

F. GRAELL I DENIEL

**LA LLUM I ELS COLORS**  
**UNES APROXIMACIONS ELEMENTALS**

**ESCRITS DE FILOSOFIA DE LA CIÈNCIA**

---

QUADERNS DE FILOSOFIA



F. GRAELL I DENIEL

**LA LLUM I ELS COLORS**  
**UNES APROXIMACIONS ELEMENTALS**  
**ESCRITS DE FILOSOFIA DE LA CIÈNCIA**

22

QUADERNS DE FILOSOFIA

---

Barcelona 2018

---

2ª edició: abril de 2018 [1ª edició: maig de 2007]

© F.Graell i Deniel

ISBN: 978-84-935669-1-3

[www.xtec.cat/~fgraell](http://www.xtec.cat/~fgraell)

E-mail: [fgraell@xtec.cat](mailto:fgraell@xtec.cat)

La web permet de baixar la còpia d'un qualsevol quadern editat.  
Podeu fer ús de l'adreça electrònica per a qualsevol correspondència amb  
*Quaderns de Filosofia*.

Es distribueix en paper sols la primera edició de cada quadern quan es publica. Per això es prega de tenir en compte sempre de consultar si hi ha una nova edició (que inclou canvis de vegades prou rellevants) en la web esmentada.

## CONTINGUT

Pròleg a la segona edició, 7.

Presentació, 8.

### **UNA INTRODUCCIÓ A LA LLUM**

§1. La llum i l'actitud realista, 10.

§2. Si la llum és alguna cosa, 12.

§3. La complicació que hi ha entre llum i colors, 13.

§4. Hi ha coses materials i espacials, 14.

§5. L'aire està il·luminat i és transparent, 15.

§6. En quina accepció no caldria explicar més què és la llum?, 16.

### **II**

#### **ALGUNES INDICACIONS DE LA TEORIA ARISTOTÈLICA, 18.**

### **III**

#### **EN QUINA ACCEPCIÓ CALDRIA EXPLICAR QUÈ ÉS LA LLUM?**

§1. Quan una explicació no és suficient. Com apareixen les dificultats a propòsit de la llum com a fenomen real, 26.

§2. Las urgència de perllongar les consideracions sobre la llum 28.

### **IV**

#### **UNA EXPLICACIÓ D'IBN AL-HAYTAM, 30.**

## V L'ESCOMESA CARTESIANA

- §1. Què vol dir que l'òptica moderna començà amb Descartes? 37.
- §2. La teoria de la llum, 39.
- §3. Indicacions al tractament de la reflexió, 41.
- §4. Indicacions al tractament de la refracció, 43.
- §5. La teoria dels colors, 51.

## **Pròleg a la segona edició**

La nova edició del quadern ha permès de simplificar-lo tant com ha estat possible sense menyscar el que s'hi proposava. Els punts del seu contingut s'han distribuït en cinc capítols de manera que el lector pot fer-se càrrec fàcilment de l'organització del treball. A més d'això s'ha traduït algun text perquè pugui esdevenir més útil, s'ha realitzat correccions, i s'ha afegit alguna consideració més a l'estudi de la llum en Aristòtil.

Respecte de la part dedicada a Descartes s'ha procurat, no sols simplificar-ne el text, sinó d'ordenar millor l'exposició. Si més no continua provant de bandejar consideracions que no deurien trobar-se en el ment del francès i evita de lliurar-ne una exposició algèbrica.

En conjunt el treball es manté, en allò bàsic, tal com era: una passa en la direcció de quelcom que necessita de molts més estudis. Aquí sols n'hi ha un tast inicial: resta per a meditar tot un món de llum. Car deu ser un dels fenòmens més sorprenents i ofereix un gran nombre de reptes, inclosos els continguts en la relativitat.

## Presentació

La força persuasiva d'una explicació convincent sovint va més enllà del que es percep i del que es pensa, i apaivaga les dèries investigadores motivades pel fet de no tenir cap altra experiència perceptiva directa capaç de discriminar una solució d'això o d'allò.

La ciència de la llum fa comprendre fenòmens la realitat dels quals provoca dubtes i desconeixements. Parlant en general els models físics van oferint esclariments més o menys unitaris per a plurals afers, en fan la previsió, potser permeten noves disposicions abans no albirades, àdhuc, si es vol, algun suggeriment per al profit immediat o per a noves investigacions. I el caràcter acumulatiu del saber físic, la circumstància que unes aportacions donen peu a d'altres, i que les unes fan de suport a d'altres, ajuda a entendre el privilegi que es dona a la comprensió al costat de l'observació.

La ciència, i en particular la de la llum, és la resultat de l'esforç i de la tenacitat d'un ingent nombre d'individus pertanyents a moltes generacions, que han fet seus moltíssims repertoris que ja són quelcom adquirit, on hi ha hagut, i hi ha, múltiples habituacions, i on sempre s'ha usat el que s'ha pogut de les facultats humanes. En conjunt el saber és tan plural com plurals són les disciplines, i ha estat divers en el transcurs dels temps.

La nova ciència a partir de Galileu defensarà sense embuts que el saber teòric s'expressa amb un pensament quantitatiu; un hom ho fa així, des d'unes habituacions operatives que són la manifestació de quelcom après, que té doncs la seva digressió i la seva pròpia justificació.

Tanmateix la tasca a seguir ara vol ser molt més modesta: car el present treball se circumscriu a apuntar una mica el fenomen de la llum tal i com podria lliurar-se sense el sedàs de



la ciència, passa per damunt per l'aportació de tres autors, i deixa entreveure la necessitat de continuar-lo en totes direccions.

Tot i això el lector comprovarà que aquesta aproximació al marge de la ciència palesa alguna cosa instructiva, quan al cap i a la fi deu ser si més no l'horitzó del començament de tot. També se sorprendrà ben segur de l'aportació aristotèlica, després de la qual se li farà notar la rellevància de què gaudí el gran matemàtic Al-Haytam en els anys posteriors. Descartes tancarà l'escrit: un hom hi trobarà la inauguració de la nova etapa de la ciència de la llum.

# I

## UNA INTRODUCCIÓ A LA LLUM

¿És possible de poder dir alguna cosa a propòsit de la lluminositat al marge de la interpretació de la ciència? Si més no hi degué haver un temps en el qual no n'hi havia, de ciència, i avui dia es podria fingir i tot el seu desconeixement.

¿Val la pena d'esbossar alguna mena de mirada que no la tingui en compte i que es fixi en la llum i els colors?

### §1. La llum i l'actitud realista.

Si les crítiques que reclamen els drets d'una subjectivitat en estat de dubte podrien afegir-se als punts de vista de matemàtics quan rebutgen de situar les deus dels seus coneixements en les coses i en els esdeveniments naturals, no hi ha en física i, en conjunt, en una qualsevol disciplina que atén éssers orgànics o inorgànics, la possibilitat de rebutjar d'entrada que l'origen d'un qualsevol problema rau en alguna observació que revela quelcom autònom, donat, natural, malgrat una qualsevol afectació apriorística de les dades i dels continguts naturals, i malgrat una qualsevol interpretació posterior a propòsit de la vertadera realitat natural més enllà de la percebuda.

En efecte una física de la llum pressuposa la llum, la té com a passa prèvia, i com a mínim amb alguna certesa, no sols perquè altrament, a l'home, no se li hauria acudit mai una teoria, sinó també perquè el físic estimaria xerrameca inútil l'afirmació de la seva inconsistència, no-ésser, o irrealitat; menysprearia de fet la pretensió que no hi ha llum, o que no n'hi hagi en un qualsevol aspecte. L'actitud de partida quan es fa física, quan no s'està tocat per un qualsevol prejudici, és realista: i quan hi ha algun prejudici l'estudiós tampoc no pot estar-se d'anotar les

dades a considerar (el cas de Descartes, per exemple); és a dir, no pot estar-se d'una actitud consirosa de la natura assumint i tot prejudicis.

L'actitud realista del físic no està renyida amb cap manera d'interpretar la mateixa conducta investigadora o les dades observades. És més: una part important d'investigadors de la natura tendeixen a explicar la visió i les percepcions des del que han trobat en llur estudi de manera que hi ha un *quid pro quo* que no comporta cap perjudici pel fet que pot ser superat fàcilment. Hi ha doncs una plantejament realista que mena a una espècie de reconstruccions sense més importància.

La inversió inevitable que fa el saber natural respecte de l'origen que el fonamenta és un tema recurrent, i es podria admetre i tot que els mateixos iniciadors de la filosofia a Grècia n'eren conscients. En el segle XX ha estat quelcom explícitament tractat en Husserl, en Merleau-Ponty, en els autors de tradició analítica, etc. L'atomisme lògic, per exemple, volia superar precisament un tal engavanyament:

«Quan mirem el Sol desitgem conèixer alguna cosa sobre el Sol mateix, que es troba noranta-tres milions de milles lluny; però el que veiem depèn dels nostres ulls, i és difícil de suposar que els nostres ulls puguin tenir res a veure amb el que passa a una distància de noranta-tres milions de milles. La física ens conta que certes ones electromagnètiques surten del Sol i arriben als nostres ulls uns vuit minuts després. Hi produeixen perturbacions en els bastonets i els cons, des d'aquí en el nervi òptic, des d'aquí al cervell. Al final d'aquestes sèries purament físiques, per algun estrany miracle, s'esdevé l'experiència que anomenem 'veure el Sol', i són unes tals experiències que formen tota i l'única raó de la nostra creença en el nervi òptic, els bastonets i els cons, les noranta-tres milions de milles, les ones electromagnètiques, i el mateix Sol. És aquesta curiosa oposabilitat de direcció entre l'ordre de la causació afirmada per la física, i l'ordre de l'evidència revelada per la teoria del coneixement, que causa la més seriosa perplexitat respecte de la natura de la realitat física. Qualsevol cosa que invalidi la nostra visió com a font de coneixement que concerneix la realitat física invalida també tota la física i la fisiologia. I tot i així, la forma inicial essent una acceptació de sentit comú de la nostra visió, la física s'ha dirigit passa a passa a la construcció d'una cadena causal on la nostra visió és el darrer enllaç, i l'objecte immediat que veiem no pot tenir-se com l'objecte immediat que creiem que es troba a noranta-tres milions de milles lluny, i que ens inclinem a tenir-lo com el Sol 'real'» (Bertrand Russell, *The ultimate constituents of matter, a Mysticism and Logic*, Unwin Paperbacks, Londres, 1986, pàg.130).

La tendència a la inversió, tanmateix, deu provenir d'una circumstància molt entenedora: l'home de ciència vol comprendre el que s'esdevé, àdhuc com hi ha visió; sense un tal lliurament no semblaria fàcil de llançar-se a la recerca. Des d'aquesta perspectiva l'aportació del filòsof no és útil.

## **§2. Si la llum és alguna cosa.**

Hi ha llum: ¿és possible de discernir com se sap que n'hi ha? Quina és la singularitat que fa parlar de la llum? Versemblantment caldria anar repensant les estones en les quals es diferencia la llum i la foscor: en la negror de la nit, hi són les coses, aquelles mateixes que apareixen amb tots els relleus a la llum del Sol, del foc, d'un qualsevol llumener. Es parlaria precisament de llum per uns tals esdeveniments i per aquests mateixos es copsaria el Sol, el foc, o un qualsevol altre llumener, com l'origen lluminós. Però la diferència entre el dia i la nit, per exemple, no impedeix topar amb l'inconvenient que no hi ha, sembla, més diferències en la taula on un hom escriu, en ple dia i a plena llum, per les quals es pugui separar la llum i la cosa visual il·luminada; o si es vol: hi ha diferència entre la cosa tocada i la vista (i es pot tancar els ulls o tocar-la a les fosques), però el que algú veu no sembla contenir nova informació per la qual pugui individuar quelcom així com la llum. Per tot aquest estat dels afers es diu, sí, que un hom veu això o allò perquè està il·luminat: ho diu perquè ho pensa com un efecte, que explicaria per la diferència entre foscor i llum (i del seu origen), però que el deixa on era quan és davant l'objecte visual i es pregunta on és aquí la llum.

Des d'un punt de vista «ingenu» semblaria que no es podria anar més enllà: és això el que palesaria el suggeriment que hi ha colors aquí i allà, que aquests colors es veuen perquè és de dia, perquè hi ha llum, de tal manera que no s'identificaria sense més llum i color, sinó que es veuria els colors perquè hi ha llum.

### §3. La complicació que hi ha entre llum i colors.

Sembla que no es podria dir pas que tot el que és visual en les coses i en els esdeveniments sigui llum, o a propòsit de la llum, sense concebre-la, la llum, en alguna de les maneres modernes. Altrament, com s'hauria sabut que el color és llum? ¿no pressuposaria tot plegat que la llum blanca es compon de tots els colors de l'arc de sant Martí? ¿no implicaria pel cap baix algun model com el de Descartes? Semblaria més aviat que la llum estigués “en l'aire” i que els colors i els relleus de coses i esdeveniments apareguessin amb el Sol o amb un llumener, en l'accepció més aviat que en fossin una mitjà.

Sigui com sigui l'ambigüitat que hi ha en tot això, els dubtes i les certeses que els assumptes vagin d'una forma o d'una altra revelen que les descripcions del que ocorre semblen ja “una manera de veure-hi”.

Cal intentar de meditar una mica més una colla de circumstàncies comunes: per exemple, el fet mateix que el color és de les coses i els esdeveniments; després la noció de transparència i si l'aire té algun color. Fent tot això un hom s'aparta una mica d'una mirada quotidiana en l'accepció que la fa anar una mica més enllà perquè aquí s'agafa algunes precaucions, d'una banda; i es vol evitar tant com sigui possible la lectura que en faria, dels fets, una qualsevol *explicació física*, del caire que fos, d'una altra.

Es defensa que els colors són de les coses i s'afegeix que són dades primàries en l'accepció que sembla que tot altre saber dels éssers físics se'n deriva, dels afers visibles (i dels tàctils, etc.). No hi ha una altra manera d'agafar un punt de partida de l'estudi de la realitat material que des d'aquella que es lliura pel fet de veure coses i esdeveniments.

Per tant la taula que es veu de color beix sobre la qual s'escriu, que es toca i se sosté, ben al contrari de ser una qualsevol recreació sembla (se n'està convençut) que fa present un producte elaborat amb materials naturals. No hi ha aquí res

que faci pensar que tot plegat és la resultant d'una meva subjectivitat: els problemes que puguin brollar, que n'hi ha, ben segur, no impedeixen que un mateix es faci fort en l'encert de no deixar-se arrossegar per d'altres posicions.

La taula que es veu no seria doncs llum, malgrat que en caldria per a tenir-la present, caldria que estigués il·luminada; tampoc no seria exacte d'avaluar el color beix com a quelcom aliè a la llum, quan li cal per a oferir-se: la mirada sobre els fets mateixos conté sens dubte una ambigüïtat que deu resultar potser de la incapacitat de desentranyar-los més. El que passa és que la visió de la taula conté la suficient informació per a palesar que és allí, i que s'imposa amb el ben entès que la subjectivitat dels continguts no pressuposa un destorb per a tot això<sup>1</sup>.

#### **§4. Hi ha coses materials i espacials.**

Aquest color beix de la taula lliura en els seus relleus quelcom material i espacial: que hi ha quelcom material se sap primerament per la mateixa informació de la realitat física, pel plus que impossibilita d'afirmar que la taula és un mer objecte imaginari; i després perquè allò per la qual cosa se sap que no hi ha mera recreació admet una quantificació: matèria doncs perquè és susceptible d'assumir-se com un tot divisible, àdhuc pensable des de les parts<sup>2</sup>.

D'altra banda la taula s'ofereix així mateix espacial, amb el benentès que l'espai visual no s'ha d'agafar com una aïllada sensació visual, ni com a quelcom que sols pressuposi mera visualitat: saber mirar implica, sembla, una dedicació prenys de motricitat, no pot deixar de banda els mateixos moviments dels ulls i tot, llurs tensions; s'endevina prou anars i venirs cap a les

---

<sup>1</sup> Per a una discussió més detallada, cf. *Sobre la meditació fenomenològica fonamental de Husserl. Part primera* (Quaderns de Filosofia 12).

<sup>2</sup> Cf. també *Anotacions marginals als Principia Mathematica newtonians* (Quaderns de Filosofia 14).

coses i des de les coses, es presumeix prou exercicis escorcolladors de les coses, de fer-les giravoltar, de mirar-les per tots cantons. L'observació de l'espai de les coses pressuposaria, si es vol, el cos propi en moltes accepcions: com a possibilitat de dirigir els ulls i com a pòsit de mil experiències; però tot això no lleva ni una engruna de la realitat de l'espai: que per mitjà de mil viarans l'individu ha integrat un lloc de transcendència, no pas cap a una realitat sense subjectivitat, sinó cap a aquella subsistència que sols pot dar-se d'acord amb les possibilitats humanes. L'espacialitat de la taula, que hi és d'acord amb una mesura humana, hi és també fent prova d'un seu dèbit, i palesa a la seva manera que una qualsevol altra concepció de les coses i dels esdeveniments en deriva, del coneixement de les coses espacials, com deriva en conjunt del saber natural<sup>3</sup>.

### **§5. L'aire està il·luminat i és transparent.**

Encara queda pendent de comentar una mica la circumstància que hi ha coses transparents; també cal preguntar on és la llum donat que els colors de la taula, de les parets, etc., no són exactament la llum, i quan es medita tot això críticament, però fingint que no se sap res de les interpretacions físiques.

Pel cap baix les ombres palesen que es tapa la llum: la llum s'escamparia per l'aire, provindria del Sol o d'un qualsevol altre llumener.

Ara bé: l'aire no té color en l'accepció que no s'hi veu un color; i se'n sap quelcom al marge de la llum: se'l nota en l'espai (hi ha un espai entre el cos propi i les parets de la cambra, s'hi mou la mà, s'hi trasllada), se n'experimenta i tot algun saber tàctil, amb les quals coses cal arrencar el fet cabdal de la respiració, la pròpia, la dels altres homes, la dels animals.

---

<sup>3</sup> Per a l'espai, cf. *Introducció a la geometria euclidiana. Apunts per a una filosofia de l'espai* (Quaderns de filosofia 36).

Potser el contrast més fort que lleva que la sort de l'aire i la de la llum no vagin plegades rau que hi ha foscor: s'hi respira, s'hi nota la frescor i la resistència de l'aire.

Per això no es té cap inconvenient a dir que l'habitació està il·luminada pel fet que s'hi veu les coses; que és plena de llum perquè no està a les fosques: no sols no ho estan les coses que s'hi veu, sinó àdhuc l'espai ocupat per l'aire és clar (no és fosc); que la llum s'escampa per l'aire pel fet que hi ha claredat arreu de l'habitació sense que l'aire tal qual es vegi; i allò que es veu són les coses: precisament perquè l'aire, que no està acolorit, que permet passar la llum i que n'és ple, de llum, deixa veure els colors de les coses, fa dir que l'aire és transparent o diàfan. Hi ha doncs una noció de transparència o diafanitat que brolla d'aquest conjunt de fenòmens; precisament sols hi hauria transparència perquè ocorren: perquè deixa veure les coses, per la circumstància que l'aire és real i que se'l coneix per la respiració, resistència, etc.; perquè permet deixar passar la llum.

Així mateix hi hauria els corresponents discursos per a la transparència de l'aigua, o d'un vidre.

### **§6. En quina accepció no caldria explicar més què és la llum.**

Si l'aire, l'aigua, etc., deixen passar la llum i són il·luminats, si la llum es desplega des del Sol i des d'altres llumeners, com sembla que ho palesen tota mena d'ombres, la llum que penetra per orificis i finestres, tot plegat va palesant que la llum, que se la diferencia pel contrast amb la foscor, no és simplement l'aire, l'aigua, etc., ni cap de les coses que s'individua, sinó que les ensenya, les coses, i passa a través de l'aire, o el que sigui, il·luminat. Això vol dir que se sap de la llum per aquella diferència amb la foscor.

D'aquí que, segons com es miri, no calgui més explicacions sobre què és la llum més enllà d'establir-la com a quelcom propi, com una propietat (la lluminositat com a oposada a la



foscor), perquè de fet es diferencia de la foscor, és en l'aire o en l'aigua, s'origina de llumeners, i les coses s'hi veuen, en la llum: des d'aquest punt de mira no sembla que hi hagi molts problemes, deixant (si es vol) quin és el suport d'una tal propietat o on rau.

En un cert sentit no caldria saber res més sobre la llum: la llum seria el que es contempla en l'ambient, allò que fa veure les coses, que s'origina per llumeners, allò que es copsa amb la visió. És clar que potser ja hi ha aquí interpretació, però cal admetre que sembla prou innocent i que fins i tot descrigui allò que s'esdevé: la llum no sembla cap cosa independent, que un hom discriminaria des de les altres coses i esdeveniments; faria potser com la blancor o la simpatia, quan s'assumeix que no hi ha res blanc fora de la cosa blanca, ni res simpàtic al marge d'algú simpàtic: la llum no se singularitzaria altrament (no hi hauria una llum discriminada com no hi ha un blanc fora de la cosa blanca), hauria de menester, sembla, d'un suport o de quelcom on descansar. Des d'aquet punt de mira la teoria física d'Aristòtil sobre la llum semblaria un perllongament de tot això.

## II

### ALGUNES INDICACIONS DE LA TEORIA ARISTOTÈLICA

Tanmateix cal no subestimar l'aportació del filòsof en l'estudi de la llum i dels fenòmens naturals associats. Uns esbossos breus bastaran per a tenir present una mica l'abast de les seves recerques.

#### – Què és la llum.

Les precisions que hi llegim<sup>4</sup> no es troben molt lluny de tot el que hem anat comentant. Se'ns diu, per exemple, que anomena «diàfan» (o «transparent»):

«allò que certament és visible encara que, dit en un mot, no és visible per ell mateix, sinó en virtut d'un color que és aliè a la seva essència [*es refereix al fet que deixa veure els colors que fa presents de les coses*]. D'aquesta naturalesa són l'aire, l'aigua i un gran nombre de sòlids: com a aigua i com a aire, en efecte, no són pas diàfans, sinó perquè en tots dos elements hi ha continguda la mateixa naturalesa que també es troba en el cos etern situat en les esferes més altes [*l'èter*]. Però la llum és precisament l'acte d'allò que és diàfan en tant que diàfan [*i.e. no en tant que aire o aigua*]. En allò que només és diàfan en potència, tanmateix, existeix també la foscor. La llum és, per tant, com el color [*és a dir, un acte, com ho és el color; cf. més avall*] d'allò que és diàfan, quan allò que és diàfan està en entelèquia per l'acció del foc o de quelcom semblant al cos situat en les esferes més altes, car la propietat inherent a aquest cos és exactament la mateixa que la del foc».

La llum no és foc, ni cap mena de cos, ni un efluvi de cap cos, sinó la presència del foc o de qualsevol altra cosa semblant en allò que és diàfan, perquè és impossible que dos cossos es trobin conjuntament en el mateix lloc. I hi ha foscor en el diàfan en potència. No té raó Empèdocles quan lliura velocitat a la llum: no n'hi observem.

---

<sup>4</sup> Cf. *De anima* II,7, 418a 25 - 419b 5. Arreu hem usat la versió que en lliura *Aristòtil, Psicologia* (traducció de Joan Leita, edició a cura d'Eusebi Colomer), Laia, Barcelona, 1981 (Textos Filosòfics 4). Els retocs i els esclariments en cursiva introduïts són responsabilitat exclusiva nostra.

– **La llum no es mou.**

Malgrat la contundent afirmació que Empèdocles no té raó, els textos no deixen bandejar totes les dificultats que es troben en la lectura dels escrits d'Aristòtil.

Al capítol sisè del llibre *De la sensació i dels objectes sensibles*, feta la qüestió si és possible d'oïr o d'olorar la mateixa cosa en condicions diferents (per exemple, a diferents distàncies), respon que sí en un sentit (hi ha la mateixa cosa sensible) i no en un altre (són experiències numèricament distintes). I això perquè els sons, les olors, etc., es mouen localment.

«Ara: pel que fa a la llum, la qüestió és diferent. La llum, en efecte, és deguda a la presència d'alguna cosa, però no és pas un moviment [no és *κίνησις* en el sentit estricte de *φορά* (translació), ni és *μεταβολή* en sentit lax, que inclou l'*ἀλλοίωσις* (l'alteració)].

Sens dubte, en general, no s'esdevé igualment amb l'alteració que amb la translació. Les translacions, efectivament, arriben veritablement abans a l'element intermedi (sembla, certament, que el so és un moviment d'una cosa que es trasllada). Tanmateix, no s'esdevé igualment amb les coses que s'alteren... [quelcom es pot alterar tot a la vegada, però pot fer-ho també per parts: per exemple, quan l'aigua es congela].

Pel que fa als sentits que funcionen mitjançant un element intermedi, és veritat que no totes les parts són afectades a la vegada, llevat del cas de la llum per tot el que s'ha dit. Per això s'esdevé igual amb el fet de veure, car és la llum la que fa veure»<sup>5</sup>.

És a dir, no ocorre que un hom vegi la mateixa cosa abans o després depenent del lloc on es trobi. La llum es difon simultàniament per tot el medi i pel mateix sentit-facultat.

Però, com veurem de seguida, l'objecte visual per excel·lència és el color, que mou (una alteració) el diàfan en acte. I Aristòtil no té inconvenient a dir:

«Tanmateix, tant si és la llum com si és l'aire l'element intermedi entre allò que es veu i l'ull, és el moviment [*κίνησις*] a través seu [l'element intermedi] allò que produeix la visió»<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> Cf. *De sensu* 6,446b 25 - 447b 10.

<sup>6</sup> *Ibíd.* 2,438b 1-5.

Ross hi veu un text contradictori amb *De sensu* 6,446b 27-28, esmentat dalt<sup>7</sup>; en canvi Tricot sembla assumir-lo<sup>8</sup>.

Pel cap baix hi haurà la simultaneïtat per a tot el diàfan en acte, fora de l'òrgan sensorial i dins seu, cosa que estaria d'acord amb el que diu Aristòtil a propòsit del procés per a arribar a la sensació.

Però també, des del punt de mira de la sensació hi ha una *κίνησις* (el procés) simultània a l'acció transitiva, un *κίνησις*, del medi extern (cf. com es produeix la sensació).

És a dir: la instantaneïtat de la llum per fora i per dins de l'ull seria una condició de possibilitat per al procés de la visió.

– **Visibilitat i color.**

L'objecte de la vista és allò que és visible. I allò visible és el color (i també els objectes fosforescents). El color és:

«allò que recobreix la superfície d'aquells objectes que són visibles per ells mateixos, la qual cosa no significa pas que siguin visibles en virtut de llur forma, sinó que ho són pel fet que posseeixen en ells mateixos la causa de llur visibilitat. Qualsevol color, a més a més, té el poder de fer moure allò que és diàfan en acte [*és a dir, fer una alteració, ἀλλοίωσις*, moviment *κατὰ τὸ ποιόν*, qualitatiu], de manera que això constitueix precisament la seva naturalesa. Per això, el color no és visible sense llum i, al contrari, a la llum es veu el color de totes les coses»<sup>9</sup>.

El color és doncs:

«l'agent que fa moure allò que és diàfan en acte, mentre que l'entelequia d'allò que és diàfan constitueix la llum»<sup>10</sup>.

---

<sup>7</sup> *Aristotle, Parva Naturalia* (introducció i comentari de David Ross), Clarendon Press, Oxford, 1955, pàgs. 221-222.

<sup>8</sup> *Aristote, Parva Naturalia* (traducció i notes de J. Tricot), J. Vrin, Paris, 1951, pàgs. 9-10.

<sup>9</sup> *De anima* II,7 418a 25 - 418b 5.

<sup>10</sup> Ídem, 419a 10-11.

Cal que el color mogui el que és diàfan, per exemple l'aire, i que:

«l'òrgan sensorial sigui mogut per aquesta cosa concreta [*el diàfan*] amb la qual està en contacte»<sup>11</sup>.

No té raó Demòcrit quan pretén que veiem a través del buit, quan hi ha visió per una certa afecció de l'òrgan sensorial, impossible sense una cosa intermèdia [que és l'aire, i el *medium* per antonomàsia ho seria el diàfan que es troba en l'aire i en l'ull].

**– Què és el color, on es troba i quants n'hi ha.**

La llum és el color del diàfan pel fet que es troba en acte, és a dir, que hi ha alguna cosa ígnia al si del diàfan; la seva privació és obscuritat.

«Tanmateix, allò que anomenem diàfan no és pas una cosa pròpia de l'aire o de l'aigua, ni de cap altre dels cossos anomenats d'aquesta manera, sinó que és una certa natura i una certa força comuna a tots que no existeix per separat, ans es troba en aquells cossos, i també en els altres, per bé que més en aquells i menys en aquests»<sup>12</sup>.

El diàfan es troba doncs també en els altres cossos, en menor mesura, sí, que en l'aire o en l'aigua, i hi troba el seu límit en el mateix límit dels cossos. Precisament aquest límit és allò que anomenem el color, que és a la superfície dels cossos. Però hem de pensar que el cos també té aquesta natura, és a dir, el diàfan, a l'interior (el color no existeix tal qual a l'interior del cos, sinó a la superfície): Aristòtil compara la llum de l'aire i de l'aigua, que són realitats indeterminades (sense superfície) i que tenen accidentalment el color dels cossos limitats, amb el color dels cossos determinats, limitats, per a insistir que en l'un cas i en l'altre allò que rep el color és la mateixa cosa; és a dir: el diàfan. Per tant és aquest el que fa participar del color. Ara:

«així com a l'aire hi ha adés llum i adés fosc, de la mateixa manera en els cossos hi ha el blanc i el negre»<sup>13</sup>.

---

<sup>11</sup> Ídem, 419a 13-14. A l'interior de l'ull el diàfan es comporta com al seu exterior: «a més a més, és cert que l'interior de l'ull és d'aigua, car l'aigua és diàfana. Igual com certament no es pot veure el defora sense llum, tampoc no es pot veure sense aquesta al dedins. Per tant, cal que l'interior de l'ull sigui diàfan i necessàriament ha de ser d'aigua, per tal com no és pas d'aire» *De sensu* 2,438b 5-10.

<sup>12</sup> *De sensu* 3,439a 20-25.

<sup>13</sup> Ídem 3,439b 15-20.

Val la pena de repassar de bell nou què és el color. J.Tricot, per exemple, en fa el següent resum:

«Tota la teoria aristotèlica del color està dominada per la noció de *diàfan* (o *transparent*, τὸ διαφανές). El fonament de tots els fenòmens del color és el diàfan, que és una κοινή φύσις ... de dos dels quatre elements, l'aire i l'aigua; és el *medium* transparent, però, malgrat funcionar com un medi entre els objectes i l'ull, Aristòtil no el defineix sols com un medi: és un vehicle amb unes determinacions positives. Penetra més o menys tots els cossos compostos, els qual inclouen, en una proporció variable, aire i aigua; i, en la mesura que els cossos contenen el diàfan, aquests són susceptibles de ser acolorits. El color d'un cos sòlid és el límit, la superfície (ἔσχατον), no del cos mateix, sinó del diàfan que conté. Endemés la natura del diàfan s'estén a través de tot el cos. En si mateix el diàfan és una pura δύναμις i és incolor [*cosa que no obsta que Aristòtil parli de la llum com el color del diàfan*]; és dut a l'acte per la presència de l'element igni que li és immanent (foc, Sol, cossos celestes), i la seva actualització és la llum no acolorida, mentre que l'absència d'actualització constitueix l'obscuritat. El diàfan lluminós, la llum, no és visible per si mateixa, és sols la condició necessària de la visibilitat del color; altrament dit, la llum és l'acte del diàfan indeterminat, tal com existeix en els medis transparents com l'aire o l'aigua, mentre que els colors són els diàfan determinat, que resideix en els cossos, i que tiren més o menys a blanc o a negre segons si [els cossos] contenen més o menys foc o terra, l'element brillant o l'element obscur. L'essència del color és la de determinar un canvi qualitatiu (ἀλλοίωσις) en la llum, la qual és per si mateix el diàfan en acte»<sup>14</sup>.

#### **- Com es generen els altres colors.**

Els altres colors poden fer-se present seguint supòsits diferents:

«El blanc i el negre, efectivament, poden col·locar-se sens dubte l'un al costat de l'altre, de manera que cadascun sigui invisible a causa de la seva petitesa, mentre que allò que resulta de tots dos sigui visible, car aquest resultat no pot aparèixer certament ni com a blanc ni com a negre. Amb tot, com que necessàriament ha de tenir un color i no pot ser que sigui cap d'aquests dos, cal que hi hagi un color barrejat i que sigui d'una forma específica diferent.

---

<sup>14</sup> *Aristote, Parva Naturalia*, pàg.13.

Per tant és possible de suposar que existeixen molts colors a més del blanc i del negre, múltiples sens dubte des del punt de vista de la proporció»<sup>15</sup>.

Poden ésser en una proporció de tres a dos, o de tres a quatre, etc. O poden no conservar cap proporció per excés o per defecte. Certament els expressats en nombres proporcionals són els colors més agradables (per exemple, el porpra, l'escarlata, i d'altres), etc.

«Aquesta és, doncs, una manera d'explicar la gènesi dels colors. L'altra manera es refereix al fet que els colors apareguin els uns a través dels altres, tal com ho fan a vegades els pintors, els quals passen un color sobre un altre més viu»<sup>16</sup>.

Aquí també es podria admetre que estan en proporció els que es troben a la superfície i els que es troben a sota, mentre que d'altres no hi estaran, en proporció.

La discussió dels pros i dels contres de les posicions esmentades ens fa veure com a més convenient d'assumir que hi ha barreges absolutes on no hi ha barreja d'elements petits. I llavors:

«És palès que quan es barregen els cossos és necessari que es barregin també els colors i que aquesta barreja sigui la causa principal que existeixin molts colors, i no pas la superposició ni la juxtaposició dels uns i dels altres: no és, en efecte, ni de lluny ni de prop que el color dels objectes barrejats apareix com un de sol, sinó pertot arreu. Sens dubte, hi haurà molts colors, per tal com els cossos que es barregen poden barrejar-se de moltes formes: els uns poden barrejar-se certament d'acord amb els nombres, mentre que els altres poden barrejar-se només per excés d'un dels elements»<sup>17</sup>.

Diguem també que el nombre de colors pot ser potencialment il·limitat per ser possible un continu en la gamma de colors. De fet sols n'hi pot haver un nombre limitat<sup>18</sup>.

---

<sup>15</sup> *De sensu* 3,439b 20-25. El blanc i el negre podrien fer-se presents d'acord amb una distribució de petitíssimes parts blanques i d'altres negres incapaces de ser percebudes per la vista humana. Llavors la «barreja» faria tenir un color amb una forma específica. La proporció a la qual es refereix fóra de les parts de blanc i de negre.

<sup>16</sup> Ídem 3,440a 5-10.

<sup>17</sup> Ídem 3,440b 15-25.

<sup>18</sup> La discussió a ídem 6,445b - 447a.

**– Com es produeix la sensació d'un objecte sensible.**

Per a entendre la sensació en Aristòtil cal fer-ne primer un breu resum.

Hi ha l'objecte sensible (o simplement el sensible) que seria, en el cas del sentit de la vista, el color o el cos que té color.

Després hi ha la sensibilitat (la potència), el mateix sentit de la vista com a facultat.

Però quan hi ha sensació, aquesta no s'ha d'entendre com si pròpiament el sensible fos l'agent. La sensació no es passió en aquet sentit, sinó el pas a l'acte des de les potències del subjecte.

El sensible, com diu Tricot, realitza les condicions que permeten a la sensibilitat d'exercitar-se.

La sensació doncs és un acte comú al sensible en acte i al que sent en acte; l'εἶδος és present alhora a l'objecte i en el sentit.

Però per llur quiditat (τὼ εἶναι), el sentit (facultat) i el sensible es poden considerar distints; és a dir, en potència són totalment diferents.

S'ha d'afegir que, sí, hi ha una acció transitiva del sensible, però no del sensible sencer, la seva matèria i forma, sinó sols d'aquesta darrera.

A partir d'això es pot entendre el que va dient Aristòtil a *De anima* III 2,425b 11ss:

Per exemple, que un únic sentit (el de la vista) percep la visió (un acte) i l'objecte de la visió, el color.

Afegeix que percebre amb la vista és sobretot veure el color, però llavors percebre amb la vista no és quelcom simplement unívoc (car també distingim amb la vista la llum i la foscor, on no hi ha color, no veiem res.), és a dir, diem que percebem quan no percebem color.

També allò que es veu és, per dir-ho així, quelcom que té color, mentre cada òrgan sensorial és capaç de rebre el sensible sense la matèria (per això les sensacions i les imatges continuen en els òrgans sensorials malgrat que els sensibles ja no hi siguin).

Més avall Aristòtil estableix la relació entre l'acte del sensible i l'acte del sentit que, malgrat ser diversos en alguna accepció, mostren una identitat d'actes en alguna altra accepció, i que faria percebre allò sensible tal qual és. Aquest fóra el sentit que caldria entendre en les següents afirmacions:

«L'acte d'allò que és sensible i l'acte del sentit són certament el mateix i l'un sol acte, malgrat que llur quiditat no és la mateixa. Em refereixo, per exemple, al so en acte i a l'oïda en acte. És possible, efectivament, que hom no senti encara que tingui oïda i que allò que sona no soni sempre. Tanmateix, quan allò que està en potència d'oïr està en acte i allò que està en potència de sonar sona de fet, es produeix alhora l'oïda en acte i el so en acte,



les quals coses poden anomenar-se respectivament audició i sonada»<sup>19</sup>. Per això copsem el so en l'acte d'oïr: les paraules del *De anima* III 2,426a 1-5 semblen en efecte anar en aquesta direcció:

«Ultra això, si el moviment, l'acció i la passió rauen allí on s'actua, és necessari que tant el so [*és un acte*] com l'oïda en acte es trobin en l'oïda en potència, car l'acte d'allò que actua [*el so*] i d'allò que mou [*actualització*] es produeix en el pacient [*el sentit*].»

Se'ns repeteix una altra vegada que:

«Ara: com que l'acte d'allò que és sensible i l'acte de la facultat sensorial són certament el mateix acte, encara que llur essència sigui diferent, és necessari que, considerats d'aquesta manera, l'oïda i el so desapareguin alhora i romanguin alhora, com també el sabor i el gust i, de la mateixa manera, els altres casos. Tanmateix, considerats segons la potència, això no és necessari»<sup>20</sup>.

Aristòtil defensaria doncs que a través de la vista copsem el color tal qual; és per la identitat de l'acte del color i del sentit que hi ha sensació de color, i aquesta sensació és en acte. Som davant d'un capteniment realista.

---

<sup>19</sup> *De anima* III 2,425b 25 - 426a 5. Més amunt (cf. ídem., II,5 416b 33) ja havia començat afirmant:

«La sensació, com ja s'ha dit, és la resultant d'un moviment sofert i d'una passió: sovint s'admet, en efecte, que consisteix en certa mena d'alteració».

És a dir, aquell acte suposa el moviment des d'una potència,. Les reticències d'Aristòtil d'anomenar-ho una alteració es deu al fet que vol distingir la potència amb condicions negatives (aquell que no és savi) i amb condicions positives (el savi): l'home adquireix aquesta segona, parlant dels sentits, quan neix. Per tant, si de cas, hi haurà dos tipus d'alteracions.

I el capítol conclou que:

«La facultat sensorial està en potència de la mateixa manera com allò que és sensible està ja en entelèquia, tal i com ho hem dit ja [*De anima* II,5 417a 12s]. Per tant, mentre no és quelcom de similar, certament pateix. Això no obstant, un cop és afectada, esdevé similar al sensible i ja és igual que ell».

<sup>20</sup> *De anima* III 2,426a 15-20.

### III

## EN QUINA ACCEPCIÓ CALDRIA EXPLICAR QUÈ ÉS LA LLUM?

¿Es pot mantenir que no hagués estat tant una dada fenomènica la que hauria dut a preguntar-se de bell nou què és la llum, com la circumstància d'haver-se postulat això o allò com a substàncies materials de tal manera que s'hauria fet impossible d'establir la llum en si com un fet al marge de la concepció general sobre el tarannà dels afers naturals?

¿Es pot defensar, preguntí's una altra vegada, com una tesi general que hom no s'ha qüestionat què és la llum més que a partir d'una concepció conjunta de la manera de ser dels fets naturals; és a dir, que la necessitat no prové tant d'una mirada ingènua a la seva presència fenomènica com a la major o menor dificultat d'explicar-la, aquella presència, a partir d'una concepció conjunta del que és la natura de les coses i dels esdeveniments? Aquests interrogants mereixen algunes reflexions amb voluntat ponderadora.

### **§1. Quan una explicació no és suficient. Com apareixen les dificultats a propòsit de la llum com a fenomen real.**

Cal dir pel cap baix que les explicacions físiques aristotèliques, o les aristotelitzants, no són pas conclusives en tant que pressuposen una colla de nocions (acte i potència, substància i accident, etc.): el bandeig de la terminologia, i de la manera de meditar-ho corresponent, hauria de comportar, sembla, que es deixa el problema tal qual. Cal no rebutjar, a més a més, que un hom pugui sentir aclaparament i engavanyament davant d'una construcció que valora allunyada dels afers tal com són. Des d'aquesta perspectiva val la pena portar a col·lació les circumstàncies històriques de l'antiaristolisme de Galileu, o el rebuig explícit, conscient, radical, cartesià de les filosofies anteriors (malgrat ser-ne en part deutor).

Si més no la «naturalitat» de la solució aristotèlica no lleva la problemàtica de la llum com a afer real: al marge de la solució del grec, la realitat de la llum torna a provocar un reguitzell de preguntes sense que sigui fàcil de superar llur estadi interrogatiu. Si es rebutja, per exemple, que l'aire faci de suport de la llum a la manera aristotèlica, algú pot preguntar-se de nou: on és la llum que fa clar el dia? De quin tipus de suport gaudeix? ¿Es pot dir que és una «cosa»? Què és, si no? Per què la llum permet de veure els colors?

Fet i fet no hi ha qüestió a l'entorn de la llum que no permeti d'albirar algun aspecte problemàtic: n'hi ha en la pròpia producció de la llum, en la circumstància de tenir velocitat de propagació o no, en tot allò que envolta el pas per un forat d'un raig de llum, en l'explicació dels fenòmens de la reflexió i de la refracció, en la del mateix comportament dels raigs (van en línia recta, omplen sols el seu recorregut, fan iguals els angles de reflexió i d'incidència, no es destorben quan es creuen). Una qualsevol solució passa necessàriament per una elucidació que no pot circumscriure's a allò que s'observa perquè de fet no es pot atalaiar massa cosa més: tota explicació és una digressió a propòsit de les experiències i les observacions; ho és l'aristotèlica, ho seran les modernes.

En cap cas no es nega la realitat de la llum i dels colors, sinó el fet que no n'hi ha una bona discriminació, individuació.

No està en qüestió que, les coses i els esdeveniments, se'ls veu, se'ls troba reals, són afers d'una natura, que és també de colors i plena de llum.

No es discuteix el caràcter natural dels mitjans clars, sigui aire o aigua.

Ocorre que, així com s'explica el que s'esdevé en això o allò de la realitat material per allò altre (l'aigua bull perquè hi ha foc, la bola corre impulsada per un cop) no hi ha cap discriminació que porti a saber com és l'efecte d'un llumener (el Sol, l'espelma, la bombeta) pel qual es distingeix la claror de la foscor: què hi ha en la claror que la diferencia de la foscor? I,

què hi ha en el color de les coses perquè sols es vegi en la llum (i que hi hagi sols foscor quan hi ha foscor)?

No sembla haver-hi res que es pugui individuar i que faci dir: «mira, això és la llum», perquè no hi ha individuació de la llum, sinó que es parla de la llum per la diferència amb la foscor; i es parla dels colors de les coses, ja sigui quan s'individua coses, quan es diferencia els colors, o per qualsevol altre procediment, sense que no s'hi trobi l'entrellat a la qüestió que és el que hi aporta la llum respecte de la foscor. Repeteixi's: sols apareix un interrogant quan es pregunta què hi ha en la llum perquè desaparegui la foscor, què hi ha perquè apareguin els colors, i quan no basta que hi hagi una diferència entre llum i foscor. Al cap i a la fi una posició realista (i en física difícilment hom no s'hi mou) no pot superar que, si el discurs sobre la realitat material es fa en un llenguatge que remet a la visualitat; si nosaltres veiem coses i esdeveniments naturals, per tant quan estan amb llum; si tot això és versemblant, també ho és que la mateixa realitat il·luminada i els ambients clars es palesen com a fenòmens produïts per llumeners, i que contrasten vivament amb la foscor.

## **§2. La urgència de perllongar les consideracions sobre la llum.**

Si no hi ha res en el mateix espai clar i en les coses il·luminades que pugui servir per a individuar què és la llum; si s'està resolt a considerar que hi ha una realitat anomenada llum, i que fa sortir els colors, que contrasta com a fenomen natural amb la foscor i que és produïda pels llumeners, llavors no queda més remei que imaginar com és, o simplement pensar-ho.

Pel cap baix es tracta de *perllongar* les observacions i els pensaments amb imatges que són manllevades del que s'ha observat, amb pensaments el domini dels quals no llevaria que, en allò que poden remetre de representatiu, no poden fer veure més que el que és possible de veure. Les interpretacions físiques

perllonguen (i suposen) l'activitat intel·lectual ordinària amb el ben entès que volen saber més, s'enquimeren en pensaments, delegen comprendre i assadollar els interrogants, la cerca, la ignorància. La comprensió de la llum ensenya que una estranya cabòria somou l'ànima de l'home: el perllongament d'observació i pensament.

Una física de la llum, circumscrit als seus aspectes qualitatiu, i en unes primeres fases, no substitueix l'actitud espontània que permet d'atendre les coses i els esdeveniments, i talment és així que sols perllonga aquella manera de fer, palesant quin és l'origen d'una qualsevol certesa, quina és la trama, de què està feta l'estofa per a una qualsevol altra investigació.

## IV UNA EXPLICACIÓ D'IBN AL-HAYTAM

El discurs aristotèlic es desplega d'acord amb unes orientacions que no se circumscriurien estrictament als fets mentre manté a la seva manera l'observació dels esdeveniments naturals. I la tradició científica grega, àrab i llatina, que pensà els fenòmens associats a la llum, provà d'explicar què s'hi esdevé, i per què, fent ús d'analogies i d'esquemes geomètrics.

Val la pena d'exemplificar-ho amb l'esment d'un qualsevol problema per algun autor. Per exemple, el tractament a la manera mecànica més complet de la reflexió que hi ha hagut abans de la *Diòptrica* de Descartes, el d'Ibn al-Haytam (Alhazen), per al qual la llum, seguint la tradició aristotelitizant, és una forma, segons el següent<sup>21</sup>:

«17. *La reflexió de la llum i del color feta per una superfície aspra generalment es fa escàpola a la visió.*

Més encara sobre això que la reflexió es fa des dels cossos polits, no des dels aspres, faria: perquè la llum, com vàrem dir, no accedeix al cos sinó per un moviment rapidíssim, i quan arriba al polit, aquest polit se l'expulsa; el cos veritablement aspre no pot expulsar-se-la; perquè en el cos aspre hi ha porus on la llum entra; en els polits, però, no s'hi troba porus, ni hi ocorre aquella

---

<sup>21</sup> Alhazeni *Optica* IV 17 i 18, pàgs.112-13, a *Opticae thesaurus*, ed. F.Risner, Basilea, 1572. Citat en llatí per A.I.Sabra, *Theories of light*, Cambridge University Press, 1981, pàgs.72-73. El text llatí de l'*Òptica* d'aquest autor va tenir força influència en els estudiosos posteriors (per exemple en Roger Bacon, Kepler, etc.), i és possible que el conegués Descartes (si més no Snell, Beeckman, Fermat, etc., el coneixen). Traduíem el text llatí per a comoditat del lector.

La primera formulació explícita de la llei de la reflexió és a l'*Òptica* d'Euclides, proposició XIX; n'hi ha una referència als peripatètics *Problemata*, s'explica en termes de rebot sobre cossos durs o tous i pel fet de seguir el camí més curt en la *Catòptrica* d'Heró. Ptolemeu a la seva *Òptica* l'exemplaritza experimentalment i l'explica per la comparació del raig reflectit amb el rebot de projectils sobre sòlids, etc.

expulsió per la resistència del cos o per la seva duresa [*durities*], com sigui que veiem reflexió en l'aigua; però aquesta repulsió és pròpia del poliment; talment ocorre per natura que quan cau quelcom pesant des de dalt sobre una pedra dura [*durus*] retorna cap amunt; i quanta menys sigui la duresa de la pedra on cau tant més dèbil serà el retorn; i allò que cau retorna sempre per la part de la qual procedeix. Mes en la sorra, per la blenor, no hi ha retorn, que ocorre en els cossos durs. Però si hi ha un poliment dins dels porus del cos aspre, així i tot la llum que entra als porus no es reflecteix; i si hagués ocorregut de reflectir-la, es dispersa, i per aquesta dispersió no és percebuda per la vista. D'una manera semblant si en un cos aspre es polís les parts més altes, el reflectit es manté dispers; i per això s'amaga de la visió. Si realment la prominència de les parts és talment petita que la seva posició gairebé és com les enfonsades, la seva reflexió s'entén com en quelcom polit, no aspre, encara que menys perfecte.

*18. Els raigs d'incidència i de reflexió concorren simularment en la posició [situs]. I així els angles d'incidència i de reflexió s'igualen.*

De manera que en efecte la reflexió de la llum es fa segons la línia que té la mateixa posició de què gaudeix la línia per la qual accedeix al mirall la llum mateixa: perquè la llum es mou amb un moviment rapidíssim, i quan cau sobre el mirall no és rebuda, sinó que se li nega la fixació en aquell cos; i, en el cas que hi perseverés fins i tot la força i la natura del moviment primer, es reflecteix a la part d'on ha procedit, i segons les línies que tenien la mateixa posició que les primeres. Certament podem veure quelcom semblant d'això en els moviments naturals, i en els accidentals i tot. Si permetem deixar baixar, perpendicularment sobre el cos polit, un cos esfèric amb pes des d'alguna alçada, el veurem reflectir-se per la perpendicular per on baixava. En el moviment accidental, si algú eleva algun mirall d'acord amb l'alçada de l'home, i el fixa fermament en una paret, i, a la punta d'una fletxa, s'hi disposa un cos esfèric, i es projecta la fletxa amb un arc al mirall, de tal manera que l'elevació de la fletxa sigui igual a l'elevació del mirall, i la fletxa vagi equidistant de l'horitzó: llavors el pla que fa accedir la fletxa al mirall per la perpendicular es veu també com el de la mateixa perpendicular del seu regrés. Amb tot, si el moviment de la fletxa fos per una línia inclinada respecte del mirall, es veu reflectida, no per la línia per on venia, sinó per la línia equidistant de l'horitzó, talment com ho era l'altra línia, i respecte de la perpendicular al mirall. Que la reflexió del moviment de la llum ocorre per l'impediment del cos polit es fa palès: perquè quan més forts fossin la repulsió o l'impediment, més forta serà la reflexió de la llum. Per què, però, es presenta el mateix moviment en la reflexió i en el seu accés té la següent raó. Quan cau un cos pesant per la perpendicular, la repulsió del cos polit i el moviment de descens del pesant són directament oposats l'un a l'altre, i no hi

ha cap altre moviment que el perpendicular; i l'impediment es fa per la perpendicular perquè el cos és repel·lit segons la perpendicular. Per això retorna perpendicularment. Quan el cos davalla per una línia inclinada, la línia de descens cau entre la perpendicular a la superfície del polit, perpendicular que creua el mateix polit, i la línia ortogonal (inclosa en la mateixa superfície) a aquella perpendicular; i si el moviment penetra enllà del punt on cau de tal manera que trobés lliure el traspàs, aquella línia cauria certament entre la perpendicular que traspassa el polit, i la línia ortogonal, inclosa en la superfície, a la perpendicular; i conservaria la mesura de la posició, respecte de la perpendicular que traspassa i respecte de l'altra línia que és ortogonal a aquella perpendicular. Perquè la mesura de la posició es compon de la posició respecte de la perpendicular i de la posició respecte de l'ortogonal. En efecte la repulsió que es produeix per la perpendicular<sup>22</sup> no pot repel·lir el moviment segons la mesura que [*la repulsió*] té respecte de la perpendicular que traspassa el polit perquè no hi entra gens; per això [*la repulsió*] repel·leix segons la mesura, de la posició, respecte de la perpendicular que [*la repulsió*] té respecte de l'ortogonal<sup>23</sup>. I quan el retorn del moviment fos en la mateixa mesura, de la posició, respecte de l'ortogonal que la que hi hagué abans respecte de la mateixa [*ortogonal*] en l'altra part, li serà similar la mateixa mesura de moviment respecte de la perpendicular que traspassa<sup>24</sup> que la que hi hagué abans. Però el cos pesant en el retorn, quan s'acaba el moviment de repulsió, baixa per la seva natura, i tendeix al centre. Tanmateix la llum, que té la natura de ser reflectida, com no li és natural pujar o baixar, es mou en la reflexió segons la línia incoepta fins a l'obstacle que faci cessar el moviment».

Hi ha la disposició d'atendre el nombre més gran de detalls possibles: la llum deu reflectir-se en les superfícies llises, polides, i més per això que pel fet de ser dures; l'aigua no és pas dura i, en canvi, fa que hi hagi reverberacions; en les superfícies aspres deu haver-hi porus; es parla que el raig va molt de pressa; s'observa com cauen els cossos pesats sobre d'altres cossos durs, i sobre d'altres gradualment menys durs; se suggereix el comportament de les reflexions en allò aspre, etc. La intenció

---

<sup>22</sup> És a dir, per la perpendicular en el punt d'incidència.

<sup>23</sup> És a dir, la perpendicular fa de línia de simetria de la inclinació respecte de l'ortogonal.

<sup>24</sup> És a dir, les mesures de les perpendiculars en cada punt, i per damunt del punt d'incidència, són iguals a iguals distàncies.



d'apropar-se a les coses i als esdeveniments que s'observa o que s'imagina es palesa arreu.

En el text la llum segueix línies (quelcom que remunta com a mínim als grecs). Per què? Es pot seguir diferents expedients; per exemple, el del propi text: la imatge del mirall copia un mateix de dalt a baix; hi ha quelcom que va de si mateix al mirall per a veure-s'hi, i quelcom que, des del mirall, se'n va cap a un mateix que ho ha de fer, això de veure-s'hi; aquest vaig-i-vinc suggereix la direcció cap allí i cap a un mateix, les direccions suggereixen línies, unes tals línies seran compreses *more geometrico*, etc., els raigs de llum esdevindran afers normals.

D'altres consideracions portarien a unes resultants semblants: els contorns d'una ombra semblen fàcilment entenedors a partir d'un continu de raigs lumínics, de direccions de la llum; la llum que entra per l'orifici en un lloc tancat permet discernir un raig intens, etc. Molts d'aquests esdeveniments no serien per tant meres dades, sinó una barreja de fets i d'un pensament interpretatiu, que exemplaritza que l'ésser humà no assumeix cap escissió entre observacions i pensaments.

Per això es pot parlar aquí d'un model geometritzant en l'accepció que, ni un hom no pot percebre raigs lineals de llum, ni les trajectòries respecte d'un mirall, però que alhora tot plegat pot tenir elements, suggerits en els esdeveniments observats; un hom pensa modèlicament: aquesta resultant fa comprendre el modelitzat, que alhora ha estat el fonament del model, en una dialèctica sense programa.

L'autor no té inconvenient d'assumir la distinció aristotèlica dels moviments naturals (els verticals en la física sublunar) i no naturals o forçats – accidentals, en el text – (un bell exercici de barreja de dada i pensament); nota la semblança del moviment de la llum amb aquests moviments dels cossos i ho detalla.

Per exemple, observa la caiguda vertical d'un cos pesat esfèric i el seu rebot vertical. Si posem una bola (d'un material dur) a la punta de la fletxa i

la llencem perpendicularment a un mirall vertical retorna per la mateixa línia; llançada de biaix rebota esbiaixada per l'altre cantó.

Estableix que el reflex prové de la repulsió o l'impediment del cos: quan més forta és aquesta, més forta és la reflexió del moviment, com ho prova que això és el que passa amb els cossos que es llencen.

Quan cau un cos pesat perpendicularment l'oposició del moviment de descens i de la repulsió del cos polit fan que la caiguda i el rebot segueixin sols la perpendicular.

En caure per una línia inclinada, si el moviment trobés per on passar sense topades, es perllongaria més enllà del pla polit, de tal manera que el perllongament estaria d'acord amb el moviment que incideix, aquest en un dels quadrats que formen dues perpendiculars, l'altre en el quadrat oposat.

En qualsevol cas la mesura de la posició del moviment es compon de la posició envers la perpendicular i de la posició envers la seva ortogonal.

Però com que el cos polit no deixa travessar ni una mica el moviment, la repulsió repel-leix segons la perpendicular que creua la superfície llisa, mentre segons l'ortogonal el retorn és simètric respecte d'aquella perpendicular al raig que incideix. Llavors s'esdevé que, mentre el cos pesant tendeix després a caure per natura, la llum no ho té per natura, i el reflex es perllonga fins a l'obstacle que el fa aturar.

L'analogia entre la reverberació lumínica i els rebots mecànics dels cossos és quelcom que es troba en d'altres autors: palesa l'afany clarament observador i experimentador, d'una banda; la capacitat de pensar i repensar els afers, d'una altra. La llum ja no sols «segueix línies»: té una semblança amb els moviments dels cossos pesats (no sembla haver-hi ben bé assimilació, sinó paral·lelisme: còpia, si es vol; és a dir, quelcom que conté una separació, circumstància que deu tenir una base en els fenòmens respectius observats).

Els cossos pesats es mouen també recorrent direccions, línies, hi ha arreu un esquematisme dels moviments (que remunta molt amunt en la història). S'hi troba la cerca d'un esdeveniment que privilegiï un tipus d'experiència (l'experiment amb un arc que dispara la fletxa amb una esfera sobre una superfície polida): està en qüestió una dialèctica dada/pensament, i també una altra que involucra la mateixa activitat transformadora.

Es pot assenyalar en la reflexió d'un cos pesant i en la de la llum molts dels requisits d'una recerca. El concepte de repulsió, les similituds entre els moviments directes i de rebot, el pas al moviment de biaix, etc., van saltironant entre l'observació, la idealització geomètrica, la ponderació que orienta això o allò, i ho relliga, fins a arribar a l'explicació del reflex on intervé tot el que s'ha anat portant a col·lació.

¿Exemplaritza la incidència i el rebot de biaix d'un cas la descomposició d'un moviment? Perquè potser deu tant al saber de la composició de moviments com el que hi aporta com a mostra<sup>25</sup>. Sigui com sigui, l'explicació consisteix a rumiar-ho d'acord amb tot el que se sap: el mateix paral·lelogram de moviments, el que s'ha après dels rebots, els components que resulten afectats i els que no, amb els esquematismes geomètrics

---

<sup>25</sup> La llei del paral·lelogram de velocitats es ja coneguda pel text peripatètic *Mecànica*, per Heró d'Alexandria, etc. En aquest nivell la llei seria una generalització a partir d'un reguitzell d'afers varis (pel cap baix els recorreguts de dos moviments, pels costats adjacents d'un paral·lelogram, independentment de l'ordre i de la seqüència, equivalen al del moviment per la diagonal en un temps equivalent).

Fet i fet un hom pensa d'acord amb un model geometritzant.

Si més no en aquests casos com la reflexió la llei del paral·lelogram expressa, quan se la considera bé, una obvietat: la mateixa trajectòria permet assumir-la tal qual o des dels seus components. Però això és així perquè, amb els seus components, s'obté la trajectòria tal qual. No hi ha diferència entre la trajectòria en un qualsevol moment, i els seus components. La trajectòria és els seus components: si no ho fos no en seria la trajectòria. La circumstància d'agafar punts de mira varis no es deu doncs a la diferència del que representen, sinó a la comoditat de la mirada del qui ho pensa.

En general la llei dels paral·lelograms segueix sempre un tal tarannà en funció del cas donat.

Que els diferents casos ho permetin, i que un hom en faci un saber adquirit no lleva que tota l'eficàcia dels paral·lelograms de velocitat és derivada. És a dir: la validesa del paral·lelogram de velocitats no és perquè la resultant tels elements geomètrics que hi entren sigui la trajectòria, sinó a l'inversa; és perquè hi ha trajectòria que un hom la pensa geomètricament a través del model, si es vol, amb la circumstància que els esdeveniments són de realitats físiques.

(idealitzacions) corresponents. Una explicació és doncs un tot congruent (o que es vol així) que atén observacions, que ha ponderat prou, que esquematitza geomètricament, i que és capaç de pensar què ocorre quan, de fet, un hom no pot observar-ho tot si se circumscriu al mer esdeveniment natural particular.

Ibn al-Haytam s'ocupa semblantment de la refracció<sup>26</sup>: la llum va més de pressa en els medis diàfans més rars, que en els més espessos o densos. En passar d'un cos diàfan a un altre més dens, llavors aquest la repel·leix si la resistència és forta, o en modifica el moviment quan no n'és tanta, de forta. Fa observar que tots els moviments naturals poden vèncer més fàcilment la resistència d'una superfície quan cauen verticalment que quan hi topen esbiaixadament. Per això quan la llum arriba obliquament a la superfície d'un medi més dens, i la traspasa, s'apropa a la perpendicular tant més com més dens és aquest medi, a fi de vèncer la resistència que li fa. Recorda que el cos que transita consta del moviment segons la perpendicular al punt de trànsit i del moviment segons l'ortogonal en aquesta perpendicular, moviment compost que es conserva en el medi més dens, sols que impedit pel medi: amb menys resistència al component vertical, s'inclina cap a la part en la qual transita més fàcilment; per això s'apropa a la perpendicular a la superfície en el punt de trànsit.

Quan el cos passa obliquament d'un medi a un altre més rar, llavors el moviment s'allunya de la perpendicular a la superfície en el punt de transit. (Se suposa que el component paral·lel a la superfície creix: una pedra es mou més de pressa en l'aire que en l'aigua; no es diu res, però, del component vertical).

Els tractament posteriors fins a la *Diòptrica* de Descartes depenen d'Ibn al-Haytam, i la de Descartes s'hi basa directament o indirecta (a través de Witelo o Kepler).

---

<sup>26</sup> El fenomen es coneix des d'antic: el primer estudi experimental rellevant és el de Ptolemeu, que ja sabia la connexió entre el canvi de direcció quan la llum passa d'un medi a un altre i la diferència entre els dos medis: quan passa d'un medi rar a un altre dens la llum es desvia cap a la normal (el rem que algú enfonsa a l'aigua sembla apropar-se-li), i se n'allunya en el cas invers. També compara la refracció amb el trajecte d'un projectil que passa d'un medi a un altre. En qualsevol cas era conscient que la mida de la desviació depenia de la magnitud de la diferència de densitat, etc.

## V L'ESCOMESA CARTESIANA

La teoria de Descartes en aquest àmbit s'entén dins de la seva concepció de la *res extensa* i comporta, també en aquest camp, una novetat rellevant: l'esment d'algunes de les seves aportacions deu ser una fita obligada que no destorba a l'hora d'encaminar l'estudi sobre la llum cap endavant.

### §1. Què vol dir que l'òptica moderna començà amb Descartes?

El punt de partida de l'òptica física moderna es troba en la defensa cartesiana de la llum com una propietat mecànica de l'objecte lluminós i del mitjà transmissor<sup>27</sup>. Això justament amb el fet que fou el primer a publicar la llei de la refracció sense la qual no hi hauria hagut noves embranzides en el camp de l'òptica; si més no la incorporà dins d'un conjunt de recerques qualitatives i quantificaves que seran seguides per d'altres autors (Fermat, Hooke, Huygens, i fins i tot Newton). Es tractava que s'obria un ventall de qüestions, sens dubte amb precedents com al-Haytām, Witelo, i Kepler, però traçant inequívocament els camins a seguir per la ciència de l'òptica<sup>28</sup>.

En Descartes, s'hi troba una curiositat universal (podria no haver-se interessat per la natura de la llum), una increïble capacitat de dubtar i de desig de quelcom evident, l'afany d'escorcollar la captinença dels éssers naturals amb observacions i experiments, una dedicació exemplar en l'àmbit de la matemàtica, les circumstàncies socials de tot ordre del seu

---

<sup>27</sup> Descartes, seguint una tradició medieval, anomena *lux* l'acció de la llum en l'objecte lluminós, *lumen* l'acció de la matèria subtil, el segon element; és a dir, la llum en el llumener i en el mitjà transmissor, respectivament.

<sup>28</sup> Cf. A.I.Sabra, *Theories of light*, pàgs.12 i 48.

temps (que alhora tenen una història), d'altres característiques de la seva personalitat, etc.

L'òptica actual deu doncs el seu començament a algú que participava amb molts d'altres de la necessitat del bandeig del llenguatge aristotèlic en la comprensió dels fenòmens naturals, que tampoc no sap entendre d'altres moviments que el local (i l'únic que pot ocórrer en la realitat natural és moviment), que s'allunya d'Aristòtil en tots sentits quan concep el món físic com a *res extensa*, que li plau especialment una manera de tractar quantitativament els problemes, etc. Tanmateix tot això no basta d'un home que, al costat d'una radicalitat de plantejaments que el fan abraçar l'evidència com a criteri d'adhesió, d'un home que observa, pensa i medita *com* observem i pensem, se'l troba agafant una esfera de vidre plena d'aigua i observant els colors de la llum quan se la manté acarada al Sol. Descartes, com tothom, conjuga molts factors, i una qualsevol unilateralitat fa que es desdibuixi la seva aportació.

S'hauria d'estimar per tant que la idea de la natura com a *res extensa* i del moviment com l'únic que hi pot ocórrer havia de reblar la concepció de la llum com una propietat mecànica. Però la defensa que no hi ha buit (que sembla quelcom que es deu sols a la idea de *res extensa*) el duria més aviat a desencaminarse quan afavoria unívocament la transmissió de la llum com a transmissió d'una pressió i no com un transport de quelcom; quan el manteniment de la propagació instantània de la llum prenia suport amb més força en aquesta concepció de la *res extensa* que en l'experiment que també esmentà com a reforç (el Sol es trobaria en la línia que passa pels centres de la Terra i de la Lluna en els eclipsis d'aquesta última quan, en el supòsit d'una velocitat de la llum, caldria que es trobés avançat).

Malgrat tot l'òptica moderna començà amb aquesta concepció mecànica de la llum. Descartes dugué considerablement lluny les seves investigacions en aquesta

direcció, amb l'esforç de tractar, no sols qualitativament els problemes, sinó també quantitativament.

## §2. La teoria de la llum.

En la cosmologia cartesiana del *Tractat del Món*<sup>29</sup> les parts de mida gran, no dividides ni arrodonides, que són la matèria dels planetes i els cometes, es coneixen com el tercer element. El segon element, format per partícules petites i rodones, una matèria subtil i fluïda, omple el cel i els buits entre les parts dels cossos més grans. Un primer element, format per partícules encara més petites, omple els intersticis de les boles del segon element i també integra el cos del Sol i dels estels, que tenen un moviment de rotació i el seu cel és un vòrtex que arrossega els planetes i que creuen els cometes<sup>30</sup>.

Tot això ve a col·lació a propòsit de l'explicació de la llum: si les partícules tendeixen a moure's en línia recta, les dels estels i les dels cels no ho poden fer pel ple que hi ha amb les immediatament arran seu. La pressió que fan – la resistència a no seguir la corba en el cas de la matèria del cel, i la tendència a anar en línia recta en el cas de la matèria del primer element del Sol i del estels –, però, és el que és la llum («quan els ulls seran premuts d'aquesta manera [*aquells homes*] tindran un sentiment del tot semblant al que nosaltres tenim de la llum»<sup>31</sup>), i que es trasllada en línia recta a través del segon element a partir del

---

<sup>29</sup> Cf. *Le Monde* VIII, a *Oeuvres de Descartes*, editades per Charles Adam i Paul Tannery, 12 vols., Paris, J.Vrin, 1897-1913, vol. XI, pàgs. 48-56.

<sup>30</sup> Cf. ídem IX, pàgs. 56-63.

<sup>31</sup> *Le Monde*, en la part ara esmentada. En d'altres llocs no fa més que reblar-ho; per exemple, quan diu: «D'acord amb això tindreu ocasió de jutjar que no cal suposar que passi quelcom de material des dels objectes fins als nostres ulls per tal de fer-nos veure els colors i la llum, ni que hi hagi i tot res en aquests objectes que sigui semblant a les idees o als sentiments que en tenim» (*La Dioptrique* I, *Oeuvres*, vol. VI, pàg.85).

centre del moviment circular on són els estels<sup>32</sup>. Atenent que no hi ha buit s'admet la propagació instantània de tot això: si un hom toca la part de dalt d'un bastó la part de baix en rep alhora les conseqüències<sup>33</sup> – a més a més (se n'ha fet referència dalt) en carta defensa que n'hi ha alguna prova experimental: el fet que el Sol està ben bé alineat amb la Terra i la Lluna quan n'hi ha un eclipsi, d'aquesta última. Prova d'explicar per què el cos lluminós (per exemple, el Sol) escampa la llum per tot el seu voltant; per què es veu la llum a una qualsevol distància; per què el raig lumínic es pren en línia recta; per què diversos raigs poden aplegar-se en un punt, o escampar-se des d'un punt; per què poden creuar per un mateix punt sense destorbar-se, etc.

En la *Diòptrica* conta que passa com en un cossi ple de raïm mig aixafat i amb dues obertures a la base. Quan llevem els taps, les parts del líquid en un punt de la superfície tendeixen a sortir pels dos forats alhora en línia recta, malgrat que de fet sols poden sortir per un forat. En cap cas l'una d'aquestes accions (les accions o inclinacions a moure's, a distingir dels moviments) no n'impedeix les altres. Els sucus que reben les tendències serien les partícules subtils segones, els grans aixafats la superfície esfèrica del Sol: les accions sobre aquelles partícules no es destorbarien les unes a les altres. «I així, pensant que no és tant el moviment com l'acció dels cossos lluminosos que cal prendre com la seva llum, he de jutjar que els raigs d'aquesta llum no són res més que les línies segons les quals aquesta acció tendeix a fer-se. De manera que hi ha una infinitat d'uns tals raigs que vénen de tots els punts del cos lluminós, i van cap a tots els punts del que il·luminen; així que podríeu imaginar una infinitud de línies rectes, seguint les quals les accions, que vénen de tots els punts de la superfície del vi CDE, tendeixen vers A [*un dels forats*], i una infinitat d'altres, seguint

---

<sup>32</sup> La discussió a *Le Monde* XIII, *Oeuvres*, vol. XI, pàgs. 84-97.

<sup>33</sup> L'estudi de les propietats de la llum a ídem XIV, pàgs. 97-103.



les quals les accions, que vénen d'aquests punts mateixos, tendeixen també cap a B [*l'altre forat*], sense que les unes no destorbin les altres»<sup>34</sup>.

### §3. Indicacions al tractament de la reflexió.

El pensadors francès se serveix també de l'analogia entre la reflexió dels cossos i la de la llum malgrat que aquesta sols és una tendència al moviment, i no pas quelcom que es mou: «car és ben fàcil de creure que l'acció o inclinació a moure's, que he dit que cal prendre-la per la llum, ha de seguir en tot això [*desviacions, etc.*] les mateixes lleis que el moviment»<sup>35</sup>. Sens dubte l'assumpció sembla sorprenent: se l'hauria de capir com un expedient pragmàtic que permet Descartes apuntar-se a la comparació habitual de la reflexió de la llum i la dels cossos, fàcil de fer a partir dels casos observats, i fent abstracció del que sigui la llum.

Per això s'hi troba un estil que hi té coincidències, amb d'altres autors (com hi són, amb els estudis d'ara), on hi ha simplificació, idealització, que s'acompanya de l'expedient de voler un pensament exacte; per això s'hi trobaria el desplegament d'un cas límit, de tota manera avalat per allò que s'estima a partir de diferents observacions: un hom es trobaria de bell nou pensant, d'acord amb un model, allò modelitzat.

D'aquí que en el text cartesà de la reflexió<sup>36</sup> la superfície sobre la qual reboten els cossos es postula perfectament llisa i dura (és a dir, rígida). Es fa abstracció del pes, la mida i la figura de la pilota, cosa que vol dir que allò que es vol estudiar és el moviment i el rebot; vol dir també – seguint l'exemple que agafa de la pilota

---

<sup>34</sup> *La Dioptrique* I, pàgs. 88.

<sup>35</sup> Ídem I, pàgs. 89.

<sup>36</sup> Cf. ídem II, pàgs. 93-96. Noti's el recull de diferents idealitzacions, i del cas límit de les observacions, independentment (o a més a més) d'un qualsevol *a priori* geometritzant.

llançada amb la raqueta (al marge doncs, en la mesura del possible, de la pilota) – que es va més enllà, amb una trajectòria esbiaixada, del que seria un moviment de caiguda (que alhora pressuposa la composició de moviments). S'assumeix que la pilota va sempre a la mateixa velocitat. Per tant hi ha una referència de la llei de la inèrcia, quan se la fa valer implícitament. De fet usa el mètode del paral·lelogram que s'ha vist en Ibn al-Haytam, i que ja havia usat Kepler. Hi resta clar que el moviment reflectit es deu al propi moviment que incideix: la superfície és sols l'ocasió d'un canvi de direcció<sup>37</sup>, mentre que el moviment conserva la «força»<sup>38</sup>.

A tot aquest procés, cal adjuntar-hi un altre que el reforça, si és que no l'ha motivat: el fet que la llum es reflecteix en una superfície amb angles d'incidència i de reflexió iguals, i el fet – també esmentat per l'autor – que la llum no té res a veure amb pesos, mides, figures, etc.

---

<sup>37</sup> Potser s'hauria de capir com un cas de llei inercial, atenció feta d'una superfície perfectament llisa i rígida, i de l'abstracció del pes, en els afers.

Descartes no admet que la pilota s'aturi en el punt d'incidència.

En d'altres llocs rebutja que el rebot sigui degut a l'elasticitat de la pilota i de la superfície en el punt de contacte, com voldria Hobbes. Bastaria prémer-la contra una pedra dura perquè hi hagués rebot, i en qualsevol cas el que hi ha no és el rebot d'una reflexió; les observacions ho palesarien.

L'aplicació de la tercera llei de la mecànica newtoniana forçaria sens dubte a admetre la *quies media*. Tanmateix cal reconèixer que l'aplicació de la llei suposa que entenem que hi ha aquí una causa física de moviment en el punt d'incidència.

<sup>38</sup>Fet i fet Descartes parla de la «força» del moviment i de la seva «determinació», i usa perífrasis («avançar cap a la dreta», «el costat cap al qual gira», etc.) per a esmentar la direcció i el seu sentit.

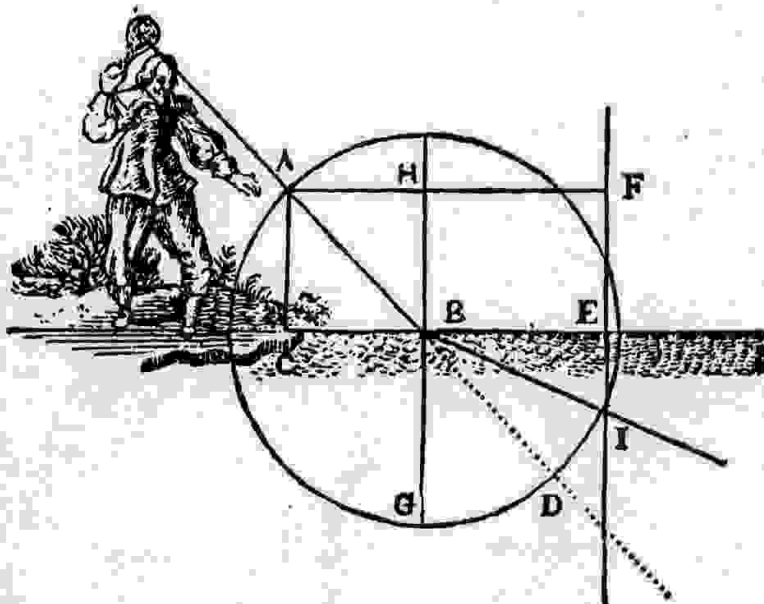
#### §4. Indicacions al tractament de la refracció.

Al segon discurs de la *Diòptrica* (1637) se segueix comparant la refracció de la llum i el comportament dels projectils que passen a través d'una superfície que hi fa més o menys resistència, i s'hi descompon el moviment d'incidència i el refractat a semblança d'Ibn al-Haytam, Witelo i Kepler<sup>39</sup>:

«I, primerament, suposem que una pilota, empesa d'A cap a B, troba al punt B, no la superfície de la terra, sinó una lona CBE, que és tan delicada i poc atapeïda que aquesta pilota tingués la força de trencar-la i de passar-hi a través, tot perdent només una part de les seva velocitat, valgui el cas, per exemple, la meitat. Establert tot això, i per tal de saber quin és el camí que cal que segueixi, considerem sense més que el seu moviment difereix enterament de la seva determinació a moure's més aviat cap a un costat que cap a un altre [*perquè és, per dir-ho així, el punt de partida d'una qualsevol descomposició*], d'on se segueix que la seva quantitat ha d'examinar-se separadament. I considerem per tant que, de les dues parts de les quals hom pot imaginar que aquesta determinació es compon, sols la que fa tendir la pilota de dalt a baix pot ser canviada d'alguna manera per la trobada amb la lona; i que, respecte a la que la fa tendir cap a mà dreta, s'ha de mantenir tal qual era abans, perquè la lona no se li oposa de cap manera en aquell sentit. Després, havent descrit des del centre B el cercle AFD, i tirades en angles rectes sobre CBE les tres línies rectes AC, HB, FE, de manera que hi hagi dues vegades tanta distància entre FE i HB que entre HB i AC, veurem que la pilota ha de tendir cap al punt I. Car, com sigui que perd la meitat de la velocitat, en travessar la lona CBE, ha d'esmerçar dues vegades tant de temps a passar a sota, des de B fins a algun punt de la circumferència del cercle AFD, com ha fet dalt a arribar des de A fins a B. I ja que no perd res de res de la determinació que tenia d'anar avançant-se cap al costat dret, en dues vegades tant de temps com ha invertit a passar des de la línia AC fins a HB, ha de fer dues vegades tant de camí cap a aquest mateix costat, i per consegüent ha d'arribar a algun punt de la línia dreta FE, al mateix instant que arriba també a algun punt de la circumferència del cercle AFD. Cosa que seria impossible si no anés cap a I, en tant que és l'únic punt per sota de la tela CBE on s'encreuen el cercle AFD i la línia recta FE».

---

<sup>39</sup> Cf. ídem, pàgs. 96-105. Les figures, les manllevem de l'obra esmentada.



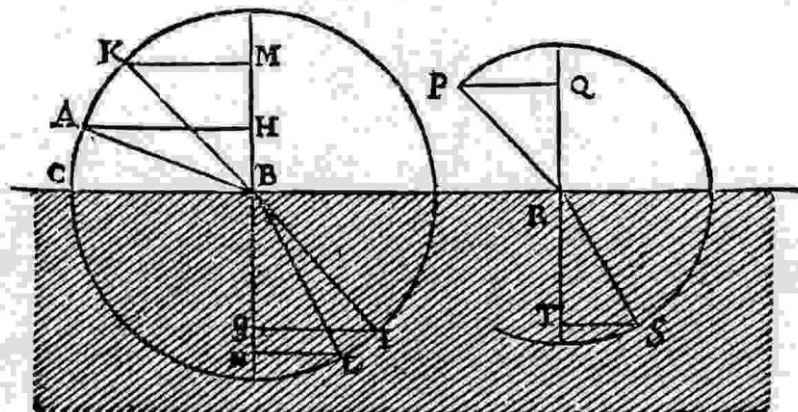
Tot s'esdevindria semblant si la pilota topés en el punt B amb una superfície d'aigua que li privés de la meitat de la seva velocitat. Repeteix que s'ha de suposar sempre que «ni la pesantor o la lleugeresa d'aquesta pilota, ni la mida, ni la figura, ni cap altra causa semblant estranya, no canvien el seu curs». Afegeix que «hom pot remarcar aquí que la superfície de l'aigua o de la tela desvia [*la pilota*] tant més com més obliquament la troba, la superfície, de manera que, si la troba en angles rectes, com quan és empesa de H cap a B, ha de passar enllà en línia recta cap a G, sense desviar-se de cap manera. Però si és empesa seguint una línia com AB, que es trobi tant fortament inclinada sobre la superfície de l'aigua o de la tela CBE, que la línia FE, estant tirada com abans, no talla pas el cercle AD, la pilota no l'ha de penetrar pas, sinó que ha de rebotar de la superfície B cap a l'aire, talment com si hi hagués trobat terra. És el que de vegades s'ha experimentat amb pesar quan, fent tirar per plaer peces d'artilleria cap al fons d'un riu, s'ha ferit els qui es trobaven a l'altra costat sobre la riba.

«Però fem encara aquí una altra suposició, i pensem que la pilota, havent estat primerament empesa de A cap a B, és empesa de nou, estant al punt B,



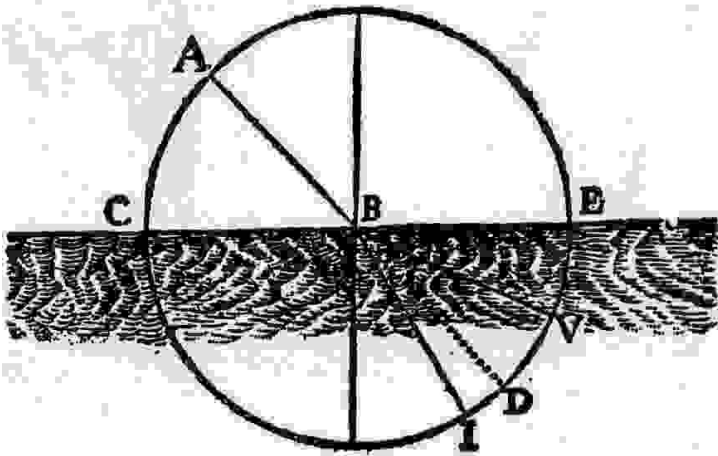
justament en proporció de quant els rep més fàcilment que no pas ho fa l'altre...

«De manera que heu de veure ara com cal mesurar les refraccions; i encara que, per a determinar-ne la quantitat, en tant que depèn de la natura particular dels cossos on es fan, calgui anar a l'experiència, hom no ho deixarà pas de poder-ho fer bastant encertadament i fàcilment des del moment que totes s'hi redueixen, a una mateixa mesura; car basta d'examinar-les en un sol raig per a conèixer totes les que es fan en una mateixa superfície, i es pot evitar un qualsevol error, si se les examina a més d'aquest raig en alguns altres. Com si volem saber la quantitat de les que es



fan en la superfície CBR, que separa l'aire AKP del vidre LIS, sols haurem de provar-ho en la del raig ABI, cercant la proporció que hi ha entre les línies AH i IG. Després, si temem haver-nos equivocat en aquesta experiència, cal encara provar-ho en alguns altres raigs, com KBL o PRS, i trobant la mateixa proporció de KM a LN, i de PQ a ST, que de AH a IG, no tindrem més ocasió de dubtar de la veritat.

«Però potser us sorprendreu de trobar, en fer aquestes experiències, que els raigs de la llum s'inclinen més en l'aire que en l'aigua, sobre les superfícies on es fa la seva refracció, i encara més en l'aigua que en el vidre, contràriament al que fa una pilota, que s'inclina més en l'aigua que en l'aire, i que no pot de cap manera passar en el vidre. Car, per exemple, si és una pilota que, essent empesa en l'aire de A cap a B, troba al punt B la superfície de l'aigua CBE, es desviarà de B cap a V; i si és un raig, anirà contràriament de B a I. Cosa que deixareu de trobar estranya, si recordéssiu la natura que he atribuït a la llum, quan he dit que no era res més que un cert moviment o una acció rebuda en una matèria molt subtil, que omple els porus dels altres



cossos; i que consideréssiu que, talment com una pilota perd més la seva agitació, quan topa contra un cos tou, que contra un que és dur, i que gira menys fàcilment sobre un tapís que sobre una taula sense res, així l'acció d'aquesta matèria subtil pot ser destorbada molt més per les parts de l'aire que, essent com a molles i mal aplegades, no li fan pas molta resistència, que per les de l'aigua, que li fan més resistència; i encara més que per les de l'aigua, per les del vidre, o del cristall. De manera que, en la mesura que les parts petites d'un cos transparent són més dures i més fermes, en aquesta mesura deixen passar més fàcilment la llum: car aquesta llum no n'ha de fer fora cap del seu lloc, mentre que la pilota n'ha de fer fora les de l'aigua, per a trobar pas per mig de les seves parts petites».

Descartes acaba el seu estudi amb l'observació de la coincidència de camins de les refraccions fetes en sentits inversos i des de punts comuns; i amb una nota a propòsit de la refracció en superfícies corbes: la refracció es fa en cada punt d'aquesta superfície prenent la superfície plana tangent en aquest punt com a referència respecte de la qual hi ha refracció.

El tractament segueix, no podria ser altrament, una idealització de tot plegat, que manté el to autojustificatiu.

Per això, per exemple, es fa abstracció del pes, de la forma, de la pilota; la trajectòria s'apropa i s'assimila als segments geomètrics (que són entitats idealitzades)<sup>40</sup>; la descomposició

<sup>40</sup> En qualsevol cas el raonament s'exemplaritzava gràficament en els trajectes

dels moviments seguiria també unes tals passes; ho seria la llei d'inèrcia; etc.

El paral·lelisme entre el comportament de la llum i els afers mecànics dels cossos segueix en principi les pautes d'altres autors (i d'ell mateix). Però el paral·lelisme sembla aquí més entre el *model* de reflexió i refracció, que entre el comportament de la llum i el dels cossos. És perquè s'agafaria aquell model que s'apropriarien aquests comportaments. Alhora el model segueix el d'al-Haytam, Witelo, Kepler, i fa alguna cosa més, que és pensar d'acord amb tot el que ha après de la reflexió, dels moviments mecànics, del que sap de la llum, del seu comportament, del domini de la geometria (una idealització més) i de les proporcions geomètriques (que palesen els seus específics processos de generalització numèrica a través de la representació gràfica).

En d'altres paraules: es tracta d'una reelaboració física de quelcom idealitzat.

El pensament físic havent assumit ja la idealització, que inclou la geomètrica (i la proporció geomètrica), la reelaboració es fa segons el mateix tarannà. Es pensa així: és això el que ocorre quan diem que s'estén amb totes les seves conseqüències el model de la reflexió de la llum i dels cossos.

El factor clau es troba en efecte a conservar per a la refracció que, en la descomposició del moviment, el component paral·lel a la superfície de contacte abans i després del punt d'incidència es manté igual.

El segon factor, prou admès, rau en el canvi de moviment de la llum (o del cos) abans i després del punt d'incidència respecte del component vertical a la superfície que separa els medis.

La resta és el mateix raonament, que oscil·la des d'una mera idealització geometritzada a quelcom que ho és menys (medi dens, rar).

---

dels moviments. Els gràfics plasmen espais i no moviments, fora de ser llur resultant.



Volent arribar a una certa proporció, tot això s'agafa des del cantó de la proporcionalitat geomètrica.

És clar que la llei del sinus és sols la conseqüència constructiva de l'assumpció de la de la descomposició de moviments. Ve a dir que la raó de sinus seria aquesta si fos vàlida la descomposició. Tanmateix Descartes era conscient que la raó de sinus per a dos medis donats és constant independentment de la inclinació del raig incident (i quin valor concret té no es podria saber sinó fent experiències per a dos medis donats): per tant deuria mantenir la constatació de la raó dels sinus com una conseqüència de la seves assumpcions, o altrament caldria defensar (contra les paraules del mateix Descartes que ho rebutja: exposa que la llei la coneixia abans de fer algun experiment<sup>41</sup>) que més aviat assumiria *a posteriori* una raó entre els elements d'una descomposició i prosseguir d'acord amb el model de la reflexió i dels seus precursors. Tot plegat fa manifest que el pensament físic manté una suggestiva dialèctica entre el seu saber qualitatiu i les idealitzacions, que subsumeix els implícits quantitius, d'una banda, i una multiplicitat d'experiències fetes després (agafant Descartes per la paraula), d'una altra, amb totes les mediacions afegides que es vulgui.

Sense que afecti aquestes consideracions val la pena de tenir present alguns punts. Per exemple, els historiadors han discutit molt la prova mateixa de la llei del sinus i la seva paternitat: els dubtes sobre l'una i l'altra remuntarien als temps del mateix Descartes.

Un segon punt, no independent del primer, és el seu supòsit que la llum penetra més fàcilment en un medi dens, i per tant que no sols en fer-ho es desvia cap a la perpendicular que passa pel punt d'incidència, sinó que també, com s'acaba de dir, «que passa més fàcilment» per un medi més dens

---

<sup>41</sup> El 1632, anys abans de la publicació de la *Diòptrica* (1637), Descartes escriu que l'únic experiment que havia fet fou realitzat el 1626 o 1627 per tal de verificar *la llei que ell ja havia formulat*. Certament això semblaria comprensible que ho hagués formulat en general, cosa que no exclouria versemblantment que més tard (o, si és el cas, quan fos) ho comprovés experimentalment per a la llum

– se n'allunya quan entra en un medi més rar perquè, fent la simetria, li deu costar més. Mentre el primer aspecte (en un medi dens s'apropa a la vertical) està d'acord amb la tradició, el segon (augmenta la velocitat en un medi dens, etc.) no segueix gens ni mica l'opinió comuna (per exemple, d'al-Haytam). Per què ho cregué doncs?

És difícil de saber els motius que dugueren Descartes a capgirar el saber tradicional sobre la facilitat / la dificultat segons si la llum s'endinsa en un medi més dens /més rar. Certament en dóna una explicació en els termes de la seva manera de veure la natura<sup>42</sup>.

Una aproximació versemblant faria: l'apropament del model de la reflexió per a la refracció el duria a assumir un ordre de components del moviment; la troballa d'una possibilitat qualitativa i quantitativa que s'hi adequés deuria provocar-li una peculiar curiositat; el model mecànic capaç de decantar-lo cap a una banda hauria de tenir també algun paper; el possible coneixement per experiència d'una raó constant de refracció, àdhuc en el cas de la llum<sup>43</sup>, entre dos medis podria haver fet de revulsiu, ja fos com una resultant conseqüent, ja fos com a fet del qual donar raó. Tot plegat podria haver quallat en un discurs congruent, l'ordre genètic de les parts del qual no hauria de seguir necessàriament el de l'exposició.

Allò rellevant, tanmateix, rau que fa proporcionals (cf. el gràfic dels dos cercles)  $AH$  i  $IG$ , el sinus de l'angle d'incidència  $\widehat{ABH}$  i de l'angle de refracció  $\widehat{IBg}$  quan el radi val la unitat, de tal manera que sempre que hi ha refracció entre dos mateixos medis la raó de sinus és constant independentment de la inclinació del raig incident. Al capdavant la resultant discursiva no hauria estat possible sense una seqüència d'aproximacions d'ordre vari que hi deurién convergir.

Noti's que arreu dels gràfics se cerca que el moviment incident i refractat segueixin una mateixa funció temporal, mentre hi ha un canvi de «força» en el component vertical.

Sigui com sigui la tasca cartesiana representa una recerca que, a imatge i a semblança del que ha après (d'acord doncs amb totes les estilitzacions necessàries), va més enllà per tal de prosseguir-la (amb uns tals caràcters) i albirar un procés per a un

---

<sup>42</sup> Cf. *La Dioptrique* VI, pàgs.102-103, text recollit dalt.

<sup>43</sup> La llum es comportava en conjunt d'acord amb un tarannà que es correspon al que digué Ptolemeu. Però això no exclouria una correcció a una interpretació. Per dir-hi així: els sorpresos ho serien pel fet que desconeixen el caràcter físic de la llum.

fenomen. És això el que s'anomena física, és això el que exemplaritzen les disputes posteriors, sobretot de Fermat amb Rohault i Clerselier, a propòsit de la refracció en Descartes.

### §5. La teoria dels colors.

Tot això s'ha de completar amb l'explicació que lliuren els *Meteors*<sup>44</sup> de l'arc de sant Martí. Nota que, el fenomen, se'l pot observar en les gotes, que són rodones, de les fonts; un efecte que li sembla que prové de la manera com hi arriba la llum, a les gotes. Com sigui que ocorre, les gotes siguin grans o petites, se'n fa una d'una bona mida per tal de poder-la examinar bé. Agafa un recipient ben gran de vidre, que sembli una gota enorme, i l'omple d'aigua per tal d'examinar bé el fet. Descartes estudia doncs el fenomen – tal com van fer d'altres investigadors abans seu – amb aquest recipient esfèric gran de vidre omplert d'aigua, exposant-lo, mans enlaire, a la llum del Sol. En el gràfic els raigs del Sol provenen de  $A$ , de  $F$  i de  $Z$ ,  $E$  és on es troba l'ull de l'observador, la bola és a  $BCD$ .

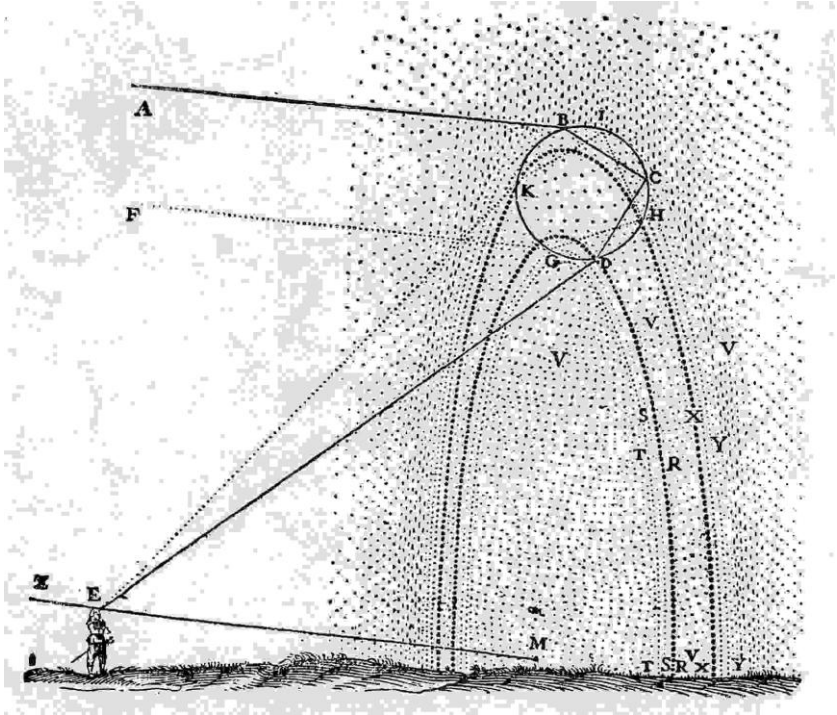
Movent-la cap a dalt i cap a baix observa que un color vermell brillant apareixia a la part inferior, a  $D$ , amb una llum que emergeix fent un angle  $DEM$  d'uns  $42^\circ$  amb la llum d'incidència, i quan va baixant el recipient primer desapareix aquella llum, després tots els colors de l'iris van apareixent. També: veia un color vermell no tan brillant per la part alta del recipient, a  $K$ , amb un angle d'emergència  $KEM$  de  $52^\circ$  respecte de la llum d'incidència, i quan anava pujant-lo apareixien gradualment el groc, el blau i d'altres colors fins a un cert angle sense res.

Si considerem tot l'aire que hi ha al voltant de  $M$  ple de boles, o de gotes d'aigua en lloc seu, cada gota projectarà una llum roja brillant quan la línia tirada cap a l'ull  $E$  faci un angle al voltant de  $42$  graus amb  $EM$ ; per exemple, que ho facin les

---

<sup>44</sup> *Les Meteores* VIII, *Oeuvres de Descartes* VI, pàgs. 325-344.

marcades *R*. Vistes des de *E* semblarà que fan un cercle continu. Per a angles més petits que *DEM*, apareixeran els colors en els cercles marcats *S* i *T*, per exemple.



Així pot explicar l'arc de sant Martí, format per totes les projeccions que emergeixen de les gotes quan fan un angle de  $42^\circ$  amb la llum incident i que fan veure el vermell – i fent angles un pèl més petits fer veure els altres colors (arc interior). L'altre arc (arc exterior marcat amb *X*) s'explicaria per l'emergència del vermell amb un angle de  $52^\circ$  respecte de la llum incident, i pels consecutius raigs amb angles una mica més grans, fent els arcs *Y*, etc..

Descartes considera que el raig de llum *A* que entra per dalt del vas esfèric es refracta en entrar a l'aigua, es reflecteix a la paret més allunyada i torna a refractar-se en sortir per la part baixa. En el segon cas el raig de llum *F* es refracta en entrar, hi

ha dues reflexions internes a  $H$  i  $I$ , i la nova refracció en sortir per  $K$ .

Això ho creu perquè, en ficar-hi un cos opac entre alguna de les línies  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$  o  $DE$  el fenomen desapareix, mentre que si tapa tota la bola excepte els dos punts  $B$  i  $D$ , i que hi introdueix pertot cossos obscurs mentre no destorbin l'acció del raig  $ABCDE$ , no deixa de presentar-se. I una cosa paral·lela cal afegir per al raig que va de  $F$  a  $G$ .

Després, i sabent que els colors de l'arc de sant Martí poden produir-se per mitjà d'un prisma triangular de vidre, fa que la llum del Sol caigui perpendicular a una de les cares i cobreix la segona amb un cos opac amb una petita obertura, que deixa veure doncs els colors emergents de l'iris sobre un paper blanc. Per tot això comprova que la curvatura de la superfície de les gotes d'aigua no era necessària per a l'aparició del fenomen. Endemés un hom pot alterar l'angle d'emergència del prisma sense que canviïn els colors: l'angle és doncs irrellevant. Cal sols una refracció (i una de contrària n'anul·la els efectes: quan les dues cares són paral·leles). Si treu el cos opac amb la part foradada (deixa lliura la segona cara del prisma) sols apareix llum blanca (cal doncs ombra, o limitació de la llum).

La presència de les petites boles, dels glòbuls, del segon element, tant en els cels com omplint els intersticis de les partícules més grans dels cossos terrestres, li serveix per a entendre mecànicament que cada color de l'iris està associat a un moviment rotatori dels glòbuls: el raig de llum que arriba a la superfície refractiva fa iniciar un moviment rotatori en el glòbul corresponent del cos sòlid, que s'afecta per la velocitat dels glòbuls que l'envolten i pressionen. La resultant és una diferent velocitat de rotació per als diferents raigs refractats: des de la més accelerada (el del color vermell) a la més retardada (el del blau) – cal sumar-hi la del violat, que hi barreja, a la del blau, una llum encarnada amb una nova acceleració –, que es transmet així per un qualsevol medi.

La mateixa sensació dels diferents colors no prové de res més que de la diferent velocitat rotatòria dels glòbuls.

I el color dels cossos – l'ombra i la refracció no hi calen –, basta explicar-lo pel fet que «la grandària, la figura, la situació i el moviment de les parts del cos que es diu acolorit poden concórrer diversament amb la llum per a augmentar o disminuir la rotació de les parts de la matèria subtil».

Finalment pot néixer el dubte si allò que produeix l'arc de sant Martí (on no sembla haver-hi ombra) és el que produeix l'aparició dels colors de l'iris en el prisma triangular. A partir de la llei de la refracció que ja té, Descartes calcula on seria el nombre més gran de raigs després de dues refraccions i d'una o dues reflexions, i troba que pràcticament coincideix amb el que observà en la investigació manipuladora del recipient ple d'aigua: cap als  $42^\circ$ , o una mica menys, amb l'angle d'incidència, hauria d'aparèixer l'arc principal; a  $51^\circ$ , o una mica més, l'arc exterior. El primer hauria de tenir ben limitada la superfície exterior; el segon, la interior (cosa que confirma l'experiència); i en ambdós, ombra ençà i enllà (cosa que es dedueix del fet de no haver-hi cap raig, o pocs). Va concloure doncs que les causes devien ser les mateixes.

\*

El seu estudi de l'arc de sant Martí va certament més enllà del de la reflexió i la refracció, que resten incorporades en quelcom tan impactant com un fenomen meteorològic. L'observació de l'esdeveniment li suggerí d'estudiar-lo a través d'una molt singular gota, que li permet experimentar (obstrueix la llum on li convé) i quantificar (per exemple, els angles). L'apropament entre els efectes del prisma i de la gota d'aigua segueix el mateix tarannà experimentador, i el càlcul de resultant de refraccions i de reflexions introdueix aquí de bell nou el model geomètric.

Perquè arreu hi ha geometria: n'hi ha quan s'assenyala tota mena de direccions simplificades de camins; i arreu s'hi troba una simplificació que duu a idealitzacions (en especial els raigs de llum). Es treballa amb esquemes geomètrics i amb simplificacions mentre l'experiment es fa amb una certa preconcepció del que s'hi cerca. S'hi reconeix doncs el model geomètric (amb les seves respectives quantificacions) i el model explicatiu no quantificador, al costat d'un altre fet independent, el de la seva mateixa manera d'entendre mecànicament el món, que caldria adjectivar com una explicació modèlica explicativa no quantificadora.

En efecte hi ha una explicació dels colors en termes estrictament mecànics (la velocitat rotatòria dels glòbuls), que fa que s'entenguin com a realitats diferents que integren el ventall de l'arc iris. I no són barreges de llum i foscor, ni barreges d'uns colors assenyalats, mentre que aquests «basten per a compondre tots els altres».

Cal subratllar així mateix la importància de l'aportació dels càlculs cartesianes que preveuen la formació dels arcs interiors i exteriors de l'iris d'acord amb la seva llei de refracció, les resultants dels quals concorden aproximadament amb les de les observacions. Tot plegat fa veure de nou que es basa en un reguitzell de passes aproximadores entre observacions i altres afers idealitzats (que inclouen aquí el propi saber geomètric com un cas extrem), fins a abastar una resultant satisfactòria. Descartes és el primer a explicar reeixidament la formació dels arcs de sant Martí en termes quantitius.