

THYCO BRAHE: il grande osservatore di Uraniborg (1546-1601)

Tyge (Thyco) Brahe nasce a Knudstrup da una nobile famiglia danese, che intendeva avviarlo alla carriera legale e diplomatica: è solo per caso che diventa invece astronomo. I suoi interessi si indirizzano all'alchimia e, per il ruolo che si credeva avesse nella pratica alchemica, all'astrologia. La sera dell'11 novembre 1572, dopo una giornata di esperimenti in laboratorio, scorge una nuova stella nella costellazione di Cassiopea. Le sue osservazioni mostrano che la stella (per noi, oggi, una supernova) non appartiene al "mondo sublunare", bensì è lontana dalla Terra, almeno quanto altri astri già noti. Con l'aiuto economico del sovrano di Danimarca costruisce un osservatorio, Uraniborg, attrezzato con strumenti di misurazione eccezionalmente accurati (le osservazioni avvengono ancora a occhio nudo), dove svolge per circa vent'anni un lavoro intenso e minuzioso. Dopo una lite col successivo sovrano, nel 1595 Brahe viene nominato Matematico Imperiale da Rodolfo II a Praga. Qui lo raggiunge, come assistente, Keplero. Con le nuove osservazioni Brahe intende provare il suo modello cosmologico in cui la Terra è fissa al centro dell'Universo, la Luna e il Sole ruotano intorno a essa, mentre gli altri pianeti ruotano intorno al Sole. Quando Brahe muore (1601), gli succede come Matematico Imperiale Keplero. Le osservazioni di Brahe sono molto più accurate di quelle di tutti i suoi predecessori e consentiranno a Keplero, che al contrario di Brahe è fautore del modello copernicano, di individuare le tre leggi del moto planetario e di costruire tavole astronomiche (le *Tabulae Rudolphinae*), la cui grande precisione contribuirà a persuadere un numero sempre maggiore di astronomi

della validità della dottrina eliocentrica. Tuttavia, fino alla seconda metà del XVII secolo, il modello più in voga presso gli esperti di astronomia resterà quello di Brahe, che ha il vantaggio di evitare i problemi insorgenti dal moto terrestre. Il ruolo di Thyco nello sviluppo dell'astronomia è dunque legato più alle sue osservazioni, portate avanti con precisione, pazienza e durezza senza uguali, che alla sua proposta cosmologica, da considerare interlocutoria tra il modello di Tolomeo e quello eliocentrico: Brahe intuisce che il moto dei pianeti ha il Sole come loro centro, ma per non ammettere che la Terra possa ruotare su se stessa e orbitare attorno al Sole, conserva nella teoria tolemaica il moto diurno del Sole e delle stelle fisse attorno alla Terra. Contemporaneamente, però, la sua osservazione di un fenomeno commutabile (apparizione di una nova) fuori dalla sfera sublunare, intacca seriamente l'impianto della cosmologia aristotelica.

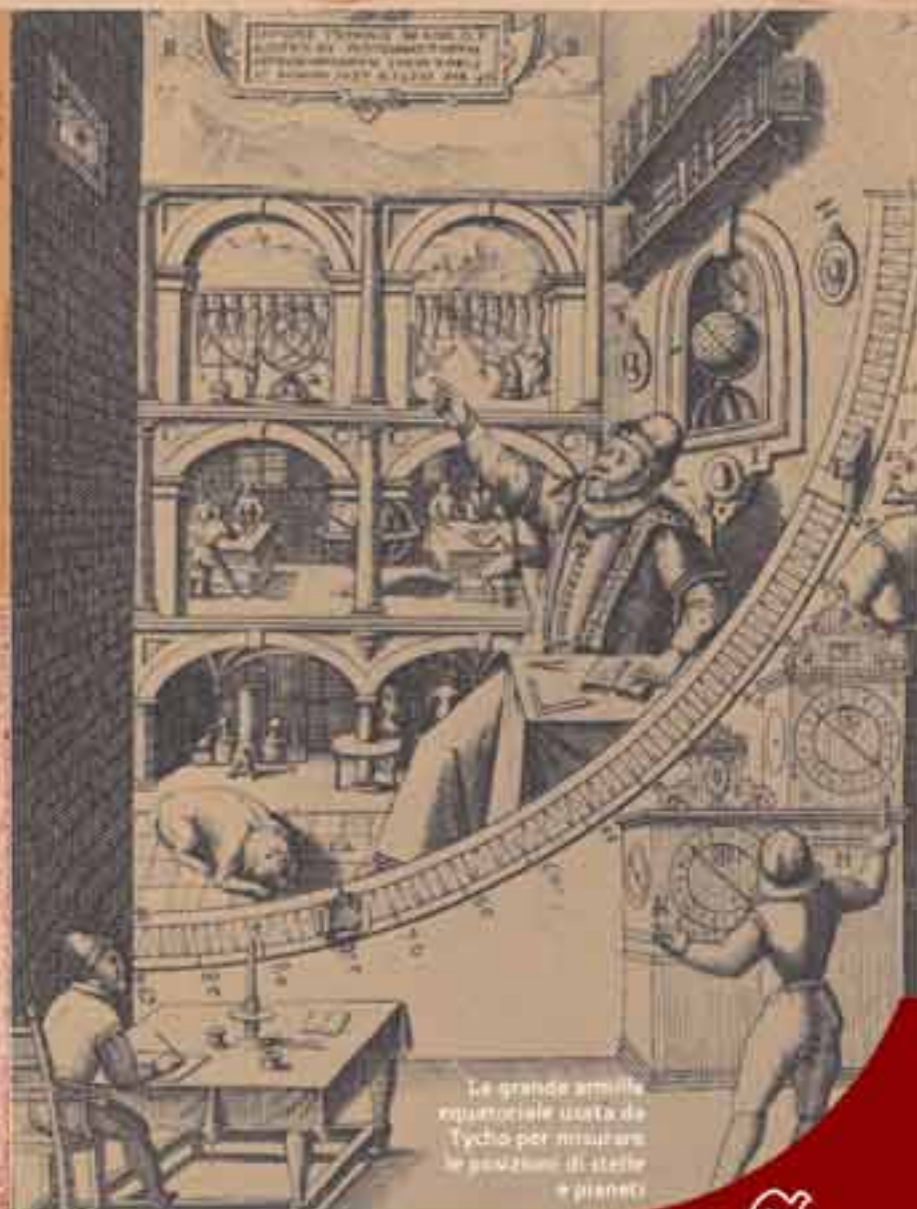


Stjerneborg, (il castello delle stelle), osservatorio ideato e fatto costruire da Tycho

I sei maggiori sistemi del mondo alla fine del XVII secolo



Il sistema ticonico dal *De mundi aetherei recentioribus phantasiam* (1558)



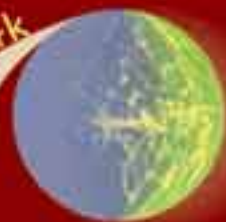
La grande armilla equatoriale usata da Tycho per misurare le posizioni di stelle e pianeti



Tycho Brahe

La grande armilla equatoriale usata da Tycho per misurare le posizioni di stelle e pianeti





I DIGGES E JOHN DEE:

matematici, negromanti e fabbricanti
di strumenti ottici

Poco sappiamo della giovinezza di Leonard Digges (1520-1559), nativo del Kent e formatosi a Oxford. Ben presto noto come topografo e matematico, cultore di "filosofia della natura" cui dedicò non pochi testi, tutti scritti in inglese - cosa piuttosto insolita per l'epoca. Tra questi spicca *A Prognostication Everlasting* (1553), che include un calendario perpetuo, varie notizie di astronomia, elementi di meteorologia (in particolare, circa la previsione del tempo), nonché una descrizione del sistema geocentrico di Tolomeo (ca. 100-170 a.C.). Nel 1554 Leonard si lascia coinvolgere nella rivolta di Sir Thomas Wyatt, catturato e condannato a morte, viene graziato per intercessione del suo protettore lord Clinton, conte di Lincoln. Suo figlio, Thomas (1546-1595), pur egli attento a problemi pratici suggeriti da nautica, tecnica delle fortificazioni e balistica, non disdegna a sua volta la matematica dei cieli. Nel 1573 pubblica un *Alae seu scalae mathematicae* che contiene osservazioni della "nuova stella" del 1572 (per noi oggi una supernova) che i contemporanei ritengono inferiori per precisione solo a quelle del grande danese Tyge (Tycho) Brahe (1546-1601). Qui Thomas, influenzato dal copernicanesimo di John Dee (1527-1608), matematico, mago e "negromante", nonché inascoltato fautore nell'Inghilterra "protestante" della riforma gregoriana del calendario, propone di sfruttare le novità celesti per rivedere e aggiornare l'immagine del "sistema del mondo".

Nel 1576 aggiunge a una nuova edizione della *Prognostication* del padre il supplemento intitolato *A Perfit Description of the Caelestiall Orbes* che contiene, tra l'altro, una parafrasi del libro del *De revolutionibus* di Copernico (se ne conoscono almeno sette edizioni dal 1576 al 1605). Più delle affermazioni verbali è una figura che meglio si presta a evidenziare la nuova visione dell'Universo sostenuta da Thomas: nell'illustrare il sistema copernicano, con il Sole al centro e i pianeti che gli ruotano intorno, Digges rimuove la sfera delle "fisse" e le stelle risultano distribuite fino agli angoli della pagina, a indicare che non sono tutte alla stessa distanza dal Sole, ma sparse nello spazio infinito.

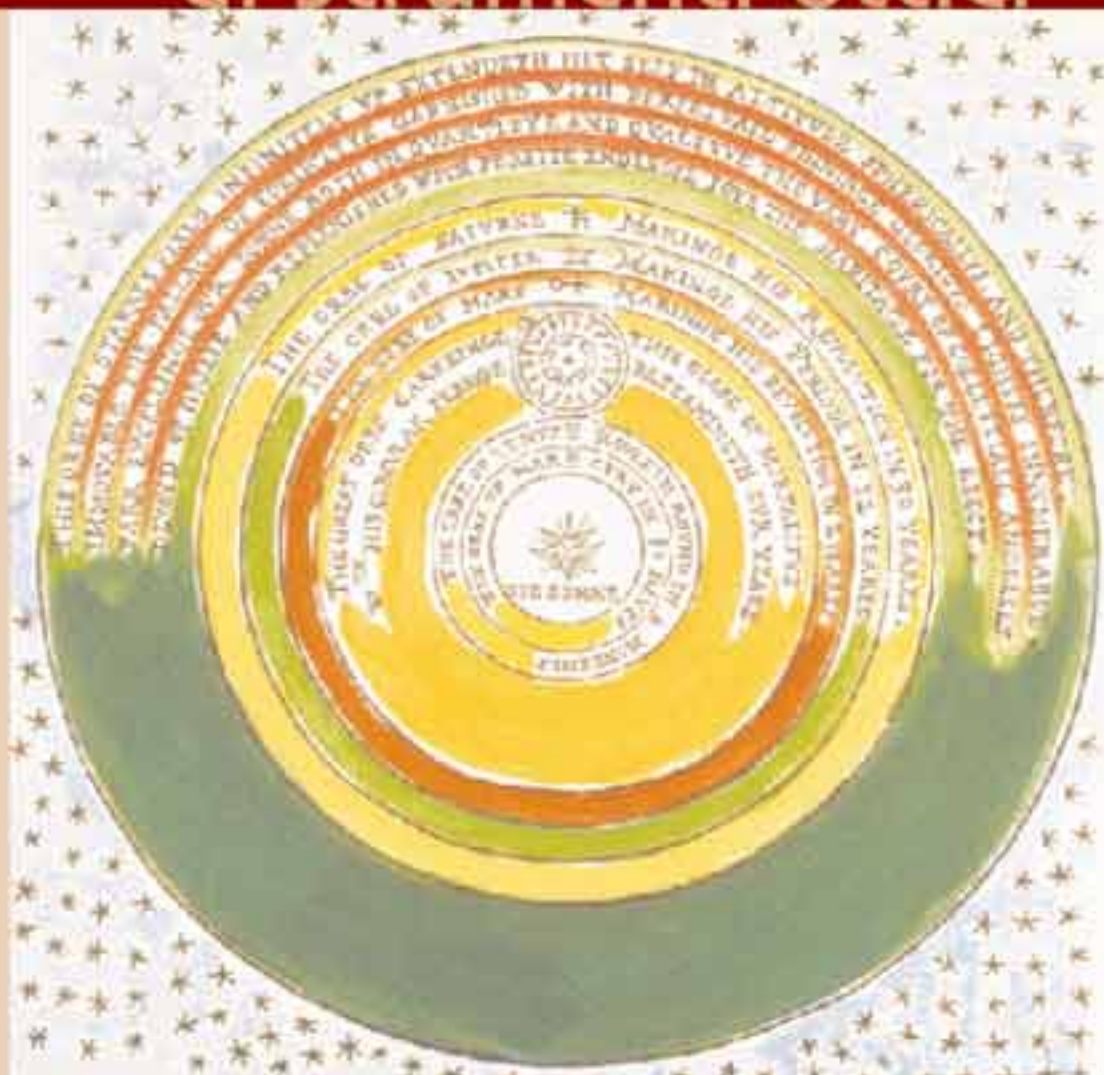
È la rivoluzione nella rivoluzione (copernicana).

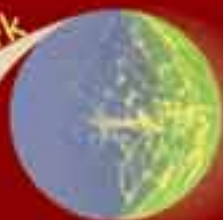
"Digges fu il primo a descrivere un Universo copernicano infinito, ma pervenne a questo risultato solo adottando inconsapevolmente quello stesso paradosso che nell'Antichità e nel Medioevo aveva fornito la motivazione essenziale per respingere l'idea dello spazio infinito. [...] Nell'Universo di Digges il Sole non è esattamente una stella come le altre [...]. Resta unico e centrale, e [costituisce] una contraddizione in quanto non si troverebbe nel 'centro' più di quanto vi si trovi ciascuno delle stelle e dei pianeti" (Thomas Kuhn, 1957).

Nella figura Digges pretende di offrire "un'esatta descrizione delle sfere celesti, secondo l'antichissima teoria dei Pitagorici"; quanto alla sfera delle stelle fisse, essa è "infinitamente eccelsa" e "si estende sfericamente in altezza", costituendo "l'immobile edificio della felicità", ornata di astri "eternamente risplendenti, di gran lunga superiori al nostro Sole in quantità e in qualità, vera corte degli angeli celesti". A Digges padre alcuni storici attribuiscono l'invenzione di un telescopio a rifrazione e di un telescopio a riflessione. Il figlio Thomas si sarebbe servito di questi strumenti nelle osservazioni del 1572. La maggior parte degli storici, però, insiste sulla reinvenzione del telescopio rifrattore da parte degli olandesi, e non contesta il merito di Galilei di essere stato tra i primi a utilizzare questo "cannocchiale" per osservare la "fabbrica dei cieli" nel 1609. Quanto al telescopio riflettore, il merito del suo uso sistematico è attribuito a Isaac Newton (sarebbe stata questa invenzione ad attirare per la prima volta l'attenzione della Royal Society sulle ricerche del grandissimo matematico e fisico britannico).

(figura in alto).
L'Universo
copernicano
secondo Digges

L'Universo infinito.
Da una traduzione in inglese del libro
di Copernico fatta da Thomas Digges
e pubblicata a Londra nel 1576.
Per la prima volta appare un sistema
illimitato di stelle.





GIORDANO BRUNO:

i molti mondi (1548-1600)

Era nato nei primi mesi del 1548 "a Nola, che giace al piano de l'orizzonte Campano", terra di aria buona ma anche di "criminali costumi". Di nome faceva Filippo: divenne Giordano dopo essersi trasferito a Napoli (1562) prendendo l'abito del novizio domenicano. Rimasto per undici anni nel convento di santa Maria Maggiore e incorso in un processo per una incauta battuta circa le figure dei santi, era poi (1576) stato accusato di aver difeso pubblicamente Ario, il tradizionale negatore della divinità di Cristo. Nemico di ogni forma di "pedanteria" e insofferente delle istituzioni, aveva cominciato una vita da vagabondo dello spirito, prima a Roma, poi a Genova e a Venezia. Nemmeno doveva durare il suo soggiorno nella rocca del protestantesimo, la Ginevra calvinista. Lo ritroviamo nella Francia di Enrico III dilaniata dal conflitto tra cattolici e protestanti (ugonotti). Giordano non apprezza né gli uni né gli altri e guarda con simpatia a coloro che, stanchi del sangue versato, pensano a forme di reciproca tolleranza nell'interesse dello stato.

Intanto Giordano era passato (1583) nell'Inghilterra di Elisabetta I, e in quel Paese non aveva esitato a prendersela con gli intellettuali di Oxford, nonché a sfidare i puritani convinti della verità letterale del testo biblico.

Nei dialoghi di *La Cena delle Ceneri* (1584) Bruno critica la separazione aristotelica tra Terra e Cielo; sostiene che la Luna è in realtà "un'altra Terra"; interpreta le macchie lunari come segni che la superficie di "quel pianeta" è ora acqua ora terrestre; difende la dottrina copernicana del movimento del nostro globo, che ruota sul proprio asse e attorno al Sole. Il Sole è certo "al centro" fisico del sistema di pianeti che gli orbitano intorno, ma questo sistema non esaurisce l'intero cosmo! Come viene ribadito in *De l'Infinito, Universo e Mondi* (sempre del 1584), nello spazio immenso "innumerevoli stelle, astri, globi, soli e terre, sensibilmente si veggono, ed infiniti ragionevolmente si argumentano". Molti di questi mondi sono "abitati" e ogni astro è un essere vivente, dotato di "anima".

Non meno rilevante dell'infinità del mondo che il Nolano giustifica ricorrendo alle intuizioni metafisiche del Cusano (Nikolaus Chrypffs, nativo di Cues, 1400-1464), filosofo e matematico tedesco, già a suo tempo sostenitore di un moto di rotazione della Terra intorno al proprio

asse, è per Bruno (che attinge liberamente a Lucrezio) il recupero dell'atomismo nel regno dell'infinitamente piccolo. In particolare, nel poema latino *De minimo* (1591) Bruno delinea una teoria dei minimi per ogni qualità rilevante in natura. Tali minimi possono unirsi e separarsi, toccandosi senza però penetrarsi o mescolarsi. Quello che Bruno tratteggia è così un Universo strutturato secondo diverse scale: il punto è il minimo della superficie, l'atomo fisico è il minimo del corpo, la Terra è il minimo della sfera in cui è situata, il Sole è il minimo del sistema planetario, ecc.; il divenire delle cose, il nascere e morire degli esseri viventi e persino le grandi catastrofi celesti non sono che "vicissitudini" scandite dall'accostarsi e dal separarsi dei minimi. Infine, chi comprende il ritmo del cosmo è anche colui che è capace di riconoscere la presenza di Dio "dentro di sé". La sua anima si accende di "eroico furore" e nella ricerca della verità ogni "furente" è come la Fenice, che fa il nido nel fuoco che la distrugge (*De gli eroici furori*, parte I, dialogo V, 1585).

Tornato in Italia su invito del nobile Mocenigo di Venezia, fu da questi denunciato all'inquisizione, arrestato (1592) e quindi tradotto da Venezia a Roma per il processo. Essendosi rifiutato di ritrattare le proprie dottrine, venne condannato al rogo per eresia e condotto il 17 febbraio 1600 in Campo dei Fiori.



Da un libro di Keplero :
è illustrata la visione dei
molti mondi di Bruno.
La lettera M significa Mondo,
cioè la nostra Terra, posta vicino a
una qualunque stella.



Giordano Bruno



La relatività del moto: da Bruno a Galilei

"Sarebbe impossibile che una pietra gittata all'alto potesse per medesima retitudine perpendicolare ritornare al basso: ma sarebbe necessario, che il velocissimo moto della Terra se la lasciasse molto a dietro verso l'occidente". Così Giordano Bruno (1548-1600) affronta in una pagina della "Cena delle ceneri" (1584) l'obiezione tradizionale a una Terra mobile, e ribatte: "con la Terra [...] si muovono tutte le cose che si trovano in terra". Non diversa è la situazione su una nave quando "alcuno che è dentro una nave gitta per dritto una pietra: quella per la medesima linea ritornerà a basso, muovasi quanto si voglia la nave, pur che non faccia de gl'inchini".

Anche il moto della Terra è abbastanza regolare (non fa "inchini", cioè non beccheggia), sicché non sembra possibile restando sulla Terra accorgersi del moto terrestre. Naturalmente, chi guarda la nave dal molo si accorge del movimento dell'imbarcazione: potessimo collocarci, poniamo, nel Sole, vedremmo il moto del nostro globo.

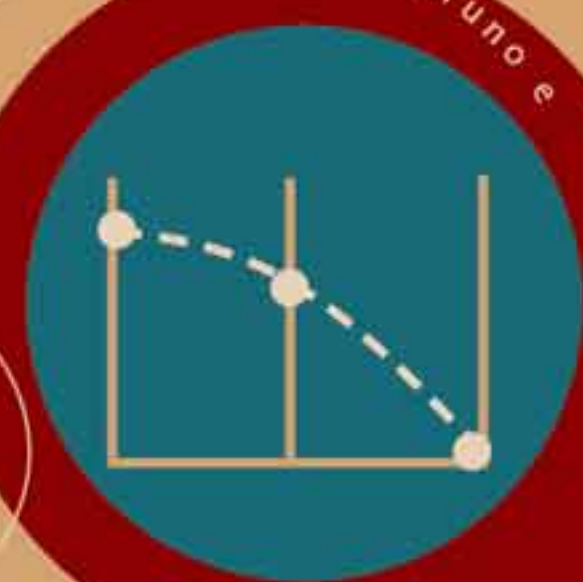
La navicella di Bruno diventerà il "gran naviglio" ove Salviati, portavoce di Galileo Galilei (1564-1642), invita i perplessi per la teoria copernicana a chiudersi "sottocoverta": "e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animaletti volanti; siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pescetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso; e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animaletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto". Quindi, "fate muover la nave con quanta si voglia velocità", e allora "pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là, voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti,

né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma". Il "cattolico, anzi cattolico-icissimo" Galileo leggeva Bruno, pressoché lo traduceva (la nave che non fa gli inchini diventa il naviglio il cui moto non deve essere fluttuante in qua e in là), ma non lo citava. Quel che si afferma nel passo della Cena delle Ceneri come nella seconda giornata del Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo (1632) è l'idea della relatività dei moti, anche se non è ancora il "principio di relatività" che viene oggi. D'altra parte, per Bruno e per Galileo il moto "naturale" è quello circolare (inerzia galileiana). Solo con Newton avremo una diversa concezione dei moti "naturali" (quelli rettilinei uniformi, inerzia newtoniana).



La caduta dei gravi secondo Aristotele e secondo Bruno e

del gravi secondo Aristotele e secondo Bruno e





JOHANNES KEPLER:

l'armonia del mondo (1571 - 1630)

Pagina dalla Nuova Astronomia

Nato a Leonberg, in Germania, Johannes Kepler riceve un'educazione religiosa presso il seminario della città, prima di iscriversi all'università di Tubinga, roccaforte dell'ortodossia luterana, con l'intento di essere ordinato. Oltre agli insegnamenti di greco ed ebraico, segue il corso del più famoso astronomo del tempo, Michael Maestlin (1550-1631) che, oltre al curriculare sistema tolemaico, gli insegna il sistema copernicano. Keplero si convince della realtà fisica di quest'ultimo. Le sue concezioni si fanno sempre meno ortodosse, spingendolo ad abbandonare il progetto di prendere gli ordini e ad accettare un impiego come insegnante di matematica a Graz (nel 1612 incorrerà addirittura nella scomunica luterana, sembra per aver concesso troppo al calvinismo). Elabora una propria teoria cosmologica nel *Mysterium cosmographicum* (1596) che gli procura la possibilità di essere chiamato a Praga come assistente del Matematico Imperiale Brahe; nel 1601, alla morte di questi, gli succede nella prestigiosa carica. Prima di morire, Tycho gli affida il compito di calcolare l'orbita di Marte. Elaborando i dati delle osservazioni astronomiche del predecessore, Keplero giunge a formulare le due leggi sul moto di un pianeta intorno al Sole che a lui devono il loro nome. Si occupa, poi, di ottica, arrivando a spiegare il funzionamento del cannocchiale, dell'occhio umano e di come gli occhiali riescano a correggere i difetti della vista

facendo convergere le immagini sulla retina, e a porre così le basi della moderna ottica geometrica. Nel 1604 scopre una supernova. Quando muore l'imperatore Rodolfo, si instaura a Praga un clima antiprotestante che spinge Keplero a trasferirsi a Linz. Negli ultimi anni diviene astronomo di fiducia del generale Wallenstein. Keplero, profondamente religioso, è persuaso che Dio abbia organizzato l'Universo secondo un preciso piano matematico che può essere svelato solo analizzando dati numerosi e accurati, come le *Tabulae* da lui elaborate a partire dalle osservazioni di Tycho Brahe, le quali costituiscono le prime tavole effemeridi calcolate sulla base dell'ipotesi eliocentrica e delle orbite ellittiche. Convinto assertore del copernicanesimo, si rende conto che il modello eliocentrico porta, contrariamente a quello tolemaico, alla determinazione delle dimensioni delle orbite dei pianeti (come è espresso nella sua terza legge, trovata nel 1619). Sostiene, in contrasto con Galileo, l'influenza reciproca dei corpi celesti, non in senso astrologico, ma con un'idea che anticipa quella newtoniana di "forza a distanza". Si deve dunque a Keplero l'abbandono dell'idea di orbite planetarie circolari corrette da complicati epicicli, in favore di orbite ellittiche nelle quali il Sole occupa uno dei due fuochi (prima legge di Keplero). Le altre due leggi sono di tipo quantitativo (la "velocità areolare" di un pianeta lungo l'orbita è costante; i cubi degli assi maggiori delle orbite planetarie sono proporzionali ai quadrati dei periodi) e costituiscono un punto di partenza per ricavare la legge della gravitazione universale di Newton. Keplero aveva ipotizzato una possibile causa fisica per il moto dei pianeti: essi sarebbero masse di materia dotate di naturale tendenza al moto e soggette a una sorta di inerzia; ma il Sole, ruotando, emette una forza che vince tale inerzia. Keplero non arriva al concetto newtoniano di gravità, ma un suo passo induce a pensare che non fosse molto distante:

"La dottrina tradizionale della gravità [quella di Aristotele] è sbagliata [...]. La gravità è una reciproca tendenza corporea tra corpi della stessa natura all'unione e al contatto, per cui la Terra attrae una pietra molto di più di quanto la pietra attiri la Terra"

DE MOTIB. STELLÆ MARTIS PROTHEOREMATA.

I.
SI intra circulum describatur ellipsis, tangens verticibus circulum, in punctis oppositis; & per centrum & puncta contactuum ducatur diameter; deinde a punctis aliis circumferentia circuli ducantur per perpendiculares in hanc diametrum: eæ omnes a circumferentia ellipseos secabuntur in eandem proportionem.

Ex l. 1. Apollonii Conicorum pag. XXI. demonstrat COMMANDINVS in commentario super v. Spharoideton ARCHIMEDIS.

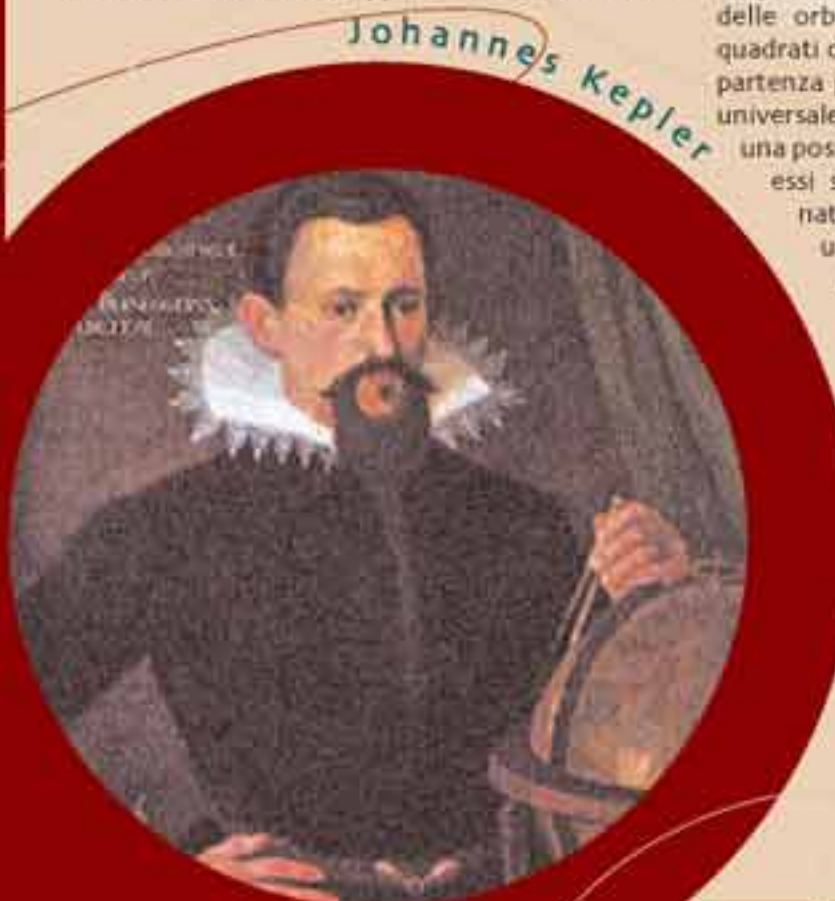


Sit enim circulus AEC. in eo ellipsis ABC tangens circulum in AC. & ducatur diameter per A. C. puncta contactuum, & per u centrum. Deinde ex punctis circumferentia K. E. descendant perpendiculares KL, EN, facta in u. s. a circumferentia ellipseos. Erit ut EN ad NE, sic ML ad LE. & sic omnes alia perpendiculares.

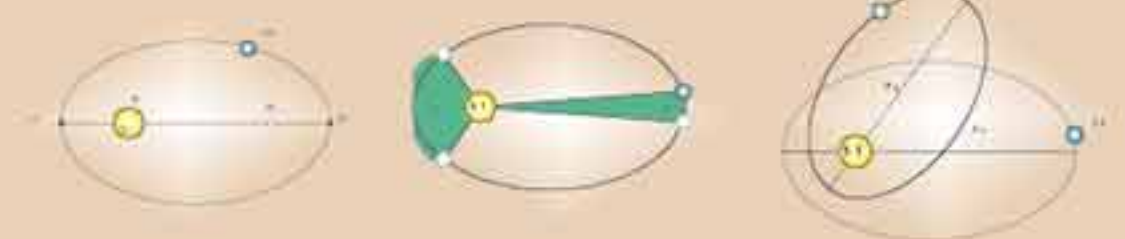
II.
 Area ellipseos sic inscripta circulo, ad aream circuli, habet proportionem eandem, quam dicta linea.

Vt enim EN ad NE, sic area ellipseos ABC ad aream circuli AEC. Est quinta Spharoideton ARCHIMEDIS.

III.
 Si a certo puncto diametri educantur linea in



Johannes Kepler

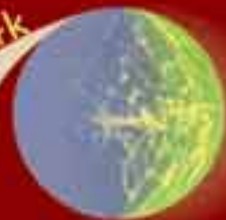


Orbita ellittica descritta da un pianeta intorno al Sole. Il Sole occupa uno dei due fuochi dell'ellisse. Il punto di minima distanza del Sole è il perielio e quello di massima distanza è l'afelio.

Il raggio vettore che congiunge il Sole al pianeta descrive aree uguali in tempi uguali.

Se T_1 e T_2 sono i periodi di rivoluzione di due pianeti che ruotano attorno al Sole descrivendo orbite ellittiche di semiasse maggiori a_1 e a_2 , vale la relazione: $T_1^2/T_2^2 = a_1^3/a_2^3$





GALILEO GALILEI:

una "nuova scienza" (1564-1642)

Perché non ritenere "la Terra goder delle medesime perfezioni che gli altri corpi integranti dell'Universo, ed esser in somma un globo mobile e vagante non men che la Luna, Giove, Venere o altro pianeta"? Così Sagredo, uno dei "virtuosi" evocati da Galileo Galilei (1564-1642) nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632), presenta insieme la tesi dell'identità di fisica terrestre e celeste e l'idea della mobilità della Terra. Convinto, almeno dal 1597, della "verità" della "opinione copernicana", Galileo, l'"artista toscano" celebrato da Milton nel suo *Paradiso perduto*, modifica e perfeziona nel 1609 il cannocchiale, l'"eccellentissimo strumento" di cui si serve per le sue osservazioni astronomiche. Nel *Sidereus Nuncius* (1610) dichiara che le macchie lunari non sono che ombre dovute alle differenze di rilievo del nostro satellite; scopre quattro satelliti di Giove, le cosiddette "lune medicee"; rivela la composizione stellare della Via Lattea (o Galassia). Successivamente, osserva e descrive le fasi di Venere e le macchie solari.

Aveva esordito nel 1589 ottenendo la cattedra di matematica all'Università di Pisa, ove aveva sviluppato le sue prime ricerche sul moto dei gravi ed enunciato la legge di isocronia delle piccole oscillazioni del pendolo. Trasferitosi a Padova (1592), aveva scritto il *Trattato della sfera* (1592) e *Sul moto accelerato* (1604), costruendo anche una bilancia idrostatica per la misurazione della densità di un corpo.

Nel 1610, richiamato in Toscana dal granduca Cosimo II, era ritornato a insegnare a Pisa. La sua perorazione in favore del copernicanesimo lo aveva portato a sfidare audacemente almeno tre grandi "autontà": quella dei sensi, che non paiono attestare alcun moto della Terra; quella di Aristotele, sostenitore della separazione tra Terra e cielo, e insieme fautore del geocentrismo; quella, infine, della lettura della Bibbia, che in più di un passo sembrava attestare l'immobilità della Terra e la mobilità del Sole attorno a questa. La celebre *Lettera a madama Cristina di Lorena* costituisce a un tempo una difesa delle ragioni matematiche ("il discorso" per dirla con Galileo) contro la mera apparenza sensibile e un vero e proprio manifesto per l'autonomia della ricerca scientifica rispetto le indebite intrusioni di teologi e politici.

Ammonito dalla Chiesa di Roma (1616) a non insistere sulla "verità di Pitagora e di Copernico" in assenza di "valida prova", Galileo doveva però continuare nelle sue polemiche contro gli ultimi tolemaici nonché contro i sostenitori del compromesso presentato da Tycho (Thyco) Brahe (1546-1601) che ammetteva che i vari pianeti potessero girare intorno al Sole, mentre quest'ultimo girava però intorno alla Terra. Nel *Dialogo* sono di nuovo ampiamente presentate le ragioni del copernicanesimo, anche se apparentemente l'ultima parola tocca a Simplicio - figura che riassume in sé il punto di vista dei conservatori e che allude non solo al

celebre commentatore di Aristotele (IV secolo d.C.), ma anche a quegli stessi uomini di Chiesa i quali, pur riconoscendo gli aspetti convincenti del copernicanesimo, lasciavano al Signor Iddio solo con "la Sua infinita potenza e sapienza" la conoscenza della vera "costituzione" dell'Universo. Il papa Urbano VIII (Maffeo Barberini, 1568-1644) doveva riconoscersi tra i sostenitori di questa "mirabile veramente angelica dottrina" e passare da iniziale sostenitore di Galileo - lui non digiuno di astronomia - a suo critico, per nulla convinto dell'argomento delle maree che Galileo aveva portato come prova del moto terrestre.

Di età avanzata, malfermo di salute Galileo venne chiamato a Roma di fronte al Tribunale dell'Inquisizione e venne costretto ad abiurare le proprie tesi (1633); riconosciuto colpevole fu condannato al confino ad Arcetri. Qui sembra lo abbia visitato Milton, "vecchio e cieco, segregato per aver osato pensare in astronomia diversamente dai suoi censori domenicani e francescani" (così si esprime il poeta puritano nella sua *Areopagitica*, 1644). Ma Galileo aveva continuato la sua laboriosa fatica scientifica. Nel 1638 vengono pubblicati nella libera Leyda protestante i *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*. Qui Galileo affronta la questione della costituzione della materia e getta le basi della meccanica intesa come teoria del moto locale. È nel chiarimento dei fondamenti di entrambe queste due "nuove" discipline che Galileo recupera potentemente le intuizioni dell'atomismo, citando espressamente Democrito. Già nel *Saggiatore* (1623) aveva concepito la luce come composta di atomi "assolutamente indivisibili" e gli altri corpi costituiti di "minimi quanti". Nei *Discorsi* spazio, tempo e materia vengono concepiti come costituiti da infinite "parti non quante". Così, per esempio, un qualsiasi segmento è formato da un aggregato di atomi "non quanti", e ciò disinnescava la tradizionale obiezione che la dimostrazione geometrica dell'incommensurabilità della diagonale con il lato del quadrato confuterebbe l'atomismo. La connessione istituita da Galileo tra continuo e infinito è alla base dell'applicazione della teoria degli indivisibili sia in campo fisico (il modello che permette di caratterizzare la caduta dei gravi nel vuoto come moto uniformemente accelerato) sia in campo geometrico quale strumento euristico per calcolare aree e volumi delle figure - come mostrano, del resto, le fondamentali ricerche di Bonaventura Cavalieri (ca. 1598-1647) ed Evangelista Torricelli (1608-1647). Nei *Discorsi* Galileo affronta anche il problema del moto dei proiettili giungendo a definire l'esatta traiettoria tramite il disaccoppiamento tra moto orizzontale e moto verticale, governato dalla gravità (Parabola di Galileo).



La parabola di Galileo per il moto dei proiettili



La traiettoria seguita dai lapilli emessi in una eruzione vulcanica fornisce una chiara visione della

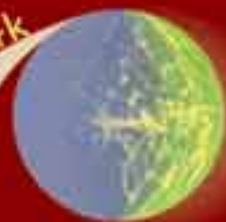
Diagramma pre-galileiano del moto di un proiettile



La Luna: disegni originali di Galileo

Galileo Galilei





ROBERT BOYLE:

il "chimico scettico" che pesò l'aria (1627-1691)

Nelle stanze dove i filosofi della natura della *Royal Society* amano discutere le più audaci speculazioni e compiere i loro rigorosi esperimenti irrompe Thomas Hobbes (1588-1679), critico di Cartesio, materialista integrale ("Dio, se esiste, è corpo") e teorico dell'assoggettamento politico "per contratto", a dichiarare che il vuoto inteso come puro "non essere" è solo una delle tante chimere inventate dai filosofi per "turbare il popolo" e gettare i semi della discordia civile. Gli replica l'irlandese Robert Boyle (1627-1691), nativo di Lismore Castle e rampollo del conte di Cork, mostrandogli come si può produrre il vuoto con le pompe ad aria costruite appositamente per lui dal grande Robert Hooke (1635-1703). La nuova fisica sperimentale sbaraglia così le perplessità dei filosofi che ancora ritengono che la Natura aborra il vuoto.

Formatosi in un lungo viaggio di istruzione (1638-1644) in Francia e in Italia, dove aveva avuto modo di accostarsi all'opera di Galileo, Boyle doveva poi (1654) proseguire le proprie ricerche a Oxford, contribuendo ad animare quei circoli da cui sarebbe nata la *Royal Society*. Sempre a Oxford Boyle può controllare in un ambiente in cui produce vuoto sufficientemente elevato l'ipotesi di Galileo che gravi di natura diversa cadono in tempi uguali da un'altezza data, nonché replicare gli esperimenti di Otto von Guericke (1602-1686), il celebre artefice degli "emisferi di Magdeburgo", come li aveva descritti Kaspar Schott nella sua opera *Hydraulica-Pneumatica*. Sulla scia dei risultati ottenuti nel continente europeo da Evangelista Torricelli (1608-1647) e da Blaise Pascal (1623-1662), Boyle si mette a "pesare l'aria" e a operare, più in generale, vari esperimenti su materia allo stato gassoso, confermando anche l'idea che la velocità del suono dipenda dalla densità del mezzo.

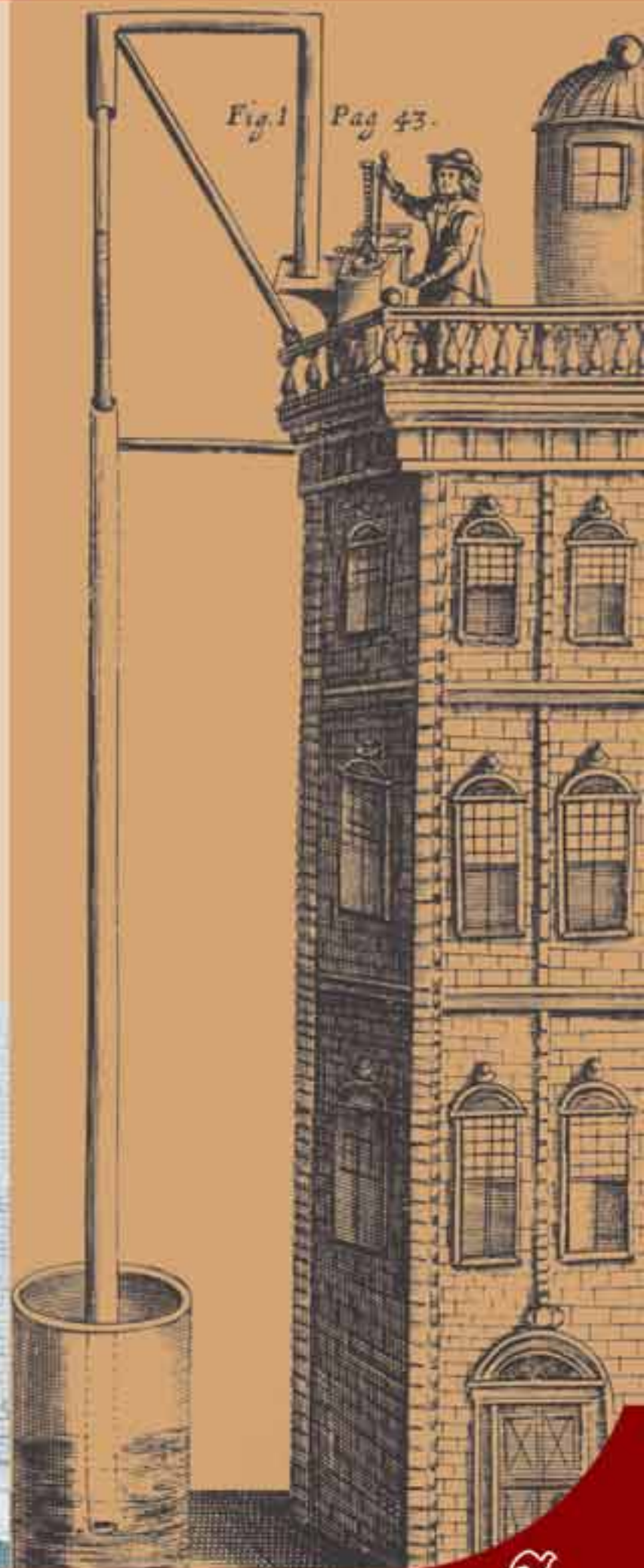
Nella storia del pensiero scientifico la figura di Boyle spicca soprattutto per la critica alla nozione di *elemento*. Non sono tali né i quattro tradizionali elementi invocati fin dai tempi di Aristotele (aria, acqua, terra, fuoco), né i principi (mercurio, sale, zolfo) ipotizzati dall'alchimia di Paracelso (Philipp Theophrast Bombast von Hohenheim, 1493-1541). Per Boyle tutti questi pretesi elementi sono dovuti a

combinazioni di "minuscole particelle", entità "ben più semplici che risultano dotate delle affezioni prime [come ...] grandezza, forma, movimento o riposo". Il *corpuscolarismo* (un termine meno "pericoloso" di *atomismo*) di Boyle influenzerà profondamente Newton, mentre il suo *Sceptical Chymist* (1662) costituirà un modello di buona metodologia empirista, attenta alla dimensione strumentale e tecnica della ricerca. Per quanto riguarda la fisica, il suo nome è legato soprattutto alla legge detta appunto di Boyle-Mariotte che afferma che in un gas a temperatura costante la pressione p è proporzionale al volume V , cioè $pV = \text{costante}$ (tale legge vale per i cosiddetti "gas ideali", mentre nella maggior parte dei casi reali va corretta secondo la legge detta di Van der Waals, dal nome del celebre fisico olandese 1837-1923). Peraltro, la legge di Boyle era stata da questi enunciata solo in un'appendice all'opera *New Experiments Physico-Mechanicall*, sebbene essa fosse stata ottenuta dal suo collaboratore R. Towneley (1629-1707) e indipendentemente dal francese Edme Mariotte (1620-1684), lo scopritore del "punto cieco" dell'occhio umano. In realtà, la portata del geniale filosofo della natura irlandese va ben oltre. Egli delinea, infatti, un modello di procedura scientifica che lega mirabilmente le problematiche dell'atomismo alla pratica sperimentale "di laboratorio", senza dimenticare il contesto più generale della significanza dell'impresa scientifica per le tematiche teologiche e politiche.

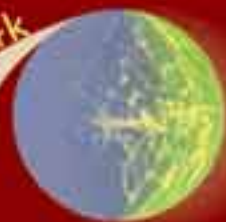
Il peso dell'aria:
in un globo di vetro viene praticato il vuoto; la differenza di peso tra questo e uno uguale, fornisce il peso dell'aria



Esperimento di Boyle per la misura della pressione atmosferica



Robert Boyle



CHRISTIAAN HUYGHENS:

la teoria ondulatoria della luce (1629-1695)

Christiaan Huyghens nasce all'Aia da una famiglia olandese agiata e prestigiosa. Studia Matematica e Legge all'Università di Leida e successivamente al Collegio d'Orange di Breda. Entra presto in contatto con l'ambiente scientifico parigino, in particolare con Mersenne e Cartesio. Le sue prime pubblicazioni riguardano problemi matematici. Nel 1654 si dedica alla costruzione di telescopi e alle osservazioni astronomiche: negli anni seguenti scopre il primo satellite di Saturno e determina la forma esatta degli anelli di questo pianeta. Dall'astronomia gli viene il problema di un'accurata misura del tempo: Huyghens brevetta il primo orologio a pendolo. Gli studi meccanici su tale strumento lo conducono a importanti risultati teorici, come l'espressione matematica della forza centrifuga. Diviene membro della Royal Society di Londra e della nascente Accademia di Francia. Tra il 1660 e il 1680 risiede principalmente a Parigi, godendo anche di una pensione assegnatagli dal "Re Sole" Luigi XIV. Nel 1678 pubblica in francese il *Traité sur la lumière*, nel quale getta le basi dell'ottica ondulatoria (in particolare, gli si deve il principio di sovrapposizione che porta il suo nome). Nel 1681, cagionevole di salute, ritorna nei Paesi Bassi, dove rimane fino alla morte (1695), con l'eccezione di un viaggio a Londra in cui conosce Newton. La posizione scientifica di Huyghens si caratterizza per la sua rilevanza nei dibattiti che ai tempi scuotevano la fisica, per non parlare della sua compromissione con la teoria della pluralità dei mondi e delle sue audaci congetture sull'esistenza di vita intelligente in altri corpi celesti. Dai "vortici" di Cartesio all'azione

di contatto di Robert Hooke (1635-1703), alla concezione dell'azione a distanza di Newton; dalla quantità di moto di Cartesio alla "forza viva" di Leibniz; dalla sua teoria ondulatoria della luce alla teoria corpuscolare del rivale Newton - controversia, quest'ultima, che vedrà un continuo alternarsi di successi da una parte e dall'altra fino al Novecento, quando si affermerà il dualismo "onda-particella". Due sono le grandi intuizioni che collocano la figura di Huyghens ai vertici della fisica: la legge della forza centrifuga è un passo importante per collegare la cinematica alla dinamica, in particolare nel moto circolare e in quello ellittico proprio dei pianeti (prima ancora di Newton, Hooke, Halley e Christopher Wren proporranno una legge di attrazione dell'inverso del quadrato della distanza, basandosi appunto sul risultato di Huyghens); il principio di sovrapposizione delle onde, applicato ai fenomeni ondulatori già conosciuti e alla luce, costituirà uno degli aspetti matematici che consentono l'unificazione di svariati fenomeni fisici.

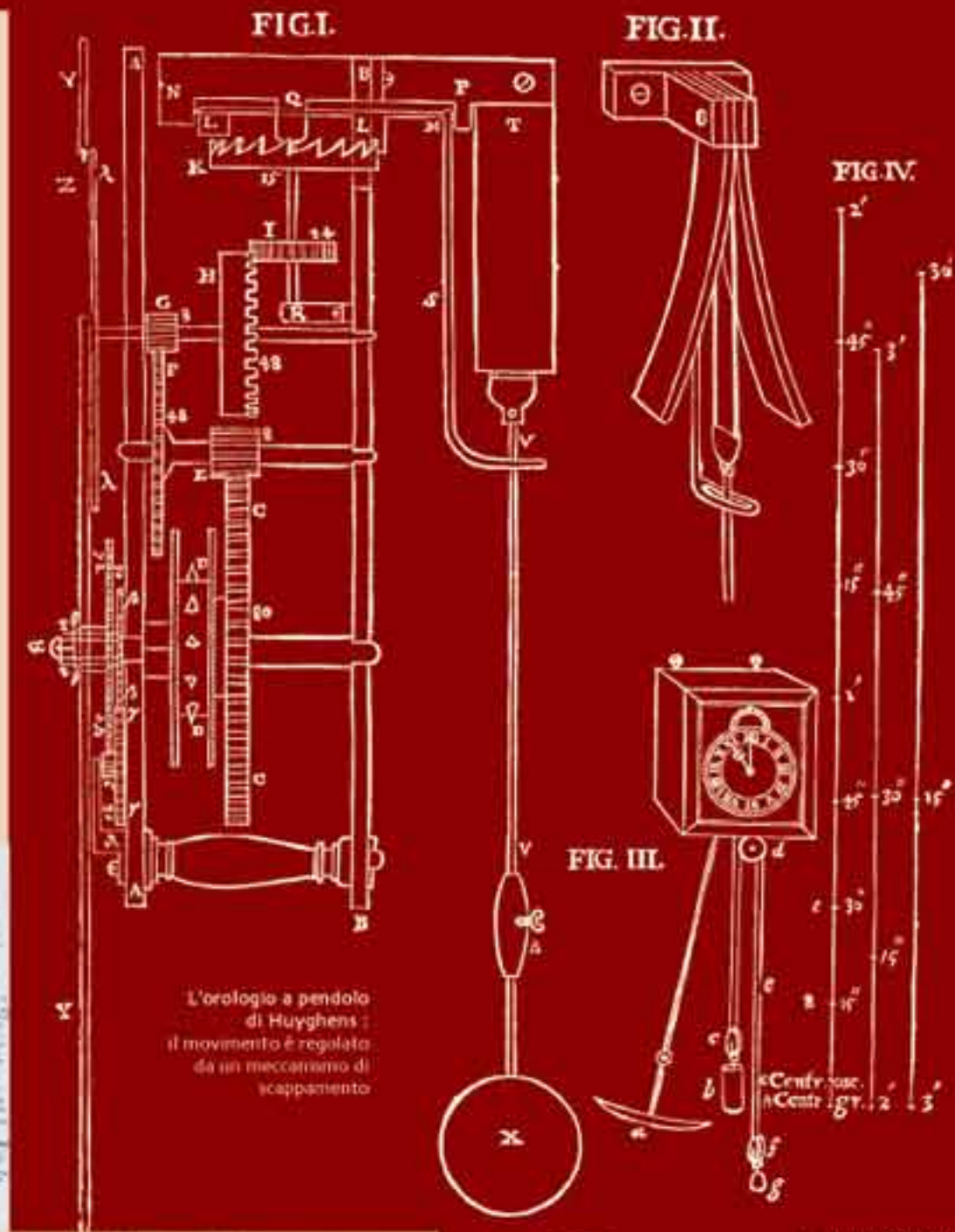


Spiegazione della doppia rifrazione di uno spato di Islanda.



Spiegazione della rifrazione atmosferica.

Gli anelli di Saturno, una pagina del libro originale *Systeme of Saturni* (1659).



L'orologio a pendolo di Huyghens: il movimento è regolato da un meccanismo di scappamento.

La composizione di piccole onde parziali come è illustrata da Huyghens nel suo *Traité de la lumière*. Ogni punto A, B, C della fiamma diviene sorgente di onde elementari.



Composizione delle onde elementari, come è illustrata da Huyghens nel suo *Traité de la lumière*. Ogni punto A, B, C della fiamma diviene sorgente di onde elementari.

Christiaan Huyghens





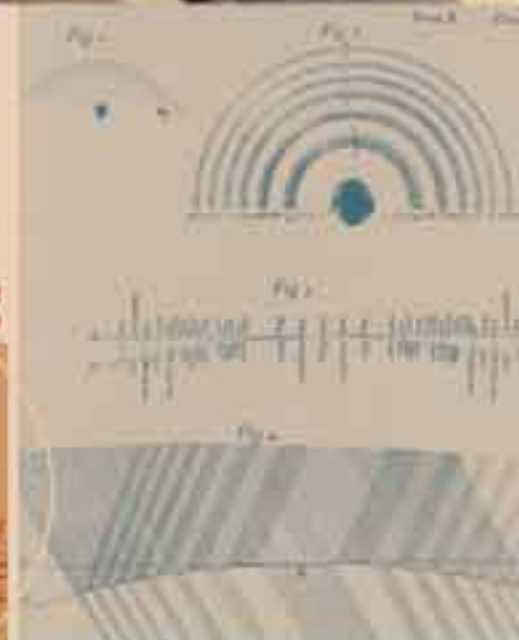
ISAAC NEWTON:

l'elegante compagine del Sole,
dei pianeti e delle comete (1643-1727)

Newton nasce la notte di Natale a Woolsthorpe, un villaggio del Lincolnshire, da una famiglia di piccoli proprietari terreni. Dimostra ben presto non comuni doti di apprendimento, e, all'età di 18 anni, è ammesso al Trinity College di Cambridge. Le dottrine di Aristotele costituiscono ancora la base dell'insegnamento, ma cominciano a essere discusse anche le nuove teorie scientifiche, la cui introduzione è favorita dallo spirito calvinista dei puritani, per contrasto con la Chiesa di Roma. Si tratta di un periodo di notevoli sconvolgimenti, che vedrà cadere nel 1649 la testa di Carlo I. Il giovane Newton, oltre ai classici, conosce i testi di Galileo e Cartesio. Un evento decisivo nella vita di Newton è la peste, che imperversa in Inghilterra nel 1665: Isaac si ritira nella sua casa di Woolsthorpe dove ha molto tempo per meditare e sviluppare le sue idee. Sembra che proprio in quel periodo abbia avuto l'intuizione della forza di gravità. Nel 1669 torna a Cambridge dove, essendosi ormai consolidata la sua fama di scienziato, ottiene la cattedra lucasiana. Dietro sollecitazione di Halley, vince le sue titubanze e pubblica nel 1687 la sua opera principale, alla quale aveva lavorato per vent'anni: *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. È grazie ai *Principia* che Newton ha la "consacrazione" a scienziato di fama mondiale. Nel 1689 è eletto membro del Parlamento, nel 1696 diviene prima "Guardiano", poi "Maestro" della Zecca, e infine nel 1703 Presidente della Royal Society. Newton deve la sua fama alla teoria della gravitazione, ma di enorme importanza sono anche i suoi contributi nel campo dell'ottica e soprattutto del calcolo matematico. Nell'*Opticks* elabora una teoria corpuscolare della luce, descrivendo i fenomeni della riflessione e della rifrazione e attribuendo quest'ultima a una forza agente alla superficie di separazione tra due mezzi. Vi si trova anche una sua idea sulla natura atomica della materia, che egli ritiene costituita da atomi immutabili, aventi dimensioni e forme differenti. Tra di essi agiscono forze attrattive a piccole distanze e repulsive a distanze maggiori. Un'altra intuizione fondamentale di Newton riguarda la natura della luce bianca, che egli pensa formata dalla sovrapposizione di diversi colori. Newton compie vari esperimenti utilizzando dei prismi, giungendo alla scomposizione e alla ricomposizione della luce bianca. Va anche ricordato il grandioso lavoro di unificazione del calcolo: il suo calcolo delle fluenti e delle flessioni verrà contrapposto al calcolo integrale e differenziale di Leibniz. Scoppiò tra i due una feroce disputa sulla priorità, conclusasi con la sconfitta di Leibniz di fronte alla Royal Society ("gli ho spezzato il cuore", dirà Newton con sprezzo). Ma Isaac compie anche incursioni nel campo degli studi alchemici e di quelli sulla cronologia e l'interpretazione biblica. Un genio veramente "incontenibile", forse il più grande nella storia della scienza.



Disegno originale del
telescopio di Newton



Gli anelli di Newton
dall'originale dell'*Opticks*

Schizzo di Newton per la
scomposizione della luce

