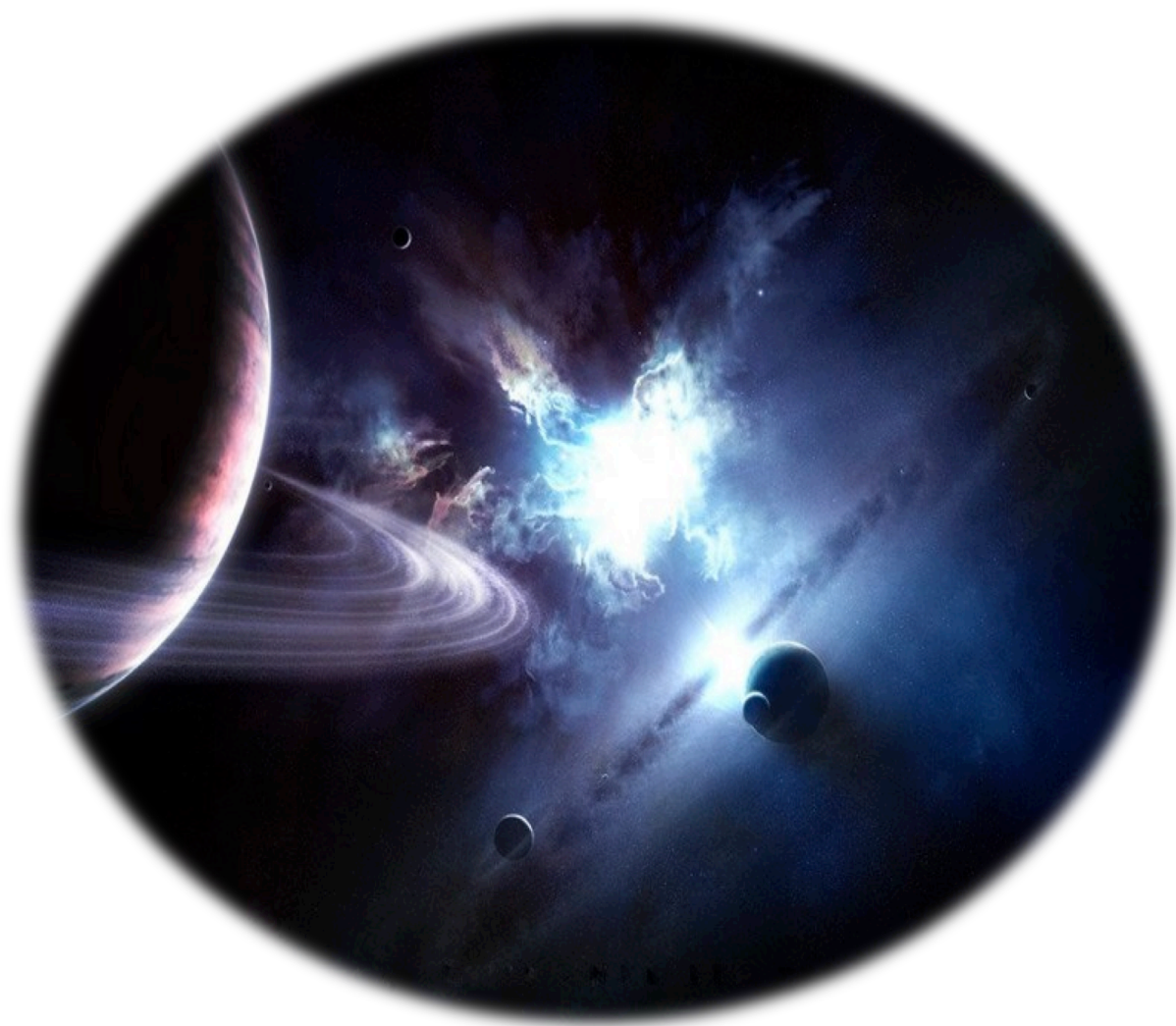


Universi infiniti

Tra metafisica e scienza



Chiara Ormando

Liceo Scientifico Vito Volterra Classe VD

Anno scolastico 2011/2012

Universi infiniti

Tra metafisica e scienza

Prefazione	pag 3
1. Mondi infiniti ed intermundia	pag 5
2. Giordano Bruno	pag 9
3. Dagli universi isola di Kant alla scoperta di Hubble	pag 13
3.1 Gli universi isola	pag 13
3.2 La scoperta delle galassie	pag 16
4. Mondi diversi nella letteratura	pag 21
4.1 Il mondo immaginario di Leopardi	pag 21
4.2 Asimov's para-universe	pag 24
5. Dalla fisica quantistica all'interpretazione a molti Mondi	pag 28
5.1 La scoperta della natura corpuscolare della luce	pag 28
5.2 L'esperimento della doppia fenditura	pag 30
5.3 Da Louis de Broglie a Erwin Schrödinger	pag 33
5.4 L'interpretazione a molti mondi di Hugh Everett	pag 37
Bibliografia	pag 39

Prefazione

L'infinità dei mondi, si sa, è un'idea antica, comparsa per la prima volta all'alba della filosofia greca. Dopo oltre due millenni lo stesso tema ricompare nelle ipotesi cosmologiche, le quali sempre meno timidamente, parlano di ipotetici universi paralleli, universi baby, multiversi e così di seguito. Agli addetti ai lavori, scienziati e filosofi della scienza, queste ipotesi corrispondono ad un preciso significato scientifico, al di là della consistenza ontologica che ognuno di essi è disposto ad accordare a questi mondi ipotetici.

Molti di questi universi sono modelli semplificati, simulazioni generate da soluzioni di equazioni e modelli matematici. Essi rispondono allo scopo di rendere più agevole lo studio di determinati problemi che altrimenti risulterebbero troppo difficili da trattare.

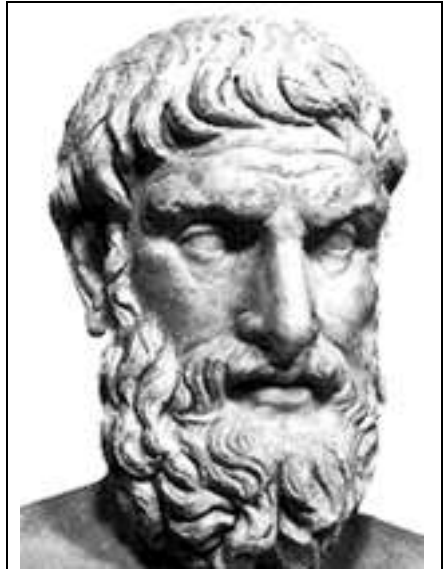
In questo lavoro è impossibile entrare nel merito di queste problematiche, sia per l'eccessiva estensione che ne risulterebbe, ma soprattutto per le modeste competenze sull'argomento possedute da chi scrive. Molto più semplicemente mi limiterò a seguire il tema dell'infinità dei mondi come esso si è sviluppato e precisato in determinati momenti del pensiero filosofico e scientifico.

Oltre che nel significato lasciato in eredità dalla tradizione che risale ad Aristotele, la metafisica alla quale si fa riferimento nel titolo è intesa anche nel significato di fattori di spiegazione non osservabili. Soprattutto nella fisica, le ipotesi sono formulate in termini teorici che designano entità prive di un corrispettivo sensibilmente evidenziabile. Nondimeno la scienza è tale, e si distingue dalla pseudo scienza, perché solo all'interno della prima sono indicate

le condizioni, al verificarsi delle quali, le sue ipotesi possono essere o smentite oppure confermate sul piano dell'evidenza sperimentale.

1. Mondi infiniti ed intermundia

Nella cultura occidentale, l'ipotesi della molteplicità dei mondi appare per la prima volta all'interno della teoria della struttura atomica della materia, enunciata da Democrito di Abdera (460 - 370 a.C.). Questa dottrina venne poi ripresa ed ulteriormente elaborata da Epicuro di Samo (Samo, 341 a.C. - Atene, 271 a.C.), che ne estese i principi ad una filosofia della società. Scarsi e sostanzialmente privi di valore teorico sono stati i contributi lasciati dai discepoli di Epicuro. Tra questi il più importante è il romano Tito Lucrezio Caro, nato, secondo la tradizione ieronimiana, nel 98 a.C. e morto probabilmente nel 55 a.C.



Epicuro

La sola opera di Lucrezio che ci sia pervenuta è il *De Rerum Natura*, poema didascalico d'argomento filosofico che rappresenta l'unica esposizione dettagliata e completa della dottrina epicurea arrivata fino a noi.

Lucrezio la compose con un duplice intento: da un parte vi era la volontà di creare un poema didascalico romano degno della tradizione greca, dall'altra il proposito di diffondere una filosofia che potesse giovare alla logora e stanca società romana del tempo, segnata dalle guerre civili. Il poeta vedeva, nella dottrina epicurea, una medicina adatta alle angosce dell'uomo romano affinché questo, non trovando più risposte nella religione tradizionale, potesse raggiungere la felicità e la sapienza attraverso un percorso individuale. L'opera

è composta in sei libri, raggruppabili in tre diadi, nelle quali si trattano diversi aspetti del pensiero epicureo: i primi due libri sono rivolti alla fisica, il terzo ed il quarto all'antropologia e gli ultimi due alla cosmologia.

La trattazione fisica dei primi due libri mira a dissipare ogni pretesa di ricondurre alla volontà degli dei l'origine della materia:

Principium cuius hinc nobis exordia sumet

nullam rem e nilo gigni divinitus umquam¹

L'impianto dimostrativo della dottrina viene conseguito sulla base di pochi principi, l'esistenza eterna e ingenerata degli atomi, dello spazio vuoto e delle leggi del moto.

et quo iactari magis omnia materiai

corpora pervideas, reminiscere totius imum

nil esse in summa, neque habere ubi corpora prima

consistant, quoniam spatium sine fine modoquest

immensumque patere in cunctas undique partis

pluribus ostendi et certa ratione probatumst²

¹ Lucrezio, *Della natura*, citato in bibliografia, libro I, versi 149-150:

Fissiamo esordendo il principio che nulla / sorge dal nulla per dono divino mai.

² Lucrezio, *Della natura*, citato in bibliografia, libro II, versi 89-94:

A meglio comprendere / il moto degli atomi tutti, ricorda / che un fondo non ha l'universo / né un punto dove gli atomi posino, ricorda / che fine non ha né misura lo spazio / che immenso si stende per tutto e dovunque, / come già dimostrai con valide prove.

I *semina rerum*, i componenti più piccoli della materia, sono dunque descritti come eterni, ingenerati, indistruttibili ed indivisibili. Privi di qualità ma diversificati nelle proprietà di forma, grandezza e peso, gli atomi sono elementi discreti, inalterabili, invisibili e in eterno movimento. La causa motrice dei *semina rerum* risiede in essi stessi, i quali, secondo la teoria del *clinamen*, cadono, a causa del loro peso, nel vuoto, facendo piccole ed imprevedibili deviazioni dalle loro traiettorie rettilinee. È questo un'aspetto che si diversifica dalla fisica di Democrito, che riteneva il movimento una proprietà intrinseca degli atomi, i quali si muovevano spontaneamente ed eternamente nel vuoto. Dunque, per Epicuro, tutta la materia è composta di queste particelle e la diversità dei corpi, che si manifesta nelle diverse qualità di ciascuno di essi, deriva dalle infinite combinazioni casuali nelle quali si raggruppano gli atomi.

Dalla fisica atomistica, attraverso la contemplazione della natura, Lucrezio introduce il concetto di pluralità infinita di mondi. L'affermazione che esistano mondi infiniti si instaura, infatti, nella considerazione del cielo, del sole e del firmamento. Da qui Lucrezio vuol vagare con la mente oltre le mura del suo mondo, in uno spazio senza confini, dove nel vuoto gli atomi vagano in perenne movimento.

Per il poeta, e dunque per Epicuro, risulta impossibile credere che nell'universo immenso possa essersi formato un unico mondo. Ritiene, infatti, che dall'eterna alternanza di aggregazione e separazione degli atomi, di formazione e dissoluzione dei corpi animati e inanimati, ne consegua necessariamente l'esistenza di altri mondi simili e dissimili dal nostro. Il numero di questi mondi, inoltre, non può che essere infinito, perché infinito è lo spazio e il numero degli atomi presenti in esso.

*nunc et seminibus si tanta est copia quantam
enumerare aetas animantum non queat omnis,
vis [que] eadem [et] natura manet quae semina rerum
conicere in loca qua eque queat simili ratione
atque huc sunt coniecta, necesse est confiteare
esse alios aliis terrarum in parti bus orbi
et varias hominum gentis et saecula ferarum³*

Ognuno di questi mondi ci viene, però, descritto come transitorio, poiché al flusso di atomi che si aggregano continuamente in nuove combinazioni, si oppone una perdita ininterrotta di materia dai corpi già formati, che rende ogni mondo prossimo alla fine. Tra gli infiniti mondi esistenti ci sono spazi ai quali Epicuro assegna la residenza degli dei, gli *intermundia*, e dove ad essi rimane impossibile fare esperienza degli uomini. Essi, dunque, non regolano la vita umana e non si interessano degli innumerevoli mondi che si creano e si distruggono ininterrottamente.

Così, calato nella veste elegante e di grande bellezza poetica del poema Lucreziano, l'atomismo antico si presenta come una teoria meccanicistica di tutto rispetto; il suo modello ha il merito di spiegare in modo semplice ed unitario, e senza riferimento all'intervento divino, la totalità dei fenomeni naturali sulla base di pochi postulati: il vuoto, gli atomi e le leggi del moto.

³ Lucrezio, *Della natura*, citato in bibliografia, libro II, versi 1070-1076:

Se tanto il numero dei nuclei creatori / che tutta l'età dei viventi non basta a contarli, / se la stessa forza permane
che possa / gli stessi elementi riunire ovunque / al modo che qui li ha riuniti , è certo, / che altrove ci sono altre
terre e altri mari, / altre forme ci sono di animali e di uomini.

2. Giordano Bruno

Dopo la scoperta nel 1417 di un manoscritto contenente l'opera completa di Lucrezio, la ripresa della riflessione filosofica sull'atomismo porterà un contributo rilevante al progressivo logoramento e negazione della fisica aristotelica e del suo fondamento ontologico.

Il tema della molteplicità dei mondi è ripreso, dunque, con maggior vigore ed efficacia divulgativa dal frate domenicano Giordano Bruno (1548 – 1600). Nel primo dialogo della *Cena de le Ceneri*, dopo aver lodato il genio astronomico di Copernico, Bruno gli rimprovera di aver mantenuto il finitismo cosmologico e, perciò, di aver lasciato incompiuta la sua opera. Questa viene portata a compimento dal nolano, che di se stesso dice:



Giordano Bruno, statua di Ettore Ferrari

*“ Or ecco quello ch’ha varcato l’aria, penetrato il cielo, discorse le stelle, trapassati gli margini del mondo, fatte svanir le fantastiche muraglia de le prime, ottave, none, decime, et altre che vi s’avesser potute aggiungere, sfere, per relazione de’ vari matematici, e cieco veder di filosofi volgari.”*⁴

Il pensiero del Bruno si compone in un *panteismo sensuoso e corposo*: infatti, per un verso Dio è l’essere trascendente, impossibile da conoscere attraverso le facoltà razionali dell’uomo; per altro verso Egli è inteso come

⁴ G. Bruno, *La cena delle ceneri*, citato in bibliografia, pag. 30.

mens insita omnibus. In quest'ultimo senso Dio è sostanza e forma dell'universo, che realizza la propria esistenza nell'immanente. Dio non è fuori della natura, ma perviene alla realizzazione di sé come natura⁵.

*“Conosceremo che non è ch'un cielo, un'eterea reggione immensa, dove questi magnifici lumi (...). Questi fiammeggianti corpi son que' ambasciatori, che annunziano l'eccellenza de la gloria e maestà di Dio. Cossì siamo promossi a scuoprire l'infinito effetto dell'infinita causa, (...). Et abbiamo dottrina di non cercar la divinità rimossa da noi: se l'abbiamo appresso, anzi di dentro più che noi medesimi siamo dentro a noi.”*⁶

In questo cielo privo di confini, possiamo ammirare l'infinito effetto di una infinita causa, inesauribile, vigorosa, mai *ociosa*. Le stelle che vediamo fisse nel cielo sono altrettanti mondi simili al nostro sole, circondati da pianeti abitati simili alla nostra terra. Così che tanto essi sono cielo a noi quanto noi siamo cielo a loro.

Come sappiamo, l'idea dell'infinità dei mondi era una tesi di Democrito e degli epicurei, esposta nei bellissimi versi dell'opera dell'*empio* Lucrezio;

*“ma ciò operava contro la tesi stessa e non in suo favore: fu la possibilità di dedurla da premesse assai più ortodosse di quelle democritee ad assicurarne il trionfo nel corso del Seicento.”*⁷

Secondo Lovejoy anche il nolano, come il Cusano che lo aveva preceduto, aveva argomentato la sua tesi sulla base di premesse teologiche, diretti

⁵ Sul panteismo del Bruno vedi E. Cassirer, *Storia della filosofia moderna*, citato in bibliografia, volume I.

⁶ G. Bruno, *La cena delle ceneri*, citato in bibliografia, pag. 31.

⁷ A. O. Lovejoy, *La grande catena dell'essere*, citato in bibliografia, pag. 123.

corollari del principio della pienezza. Infatti, poiché in Dio il possibile e il reale sono identici, è conseguenza inevitabile che il possibile nella mente divina raggiunga la piena attualità nell'esistenza di una infinità di esseri e di mondi.

Sebbene Bruno, più di tutti gli altri del suo secolo, abbia contribuito a rendere popolare *la dottrina di un universo decentrato, infinito ed infinitamente popolato*, "è però certo che alle conclusioni sue caratteristiche egli non fu indotto dalla riflessione sulle conseguenze della dottrina copernicana o da osservazioni astronomiche. Quelle convinzioni furono in lui, in primo luogo e quasi interamente, una deduzione dal principio di pienezza."⁸

È opportuno ricordare che il principio di pienezza aveva avuto come precursori i teologi scolastici del tredicesimo secolo, i quali avevano avvertito come la negazione aristotelica dell'infinità dei mondi, in base all'argomento che l'universo contenesse già tutta la materia possibile, fosse in contrasto con gli attributi dell'infinita potenza e libertà di Dio.

Essi ammettevano, perciò, ma solo come mera possibilità, l'esistenza di altri mondi, dato che niente può limitare l'esuberanza infinita del creatore nella piena libertà delle sue decisioni. Così, Pietro di Tarantasia, futuro papa Innocenzo V, nel 1256 dichiarava: "*Dio poté, e ancora può fare un universo oltre a questo, cioè un altro mondo, e infiniti mondi, sia dello stesso, sia di un altro genere.*"⁹

Di fatto, però, si continuò a rimanere nella convinzione che esistesse un solo mondo. Nell'ipotesi contraria le conseguenze sul piano filosofico e sulla dogmatica cristologica avrebbero portato ad un radicale ripensamento della

⁸ A.O. Lovejoy, *La grande catena dell'Essere*, citato in bibliografia, pag 123.

⁹ Per questa citazione vedi P. Rossi, C.A. Viano, *Storia della filosofia, il Medioevo*, citato in bibliografia, pag 490.

cosmologia aristotelica ed al problema, inaccettabile per la Chiesa, di quante volte Dio si sarebbe incarnato nella persona di Gesù, banalizzando con ciò il miracolo dell'incarnazione.

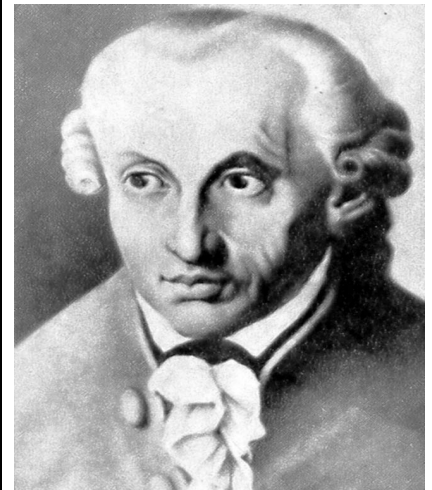
Nella dottrina di Bruno il principio di pienezza ereditato dai teologi scolastici viene sviluppato nelle sue estreme conseguenze, passando dalla teorica possibilità da parte di Dio di creare più di un mondo, alla realtà fattuale, che nella molteplicità infinita dei mondi esistenti dispiega gli effetti infiniti dell'infinita potenza di Dio.

Già in odore di eresia per altri capi d'imputazione, la Chiesa non perdonò a Bruno il panteismo associato alla pluralità di mondi abitati da creature intelligenti, e per questo venne condannato e portato nella piazza di Campo dei fiori a Roma, dove morì bruciato vivo il 17 febbraio dell'anno 1600.

3. Dagli universi isola di Kant alla scoperta di Hubble

3.1 Gli universi isola

In uno scritto del periodo precritico, *Storia universale della natura e teoria del cielo, ossia Saggio sulla costituzione e sull'origine meccanica dell'intero universo secondo i principi di Newton*, del 1755, benché non privo di forti suggestioni metafisiche, Kant avanza l'ipotesi che le stelle, anziché avere una distribuzione uniforme nello spazio infinito di Newton, siano raggruppate in sistemi, *universi isola*, simili alla nostra Via Lattea ed organizzati gerarchicamente in sistemi planetari simili al nostro sistema solare.



Immanuel Kant

Kant, per la verità, non si discosta ancora dall'orientamento di pensiero presente nella cultura del suo tempo; anzi, riconoscendo l'origine divina dell'universo, lega l'infinità dei sistemi a quel principio di pienezza al quale tanti altri filosofi prima di lui avevano largamente attinto.

*“Ma allora quale sarà da ultimo la fine di tutti questi assetti sistematici? Dove si arresterà la creazione? Ben si osserva che, per pensarla in rapporto alla potenza dell'essere infinito, essa non deve avere limiti di sorta.”*¹⁰

¹⁰ per questa citazione da Kant vedi E. Cassirer, *Vita e dottrina di Kant*, citato in bibliografia, pag. 55.

Nondimeno, in questo lavoro giovanile, Kant introduce nel newtonismo una novità, già in *nuce* nello scritto postumo *Le monde* di Cartesio. Egli fa risalire lo stato attuale dell'universo ad un processo evolutivo, iniziato a partire dagli elementi semplici che compongono la materia. Per l'azione delle forze di attrazione e repulsione, che incessantemente agiscono su questi elementi di diversa densità, emergono aggregati di materia, che a loro volta, divenendo centri di aggregazione sempre più grandi, hanno portato alla formazione dei corpi celesti, disposti sullo stesso piano dell'eclittica e tutti dotati di movimento intorno al Sole.

Secondo questa ipotesi, detta anche ipotesi di Kant-Laplace, l'ordine che si manifesta nell'universo, l'architettura perfettamente disposta e il perfetto equilibrio in cui esso viene mantenuto, è l'effetto di una *causa materiale* che agisce secondo leggi empiriche universali. Per Kant sono proprio queste leggi, e non la *mano di Dio*, che dal caos hanno forgiato il cosmo “*in una costituzione spaziale unitaria e in una struttura meccanica del tutto.*” ¹¹

Per Newton, invece, “*la causalità empirica giunge a un punto in cui si rovescia e trapassa all'improvviso in quella metafisica*” ¹² infatti, in una lettera al reverendo Bentley che gli chiedeva se la disposizione delle orbite planetarie potesse scaturire dal solo principio della forza di gravitazione, la risposta di Newton risulta inequivocabile:

“*Rispondo, che l'attuale movimento dei pianeti non può derivare da qualche causa naturale soltanto, (...). Infatti, dato che le comete discendono nelle regione dei nostri pianeti, e qui si muovono con ogni tipo di movimento,*

¹¹ E. Cassirer, *Vita e dottrina di Kant*, citato in bibliografia, pag.55.

¹² E. Cassirer, *Vita e dottrina di Kant*, citato in bibliografia, pag.57.

*procedendo ora come i pianeti, ora in modo opposto, ora trasversalmente, lungo i piani inclinati rispetto al piano dell'eclittica e di ogni genere di angolo, è evidente che non v'è causa naturale capace di costringere tutti i pianeti, primari e secondari a muoversi nello stesso modo e nello stesso piano, senza sensibili variazioni. Ciò deve dunque considerarsi opera di un Essere Intelligente.”*¹³

In virtù delle forze che li attirano gli uni agli altri, i corpi celesti precipiterebbero verso un centro comune, e l'universo collasserebbe nella catastrofe gravitazionale. Secondo Newton, quindi, solo l'intervento costante di Dio permette di mantenere i pianeti con le loro rispettive velocità e nelle loro rispettive orbite, dopo che essi vi sono stati collocati nell'atto della creazione.

Per quanto riguarda la possibile presenza di vita sugli altri pianeti, Kant non ne dubita, anzi se ne dichiara certo, e nell'ultima parte del suo capolavoro giovanile elabora una strana teoria, che mette in relazione la differente densità dei pianeti del sistema solare con le proprietà intellettuali e morali dei loro abitanti.

Poiché la densità dei pianeti decresce con l'aumentare della loro distanza dal Sole, secondo Kant solo esseri come l'uomo, che vivono in un pianeta di media densità, conoscono la condizione del peccato e della responsabilità; in conseguenza di ciò sono in grado di esprimere istanze morali. Gli abitanti di Mercurio e di Saturno ne sarebbero invece totalmente privi: i primi impediti dalla loro estrema gravità corporea, i secondi invece per la ragione esattamente opposta.¹⁴

¹³ Per questa citazione dalla lettera di Newton a Bentley vedi A. Koyré, *Studi newtoniani*, citato in bibliografia, pag 225.

¹⁴ Vedi A. Guerra, *Introduzione a Kant*, opera citata in bibliografia, pag 11.

3.2 La scoperta delle galassie

Fino al 1920 non si aveva ancora precisa consapevolezza della natura delle galassie che, al telescopio, mostravano un aspetto diffuso in forma di nube o nebulosa.

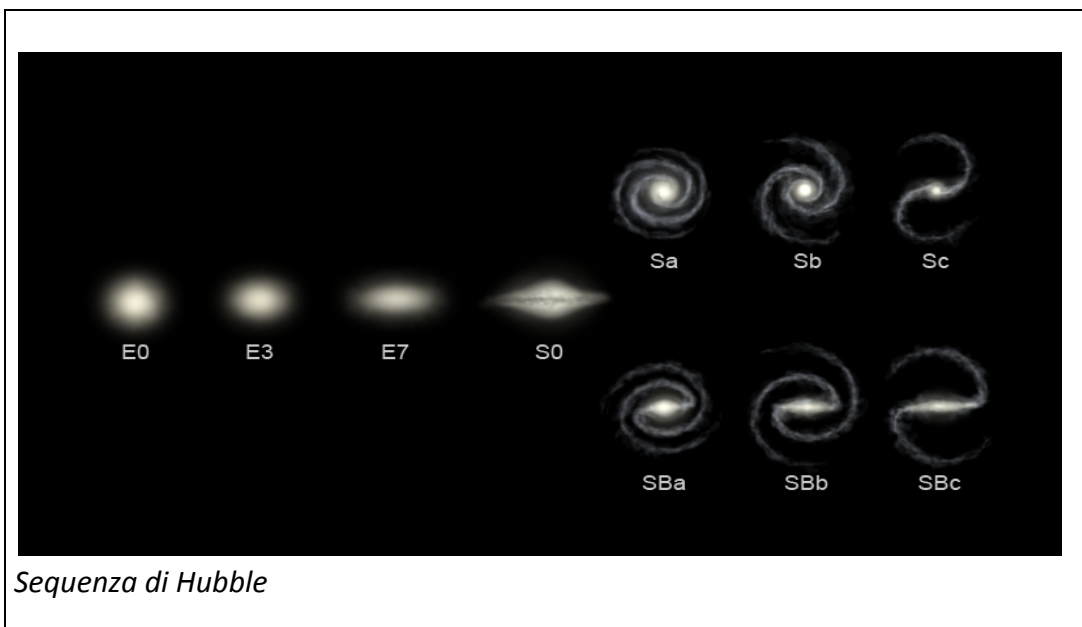
La risposta venne dall'astronomo statunitense E. P. Hubble quando ebbe la possibilità di osservare il cielo con il nuovo telescopio di 2.50 metri di diametro di Mount Wilson U.S.A.

Contrariamente all'opinione dominante, egli riuscì a dimostrare che la nebulosa di Andromeda è un agglomerato di stelle, simile alla nostra via lattea, e collocata esternamente ad essa ad una distanza enorme. L'universo, fino ad allora identificato con la nostra galassia, assumeva dimensioni stupefacenti perché, proprio secondo l'ipotesi kantiana, esso risultava formato da un numero imprecisato di galassie.

Dal 1924 Hubble iniziò una campagna di osservazione e classificazione delle galassie in base al loro aspetto , tentando di collocarle in uno schema evolutivo. Tale ricerca fu portata a termine nel 1937 con la pubblicazione della sequenza delle galassie, conosciuta sotto il nome di sequenza di Hubble, nella quale questi sistemi di stelle erano suddivisi in:

- Galassie ellittiche, aventi una forma ellissoidale e una distribuzione di stelle di popolazione II pressoché uniforme. Il numero che distingue questa sequenza rappresenta l'eccentricità delle galassie; si va da E0 per le galassie quasi sferiche, ad E7, per le galassie più schiacciate

- Galassie a spirale, caratterizzate da due braccia a spirale che dipartono da un nucleo centrale di stelle di popolazione I, contornate da un alone galattico formato da stelle di popolazione II
- Galassie a spirale barrate, simile alle precedenti ma con le braccia che partono da una barra stellare che attraversa il nucleo
- Galassie irregolari, che presentano forme diverse e contengono solo stelle giovani di popolazione I



Oggi sappiamo che la classificazione di Hubble è prettamente morfologica e non evolutiva.



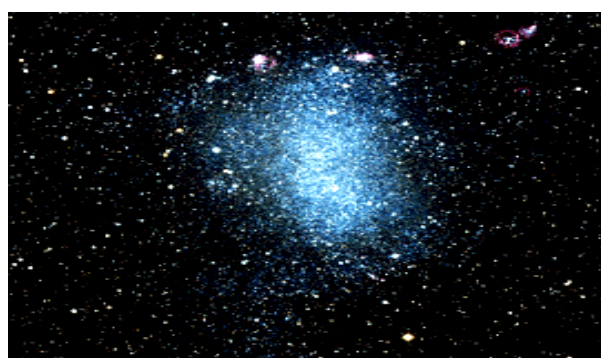
Galassia Ellittica



Galassia a spirale

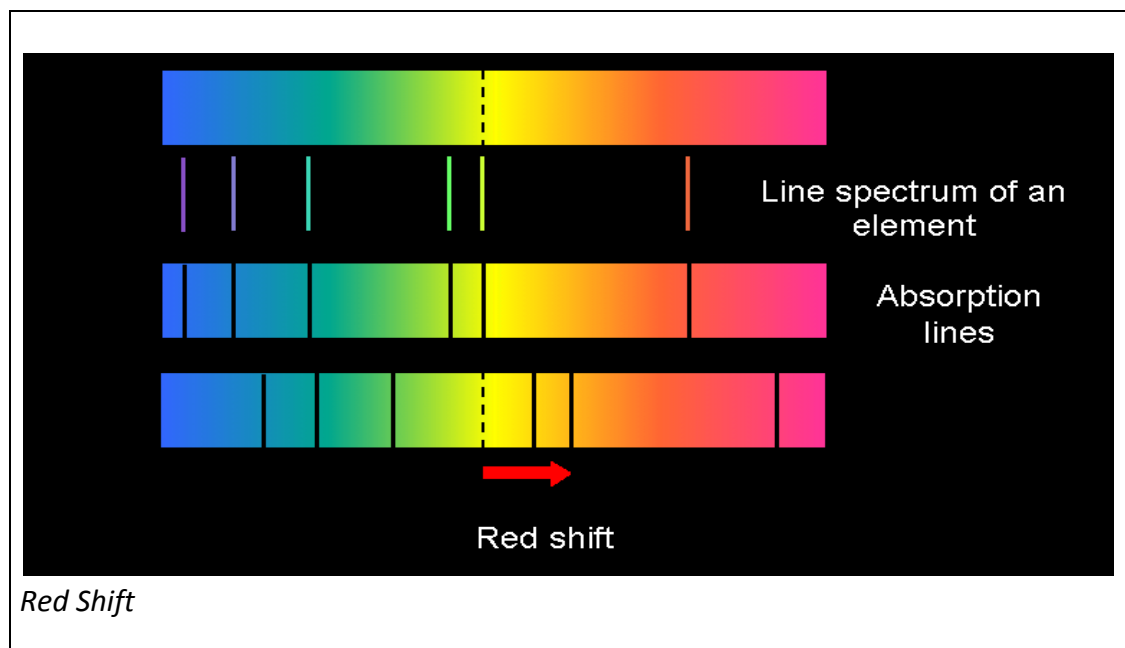


Galassia a spirale barrata



Galassia irregolare

In quegli stessi anni, precisamente nel 1929, Hubble faceva, però, cadere un'altra certezza, quella dell'universo stazionario. Sulla base dell'effetto Doppler, Hubble poteva dimostrare che le galassie sono in allontanamento le une rispetto alle altre. Egli, infatti, osservando galassie lontane, scoprì che gli spettri ottenuti dalla luce di queste erano molto simili agli spettri della luce che emettevano stelle appartenenti alla Via Lattea, con la sola differenza di presentare quasi tutte le righe spostate verso il rosso.



Hubble intuì dunque che si verificava un fenomeno particolare, il redshift, per il quale, se una sorgente luminosa si allontana rispetto ad un sistema di riferimento, la frequenza delle onde emesse risulterà ridotta e, quindi, la lunghezza d'onda aumentata.

Hubble notò inoltre che lo spostamento degli spettri elettromagnetici verso il rosso di stelle di cui si conosceva la distanza cresce con l'aumentare della distanza stessa, scoperta che porterà alla formulazione della legge:

*“le galassie si stanno allontanando da noi con una velocità tanto più elevata quanto più sono distanti.”*¹⁵

Le galassie hanno dunque un moto di recessione che le porta ad allontanarsi le une dalle altre secondo la legge:

¹⁵ M. Crippa, M. Fiorani, *Geografia generale*, citato in bibliografia, pag. 39.

$$H_0 = \frac{v}{d}$$

Per le galassie vicine però la legge di Hubble non risulta verificata, in quanto negli ammassi galattici si presentano forze di gravitazione interne al gruppo che vincono la Legge di Hubble.

4. Mondi diversi nella letteratura

Finora abbiamo discusso principalmente di argomenti che si dibattevano tra filosofia e teorie scientifiche, tuttavia il tema dei molti mondi o mondi paralleli non è stato affrontato unicamente sotto questi aspetti, ma anche dal punto di vista letterario e immaginativo.

4.1 Il mondo immaginario di Leopardi

Leopardi identifica la felicità con il piacere che però non può mai essere completamente soddisfatto in quanto questo si presenta come entità infinita sia per estensione che per durata. Ne deriva che l'uomo vive in uno stato di perpetua tensione ed insoddisfazione che fanno nascere in esso l'infelicità. Durante la sua vita a Recanati prendeva spazio però l'idea di una natura che potesse aiutare l'essere umano nella ricerca della felicità: Leopardi



Giacomo Leopardi

ci parla, infatti, di una natura benigna che ha concesso all'uomo l'immaginazione e l'illusione grazie alle quali ha celato agli occhi delle creature la loro condizione, permettendo loro di poter vagare con la propria mente in un mondo dove potessero trovare felicità.

Una delle liriche che più caratterizzano questo periodo è *L'infinito*, composto appunto a Recanati nel 1819 e collocato nella raccolta degli *Idilli*.

Sempre caro mi fu quest'ermo colle,
E questa siepe, che da tanta parte
De l'ultimo orizzonte il guardo esclude.
Ma sedendo e mirando, interminato
Spazio di là da quella, e sovrumani
Silenzii, e profondissima quiete
Io nel pensier mi fingo, ove per poco
Il cor non si spaura... E come il vento
Odo stormir tra queste piante, io quello
Infinito silenzio a questa voce
Vo comparando: e mi sovvien l'eterno,
E le morte stagioni, e la presente
E viva, e il suon di lei. Così tra questa
~~Infinità~~
~~Immensità~~ s'annega il pensier mio:
E il naufragar m'è dolce in questo mare.

Leopardi inizia descrivendo il suo mondo quotidiano, il colle solitario e la siepe, i quali gli impediscono di vedere oltre di essi. Questi elementi sono, però, al poeta molto cari poiché gli permettono di avventurarsi in un mondo al di là di quello reale. Nel quarto verso la congiunzione avversativa ci avverte, infatti, che sta per accadere qualcosa nella mente del poeta.

Dall'impossibilità della visione Leopardi può mirare, guardare la propria realtà interiore , fingendo e dunque immaginando spazi e luoghi, che non potrebbe scorgere nella propria mente se la sua vista non venisse in qualche modo impedita. Vi è qui l'anticipazione di quella teoria della visione, che Leopardi svilupperà meglio l'anno successivo tra le pagine dello Zibaldone:

"alle volte l'anima desidererà ed effettivamente desidera una veduta ristretta e confinata in certi modi, come nelle situazioni romantiche. La cagione è la stessa, cioè il desiderio dell'infinito, perché (...)lavora l'immaginazione e il fantastico sottentra al reale." ¹⁶

La teoria della visione compenetra così quella del vago e dell'indefinito che si può trovare tra i versi 4 e 7, espressa dagli aggettivi *interminati*, *sovrumani* e *profondissima*, i quali richiamano al contrasto tra infinito e finito, negando appunto quest'ultimo. Il poeta finge allora di essere in un mondo diverso dal proprio, che sa però non essere reale poiché generato solo dalla propria coscienza interiore. È in uno stato quasi di estasi che può fargli raggiungere la felicità, ma non appena si avvicina ad essa il suo cuore è quasi spaventato e si tira indietro tornando alla realtà.

Dalla realtà, però, torna nuovamente in quel posto immaginario già vagheggiato grazie ai suoni indistinti delle piante che lo riportano a *quello infinito silenzio*, facendo nascere nella mente il pensiero dell'infinito, dell'eterno, tanto anelato per la felicità. Sovviene, dunque, quasi dall'inconscio del poeta un susseguirsi di immagini correlate dalla congiunzione e riferite al

¹⁶ Vedi riferimento Zibaldone su Baldi, G., *La letteratura*, volume 4, citato in bibliografia, pag 521.

passato; è un susseguirsi di ricordi che fanno perdere Leopardi nella propria mente.

Nella lirica è dunque costante l'alternanza tra il mondo reale ed il mondo immaginario, creatosi nella mente del poeta, e sottolineato dagli aggettivi dimostrativi questo e quello. Nell'ultima parte si va però a creare una simbiosi tra i due mondi, Leopardi va, infatti, a descrivere l'immensità o l'infinità nella quale si trova con l'aggettivo questo (v.13), simbolo di una compenetrazione tra reale e immaginazione. Il suo naufragar nella felicità è però un momento solo transitorio, Leopardi non si perde nella sua mente e nella sua immaginazione, non ricerca una fuga dalla realtà, ma soltanto un momento di felicità.

4.2 Asimov's para-universe

Isaac Yudovich Asimov was born in 1920 in Petrovici (Russia), but, when he was three years old, his parents decide to emigrate to United States and so Asimov grew up in Brooklyn, New York. He began reading science pulp magazines fiction in his parents' confectionery store and he soon remained fascinated by them. He graduated in chemistry in 1939 at the Columbia University School of General Studies while some of his book had been already published. In fact, he began



Isaac Asimov

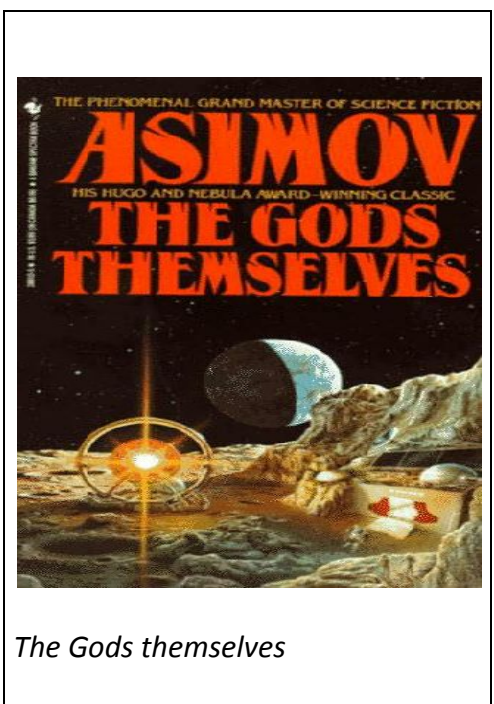
writing his first science story in 1937 even if his father wasn't glad he did it because, as a matter of principles, his father considered science pulps to be trash. On the contrary, Asimov maintained science fiction pulps had science in the little, so they were educational. During his life Asimov wrote a lots of books, but his favorite remains *The Gods themselves*.

The Gods Themselves is a science fiction novel published in 1972, and which won the *Hugo award for best novel* in 1973. The action takes place in a hypothetical future on 2070 and it talks about two parallel worlds with different physical laws and which make contact with each other thanks to the *Electron Pump*.

The book is divided into three main parts: *Against stupidity...*, *...The Gods themselves...*, *...Contend in vain?*

The first chapter of the first part of the book is numbered Chapter 6 because the beginning of chapter 6 is somewhat of an intro to the real Chapter 1, which begins "It had happened thirty years before." Thereafter, most of the series of chapters 1-5 end with a part of chapter 6. After chapter 5, chapter 6 concludes and moves to chapter 7.

Against stupidity... takes place on Earth. Fredrick Hallam is a scientist of limited ability but he has a fiercely protective ego. He discovers an old container with tungsten which seems to be contaminated. Hallam discovers that tungsten has



been transformed into something that turns out to be plutonium 186, an isotope that cannot occur naturally in our universe. He suggests that plutonium 186 comes from another universe, the *para-world*, where the strong force is more powerful than in our world. So the parallel universe is ruled by different physical laws. The *para-men* have exchanged tungsten for plutonium 186 to get a new type of clean energy. In fact, this discovery leads to the construction of the *Electron Pump*, which trades matter between our universe (where plutonium 186 decays into tungsten 186) and a parallel one governed by slightly different physical laws (where tungsten 186 turns into plutonium 186), yielding a nuclear reaction in the process. The development process inextricably ties Hallam to the Pump in the minds of the people, vaulting him into an incredibly high position in public opinion and winning him power, position, and a Nobel Prize to boot.

An idealistic young physicist, Peter Lamont, discovers the pump creates a change of laws in both the universe. He maintains that the physical laws of the two universes tend to conform, to create a midway law between the two worlds and which rules both the universes. So the pump creates a dangerous situation that could cause the Sun to become a nova, destroying Earth. Unfortunately, none wants to believe him and contradict the authority of Hallam.

...*The Gods themselves...* describes the *para-universe*. In the *para-world* the aliens live, and they are divided in two species, the *hard ones* and the *soft ones*. The soft ones have three sexes with fixed roles for each sex: the *Rationals*, also called the *lefts*, who are the logical and scientific sex and who are identified with masculine pronouns. They are represented by Odeen; the *Emotionals*, also called the *mids*, who are the intuitive sex and who are

identified with the feminine pronouns and provide the energy needed for reproduction. They are represented by Dua; the *Parentals*, also called *rights*, who bear and raise the offspring and who are represented by Tritt.

Dua, as Lamont, discovers his world is in danger and try, in vain, to search a way to not extinguish the Sun which is the only source of food.

...*Contend in vain?* Takes place on the Moon. Here Denison, rival of Hallam, deduce the danger in the *Electron Pump* and goes on to find a solution that harms no one and greatly benefits humanity: he taps into yet another parallel universe, that exists in a pre big bang state where physical laws are different and, in fact, opposite to the ones in Dua's universe. The exchange with the second parallel universe both produces more energy at little or no cost and balances out the changes from the use of the Electron Pump, resulting in a return to equilibrium. Denison is helped by a Lunarian tourist guide named Selene Lindstrom. In the end, Selene and Denison also foil a plot to use the new power source to move the moon out of earth orbit.

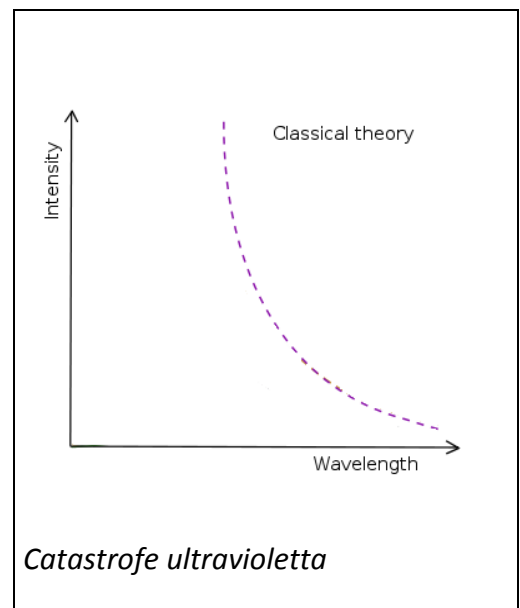
5. Dalla fisica quantistica all'interpretazione a molti mondi

5.1 La scoperta della natura corpuscolare della luce

Nel 1860 James C. Maxwell aveva formulato una teoria dell'elettromagnetismo, interpretandone i campi elettrici e magnetici variabili nel tempo come onde elettromagnetiche. Riuscì anche a calcolare la velocità di propagazione di queste onde e scoprì che essa coincide con la velocità della luce allora già nota. Da qui l'inevitabile conclusione che rafforzò nella comunità scientifica l'ipotesi della natura ondulatoria ed elettromagnetica della luce.

Pochi anni dopo, il fisico tedesco Max Planck giunse ad una scoperta altrettanto importante, le cui conseguenze sul piano scientifico e filosofico sono ancora oggi dibattute. Verso la fine dell'Ottocento si sapeva già da molti anni del fenomeno della radiazione di corpo nero. Si tratta di una cavità oscura in grado di assorbire le onde

elettromagnetiche che riceve e di ri-emetterle con intensità e colore dipendenti esclusivamente dalla temperatura delle pareti del corpo e non dal materiale di cui sono fatte. In virtù di questo semplice rapporto di dipendenza, la radiazione di corpo nero costituiva il modello ideale per lo studio della radiazione elettromagnetica della luce. Tuttavia i tentativi fatti fino ad



allora per calcolarne, secondo la fisica classica, l'energia alle alte frequenze,

avevano portato alla previsione aberrante di un valore infinito: la cosiddetta *catastrofe ultravioletta*. I dati teorici prevedevano, infatti, che al diminuire della lunghezza d'onda vi fosse un aumento quasi infinito dell'energia emessa.

La questione, rimasta sospesa, venne chiarita nell'ottobre del 1900. In quel periodo, infatti, Max Planck lavorava a Berlino, dove un gruppo sperimentale di ricercatori, sostenuto dall'ingegnere Siemens, si accorse sperimentalmente che l'intensità delle onde elettromagnetiche emesse si riduceva con la diminuzione della lunghezza d'onda. Ragionando su questa scoperta Planck fu in grado di formulare l'equazione:

$$E = h * f$$

La formula, per altro molto semplice, mette in relazione l'energia E e la frequenza f mediante un fattore di proporzionalità h .

$$h = 6,62606957 * 10^{-34} Js$$

Come ebbe a ricordare lo stesso Planck, egli si costrinse ad un *atto disperato*: *“ipotizzò che la luce non fosse emessa dalle pareti della cavità come un'onda, ma sottoforma di piccoli pacchetti indivisibili, i cosiddetti quanti. Questi quanti di luce, chiamati anche fotoni, hanno una energia fissa, determinata solo dalla frequenza, quindi dal colore della luce, e da una grandezza fisica del tutto nuova: il quanto di azione, detto anche costante di Planck.”*¹⁷

La novità rivoluzionaria introdotta da Planck con la sua costante h è che l'azione (il prodotto di una quantità d'energia per un intervallo di tempo) può avere solo valori discreti; che vanno da un valore minimo, espresso dalla costante h , a multipli interi di questo valore minimo. Nel 1905, facendo ricorso

¹⁷ A. Zellinger, *Il velo di Einstein*, citato in bibliografia, pag 10.

all'idea della natura corpuscolare della luce, Einstein fu messo nella condizione di spiegare il fenomeno dell'effetto fotoelettrico, per il quale vinse il premio Nobel nel 1911.

Due concezioni della luce si ponevano di fronte: ondulatoria e corpuscolare; nessuna delle due, però, poteva essere preferita all'altra, perché ognuna di esse risultava fondamentale per la spiegazione di numerosi fenomeni naturali. Da questo dualismo onda-particella, si avranno implicazioni bizzarre ed addirittura paradossali.

5.2 L'esperimento della doppia fenditura

Questo esperimento è una variazione di quello fatto per la prima volta dal medico inglese Thomas Young, nel 1802. L'apparato è formato da una sorgente di fotoni, uno schermo che ne registra l'arrivo ed una piastra intermedia con due finestrelle sovrapposte che fungono da sorgenti secondarie di luce.

Tentiamo di immaginare l'esito dell'esperimento supponendo che i fotoni abbiano natura corpuscolare. Lasciando chiusa una delle due fenditure, non importa se quella superiore o inferiore, i fotoni passerebbero attraverso l'unica fenditura rimasta aperta e formerebbero sullo schermo una regione luminosa più o meno definita. Se, invece, immaginiamo di lasciare aperte entrambe le fenditure, dobbiamo aspettarci di vedere sullo schermo una regione con una luminosità più intensa che corrisponderebbe alla luce dei

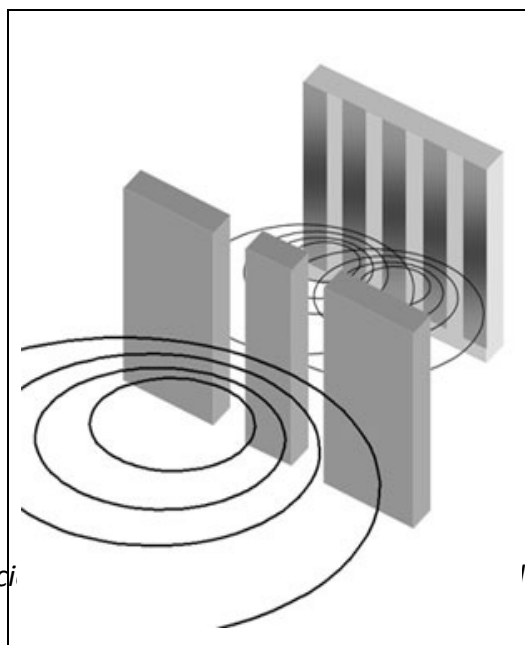
fotoni che passano attraverso la fenditura superiore più la luce di quelli che passano attraverso la fenditura inferiore.

Tuttavia, con l'ipotesi corpuscolare, non è possibile spiegare ciò che viene effettivamente visto durante l'esperimento. *“In particolare non riusciamo assolutamente a spiegare perché in certi punti avvenga un fenomeno bizzarro: sono in luce se è aperta solo una delle due fenditure, non importa quale, e al buio quando entrambe le fenditure sono aperte.”*¹⁸ in quest'ultimo caso, infatti, sullo schermo si formano bande chiare alternate a bande scure.

Ma allora come è possibile che i fotoni provenienti da entrambe le fenditure aperte non raggiungano proprio quelle regioni dello schermo corrispondenti alla bande scure?

Per analogia alle onde che si formano sull'acqua, i risultati dell'esperimento si possono spiegare ipotizzando che la luce sia un'onda che si diffonde nello spazio. Proprio come avviene per il fenomeno dell'interferenza delle onde d'acqua, che in alcuni punti si rafforzano ed in altri si annullano; ciò si verifica anche per le onde elettromagnetiche della luce che si rafforzano in corrispondenza delle bande chiare dello schermo mentre si distruggono in corrispondenza delle bande scure.

¹⁸ A. Zeilinger, *Il velo di Einstein*, citato in bibliografia, pag 25.



La figura d'interferenza scompare anche se lasciamo aperte entrambe le fenditure, ma facciamo passare un fascio di elettroni che investono trasversalmente i fotoni tra lo schermo e la sorgente secondaria di luce. *“I fotoni si scontrano allora con gli elettroni del fascio e li deviano; dall'osservazione dei singoli elettroni si può stabilire se siano stati deviati verso l'alto o verso il basso e quindi si può risalire alla traiettoria del fotone corrispondente.”*¹⁹

Ricapitolando, dal punto di vista corpuscolare il fotone può passare o attraverso la fenditura superiore o attraverso quella inferiore, ma non attraverso entrambe contemporaneamente. Quindi, se vogliamo conoscere la traiettoria dei singoli fotoni, chiudiamo una delle due fessure o investiamo i fotoni con un fascio di elettroni, ma in entrambi i casi la figura d'interferenza scompare. Dal punto di vista ondulatorio, invece, questo si spiega perché, lasciando chiusa l'altra fessura, viene a mancare la seconda onda, indispensabile alla formazione dell'interferenza distruttiva, in presenza della quale sullo schermo apparirebbero le bande scure.

D'altra parte, se lasciamo aperte entrambe le fenditure perdiamo l'informazione relativa alla traiettoria dei singoli fotoni, perché non possiamo sapere quale delle due fenditure i fotoni abbiano attraversato, ma ricompare la figura d'interferenza, che, come sappiamo, è la caratteristica di ogni fenomeno ondulatorio.

Da quanto abbiamo brevemente illustrato, possiamo concludere che il fotone, come ogni altra particella massiva, presenta proprietà corpuscolari e ondulatorie. Sembra che il nostro fotone, non conoscendo bene la sua identità,

¹⁹ A. Zeller, *Il velo di Einstein*, citato in bibliografia, pag 33.

porti sempre due biglietti da visita: onda e particella, che tira fuori uno alla volta, a seconda di ciò che vogliamo sapere di lui. *“Oggi sappiamo che questa alternativa tra informazioni sulla traiettoria e figura d’interferenza è un fatto fisico fondamentale: non è possibile ottenere entrambe le cose contemporaneamente.”*²⁰

Ora, secondo la fisica quantistica, prima del nostro esperimento, il fotone non è né corpuscolo né onda, ma si trova in uno stato di sovrapposizione di due possibilità: stato onda e stato corpuscolo. Tuttavia ciò che si manifesta alla nostra osservazione dipende solo dal modo in cui viene realizzato il nostro esperimento.

5.3 Da Louis de Broglie a Erwin Schrödinger

Il fisico francese Louis de Broglie comprese che le proprietà ondulatorie non sono prerogativa dei quanti di luce, esse possono essere estese a tutte le particelle dotate di massa. Egli presuppose, dunque, che ad ogni particella fosse associata un’onda , la cui lunghezza venne dedotta avvalendosi sia degli studi di Plack che di Einstein.

Per Planck si ha infatti che:

$$E = h * f$$

mentre per Einstein:

$$E = (mv) * c$$

²⁰ A. Zellinger, *Il velo di Einstein*, pag 33.

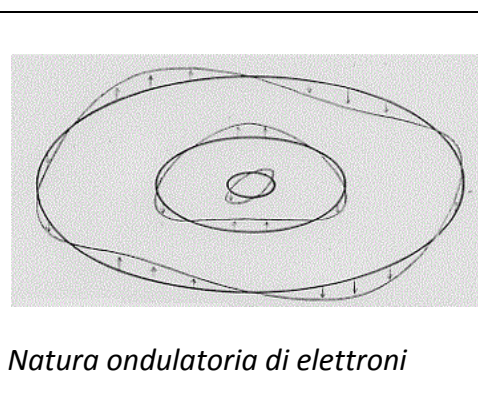
Si ricava dunque che

$$mv = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c}$$

Sappiamo però che la frequenza è pari alla velocità della luce divisa per la lunghezza d'onda. De Broglie arrivò dunque alla formulazione della legge:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Dove, dunque, la lunghezza d'onda di una particella risulta inversamente proporzionale alla sua quantità di moto attraverso un fattore di proporzionalità che risulta ancora una volta il quanto di azione di Planck.



La lunghezza d'onda di de Broglie può essere associata a tutti gli oggetti, dai più piccoli, come l'elettrone, ai più grandi, come la Terra, il Sole, l'intero universo. Per questi corpi, chiaramente, come si evince dalla formula, la lunghezza d'onda è tanto piccola da potersi ritenere uguale a zero.

Nel 1927, per la dimostrazione delle proprietà ondulatorie dell'elettrone, il premio Nobel venne conferito agli americani Clinton J. Davisson e Lester H. Germer e all'inglese George P. Thompson, figlio di Joseph J. Thompson, che nel 1906 invece lo vinse per aver dimostrato la natura corpuscolare dell'elettrone.

Sulla base dei lavori di de Broglie, il fisico tedesco Erwin Schrödinger pose a fondamento della meccanica ondulatoria un'equazione differenziale avente come soluzione una funzione d'onda Ψ , che permette di descrivere in termini probabilistici l'evoluzione nel tempo e nello spazio del sistema onda-particella.

Questa particolare onda è un'astratta *onda di probabilità*, dalla quale è possibile calcolare la probabilità di trovare una particella in un determinato punto dello spazio.

Ricordiamo che nell'esperimento della doppia fenditura possiamo sapere o da quale fenditura passa la particella e, quindi, conoscerne la traiettoria, oppure se è presente la figura d'interferenza. In entrambi i casi tuttavia è impossibile prevedere il punto esatto che ogni singola particella occuperà sullo schermo. La fisica quantistica ci dice che questo evento si verifica in modo del tutto casuale *"è possibile calcolare solo la probabilità di trovarla in una certa zona dello schermo e niente più."* ²¹

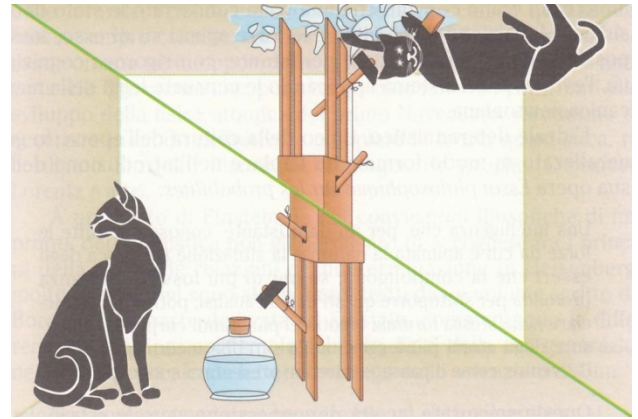
È possibile determinare la posizione esatta della singola particella sullo schermo solo facendo ricorso ad una operazione di misura; ma non appena ciò avviene, e contestualmente lo sperimentatore ne prende coscienza, la funzione d'onda Ψ si trasforma da una *forma* che *"esprime tutti gli esiti possibili a un'altra forma che corrisponde al singolo valore ottenuto sperimentalmente."* ²² Questa trasformazione prende il nome di *riduzione* o collasso della funzione Ψ . Prima dell'operazione di misura la singola onda-particella si trova in una sovrapposizione di stati, tanti quanti sono i risultati possibili; dopo l'operazione di misura la sovrapposizione scompare e rimane solo il risultato che emerge dalla rilevazione sperimentale.

L'aspetto bizzarro dello stato quantistico risulta più evidente nell'esperimento mentale proposto da Schrödinger. Immaginiamo un gatto vivo dentro una scatola chiusa, contenente un atomo radioattivo e una boccetta

²¹ A. Zellinger, *Il velo di Einstein*, citato in bibliografia, pag 34.

²² P. Coveney, *La freccia del tempo*, citato in bibliografia, pag 148.

piena di gas letale. Il decadimento del nucleo atomico aziona un congegno che frantuma la boccetta dalla quale fuoriesce il gas che ucciderà il gatto. Ora, supponendo che il decadimento radioattivo abbia la probabilità di verificarsi entro un'ora, passato questo intervallo di tempo il nucleo o è decaduto o non è decaduto. Dopo un'ora l'atomo si trova in una sovrapposizione di stati *decaduto* e *non decaduto*. Questo ragionamento si può estendere al nostro gatto, che



Paradosso di Schrödinger

pertanto si troverebbe nella sovrapposizione di due possibilità: *morto* e *vivo nello stesso tempo*. Infatti, le soluzioni hanno la stessa probabilità, ma solo una di esse perviene alla realtà, e ciò accade quando l'osservatore apre la scatola, collassa la funzione d'onda e contestualmente la sovrapposizione dei due stati scompare.

È importante ricordare che nonostante l'abbandono del determinismo causale in favore della probabilità, di tutti gli aspetti bizzari e la loro interpretazione, la fisica quantistica è la *“teoria il cui accordo con le prove sperimentali è il più preciso di tutta la storia della fisica.”*²³

5.4 L'interpretazione a molti mondi di Hugh Everett

Una interpretazione alternativa alla riduzione della funzione d'onda è l'ipotesi dei molti mondi avanzata nel 1957 dal fisico americano Hugh Everett.

²³ A. Zellinger, *Il velo di Einstein*, citato in bibliografia, pag 133.

Questi presuppone *“che lo stato quantistico sia sempre una rappresentazione completa della realtà e che in una misurazione niente vada perduto. Il gatto, cioè, è sia vivo sia morto.”*²⁴ Secondo questa tesi veramente audace tutti i possibili esiti dello stato quantistico pervengono all’esistenza in altrettanti universi paralleli, ognuno dei quali è separato e indipendente da tutti gli altri. Ogni volta che viene eseguita un’osservazione o un’operazione di misura, l’universo si suddivide in due copie, in ognuna delle quali esiste *“una copia della nostra coscienza, che in un caso constaterà che il gatto è morto, e in un altro che il gatto è vivo.”*²⁵ Se poi consideriamo il caso di una particella in una sovrapposizione di possibilità di numero infinito, si deve necessariamente ammettere *“la creazione di un insieme infinito e continuo di universi in occasione di ogni misura di questo tipo.”*²⁶

Per Everett il postulato del collasso non è necessario: la teoria quantistica non presenta nessuna contraddizione. La teoria di Everett prevede che una singola realtà classica gradualmente si separi in una sovrapposizione di numerose realtà, ma gli osservatori percepiscono soggettivamente questa suddivisione solo come una lieve e moderata possibilità.

Per quanto affascinante, l’interpretazione di Everett manca del requisito scientifico della possibilità di essere sottoposta al controllo empirico: in definitiva non può essere né dimostrata né confutata. D’altra parte, se da questi universi ci giungesse il benché minimo segnale delle loro esistenze, ne avremmo, di fatto, una percezione indiretta e potremmo assegnare ad essi un

²⁴ A. Zellinger, *Il velo di Einstein*, citato in bibliografia, pag 136.

²⁵ A. Zellinger, *Il velo di Einstein*, citato in bibliografia, pag 137.

²⁶ M. Lachiéze-Rey, *Oltre lo spazio e il tempo*, citato in bibliografia, pag 168.

luogo nello spazio e collocarli da qualche parte nel tempo; e, pertanto, entrerebbero a pieno diritto a far parte del nostro universo. Inoltre l'interpretazione a molti mondi *“non porta niente di nuovo: non ci sono enunciati fisici che non sarebbero possibili senza questa ipotesi. Allora perché complicarsi la vita?”*²⁷

Infatti, molti fisici hanno pensato bene di applicare nei suoi confronti il principio del rasoio di Ockham, per *tagliare* dalla loro scienza ciò che è palesemente inutile.

Bibliografia

- G. BALDI, *La letteratura*, volume 4, Paravia, 2007
- G. BRUNO, *La cena delle ceneri*, Mondadori, Milano 2008.
- E. CASSIRER, *Storia della filosofia moderna*, Vol. I, Mondadori, Milano 1968.
- E. CASSIRER, *Vita e dottrina di Kant*, La Nuova Italia, Firenze 1977.
- P. COVENEY, *La freccia del tempo*, Rizzoli, 1991.
- M. CRIPPA- M. FIORANI, *Geografia generale*, Mondadori scuola, 2011.

²⁷ A. Zellinger, *Il velo di Einstein*, citato in bibliografia, pag 138.

- A. GUERRA, *Introduzione a Kant*, Editori Laterza, Bari, 2010
- M. HANLON, *Dieci domande alle quali la scienza non può (ancora) rispondere*, Biblioteca delle scienze, Le scienze, Mondadori, 2008.
- A. KOYRÉ, *Studi newtoniani*, Einaudi, Torino 1972.
- M. LACHIEZÈ-REY, *Oltre lo spazio e il tempo*, Bollati Boringhieri, Torino 2004.
- A. O. LOVEJOY, *La grande catena dell'Essere*, Feltrinelli, Milano 1966.
- T. LUCREZIO CARO, *Della natura*, Sansoni, Firenze 1969.
- J. P. LUMINET, *Finito o infinito*, La biblioteca delle scienze, Le scienze, Mondadori, 2008.
- P. ODIFREDDI, *Il vangelo secondo la scienza*, Einaudi, Torino 1999.
- P. Rossi, C.A. Viano, *Storia della filosofia, il Medioevo*, Enciclopedie del sapere, Laterza, 1994.
- A. ZELLINGER, *Il velo di Einstein*, La biblioteca delle scienze, Le scienze, Mondadori, 2008.