال المضيء، أعني أن نسبة الضوء الذي فيه إلى الظل الذي في تقعره أعظم من نسبة الضوء الذي يظهر من الشمس إلى التقعر المظلم الذي يظهر منها. وذلك ما أردنا أن نبين. ^{BOP}||F

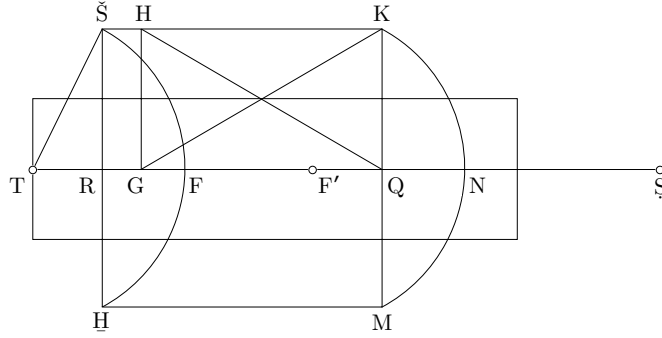
ويتبين من جميع ما بيناه أن كل ثقب مستدير، إذا قوبل به الجزء المضيء 530 من الشمس وكان وراء الثقب سطح مواز لسطح الثقب، وكانت نسبة قطر الثقب إلى قطر الجسم المضيء الذي الهلال المضيء جزء منه ليست بأعظم من نسبة بُعد الثقب عن السطح الموازي له إلى البعد الذي بين السطح الموازي للثقب وبين الهلال المضيء، فإن الضوء يظهر على السطح الموازي للثقب هلالياً. ^{||°}

535

P43r وإذا قد تبين ذلك فإننا نقول أنه: إذا L27v كانت نسبة البعد الذي بين الثقب وبين السطح الموازي للثقب إلى البعد الذي بين B96v السطح الموازي للثقب وبين الجسم كنسبة نصف قطر الثقب إلى عشرة أضعاف

[له 533 || om L 2 المضيء 532 || BO موازي 531 || om F] بالهلال 527 || FPOL بعد B بُعد 522 يُعَدُّ]
om L || F عن 534 || om P] نصف 538

semi-diameter of the aperture) to (ten times the semi-diameter of the self-luminous body), and if the aperture is circular, then light that is displayed on the plane parallel to the aperture will appear circular, and will not show any concavity. ^[P⁰]^B

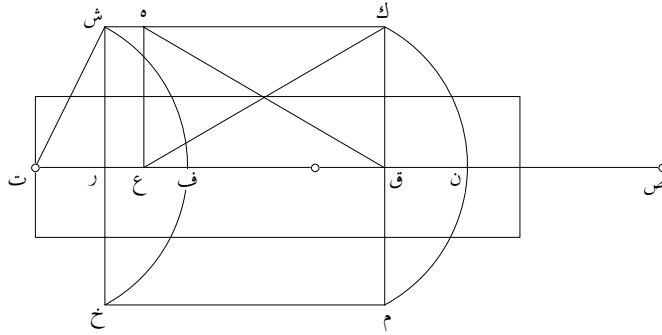
Diagram 4⁷⁸

<4.4 Geometric Demonstration>

<Diagram 4> Let us single out the two arcs KMN ŠFH, not to have too many lines <on the figure>. We draw the line NFT and drop ŠRH. We draw the two lines ŠK HM, and drop the perpendicular KQ. Then QR will be equal to NF, for KŠ is equal to NF. The surface KR is a right-angled parallelogram. If the ratio of (the distance between the aperture and the plane parallel to the aperture) to (the distance between the plane parallel to the aperture and the self-luminous body) is equal to the ratio of (the semi-diameter of the aperture) to (ten times the semi-diameter ^{F123r} of the self-luminous body), then the line between the centers of the two arcs KMN ŠFH is ten times ^{P43v} the semi-diameter of each of these two arcs. So it is, for it has been

78. Diagram 4 is a (rotated) simplified depiction of the two crescents KLMN, ŠYHF, to determine the length of segment RG, i.e., the depth of the cavity in the rounded image.

نصف قطر الجسم المضيء، وكان الثقب مستديرًا، فإن الضوء الذي يظهر
على ذلك السطح الموازي للثقب يكون مستديرًا، ولا يكون فيه شيء من
التعكير. $PO \parallel B$



< شكل ٤ >

<Fig. 4> فلنفرد قوسي كنم ش ف خ حتى لا تكثر الخطوط. ونخرج خط
ن ف ت ونصل ش رخ. ونصل خطي ش ك خ م ونخرج عمود ك ق. فيكون
ق ر مساويا لن ف، لأن ك ش مساوي لن ف. ويكون سطح ك ر متوازي
الأضلاع قائم الزوايا. وإذا كانت نسبة البعد الذي بين الثقب وبين السطح
الموازي للثقب إلى البعد الذي بين السطح الموازي للثقب وبين الجسم
المضيء كنسبة نصف قطر الثقب إلى عشرة أضعاف نصف قطر
الجسم المضيء كان الخط الذي بين مركزي قوسي كنم ش ف خ عشرة

543 OL s.p.BP the plural requires agreement in fem sing يكثر F تكثر 543 B فلنفرد FPOL فلنفرد 543
L المركزي 549 om F الذي 547 B مساو F مساويا POL مساويا 545 F قنه 545 ||

proven <Diagram 1B> that (the line between the two centers)⁷⁹ to (the line <SX>, ^{L28r} which is the extension⁸⁰ of line BŞ up to the line coming from point T to the center of the aperture, between the endpoint of the line mentioned and point Ş)⁸¹ is equal to the ratio of (the distance between the plane parallel to the aperture and the aperture) to (the distance between the aperture and the self-luminous body). ^{O85r} If the ratio of (the distance between the aperture and the plane parallel to the aperture) to (the distance between the plane parallel to the aperture and the self-luminous body) is equal to the ratio of (the semi-diameter of the aperture) to (ten times the semi-diameter of the self-luminous body), then (the line <SX>, which is the extension of line BŞ between the endpoint of the line coming from point T to the center of the aperture that ends on the self-luminous body, and point ^{B97r} Ş) is (ten times the line ŞD).⁸² Therefore, the ratio of (the line between the two centers)⁸³ to (ten times the semi-diameter of the self-luminous body) ^{P44r} is equal to the ratio of (the line between the centers of the two arcs KNM ŞFH) to (ten times the semi-diameter of each of these two arcs). And so it has been established that (the line between the two centers) to (the line <SX>, which is the extension of line BŞ up to the line coming from point T to the center of the aperture, between the endpoint of

79. This is the distance between the crescents $TF' = NF$.

80. Lit.: “separates.”

81. This awkward phrasing is because line SX is not drawn. I have reworded it.

82. On this hard-to-read passage, see Commentary, pp. 117 sq.

83. “The line between the two centers” refers in general to distance TF' . If this were the case here, we should read: $TF'/10 \text{ ŞD} = TF'/10 \text{ NF}' = 1$, which makes no sense. Thus, I read “the line between the two points” <Ş and X>.

أضعاف ^{p43v} نصف قطر كل واحد من هذين القوسين. وذلك أنه قد تبين أن
 550 'الخط الذي بين المركزين' نسبته إلى 'الخط الذي ^{L28r} يفصله الخط الذي
 يخرج من نقطة ت إلى مركز الثقب، من خط ب ص وما يتصل به، الذي
 بين طرف الخط الذي ذكرناه وبين نقطة ص' كنسبة 'البعد الذي بين
 السطح الموازي للثقب وبين الثقب' إلى 'البعد الذي بين الثقب وبين
 555 الجسم المضيء'. ^{O85r} وإذا كانت نسبة 'البعد الذي بين الثقب وبين السطح
 الموازي للثقب' إلى 'البعد الذي بين السطح الموازي للثقب وبين الجسم
 المضيء' كنسبة 'نصف قطر الثقب' إلى 'عشرة أضعاف نصف قطر الجسم
 المضيء'، فالخط 'الذي ينفصل من خط ب ص' وما يتصل به الذي بين
 طرف الخط الذي يخرج من نقطة ت إلى مركز الثقب وينتهي إلى الجسم
 560 المضيء وبين نقطة ^{B97r} ص' يكون 'عشرة أضعاف خط ص د'. فيكون نسبة
 'الخط الذي بين المركزين' إلى 'عشرة أضعاف نصف قطر الجسم المضيء'
 كنسبة ^{omFBOL p44r} 'الخط الذي بين مركزي قوسي كنم ش ف خ' إلى 'عشرة
 أضعاف نصف قطر كل واحد من هذين القوسين'. وذلك أنه قد تبين أن
 'الخط الذي بين المركزين' نسبته إلى 'الخط الذي يفصله الخط الذي
 565 يخرج من نقطة ت إلى مركز الثقب، من خط ب ص وما يتصل به، الذي

|| marg B] وإذا كانت نسبة ... الجسم المضيء 555 || marg B] بين المركزين نسبته إلى الخط 551 || om L] أنه 550
 وبين نقطة or by homoioteleuton كنسبة om FBOL by homoioarkhton 56 words] كنسبة 'الخط الذي ... ذكرناه وبين نقطة ص' 562
 || P lectio incerta] كنسبة 562 || ص

the line mentioned, to point ζ) is equal to the ratio of (the distance between the plane parallel to the aperture and the aperture) to (the distance between that aperture and the self-luminous body). $||^o$

However, as the ratio of (the distance between the aperture and the plane parallel to the aperture) to (the distance between the plane parallel to the aperture and the self-luminous body) is equal to the ratio of (the semi-diameter of the aperture) to (ten times the semi-diameter of the self-luminous body), and (the line $\langle \zeta X \rangle$, which is the extension of line $B\zeta$, between the endpoint of the line coming from point T to the center of the aperture that ends on the self-luminous body, and point ζ) is (ten times the line ζD), then the ratio of (the line between the two centers) to (ten times the semi-diameter of the self-luminous body) is equal to the ratio of P^{44v} (the distance between \langle the aperture and \rangle the plane parallel to the aperture) to (the distance between the aperture and the self-luminous body). $||^o$

Also, it is established that the ratio of (the semi-diameter of arc KNM) to (the semi-diameter of the self-luminous body) is equal to the ratio of (the distance between the plane parallel to the aperture and the aperture) to (the distance between the aperture and the self-luminous body). L^{28v} This implies that the ratio of (the line between the two centers)⁸⁴ to (ten times the semi-diameter of the self-luminous body)

84. This is again the distance between the crescents $TF' = NF$.

بين طرف الخط الذي ذكرناه وبين نقطة ص' كنسبة $\frac{omFBOL}{P||O}$ 'البعد الذي بين
السطح الموازي للثقب وبين الثقب' إلى 'البعد الذي بين الثقب وبين
الجسم المضيء'. $P||O$

وإذا كانت نسبة 'البعد الذي بين الثقب وبين السطح الموازي
للتقب' إلى 'البعد الذي بين السطح الموازي للثقب وبين الجسم المضيء'
570 كنسبة 'نصف قطر الثقب' إلى 'عشرة أضعاف نصف قطر الجسم المضيء'
'فالخط الذي ينفصل من خط ب ص وما يتصل به، الذي بين طرف الخط
يخرج من نقطة ت إلى مركز الثقب وينتهي إلى الجسم المضيء وبين نقطة
ص' يكون 'عشرة أضعاف خط ص د'. فيكون نسبة 'الخط الذي بين
575 P44v المركزين' إلى 'عشرة أضعاف نصف قطر الجسم المضيء' كنسبة
'البعد الذي بين < الثقب وبين > السطح الموازي للثقب' إلى 'البعد الذي
بين الثقب وبين الجسم المضيء'. $\frac{omFBOL}{P||O}$

وقد تبين أيضا أن نسبة 'نصف قطر قوس كنم' إلى 'نصف قطر الجسم
المضيء' كنسبة 'البعد الذي بين السطح الموازي للثقب وبين الثقب' إلى
580 'البعد الذي بين الثقب وبين الجسم المضيء'. $L28v$ فيلزم من ذلك أن يكون
نسبة 'الخط الذي بين المركزين' إلى 'عشرة أضعاف نصف قطر الجسم
المضيء' كنسبة 'نصف قطر قوس كنم' إلى 'نصف قطر الجسم المضيء'.

83 words om FBOL] وإذا كانت نسبة ... السطح الموازي 569 || resumption of the text common to FBOL] كنسبة 566

578] وقد 578 || الثقب إلى البعد الذي بين الثقب وبين الجسم المضيء by homoioteleuton

is equal to the ratio of (the semi-diameter of arc KNM) to (the semi-diameter of the self-luminous body). Alternately,⁸⁵ the ratio of (ten times the semi-diameter of the self-luminous body) to (the semi-diameter of the self-luminous body) is equal to the ratio of (the line between the two centers) to (the semi-diameter of arc KNM). Besides, if the ratio of (the distance between the aperture and the plane parallel to the aperture) to (the distance between the plane parallel to the aperture and the self-luminous body) is equal to the ratio of (the semi-diameter of the aperture) to (ten times the semi-diameter of the self-luminous body), then line KŠ, equal to line NF, is equal to ten times the line that is between the two centers,^{P45r} which is line FT. The surface KR is a rectangle. Thus, the line that connects the two points K R, which is the diameter of surface KR, is greater than KŠ. Assume that KG is equal to KŠ. Point G will be between the two points F R. The square of KG is equal to the square of QR. We draw QR on the side of Q towards Š, and make QŠ equal to QR. Therefore,^{L29r} ŠG multiplied by GR plus the square of QG^{B97v} is equal to the square of QR. Then ŠG multiplied by GR plus the square of QG is equal to the square of KG. But the square of KG is equal to the square of KQ plus the square of QG. Then ŠG multiplied by GR plus the square of QG is equal to the square of KG, and the square of KG is equal to the square of KQ plus the square of QG. It results that the square of KQ is equal to ŠG multiplied by GR, and the square of KQ is equal to the square of ŠR. Therefore, ŠG multiplied by GR is equal to the square of ŠR. Arc ŠF is less

85. *Alternando* (*Elements* V, def. 12).

فبالتبديل يكون نسبة (عشرة أضعاف نصف قطر الجسم المضيء) إلى
 (نصف قطر الجسم المضيء) كنسبة (الخط الذي بين المركزين) إلى (نصف
 قطر قوس كـنم). فإذا كانت نسبة (البعد الذي بين الثقب وبين السطح
 الموازي للثقب) إلى (البعد الذي بين السطح الموازي للثقب وبين الجسم
 المضيء) كنسبة (نصف قطر الثقب) إلى (عشرة أضعاف r_{omB} نصف قطر
 الجسم المضيء)، فإن خط كـش، المساوي لخط نـف، المساوي للخط
 الذي بين المركزين، يكون عشرة أضعاف r_{omB} p_{45r} خط فـت. و585 سطح كـر
 قائم الزوايا. فالخط الذي يتصل بين نقطتي كـر، الذي هو قطر سطح كـر،
 هو أعظم من كـش. فتجعل كـع مثل كـش. فيكون نقطة ع فيما بين نقطتي
 فـر. ويكون مربع كـع مثل مربع قـر. ونخرج قـر في جهته قـإلى صـ،
 ونجعل قـص مثل قـر. فيكون L_{29r} ضرب صـع في عـر مع مربع قـع B_{97v}
 مثل مربع قـر. فضرب صـع r_{omP} في عـر مع مربع قـع مثل مربع كـع.
 لكن مربع كـع مثل مربع كـق مع مربع قـع. r_{omBL} فمربع صـع r_{omP} في عـر
 مع مربع قـع مثل مربع كـع. لكن مربع كـع مثل مربع كـق مع مربع قـع
 r_{omBL} . فمربع كـق مثل ضرب صـع في عـر، ومربع كـق مثل مربع شـر.
 فضرب صـع في عـر مثل مربع شـر. وقوس شـف هي أقل من ربع دائرة،
590

|| om B [بين 590 || 18 words om B [نصف قطر الجسم ... يكون عشرة أضعاف 587-8 || L فيالأبدال [فبالتبديل 583
 595-6 || 18 words om P [في عـر مع مربع قـع ... فمربع صـع 594 || add B وما [بين 591 ante || om L [من 591
 O شـب [شـر 598 || F صـدع [صـع 595 || 19 words om BL [فمربع صـع في ... لكـق مع مربع قـع

than a quarter of a circle, and each crescent is bounded by the arcs of two equal circles; thus the concave arc is less than half of the circle, because whatever two equal circles intersecting <with each other>, the line that connects their intersections is a chord in each of them. It is thus smaller than their <common> diameter.⁸⁶ ^{P45v} Line ŠĤ is smaller than the diameter of arc ŠFĤ. Arc ŠFĤ is less than half of the circle, line ŠR is smaller than line FT, and line ŠR is twenty times line FT. Thus line ŠR is <less than> half tenth of line ŠR, and less than one tenth of line QR. Therefore, the square of ŠR is less than one hundredth part of the square of QR. And ŠG multiplied by GR is less than one hundredth part of the square of QR. We raise ^{L29v} at point G the vertical line GH. We draw QH, which is equal to line KG, and equal to line QR. Point H is thus on the perimeter of the circle whose center is Q and the semi-diameter is QR. Thus, the ratio RG to GH is equal to the ratio HG to GŠ. And the ratio TG to GŠ is equal to the ratio HG to GŠ doubled. HG is half tenth of GŠ, rounded off. Thus line RG is the four hundredth part of line ^{F123v} RŠ, rounded off. To the extent that it is the four hundredth part of line RŠ, <GR> is the twentieth part of line FT and the fortieth part of the diameter ^{B98r} of circle ŠFĤ. Thus, line GR is the fortieth part of the diameter of arc ^{P46r} ŠFĤ. The circle whose center is K passes through the two points Š G. And this circle has been shown to be the light circle, whose light originates from the point of the self-luminous crescent, which is point Ğ. ||^{FP}||^B

86. Lit.: “the diameter of each of them.”

603 قوس شف فـ || om B || 604 < أفل من > as ŠR is smaller than FT, ŠR is necessarily smaller than one twentieth of
 ŠR, hence أفل من || 608 مساوي [مساو] OB || 609 قـ [قـ] FBPL قـ O || 609 رـ [رـ] FBPL رـ O ||
 610 رـ [رـ] FBPL رـ O. Neither lettering makes sense, thus I opt for رـ. This is a lectio incerta for letters رـ and تـ
 are interchanged throughout the passage, lines 609–613 || 611 رـ [رـ] FBPL رـ O || 611 رـ [رـ] FBPL
 رـ O || 613 post [به] scr del قطر corr F || 613 عـ [عـ] FBPL عـ O || 613 جزء من || om O

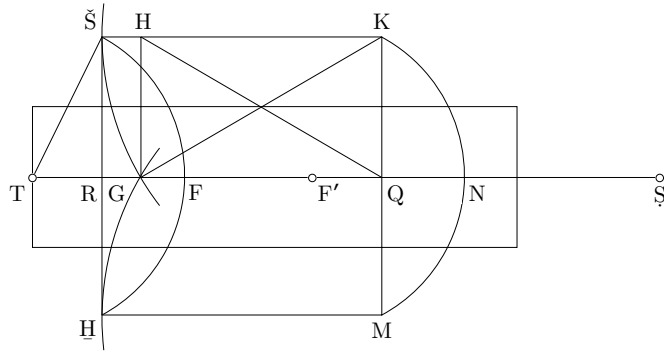


Diagram 4B

<Diagram 4B> Arc ŠFH itself is caused by the <light> cone, whose base is the concave arc of the light crescent and the apex is point H. All light circles, whose centers are on arc ^{O85v} KNM, cut the arc ŠFH. A part of each of them falls inside the arc ^{L30r} ŠFH. These circles are interlocked and overlap one another. The circle of center K is tangent to line ŠR at point Š, and ends at point G. The circle of center M is tangent to line HR at point H, and ends at point G on line FR. The full concavity, which is set up by arc ŠFR, is the sector bound by the arc ŠFH and line ŠH. If this sector is filled with light, the concavity will disappear in full. If the two circles whose centers are the two points K M ^{P46v} are illuminated, then they will fill the concavity of the sector with light, for these two circles pass through the points Š G H and are tangent to line ŠH, and the remaining light circles under these two circles are interlocked with them. Nothing remains from the concavity of arc ŠFH, except a small

أربعين جزءًا من قطر قوس P46r ش ف خ. والدائرة التي مركزها ك تمر بنقطتي
 ش ع. وهذه الدائرة قد تبين أنها هي الدائرة المضئية التي يخرج إليها
 615 الضوء من نقطة من الهلال المضيء التي هي نقطة ج. ^{FP} B
 وقوس ش ف خ هي التي يحدثها المخروط الذي قاعدته القوس المقعرة
 من الهلال المضيء ورأسه نقطة ح. وجميع الدوائر المضئية التي مراكزها
 على قوس O85v كنم تقطع قوس ش ف خ. ويحصل من كل واحد منها جزء
 620 في داخل قوس L30r ش ف خ. ويكون هذه الدوائر متصلة متداخلة. والدائرة
 التي مركزها ك تكون مماسة لخط ش ر على نقطة ش، وتنتهي إلى نقطة
 ع. والدائرة التي مركزها م تكون مماسة لخط خر على نقطة خ، وتنتهي
 إلى نقطة ع من خط فر. وجميع التقعير الذي يوجبه قوس ش فر هو
 القطعة التي يحيط بها قوس ش ف خ وخط ش خ. فإذا امتلأت هذه القطعة
 بالضوء، بطل التقعير بالجملة. والدائرتان اللتان مركزاهما نقطتا ك م،
 625 P46v إذا كانتا مضئيتين، فهما يملآن تقعير القطعة ضوءاً، لأن هاتين الدائرتين
 تمران بنقط ش ع خ وتماسان خط ش خ والدوائر الباقية المضئية تحت هذه
 الدائرتين ومتصلات بهما. فليس يبقى من تقعير قوس ش ف خ، إلا جزء

transp L الضوء إليها من نقطة [إليها الضوء من نقطة 615-6] || الضوء FOL the verb precedes the masc sing يخرج [يخرج 615
 يكون F تكون [تكون 621] || requires fem sing الدوائر FOL the plural subject يقطع [تقطع 619] || om FP [من 616] ||
 OL the verb يكون FB تكون [تكون 622] || FOL وينتهي [وتنتهي 621] || الدائرة follows the fem sing تكون OL the verb
 624 om L [التي 624] || FOL the same as above وينتهي [وتنتهي 622] || الدائرة follows the fem sing تكون
 يمليان P يملآن [يملآن 626] || scr del نقطتان [نقطتا 625] || om F [بالجملة 625] || FBO امتلت [امتلأت
 repet P [إلا جزء 628] || requires fem sing الدوائر BO s.p.FP the plural وتماسان [وتماسان 627] || F تمليان BOL

part that is not perceived when the sense falls⁸⁷ on point G. All the remaining light circles cut the line ^{B98v} FR near point G. Point G receives many lights from which accidental lights illuminate line GR. Line GR is very small, thus making the shadow disappear, which is very small at point G. But if the shadow ^{L30v} which is at point G is hidden, the perimeter of light which is inside the concavity of arc ŠFH becomes circular. Thus, the perimeter of the whole light appearing on the plane parallel to the aperture, which is the convex perimeter, turns out to be circular. The curve of the convex arc overlaps with the arc that passes through the two points Š G, because this arc is a part of the circle with center K, whose perimeter is a part of the ^{P47r} convex arc. All light that appears on the plane parallel to the aperture begins to appear circular. If the ratio of distance to distance, which we have mentioned, is equal to the ratio of the diameter of the aperture to an amount greater than ten times the semi-diameter of the self-luminous body, then light becomes rounder, for line KŠ increases, the circle that passes through the two points Š G increases, and line GR diminishes. Therefore, the roundness is sound. ¶¶⁸⁰

We have proved, amongst others, that if the ratio of (the distance between the aperture and the plane parallel to the aperture) to (the distance between the plane

87. Lit.: “when the sense is at point G.”

يسير ليس له قدر عند الحس وهو عند نقطة ع. وجميع الدوائر الباقية
 630 المضيئة تقطع خط B98v ف، وتكون قريبة من نقطة ع. فيحصل عند نقطة
 ع أضواء كثيرة، فيشرق منها أضواء عرضية على خط عر. وخط عر هي
 غاية الصغر، فيختفي الظل الذي في غاية الصغر الذي عند نقطة ع. وإذا
 خفي الظل L30v الذي عند نقطة ع، صار محيط الضوء الذي في داخل
 تقعر قوس ش ف خ مستديراً. فمحيط جميع الضوء الذي يظهر في السطح
 635 الموازي للثقب، الذي هو المحيط المحدب، قد تبين أنه مستدير.
 واستدارة القوس المحدبة متصلة بالقوس التي تمر بنقطتي ش ع، لأن هذه
 القوس هي من محيط الدائرة التي مركزها ك التي محيطها جزء من القوس
 P47r المحدبة. فيصير جميع الضوء الذي يظهر في السطح الموازي للثقب
 يظهر مستديراً. وإذا كانت نسبة البعد إلى البعد، اللذين ذكرناهما، كنسبة
 640 قطر الثقب إلى مقدار أعظم من عشرة أضعاف نصف قطر الجسم
 المضيء، كان الضوء أشد استدارة، لأن خط كش يكون أعظم فيكون
 الدائرة التي تمر بنقطتي ش ع أعظم، فيكون خط عر أصغر. فتكون
 الاستدارة أصح. P||BO

B وتكون [وتكون 630] || the plural subject الدوائر requires agreement in fem sing L the plural subject الدوائر requires agreement in fem sing FO يقطع B تقطع [تقطع 630]
 FPL. In BO ش ت [ش ع 636] || marg F [وخط عر 631] || نقطة FOL the verb precedes the fem sing ويكون
 Fig.3, point ع is on line كش, with ثك = كش. As it does not appear in Fig.4, I replace it by point ع for the sake of
 clarity [خط عر أصغر فتكون 642] || repet L [خط 641] || om B [إلى البعد 639] || BP إلى FOL التي [التي 637] ||
 repet O

parallel to the aperture and the self-luminous body) is equal to the ratio of (the semi-diameter of aperture) to (an amount no smaller than ten times the semi-diameter^{L31r} of the self-luminous body), then light that appears on the plane parallel to the aperture will be circular. And this is what we wanted to show. |^{PO}||^{FB}

<5. Analysis of the Image in the Case of the Moon>⁸⁸

<5.1 Conditions for the Image of the Moon to be Crescent-Shaped>

^{B99r} From what we have demonstrated, it is clear that the light of the Moon, at the time of the eclipse or at the time of being a crescent, passes through a circular aperture and appears on a plane parallel to the aperture. If the aperture is one of ^{P47v} the apertures similar to the aperture faced by the Sun, and by which its light goes through at the time of the eclipse, and if it appears on a plane parallel to the aperture, then the light <of the Moon> that appears on that plane should be crescent-shaped. <And yet,> the light of the Moon, which emerges from the aperture and appears on the plane behind the aperture at the same distance, appears circular and does not show any concavity whatsoever.

This fits with what Ptolemy⁸⁹ has found in his book entitled the *Almagest*, namely that the diameter of the Sun is eighteen times and four-fifths as the diameter of the Moon. The ratio of (the diameter of the Sun) to (the diameter of the Moon) is

88. See Commentary, pp. 148–58.

89. This is a reference to Ptolemy, *Almagest* V, 16: “ἡ μὲν τῆς γῆς ἄρα διάμετρος τῆς σεληνιακῆς τριπλασίων ἐστὶν καὶ ἔτι τοῖς δυοῖ πέμπτοις μείζων, ἡ δὲ τοῦ ἡλίου τῆς μὲν σεληνιακῆς ὀκτοκαίδεκαπλασίων καὶ ἔτι τοῖς δὲ πέμπτοις μείζων τῆς δὲ γῆς πενταπλασίων καὶ ἔτι τῷ ἡμίσει ἑγίστα μείζων,” which corresponds to “Therefore the earth’s diameter is $3\frac{2}{5}$ times the moon’s and the sun’s diameter is $18\frac{4}{5}$ times the moon’s and $5\frac{1}{2}$ times the earth’s” (Toomer 1984: 257; see Halma 1813: 347). Sabra discussed this reference in this way: “Finally, and on the basis of faulty measurements derived from the *Almagest* (the solar diameter is eighteen and four-fifths times the lunar diameter), Ibn al-Haytham tries to give an answer to the question posed at the beginning of his treatise. His answer recognizes the theoretical possibility of obtaining a crescent image for the crescent Moon, but he considers that the conditions of the arrangement are such that such an image will be too faint to be visible” (Sabra 1989, I: 1).

فقد تبين مماّ بيناهُ أنه إذا كانت نسبة 'البعد الذي بين الثقب وبين
 645 السطح الموازي للثقب' إلى 'البعد الذي بين السطح الموازي للثقب وبين
 الجسم المضئيء' كنسبة 'نصف قطر الثقب' إلى 'مقدار ليس بأصغر من
 عشرة أضعاف نصف قطر L_{31r} الجسم المضئيء'، فإن الضوء الذي يظهر
 على السطح الموازي للثقب يكون مستديرًا. وذلك ما أردنا أن نبين. $^{PO||FB}$

وإذ قد تبين ذلك فقد تبين أن القمر، في وقت كسوفه، وفي وقت كونه
 650 هلالًا، إذا خرج ضوءه من ثقب مستدير وظهر على سطح مواز للثقب،
 وكان الثقب من P_{47v} الثقوب التي إذا قوبل بمثلها الشمس في وقت
 كسوفها، وخرج ضوءها من ذلك الثقب، وظهر على سطح مواز للثقب،
 كان الضوء الذي يظهر على ذلك السطح هلالياً. فإن ضوء القمر، الذي
 يخرج من ذلك الثقب ويظهر على سطح بُعده من الثقب مثل ذلك البعد،
 655 يظهر مستديرًا ولا يظهر فيه شيء من التقعير.

وذلك أن بطلميوس قد بيّن في كتابه الموسوم بالمجسطي، أن قطر
 الشمس مثل قطر القمر ثمانية عشر مرة وأربعة أخماس مرة. ونسبة 'قطر
 الشمس' إلى 'قطر القمر' كنسبة 'بُعد الشمس من الأرض' إلى 'بُعد القمر من
 الأرض'، لأن الشمس والقمر يحيط بهما مخروط واحد رأسه مركز البصر

[الموسوم 656 || O الضوء] ضوء 653 || O مثل FBPL من [من 651 || BO موازي] مواز 650 || L ضوء] ضوء 650
 FBOL ثمانية [ثمانية 657 || L إلى] 2 أن 656 || L المعروف

equal to the ratio of (the distance from the Sun to the Earth) to (the distance from the Moon to the Earth), because the Sun and the Moon are enclosed in one cone, whose apex is the center of vision which is on the surface of the Earth. Thus the distance from the Sun to the Earth ^{L31v} is eighteen times and four-fifths of the distance from the Moon to the Earth. Therefore, if the Moon is facing an aperture whose diameter is one part out of eighteen and four-fifths⁹⁰ of the diameter of the aperture opposite to the Sun, if the sunlight which is made crescent-shaped passes through it, and if the distance of the plane that shows the moonlight to the aperture is one part out of eighteen⁹¹ and four-fifths of ^{B99v} the distance from the plane that shows the sunlight to the aperture through which passes ^{O86r} the sunlight, the ratio of (the distance from the aperture to the plane parallel to the aperture) to (the distance from the plane to the Moon) will be as (the diameter of the aperture) to (the diameter of the Moon). These are the conditions for the moonlight to appear crescent-shaped. ^{|B0}

<5.2 Material Impossibility for These Conditions to be Fulfilled>

If the diameter of the aperture is one part out of eighteen of the diameter of the aperture by which the sun<light> is tested,⁹² then the full area of the aperture by which the moon<light> is tested should be one part out of three hundred and twenty-four of the full area of the aperture by which the sun<light> is tested. If the diameter of the aperture by which the sun<light> is tested is as a grain of barley,⁹³ then one part out of three hundred and twenty-four ^{L32r} of the full area⁹⁴ of this aper-

90. F ends at time 0.922.

91. P ends at time 0.925.

92. Each of the following occurrences can be read “tested” or “experimented.”

93. On the grain of barley as the minimum size of the aperture, see Commentary, pp. 102–3.

94. Lit.: “surface.”

الذي هو على وجه الأرض. فُبعد الشمس من الأرض L31v مثل بُعد القمر 660 من الأرض ثمانية عشر مرة وأربعة أخماس. فإذا قوبل القمر بثقب قطره جزء من ثمانية عشر جزءًا وأربعة أخماس γ_{omF} من قطر الثقب الذي قوبل به الشمس، وظهر ضوء الشمس الذي ينفذ فيه هلالياً، وكان بُعد السطح الذي يظهر عليه ضوء القمر من الثقب جزءًا من ثمانية عشر γ_{omP} جزءًا وأربعة أخماس B99v من البعد الذي بين السطح، الذي يظهر عليه ضوء 665 الشمس، وبين الثقب الذي يخرج منه ضوء O86r الشمس، كانت نسبة 'بُعد الثقب عن السطح الموازي للثقب' إلى 'بُعد السطح عن القمر' كنسبة 'قطر الثقب' إلى 'قطر القمر'. فعند ذلك يجب أن يظهر ضوء القمر على السطح هلالياً. ^{BO}

وإذا كان قطر الثقب جزءًا من ثمانية عشر جزءًا من قطر الثقب الذي يعتبر 670 به الشمس، فإن جميع سطح الثقب الذي يعتبر به القمر، يجب أن يكون جزءًا من ثلثمائة وأربعة وعشرين جزءًا من جميع سطح الثقب الذي يعتبر به الشمس. فإذا كان قطر الثقب الذي يعتبر به الشمس عرض شعيرة واحدة، كان الجزء من ثلثمائة وأربعة وعشرين L32r جزءًا من جميع سطح هذا الثقب 675 جزءًا غير محسوس، لأنه يكون بمنزلة النقطة. ويكون الضوء الذي يخرج

662 BL ومن [1 من 662 FO عشرة BPL عشر [661 FBOL ثمانية [ثمانية 661 om P [هو 660
 664 post P [عشر 664 BOL ثمانية [ثمانية 664 F ends at time 0.922 [2 من 662 ante FBOL ثمانية [ثمانية
 673 BOL ثمانية [ثمانية 670 ذلك L the verb follows the masc sing نجب O يجب [يجب 668 time 0.925
 ante scr del O [ضوء شعيرة 674 BOL ثلثمائة [ثلثمائة 674

ture is an imperceptible size, because it amounts to a point. Light that comes from it is imperceptible, especially the light of the Moon, which is faint. Once it has come out from such point-shaped aperture, the light that is received on the plane opposite to it turns out to be imperceptible, because of its smallness and for being hidden. Therefore, if the moon hits an aperture of this nature at the time of being crescent-shaped, it will not appear crescent-shaped because it is hidden. |°

The diameter of the aperture by which the light of the Sun is tested is eighteen and four-fifths times the diameter of the aperture that would allow the light of the Moon to appear crescent-shaped. It has been shown with demonstration that if any self-luminous body was facing an aperture with a diameter not smaller than ten times the diameter of the aperture showing its crescent-shaped light, then the light that came out from it ^{B100r} to the plane showing the light crescent-shaped, was circular. If the Moon is facing an aperture like that by which the sunlight appears crescent-shaped, and if the moonlight passes through it and attains the plane whose distance from the aperture is one part out of eighteen times the distance showing the sunlight crescent-shaped, then the light will appear circular,⁹⁵ ^{L32v} as shown before by proof. If the moonlight being processed through a suitable aperture is received on a plane close to the aperture, it should appear circular. Then, if the aperture moves away from the plane on which the light is displayed, the light weakens, and what weakens first is its edges. |°

95. The proof contains an error, see Commentary, pp. 149–50.

منه غير محسوس، وخاصة ضوء القمر فإن ضوء القمر ضعيف. وإذا خرج من ثقب بمنزلة النقطة، كان الضوء الذي يحصل على السطح المقابل له غير محسوس لصغره ولخفائه. فالثقب الذي بهذه الصفة، إذا قوبل به القمر في حال كونه هلالاً، لم يظهر هلالياً لخفائه. ١٥

والثقب الذي يعتبر به ضوء الشمس هو الذي قطره مثل قطر الثقب الذي 680 كان يجب أن يظهر ضوء القمر منه هلالياً، ثمانية عشر مرة وأربعة أخماس. وقد تبين بالبرهان أن كل جسمٍ مُضيء، إذا قوبل بثقب قطره ليس بأصغر من عشرة أضعاف قطر الثقب الذي يظهر ضوءه هلالياً، فإن الضوء الذي يخرج منه، B100r إذا حصل على السطح الذي كان يظهر عليه الضوء هلالياً، ظهر مستديراً. فإذا قوبل القمر بثقب من مثله يظهر ضوء الشمس 685 هلالياً، ونفذ فيه ضوء القمر وحصل على السطح الذي بُعده من الثقب جزء من ثمانية عشر جزءاً من البعد الذي يظهر عنده ضوء الشمس هلالياً، وجب أن يظهر الضوء مستديراً L32v كما تبين من قبل بالبرهان. فضوء القمر الذي ينفذ من ثقب مقتدر إذا حصل على سطح قريب من الثقب، يجب أن يظهر مستديراً. ثم إذا بوعد الثقب عن السطح الذي يظهر عليه الضوء، 690 ضعف الضوء وأول ما يضعف منه حواشيه. ١٥

BO عشر [عشر 681 || BOL ثمانية [ثمانية 681 || BOL لخفائه [لخفائه 679 || O وخفاء BL وخفائه [ولخفائه 678
BO ثمانية [ثمانية 687 || O ميله [مثله 685 || transp L الضوء يظهر عليه [يظهر عليه الضوء 684 || L عشرة
BOL بوعد [بوعد 690 || B لما سى L لما نبين O كما نبين [كما تبين 688 || om L [ثمانية عشر جزءاً 687

Assuming that the light coming from the light of the Moon was crescent-shaped, its concavity would disappear with the remoteness of the aperture, because the parts of the light that weaken first with the remoteness are the angles and edges.⁹⁶ If what had made the moonlight appear crescent-shaped at short distance moved away from the aperture, then it is its angles that would vanish first,⁹⁷ then its edges, so that it would become circular. Thus if <the image> were circular while being close to the aperture, it would be <even> more circular with the remoteness. ¶^o

<As for> the distance that meets the ratio required for the moonlight passing through a suitable⁹⁸ aperture to appear crescent-shaped, if the moonlight arrives with that distance, it will fade out and disappear, for every light coming from an aperture vanishes when the aperture is moved away at a great distance. ¶^o

The same holds true with the light of the Sun, if it comes from a wide, circular aperture and stands at a distance whose ratio requires that its light appears crescent-shaped. However, that distance may vary and perhaps one cannot^{B100v} find on the face of the Earth any place whose distance to the aperture meets the required ratio. And if^{L33r} a place of this kind were found, the eyesight of the experimenter who is at the aperture would not perceive what stands in that position, because of the discrepancy of the distances. However, if the light of the Sun that came out from the wide

96. See Commentary, pp. 150–58.

97. This notion could result from either direct observation or *Problemata Physica* XV, 6, where we read: “αἱ μὲν εἰς τὰς γωνίας ἀποσχιζόμεναι τῶν ὀψέων ... οὐχ ὁρώσι,” and “Visiones quae ad angulos quidem discinduntur ... non cernunt.”

98. Lit.: “capable.”

فلو كان الضوء الذي يظهر من ضوء القمر هلالياً لكان إذا بُعد عن
الثقب بطلَ تعبيره، لأن أول ما يبطل من الضوء إذا بُعد هو زواياه وحواشيه.
فلو كان الذي يُظهره من ضوء القمر من القرب هلالياً، لكان إذا بُعد عن
الثقب كان أول ما يبطل منه زواياه، ثم حواشيه، فكان يصير مستديراً. فإذا
695 كان يظهر مستديراً، وهو قريب من الثقب، فهو إذا بُعد كان أشد استدارة.
||^o

والبعد الذي نسبته الذي يوجب أن يظهر ضوء القمر الذي يخرج من
ثقب مقتدر عنده هلالياً، إذا انتهى ضوء القمر اليه يكون قد تلاشى وبطل،
لأن كل ضوء يخرج من ثقب فإنه، إذا بُعد عن الثقب بُعداً كثيراً، بطل. ||^o
700 وكذلك ضوء الشمس، إذا خرج من ثقب واسع مستدير فإن له بُعد
يوجب نسبته أن يظهر الضوء عنده هلالياً. إلا أن ذلك البعد يكون متفاوتاً،
وربما τ^{omL} لم B100v توجد على وجه الأرض موضع بُعد من الثقب τ^{omL} البعد
الذي نسبته النسبة المفروضة. وإن L33r وجد موضع بهذه الصفة فإن
المعتبر، الذي هو عند الثقب، لا يدرك بصره ما يكون في ذلك الموضع
705 لتفاوت بُعد. ومع ذلك فإن ضوء الشمس الذي يخرج من الثقب الواسع،

694 OL يظهر B يظهره [يُظهره 694 om L] الذي 694 OL بعد B بُعد [بُعد 693 OL بعد B بُعد [بُعد 692 OL فكان [فكان 695 BO زواياه 695 om L] ما يبطل 695 OL بعد B بُعد [بُعد 694 om L] إذا
B بُعد [بُعد 700 BO تلاشا [تلاشى 699 L مقتدر B مقتدر [مقتدر 699 OL بعد B بُعد [بُعد 696 B وكان
[لم توجد على وجد الأرض موضع بُعد من الثقب 703 add بُعد [يكون post 702 O إذا كان [إلا أن 702 OL بعد
om B] البعد الذي 703 L بما ... توجد [البعد 703 B الأ من [الأرض 703 om B] توجد على وجد 703 om L

aperture reaches that place, it would vanish and fade away. And this notion <also> concerns lights that pass through narrow apertures. |^o

<Conclusion>

Thus we have discovered the cause for which the sunlight appears crescent-shaped when, at the time of the eclipse, it passes through one of these apertures and attain a plane parallel to the aperture. <Instead,> the moonlight emerging from these apertures does not appear crescent-shaped ^{086v} <neither> when the Moon is crescent-shaped <nor> at the time of the eclipse. Its light coming from these apertures will always appear circular. Moreover, we have shown when the light of the eclipsed Sun appears crescent-shaped and when it appears circular at the time of the eclipse. These are the notions that we intended to explain in this epistle. |^o||^B

The end of the epistle.⁹⁹

99. OBL differ from then on: O “Praised be Allah, Lord of the Worlds, peace and blessings upon Muḥammad and all his family.” B “All praise be to God, I copied it from a manuscript in his own handwriting, God have mercy upon him. The conformity [of the copy?] with the original was done.” L “The end of the epistle by one of the Moderns—lit.: newcomers—and His support.”

إذا انتهى إلى ذلك الموضع بَطُلَ واضمحَل. وهذا المعنى يظهر من الأضواء التي تخرج من الثقوب الضيقة. ^{١٥}

فقد تبينت العلة التي من أجلها يظهر ضوء الشمس في وقت كسوفها، إذا خرج من ثقب من الثقوب وصار إلى سطح مواز للثقب هلالياً. ولا يظهر 710 ضوء القمر، إذا خرج من الثقوب هلالياً ^{086v} في وقت كون القمر هلالاً وفي وقت كسوفه. فيظهر ضوءه الذي يخرج من الثقوب أبداً مستديراً. وتبين مع ذلك متى يظهر ضوء الشمس إذا انكسفت هلالياً، ومتى يظهر مستديراً في حال كسوفها. وهذه هي المعاني التي قصدنا لبنينها في هذه المقالة. ^{١٥||B}

715

تمت المقالة.

[ضوءه 712 || BO موازي] موازي 710 || L the plural الأضواء requires agreement in fem sing O يخرج] تخرج 708
[المقالة 716 || L لثبينها O لثبينها B تبينها] لثبينها 714 || L انكسفت] انكسفت 713 || L الثقب] الثقوب 712 || L ضوء
بلغ علي فصله [والحمد لله حق حمده نقلتها من نسخة بخطه رحمه الله O add والحمد لله رب العالمين والصلاة على محمد وآله أجمعين وسلم
add L تمت المقالة بين أفد وتوفيقه B add [marg lectio incerta] مقابلة

A Critical Edition of Ibn al-Haytham's On the Shape of
the Eclipse

The First Experimental Study of the Camera Obscura

Raynaud, D.

2016, XVIII, 305 p. 75 illus., 1 illus. in color., Hardcover

ISBN: 978-3-319-47990-3