

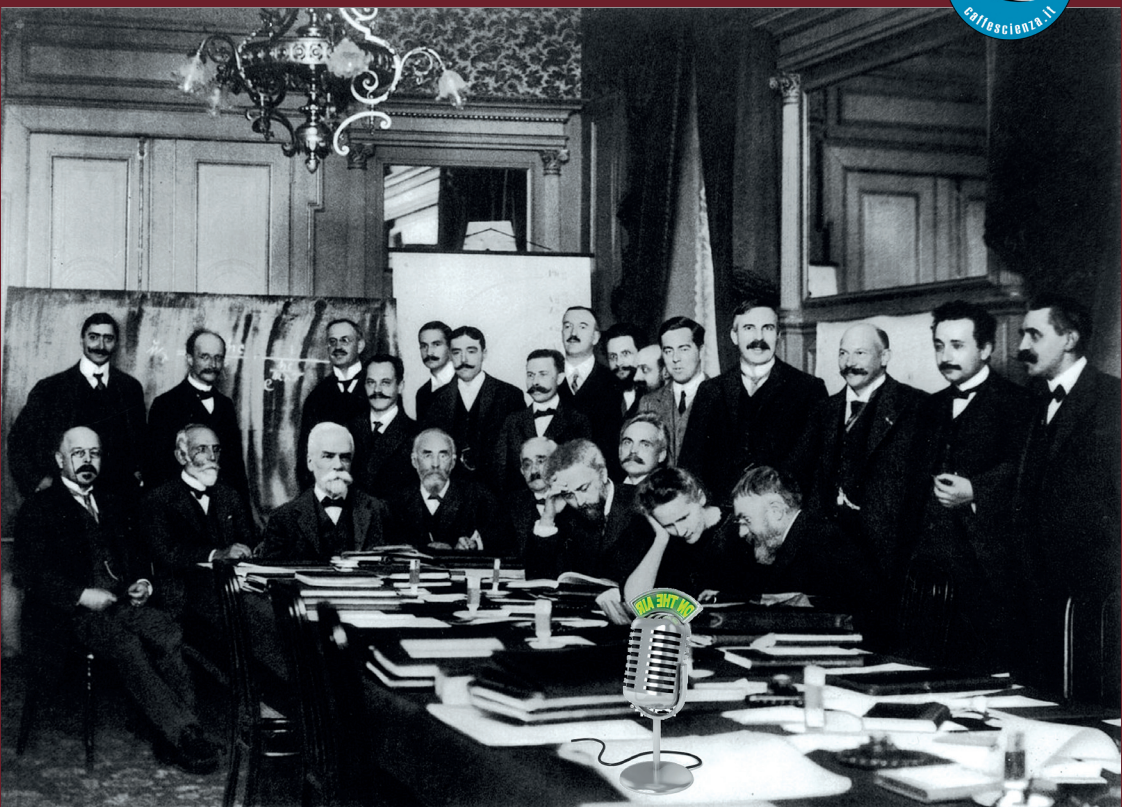
Franco Bagnoli

Giovanna Pacini

NUOVE INTERVISTE IMPOSSIBILI AI FISICI DEL PASSATO

**Tutto quello che avreste voluto sapere della fisica
e dei fisici ma che non avete mai potuto chiedere
perché lo scienziato in questione era già morto**

apice libri



Con l'acquisto di questo libro supportate l'Associazione Caffè-Scienza (www.caffescienza.it), che organizza incontri partecipativi su temi scientifici e tecnologici.

© 2020 apice libri - Sesto Fiorentino (FI)

ISBN 979-12-80234-06-3

www.apicelibri.it - www.facebook.com/apicelibri

Indice

Introduzione.....	1
Pierre Simone de Laplace	3
James Clerk Maxwell.....	7
Heinrich Rudolf Hertz	16
Maria Goeppert-Mayer	23
Edward Lorenz.....	28
Wilhelm Röntgen.....	36
Ernst Ising	43
Hugh Everett III	50
Fred Hoyle 1	56
Fred Hoyle 2	68
Stephen Hawking	77
Irène Joliot-Curie.....	84
Chien-Shiung Wu.....	91
Ernest Rutherford.....	98
Susan “Sue” Storm	104
The Flash.....	109
Pietro il Grande.....	115
Leonardo da Vinci.....	119
Rosalind Franklin.....	125
Vera Rubin	131
Alessandro Volta	137
Alan Hodgkin e Andrew Huxley.....	141
Edward Teller	147

Renato Cartesio..... 151

Leonardo Fibonacci..... 157

Tolomeo I..... 160

Wolfgang Pauli 164

Oliver Heaviside..... 170

Max Born..... 176

Josiah Willard Gibbs..... 181

Non è (ancora) la fine 190

Approfondimenti..... 191

Introduzione

Il titolo di questo libro riprende quello de *Le interviste impossibili*, un programma che andò in onda sulla seconda rete radiofonica RAI dal 1973 al 1975. In questo programma uomini di cultura contemporanei fingevano di incontrare personaggi celebri, interpretati da attori.

È possibile riascoltare queste interviste sulle Teche Rai o anche su YouTube, Il formato è stato replicato ed imitato più volte sia sulla radio che sulla carta stampata.



Il logo della trasmissione RadioMoka, in onda su NovaRadio a Firenze e Mugello (o su Internet)

A questo punto dobbiamo fare una piccola deviazione e parlare dei Caffè-Scienza e della comunicazione della scienza. Molti scienziati ed appassionati di scienza si dedicano alla divulgazione scientifica ed ancor più persone sono felici di ricevere tali informazioni. Ma la modalità “classica” di divulgazione, ovvero quella basata su libri, giornali, televisione ed in parte conferenze e trasmissioni radio soffre di un difetto di base: quelli appena elencati sono canali a *senso unico*, in cui gli esperti parlano ed i fruitori ascoltano e/o guardano. Solo nelle conferenze o nelle trasmissioni radio “live” ci può essere una certa partecipazione del pubblico sotto forma di domande alle fine dell’esposizione dell’esperto.

Nel 1998, Duncan Dallas, che era un produttore di documentari per la BBC, decise di “ribaltare” questa modalità ed aprì il primo *Café Scientifique* a Leeds, basato a sua volta sul movimento filosofico francese *Café Philosophique* fondato da Marc Sautet nel 1992. Un *Café Scientifique* (o *Science Café*) si tiene in un luogo dove il pubblico, e non gli esperti, si senta a “casa”, ovvero non in una sala da conferenze o in un’università ma piuttosto in un pub o, appunto, in un *café*. Nella versione più pura non ci sono presentazioni né microfoni, ma solo boccali di birra e si comincia

subito con le domande dal pubblico. Tale formula si è poi diffusa nel Regno Unito, negli Stati Uniti ed in Francia, con modalità un po' diverse.

Nel 2004 un ricercatore del CNR, Paolo Politi, tornò da Grenoble dove aveva partecipato ad un *café* e convinse alcuni amici e colleghi a tentare una tale avventura anche a Firenze. Nacque il Caffè-Scienza. Da allora l'idea si è diffusa anche in altre città. Le registrazioni di molti di questi eventi sono disponibili sul sito www.caffescienza.it.

Infine, nel 2010, iniziammo a progettare una trasmissione radio, Radio-Moka. Il nome ovviamente ricorda quello della macchinetta del caffè, che a sua volta è un gioco di parole tra caffè come luogo di incontro e caffè come bevanda. RadioMoka è una trasmissione artigianale, nel senso che la progettiamo, registriamo e montiamo da soli.

Nelle varie puntate, oltre a parlare degli eventi in programma, realizziamo interviste e rubriche a tema scientifico o tecnologico. Una di queste rubriche riguarda appunto le interviste impossibili ai fisici del passato.



Nel pianificare queste interviste abbiamo seguito la più rigorosa prassi scientifica, ovvero siamo andati completamente a caso sia nella scelta di chi intervistare, sia per quanto riguarda il contenuto: a volte abbiamo privilegiato degli aspetti storici o caratteriali del personaggio, a volte l'intervista è stata il pretesto per parlare di qualche aspetto della fisica.

Sigla delle interviste impossibili
<https://youtu.be/vwUb7Xad8Po>

Alcune delle interviste sono diventate delle puntate di Fisicast (<https://www.radioscienza.it/fisicast/>), un podcast scientifico ascoltabile dal sito di Radio Scienza/Frascati Scienza curato da Roberto Faccini, Giovanni Organtini, Giovanni Vittorio Pallottino e Gianluca Li Causi.

È l'ora di congedarci, augurandovi buona lettura. Nel caso non voleste leggere, potete sempre usare il codice QR all'inizio di ogni intervista per ascoltare l'audio originale della trasmissione radio o di Fisicast, con la viva voce dello scienziato del passato... o quasi.

Ringraziamo Sara Nicoletti per averci prestato la sua voce per una intervista e l'editore Stefano Rolle per i suoi contributi di rilettura e correzione.

Pierre Simone de Laplace



RadioMoka 10 novembre 2018 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

https://youtu.be/wCMD-t_Jlc0

I: Buongiorno, professor Laplace.

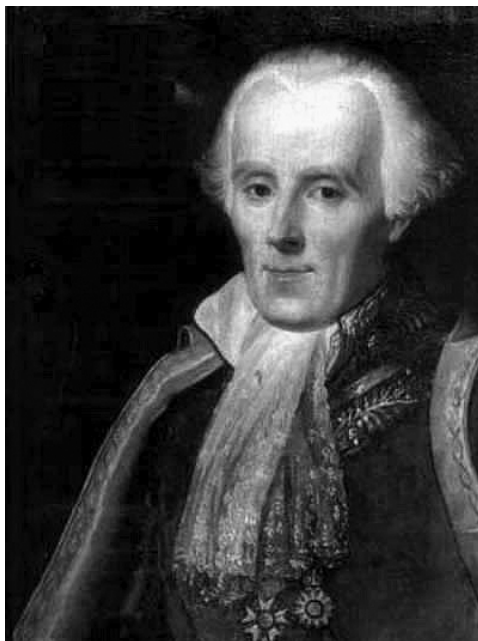
L: Buongiorno a voi.

I: Come dobbiamo chiamarla? Conte, come la nominò Napoleone, o Barone, come la nominarono poi i Borboni, dopo la restaurazione?

L: Preferisco professore, perché è un titolo che mi sono conquistato da solo.

I: Come da solo? Ci sarà stato qualcuno che l'ha raccomandata...

L: Sì, il mio vecchio professore Le Canu, quello che mi convinse a lasciare gli studi teologici. Lui mi aveva scritto una lettera di raccomandazione, ma quando l'inviavi a D'Alembert, questi l'ignorò completamente. Però in seguito gli scrissi una lettera di mio



Pierre-Simon de Laplace in un dipinto di Sophie Feytaud (1841).¹

¹ https://it.wikipedia.org/wiki/Pierre_Simon_Laplace

pugno, in cui dimostravo di conoscere parecchia matematica e fisica, e questo mi valse il posto di professore.

I: E di cosa si occupò?

L: Essenzialmente di meccanica celeste. Dimostrai che il sistema solare era stabile, almeno per lunghi periodi di tempo, e riassunsi e migliorai praticamente tutto quello che si sapeva al riguardo. Io volevo “offrire una soluzione completa del grande problema della meccanica rappresentato dal sistema solare, e portare la teoria a coincidere così strettamente con l'osservazione che le equazioni empiriche non avrebbero più dovuto trovare posto nelle tavole astronomiche”.

I: Non è stato certo una persona modesta, mi sembra.

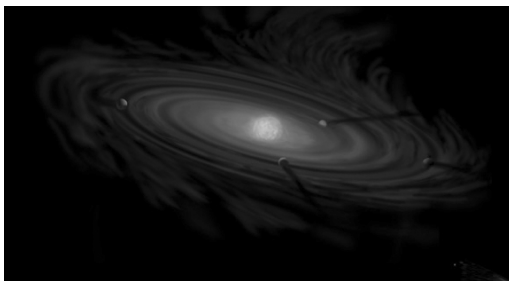
L: Beh, in effetti stavo sulle palle a praticamente tutti i miei colleghi, per via della naturalezza con cui trattavo i problemi di matematica, e forse anche perché non citavo mai i lavori degli altri e non cercavo certo di nascondere la mia superiorità. Di me fu detto: “Laplace lascia trasparire del tutto il fatto di considerarsi il migliore matematico della Francia del tempo. L'effetto sui suoi colleghi è solo lievemente alleviato dal fatto che ha ragione!”

I: E quali sono i risultati per cui è più fiero?

L: In primo luogo l'idea che il Sistema Solare si sia originato dalla condensazione di una nebulosa, anche se l'aveva già detto Immanuel Kant nel 1755. Secondo la mia ipotesi, il sistema solare si sarebbe sviluppato da una massa globulare di gas incandescente in rotazione. Raffreddandosi, questa massa si sarebbe condensata e alcuni anelli concentrici si sarebbero staccati dal suo bordo esterno. Questi anelli poi, raffreddatisi ulteriormente, avrebbero formato i pianeti. Il Sole rappresenterebbe il nucleo centrale della nebulosa che, rimasto ancora incandescente, continuerebbe ad irradiare, come diceva anche Kelvin. Da questo punto di vista dovremmo aspettarci che i pianeti più distanti dal Sole siano più vecchi rispetto a quelli più vicini alla nostra stella. Inoltre, intuì il concetto di buco nero, ovvero che ci potrebbero essere delle stelle dotate di gravità così grande che nemmeno la luce avrebbe la velocità sufficiente per uscire. Infine, supposi che le stelle più lontane in realtà fossero altre galassie, diverse dalla nostra, una ipotesi poi dimostrata da Hubble un secolo dopo. Mi occupai poi della teoria della probabilità, riscoprendo indipendentemente alcuni dei lavori di Bayes, e introdussi il metodo della

trasformata che prende il mio nome, anche se in realtà lo aveva già scoperto Eulero.

I: Ma la probabilità ha a che fare con dei processi casuali, e la meccanica celeste con dei processi deterministici. Mi sembrano argomenti molto diversi tra loro.



Rappresentazione artistica dell'ipotesi della nebulosa di Laplace, detta anche "Teoria di Kant-Laplace".²

L: La probabilità riflette l'ignoranza che abbiamo sulle condizioni iniziali. Come dissi nell'introduzione

al mio saggio sulla probabilità, "possiamo considerare lo stato attuale dell'universo come l'effetto del suo passato e la causa del suo futuro. Un intelletto che ad un determinato istante dovesse conoscere tutte le forze che mettono in moto la natura, e tutte le posizioni di tutti gli oggetti di cui la natura è composta, se questo intelletto fosse inoltre sufficientemente ampio da sottoporre questi dati ad analisi, esso racchiuderebbe in un'unica formula i movimenti dei corpi più grandi dell'universo e quelli degli atomi più piccoli; per un tale intelletto nulla sarebbe incerto ed il futuro proprio come il passato sarebbe evidente davanti ai suoi occhi". Come vede, ho anticipato anche la teoria del caos di Poincaré.

I: Ma chi ha questa intelligenza? Dio?

L: Io sono sempre stato ateo, e consideravo assurdi i dogmi, le superstizioni ed i miracoli del Cristianesimo. Comunque, dopo che avevo regalato a Napoleone il mio trattato sul "sistema del mondo", l'Imperatore, a cui piaceva fare domande imbarazzanti, mi disse: "Newton ha parlato di Dio nel suo Libro. Ho sfogliato il vostro e non ho trovato questo nome una sola volta". Al che risposi: "Cittadino Primo Console, non ho avuto bisogno di questa ipotesi."

² https://it.wikipedia.org/wiki/Pierre_Simon_Laplace

I: Bella risposta. Ma lei non ha fatto solo il matematico, ha anche tentato una carriera politica.

L: Sì, è vero. Quando Napoleone prese il potere, lo implorai di darmi il posto di ministro degli interni. Ma durai poco in tale ruolo, solo sei settimane. Napoleone voleva risultati pratici, mentre io avevo un approccio troppo teorico. Il primo console disse di me: "Geometra di prima categoria, Laplace non ha tardato a dimostrarsi un amministratore più che mediocre; dal suo primo lavoro noi abbiamo subito compreso che ci eravamo sbagliati. Laplace non coglieva alcuna questione sotto il suo giusto punto di vista: cercava delle sottigliezze ovunque, aveva solo idee problematiche, e infine portava lo spirito dell'"infinitamente piccolo" perfino nell'amministrazione". Ma nonostante questo, io continuai a supportare Napoleone dedicandogli i miei libri.

I: Ma dopo la caduta di Napoleone cambiò rapidamente partito...

L: Certo! E mi guadagnai il titolo di marchese.

I: Grazie il tempo a disposizione è finito. La ringrazio molto per aver partecipato a RadioMoka.

L: Niente, Niente, dovere.

James Clerk Maxwell



RadioMoka 24 novembre 2018 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

https://youtu.be/yUr8Qwd_RSs

I: Buongiorno prof. Maxwell. Come sta?

M: Buongiorno a voi. Molto bene, mi sento in forma e scattante.

I: Ci credo, lei è morto nel 1879 a soli 48 anni! Ma dalle foto non appare molto giovanile, nemmeno a soli 38 anni.

M: Erano di moda i barboni, che certo non ringiovaniscono. Ma c'è un'altra fotografia mia di quando avevo circa 17 anni in cui dimostro la mia vera età.

I: Certo! Quella foto in cui si vede che lei ha in mano un disco tutto diviso a settori di vari colori, presumibilmente. Che cosa era?

M: Si tratta del disco che porta il mio nome, con cui ho studiato la visione. Il mistero che cercavo di sviscerare riguardava la percezione dei colori, un argomento che aveva affascinato anche Newton. Come appunto ha spiegato il fondatore della fisica, la luce bianca è composta dalla



James e Katherine Maxwell nel 1869.³

³ https://it.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell

sovrapposizione di tanti colori, e lo si vede quando viene diffratta da un prisma trasparente. Però ci sono dei colori che appaiono uguali all'occhio, anche se sono formati da elementi diversi.

I: In che senso? Un colore non corrisponde ad una lunghezza d'onda ben definita?

M: A parte che la scoperta che la luce è una radiazione elettromagnetica avvenne molto dopo, il fatto è che si possono costruire dei colori sia usando pigmenti di quel colore, sia mescolando tra loro pigmenti di colori diversi. Per esempio, l'arancione si può ottenere sia usando dei pigmenti arancioni appunto, come nella buccia di una arancia, sia mescolando giallo e rosso. Lo stesso con il viola, che esiste sia come radiazione monocromatica, sia come mescolanza di rosso e blu. Quello che vidi con il mio cerchio, ma che era già stato scoperto da Thomas Young, è che si possono ottenere le stesse sensazioni di colore alternando velocemente i due colori.



Il giovane Maxwell durante il periodo universitario al Trinity College, con il suo disco in mano.⁴

I: Ah, ho capito, lei aveva dipinto i due colori rosso e giallo in due settori del cerchio e facendolo girare si vedeva una striscia arancione.

M: Esatto! E ho sperimentato con varie combinazioni, facendo vedere che bastavano tre colori primari per generare tutti gli altri.

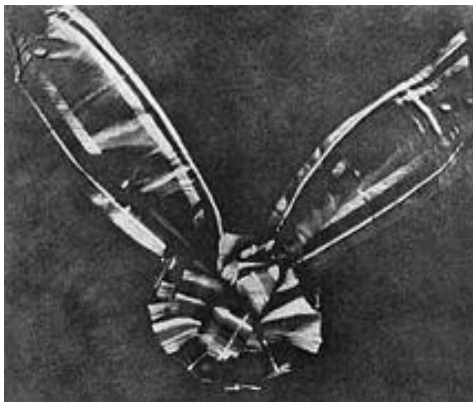
I: Come nello schema Rosso-Verde-Blu, detto RGB in inglese, che noi usiamo per gli schermi dei televisori e dei computer?

⁴ https://it.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell

M: Proprio quello. Dimostrai quindi che nell'occhio ci sono tre recettori per i diversi colori, come aveva supposto anche Young. E poi usai i risultati dei miei studi per produrre la prima fotografia a colori. Aiutato dal fotografo Thomas Sutton, ripresi un nastro di tartan, la stoffa scozzese a quadretti colorati, attraverso tre filtri, uno rosso, uno blu e uno verde, e poi sovrapposi l'immagine risultante stampata con i colori corrispondenti, ottenendo una immagine abbastanza simile all'originale. Ed ebbi anche molta fortuna.

I: Perché?

M: Perché la lastra che avevo usato era praticamente insensibile al rosso. Ma per fortuna le lenti della camera erano abbastanza trasparenti alla luce ultravioletta, che proviene dal Sole e che pure viene riflessa dal tartan dalle zone rosse, così ottenemmo lo stesso l'immagine desiderata. Inoltre, potei dimostrare che i colori sono rappresentabili come vettori, e che lo spazio dei colori è un triangolo e non un cerchio come aveva detto Newton.



La prima fotografia a colori scattata da Maxwell nel 1861.⁵

I: Lei era molto religioso...

M: Sì, è vero. Ovviamente ero seguace della chiesa scozzese e mi sentivo molto vicino a Faraday, con cui andai sempre d'accordo nonostante la differenza d'età, 40 anni. Devo dire che sono molto riconoscente a Michael, senza di lui non avrei potuto

fare nulla. Comunque, riguardo alla religione, mi sono sempre considerato un "lettore del libro della natura". Secondo me, tale libro mostra quanto il mondo sia ordinato e armonioso, rivelando l'infinita potenza e saggezza di Dio nella sua irraggiungibile ed eterna verità. Uno certo si

⁵ https://it.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell

può domandare come facciamo ad avere la capacità di comprendere questa verità. Ebbene, io penso che proprio qui stia l'origine della fede che dobbiamo dimostrare verso l'onnipotente: Dio ha creato la mente umana e la natura proprio perché l'una possa capire la seconda.

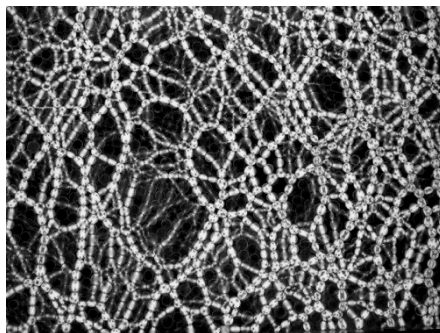
I: Certo, una visione molto devota. Ma so che lei ha avuto qualche problema nella parte pratica della fede.

M: Ah, si riferisce al fatto che da giovane mi piaceva fare tardi la sera, e che quando arrivai all'università di Cambridge, al Trinity College, mi dissero che era obbligatorio seguire la funzione delle 6 di mattina. Beh, ci pensai sopra un po' e poi dissi: "Va bene, penso di poter stare sveglio fino a quell'ora".

I: E poi di quali altre ricerche si occupò?

M: Anche come la luce dipende dallo stress di un materiale. Usai dei blocchi di gelatina e della luce polarizzata, e vidi che quando questo blocco veniva compresso o stirato, la polarizzazione della luce cambiava, e quindi usando filtri appositi si poteva mettere in evidenza il punto dove si concentrava la tensione. Adesso questo metodo viene molto usato per esempio per progettare strumenti di lavoro: si realizza un modello dell'oggetto in perspex e lo si sottopone allo sforzo per cui è destinato. Usando la luce polarizzata si vede dove è necessario rinforzare lo strumento.

Un'altra applicazione della mia tecnica è stata quella di realizzare tanti dischetti di plexiglass e di versarli a caso tra due lastre di vetro separate appunto dallo spessore dei dischetti. La disposizione risultante è analoga a fare una sezione di un mucchio di sfere gettate a caso. Ebbene, analizzando le tensioni si vede che il peso della colonna non si distribuisce uniformemente come in un liquido, ma si concentra in delle linee di sforzo che, se la colonna è abbastanza alta, finiscono sulle pareti.



Visualizzazione di come la forza viene trasmessa in un mezzo granulare attraverso la polarizzazione della luce da parte di bilie di plexiglas compresse.

I: E questo che conseguenze ha?

M: Che per esempio i silos dove vengono immagazzinate le granaglie possono rompersi perché il carico finisce per gravare sulle pareti invece che sul fondo. E che le clessidre a sabbia, che più propriamente dovrebbero chiamarsi clepsamie, si svuotano a velocità costante, indipendentemente da quanta sabbia contengono.

I: Accidenti, non lo sapevo. Ma so lei ha fatto molto altro nella sua carriera!

M: Certo! Mi sono occupato per esempio degli anelli di Saturno.

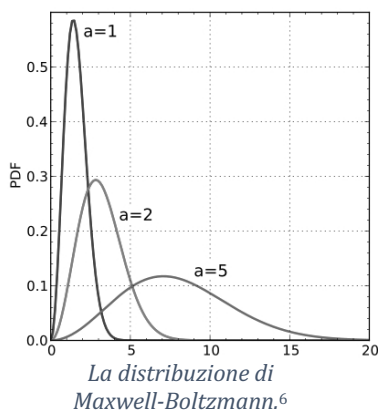
I: Qual era il problema?

M: Come erano fatti. Erano forse solidi? Io dimostrai che non potevano esserlo, altrimenti si sarebbero spaccati e sarebbero crollati sul pianeta. Ma non potevano neppure essere formati da un fluido, che altrimenti si sarebbe increspato addensandosi in alcuni punti e rarefacendosi in altri. Quindi non restava altra ipotesi che fossero fatti da tanti piccoli frammenti, che orbitano separatamente attorno al pianeta. Per questo lavoro vinsi anche un premio da 130 sterline nel 1859, e il mio lavoro fu considerato

“Una delle più notevoli applicazioni della matematica alla fisica mai viste”. Fui tanto convincente che la questione degli anelli di Saturno non fu più ripresa fino al loro sorvolo da parte della sonda Viking nel 1980, che confermò le mie predizioni anche se mise anche in evidenza l'esistenza di una struttura fine a bande, che era stata intravista con i telescopi, e che necessita di studi più raffinati per essere spiegata.

I: Lei però è più famoso per i suoi lavori sulla meccanica statistica, e poi l'elettromagnetismo.

M: Per la meccanica statistica evidentemente i tempi erano maturi, dato che nel 1866 formulai l'approccio stocastico al problema della

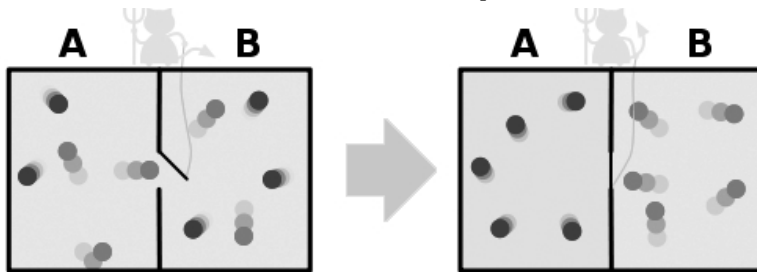


⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Maxwell%E2%80%93Boltzmann_distribution

distribuzione delle velocità delle particelle di un gas praticamente in contemporanea con Boltzmann.

I: Ce ne può parlare?

M: La nostra distribuzione, che prende il nome di distribuzione di Maxwell-Boltzmann, dà la probabilità di trovare una particella con la velocità inclusa in un certo intervallo, per un gas all'equilibrio ad una data temperatura. È una funzione che cresce a basse energie, ha un massimo per una energia corrispondente alla temperatura del bagno termico, e poi decresce a zero. Questa forma è data dal prodotto di due termini, il



Il diavolelto di Maxwell in azione.⁷

primo, quadratico, che dice come aumentano le “maniere” di ottenere una certa velocità, in modulo, con l’aumentare della velocità stessa, mentre il secondo, che è una esponenziale decrescente detta anche distribuzione di Boltzmann, dice qual è la probabilità di osservare tale energia, e quindi tale velocità.

I: Ha qualcosa a che fare con il diavolelto che prende il suo nome?

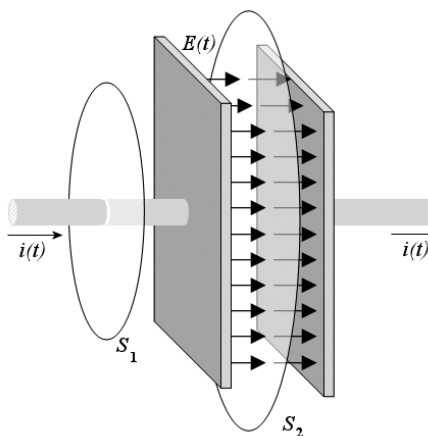
M: Certo. Il fatto è che questa distribuzione costituisce il limite a cui tende ogni sistema, indipendentemente dalla distribuzione di partenza. Si può ottenere tale distribuzione anche massimizzando l’entropia, e quindi è coerente con la termodinamica. Il massimo dell’entropia è strettamente legato all’impossibilità di estrarre lavoro da un sistema all’equilibrio, o, alternativamente, di riuscire a ottenere da questo uno stato di non equilibrio, come per esempio uno che mostra una differenza di temperatura tra le sue parti, da cui si potrebbe poi estrarre lavoro. Ma io

⁷ https://it.wikipedia.org/wiki/Diavolelto_di_Maxwell

immaginai un piccolo demone, che riuscisse a vedere le particelle di un gas e valutarne la velocità. Questo diavolello potrebbe aprire una porta in una parete che divide in due un gas tutte le volte che una particella veloce arriva da destra, o una particella lenta arriva da sinistra. Se trascuriamo il lavoro per aprire e chiudere la porta, si riuscirebbe a creare una differenza di temperatura “gratis”, violando la seconda legge della termodinamica.

I: E si può fare?

M: No. Come sempre il diavolo fa le pentole ma non i coperchi. Ci sono vari motivi per cui il sistema non funziona. Prima di tutto, se il demone è alla stessa temperatura del gas, non riesce a “vedere” le particelle, perché i suoi occhi emettono tanti fotoni quanti ne assorbono. Poi, la porta deve essere molto leggera, e quindi fluttua, aprendosi e chiudendosi a caso, come fanno le particelle del gas, quindi vanificando gli sforzi. Infine, c'è un costo termodinamico nel “dimenticare” delle informazioni, e dato che il demone non può immagazzinare tutti dati di tutte le particelle, ogni volta che “cancella” la memoria deve rilasciare calore, aumentando l'entropia esattamente di quanto l'aveva diminuita separando le particelle.



La corrente di spostamento.⁸

I: Che storia! E per l'elettromagnetismo?

M: Anche questa è una storia lunga. Ispirato dal lavoro di Faraday, ma con dei mezzi matematici più avanzati dei suoi, misi insieme tutte le equazioni che si conoscevano riguardo a elettricità e magnetismo,

⁸ https://it.wikipedia.org/wiki/Corrente_di_spostamento

ovvero la legge di Gauss elettrica e magnetica, la legge di Faraday e quella di Ampère, che io generalizzai introducendo la corrente di spostamento.

I: Che roba è?

M: L'elemento che mancava per collegare insieme le quattro leggi. La legge di Ampère dice che un filo percorso da corrente genera un campo magnetico, e che l'intensità di tale campo si ottiene calcolando quanta corrente attraversa una superficie che si "appoggia" a un circuito chiuso che circonda il filo. Ma se nel filo c'è un condensatore che si sta caricando, possiamo far passare tale superficie o tagliando il filo, nel qual caso c'è una corrente che la attraversa, o nel mezzo del condensatore, e in questo caso non sembra che ci sia nessuna corrente. Ma dato che il campo magnetico sul circuito dev'essere lo stesso, bisogna introdurre un termine appropriato.

I: E qual è?

M: Nel condensatore c'è un campo elettrico variabile, quindi ho detto: il campo magnetico viene generato o da una corrente o da un campo elettrico variabile. E dato che già si sapeva, grazie a Faraday, che un campo magnetico variabile genera un campo elettrico, ecco che le equazioni si chiudono. I campi elettrici variabili generano quelli magnetici e viceversa. Si può avere la propagazione di un'onda elettromagnetica.

I: Detta così sembra facile...

$$\begin{array}{ll} \nabla \cdot \mathbf{E} = 0 & \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 & \nabla \times \mathbf{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \end{array}$$

Le equazioni di Maxwell in forma differenziale.

M: E invece non lo fu. Mi toccò usare delle pesanti analogie, almeno nella prima stesura, praticamente dovetti fare l'idrodinamica dell'etere. Ma poi il tutto acquistò una grande eleganza matematica, e mi resi conto che la velocità di propagazione di queste onde elettromagnetiche era quella

della luce. Non poteva essere un caso: la luce ERA un'onda elettromagnetica!

I: Veramente notevole. Nella sua relativamente breve vita ha raggiunto delle vette eccelse!

M: Così ha voluto il buon Dio. Chi siamo noi per opporci al Suo volere?

I: Così sia. Arrivederci.

M: Arrivederci. Vado a scambiare due chiacchiere con Michael.

Heinrich Rudolf Hertz



RadioMoka 15 dicembre 2018 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/1UH7doxDX80>

I: Buongiorno professor Hertz. Benvenuto su RadioMoka.

H: Buongiorno.

I: Lei è uno dei pochi scienziati che hanno dato il nome ad una unità di misura...

H: Sì, l'hertz, l'unità di misura della frequenza. Di per sé è una unità abbastanza stupida, visto che non è altro che l'inverso del secondo, ma penso che tutti la usino, magari senza conoscerla, quando parlano della frequenza di una stazione radio o tv, o della frequenza di un forno a microonde o del telefonino.

I: Non sia così negativo. Lei ha dato un contributo importante alla fisica, ha dimostrato che le onde elettromagnetiche si comportano come la luce, complementando sperimentalmente il lavoro di Maxwell.

H: E se non fossi morto così presto, a 38 anni per una malattia auto-immune, chissà che cosa avrei potuto fare.

I: Ci racconti l'esperimento per cui è così famoso.



Heinrich Rudolf Hertz. Published in Leonard, P. (1930) Grosse Naturforscher, T.S. Lehmanns, Munich, 1930.⁹

⁹ https://it.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Rudolf_Hertz

H: Era il 1886, ed ero da poco diventato professore ordinario a Karlsruhe. Finalmente avevo un laboratorio mio, e ripresi in mano una linea di ricerca che mi aveva suggerito Helmholtz al tempo del mio dottorato, ovvero vedere se si potevano generare delle onde elettromagnetiche come descritto dalla teoria di Maxwell, e determinare la loro velocità, se fossero polarizzabili, ecc.

Tra l'altro al tempo del mio dottorato c'era un premio dell'accademia Prussiana delle scienze in ballo.

I: Ma lei non seguì questo suggerimento.

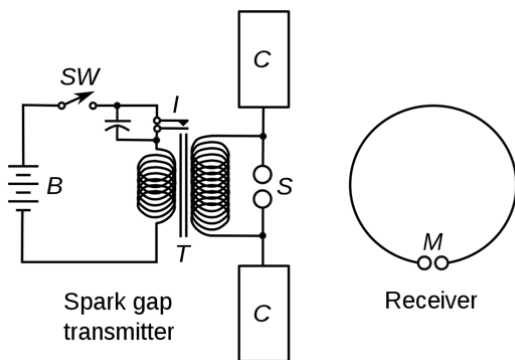
H: A quel tempo non avevo idea di come avrei potuto generare le onde elettromagnetiche, e nemmeno come avrei potuto misurarle.

I: E come fece?

H: Il primo componente del mio esperimento fu il rocchetto Ruhmkorff, inventato nel 1836 da Nicholas Callan, ma venduto appunto da Ruhmkorff. È formato da un trasformatore molto asimmetrico, così da innalzare di molto la tensione, e da un meccanismo che interrompe la corrente, così da dare la variazione di corrente necessaria a far funzionare il trasformatore, anche con una sorgente di elettricità costante come una batteria.

I: Non ha a che fare con il "rocchetto" delle vecchie auto?

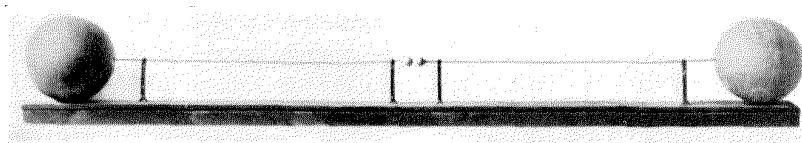
H: Certo! Proprio così. Nelle vecchie auto, quelle meccaniche, c'era il problema di generare la scintilla nella candela, che ha bisogno di una tensione di qualche migliaio di volt. Il rocchetto serve ad innalzare la



L'apparato di Hertz del 1887 per generare e visualizzare le onde elettromagnetiche.¹⁰

¹⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz

tensione, ma ha bisogno di una corrente variabile nel tempo. Nelle auto, la variazione veniva data dalle puntine, che aprivano e chiudevano il con-



Il primo apparecchio trasmettente di Hertz.¹¹

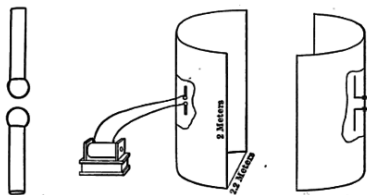
tatto in maniera sincrona rispetto alla corsa del pistone, così che la scintilla scoccava a tempo.

I: Ricordo che nella mia vecchia '500 c'era sempre il problema dello spinterogeno in cui entrava l'umidità e non faceva partire la macchina... Ma torniamo al suo apparato.

H: Avevo il rocchetto Ruhmkorff e una bottiglia di Leida come generatore di corrente.

I: Una bottiglia come generatore? e come funzionava?

H: La bottiglie di Leida, inventata da Pieter van Musschenbroek a Leida, appunto, a metà del XVIII secolo, era semplicemente un grosso condensatore. Lo può costruire anche lei foderando con un foglio di alluminio la parte interna e quella esterna di un barattolo di vetro. Può poi caricare questo condensatore con un generatore elettrostatico a sfregamento, e ottenere delle belle scariche.



Apparecchio per la trasmissione direzionale.¹²

I: Ho capito, e poi?

H: Poi c'era un filo con due capacitori a sfera come antenna, che funzionavano anche come circuito risonante.

¹¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz

¹² https://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz

I: A che le serviva il circuito risonante?

H: Io non dovevo solo far scoccare una scintilla una volta, volevo generare delle onde che durassero nel tempo. E poi le volevo sinusoidali. Ora, se lei mette in serie una induttanza, quella del rocchetto, e un condensatore, ottiene un circuito che può risonare a una determinata frequenza. Quindi, se io facevo girare la manovella che azionava l'interruzione di corrente alla giusta frequenza, avevo un circuito che generava una bella corrente sinusoidale.

*I: E come faceva a misurarla?
Immagino che non avesse un oscilloscopio...*

H: Un che? No, non avevo nessuno strumento, semplicemente tagliai il filo.

I: Come?

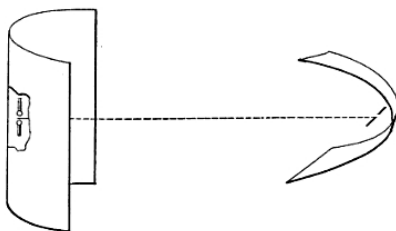
H: Feci più o meno quello che si faceva nelle automobili, dove si usa una candela, ovvero una piccola interruzione nel circuito, per generare le scintille. Anche io lavoravo con alte tensioni, e praticando una piccola interruzione nel circuito, si formavano delle scintille che mi dicevano che tutto andava bene.

I: E come circuito ricevente?

H: Quello era ancora più semplice: un cerchio metallico con una piccola interruzione. Quando era orientato in maniera opportuna, si vedevano delle scintille nell'interruzione: era il segno che riceveva energia dal circuito emittente.

I: Geniale! E che esperimenti fece?

H: Più o meno quelli che si possono fare con la luce. Dimostrai che queste onde si riflettevano su una lastra metallica, anzi, potei costruire dei riflettori di forma parabolica disposti paralleli all'antenna emittente, con



Apparecchio polarizzante.¹³

¹³ https://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz

cui potevo focalizzare l'onda emessa e farle raggiungere distanze più grandi.

I: E poi, cosa trovò?

H: Che queste onde erano polarizzate, ovvero il campo oscillava nel piano dell'antenna. Lo provai sia mettendo l'antenna ricevente parallela e poi perpendicolare a quella emittente, sia costruendo uno schermo di fili conduttori paralleli: se i fili erano diretti come l'antenna, il segnale passava, altrimenti si fermava. Funzionavano come i vostri occhiali polaroid.

I: Bello. E poi?

H: Dimostrai che le onde venivano anche diffratte dai materiali. Costruii un grande prisma di pece, che funzionò come il prisma di vetro di Newton. Le onde elettromagnetiche venivano diffratte seguendo le stesse leggi.

I: E riuscì a misurare la velocità di queste onde?

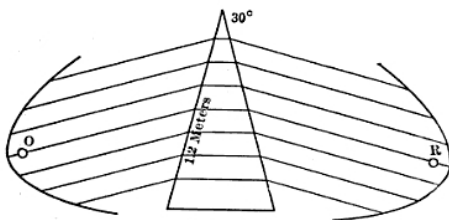
H: Certo!

I: E come fece? Mi sembra difficile costruire un apparato a specchio rotante come quello che si usa per misurare la velocità della luce!

H: Ho usato lo stesso trucco che permette a voi, oggi, di misurare la velocità della luce con il forno a microonde.

I: E come si fa?

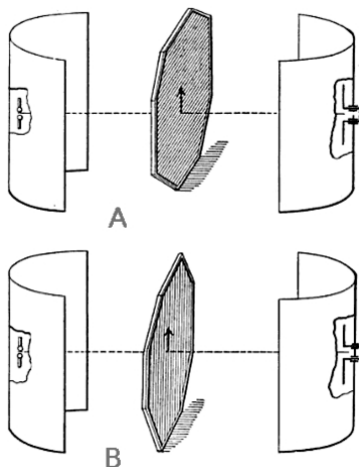
H: Ci vogliono due specchi paralleli, in modo che tra di loro si stabilisca un'onda stazionaria. Nel mio caso usai la mia antenna per verificare che l'onda aveva intensità massima solo in certi punti. Con un forno a



Dimostrazione della rifrazione delle onde radio.¹⁴

¹⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz

microonde, si possono usare delle tavolette di cioccolata. Bisogna levare il piatto rotante e disporre le tavolette su un pezzo di cartone, in modo che stiano ferme. Azionando il forno, che ha delle pareti metalliche che agiscono come specchi per le radiazioni, si vedrà che la cioccolata si scioglie solo in certi punti, che è il motivo per cui c'è un piatto rotante nel forno. Misurando la distanza tra tali punti si può determinare la lunghezza d'onda della radiazione. Se lo fate, vedrete che gli scioglimenti stanno alla distanza di circa 6 centimetri. Occhio, che questa è la distanza tra due ventri dell'onda, ovvero pari a metà della lunghezza d'onda.



Altro esperimento per misurare la polarizzazione.¹⁵

I: E che ce ne facciamo?

H: Dobbiamo conoscere anche la frequenza, che nel mio caso era data dalla velocità di rotazione dell'ingranaggio che faceva aprire e chiudere le puntine, nel vostro caso basta guardare sull'etichetta dietro al forno, quasi sicuramente si tratterà di 2,45 Ghz, ovvero 2450 milioni di hertz, che è meglio scrivere come 2,45 per 10 alla 9 hertz.

I: Mi sfugge ancora dove andiamo a parare.

H: La velocità di avanzamento dell'onda è data dal prodotto tra lunghezza d'onda e frequenza: in un periodo temporale, che è l'inverso della frequenza, l'onda avanza di una distanza pari alla sua lunghezza d'onda.

I: Sì, chiaro. Allora vediamo, per il forno a microonde abbiamo 12 centimetri per 2,45 per 10 alla 9 secondi alla meno uno, ovvero 1,2 metri alla meno uno per 2,45 per 10 alla 9. Viene circa 3 per dieci alla 8 metri al secondo... è la velocità della luce!

¹⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz

H: È il calcolo che feci anch'io. Dimostrai che le onde elettromagnetiche e la luce sono due aspetti dello stesso fenomeno.

I: Ma lei non prese il premio Nobel... anche se mi sembra che ci sia un Hertz tra i vincitori.

H: Si tratta di mio nipote Gustav. Vinse il premio Nobel insieme a Franck per un lavoro sulla quantizzazione della ionizzazione degli atomi. Dato che visse nel periodo del nazismo, e che la nostra famiglia era di origine ebrea, anche se convertita da tempo al luteranesimo, ebbe dei problemi. Non lo attaccarono direttamente dato che era un eroe della Prima guerra mondiale, ma nel '45 se ne scappò in Unione Sovietica, per ritornare solo nel '55.

I: Lei ha fatto molto per la fisica.

H: In realtà ho lavorato molto anche sulle proprietà dei materiali, in particolare sulla teoria dell'attrito, e ho scoperto l'effetto fotoelettrico, che fu poi spiegato da Einstein nel 1905. Scoprii che un condensatore carico, ricoperto da un metallo alcalino, perde la sua carica se esposto alla luce ultravioletta.

I: La ringraziamo molto per il tempo che ha voluto concederci.

H: Dhanyavaad.

I: Scusi?

H: Grazie a voi, in sanscrito. Conoscevo bene questa lingua, e anche l'arabo.

I: Beh, non posso negare che mi ha sorpreso un'altra volta. Come si dice arrivederci in sanscrito?

H: Punarmilāma.

I: Allora punarmilāma.

H: Wadaeaaan. Questo è arabo.

Maria Goeppert-Mayer



RadioMoka 11 gennaio 2019 (voci di Sara Nicoletti e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/9quMFQl2X2M>

I: Per le interviste impossibili abbiamo qui oggi la professoressa Maria Goeppert-Mayer. Buongiorno professoressa Goeppert. Che bello ricevere una donna premio Nobel.

G: Certo, in fisica non ce ne sono molte. Solo tre.

I: So che ha dovuto lottare duramente.

G: Sono sempre stata indipendente e attratta dallo studio e dalla scienza e dalla tecnica. Ai miei tempi le donne non dovevano avere una grande educazione, ma per fortuna la Prima guerra mondiale aveva fatto strage di uomini, e quindi le donne erano richieste anche nelle fabbriche, e c'era bisogno di formarle anche a livello matematico. Io sono nata a Katowice, che adesso è in Polonia ma a quel tempo faceva parte dell'impero tedesco, e poi ci spostammo a Gottinga. Là c'era una scuola privata gestita da suffragette che mirava a preparare



*Maria Goeppert-Mayer,
Nobel foundation.¹⁶*

¹⁶ https://it.wikipedia.org/wiki/Maria_Goeppert-Mayer

le ragazze per l'università, e mio padre, che mi incoraggiava sempre a studiare, mi iscrisse. Grazie a loro riuscii ad entrare a 17 anni all'università, in matematica. Consideri che all'esame di ingresso eravamo in quattro della mia scuola e 30 ragazzi. Noi entrammo tutte, e dei ragazzi solo uno.

I: Eravate più motivate!

G: Certo! Lavorai duramente e mi interessai alla fisica. La mia tesi di dottorato fu lodata come esempio di chiarezza. Poi per fortuna conobbi il mio futuro marito, un americano che lavorava come assistente di James Franck, e ci trasferimmo in America, non so che fine avrei fatto nella Germania nazista.

I: E dove siete andati?

G: Lui, Joseph Edward Mayer, era un chimico e lavorava alla Johns Hopkins University, ma le regole rigide contro il nepotismo impedirono che mi potessero assumere come ricercatrice. Trovai quindi lavoro come segretaria traduttrice nel dipartimento di fisica.



*Il francobollo commemorativo di
Maria Goeppert-Mayer.*

I: A volte il troppo stroppia!

G: Già! Inoltre, lì alla Johns Hopkins nessuno si interessava di fisica quantistica, e quindi lavorai a distanza, tramite lettere, con Born e Franck, andando ogni tanto in Germania. Ma con l'avvento del nazismo, i miei colleghi in Germania persero il lavoro e anzi ci demmo da fare per aiutarli. Poi venne licenziato anche mio marito, a causa mia.

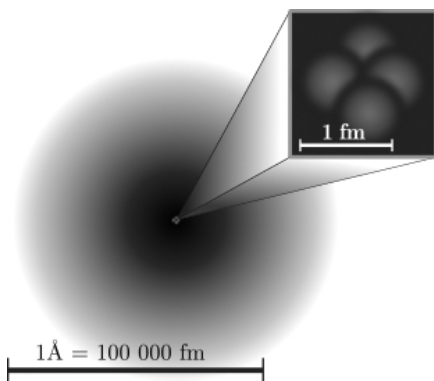
I: Come a causa sua? Che aveva combinato?

G: Nulla. Ero tedesca, e la Germania era entrata in guerra con gli Stati Uniti, quindi non ero più tollerata, e poi ero donna. Ci trasferimmo a New

York, dove mio marito trovò lavoro alla Columbia, ma io dovetti lavorare gratuitamente. Però lì incontrai Harold Urey e poi Enrico Fermi, con cui collaborai.

I: E poi?

G: Nel 1941 ebbi il mio primo lavoro pagato, come insegnante part-time in un liceo. Nel 1942 entrai nel progetto Manhattan, con un posto sempre part-time da ricercatrice sulla separazione gassosa degli isotopi dell'uranio. Nel '46 mio marito tornò dalla guerra e divenne professore all'Università di Chicago, e a me venne offerto un posto, sempre volontario. Nel 1946 fu fondato l'Argonne National Laboratory, un laboratorio di ricerca nato direttamente dal progetto Manhattan per la ricerca sull'energia nucleare a scopi pacifici. Finalmente ebbi un posto pagato, ma per fare ricerche di tipo tecnico sui reattori nucleari. Nel tempo libero continuavo le mie ricerche sul nucleo atomico. Solo nel 1960 diventai professoressa di fisica presso l'Università della California a San Diego per insegnare i miei argomenti preferiti, e nel 1963 arrivò il Nobel.



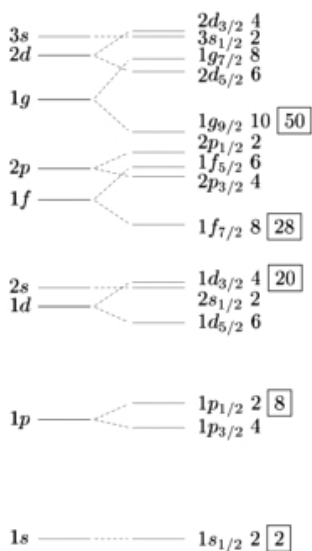
Dimensione del nucleo atomico.

I: Ce la fa a raccontarci le sue ricerche in termini semplici?

G: Non è facile, ma ci posso provare. Come sapete, il nucleo atomico è quella parte dell'atomo che contiene praticamente tutta la massa. Il nucleo è piccolissimo rispetto all'atomo, il suo diametro è circa 1/100.000 di quello dell'atomo. Si sa che il nucleo è formato da neutroni e protoni, e che ci dev'essere una forza intensa che lo tiene insieme, detta interazione forte, dato che i protoni sono carichi positivamente e si repellono, e a quelle distanze la repulsione è molto intensa. I neutroni quindi funzionano un po' da colla. I protoni e i neutroni sono molto simili, a parte la carica elettrica.

Il primo modello del nucleo atomico fu formulato nel 1935 da Bethe e Weizsäcker, basandosi in gran parte su dati empirici. In questo modello il nucleo è rappresentato semplicemente come una goccia di un liquido. Come in tutti i liquidi c'è un termine di volume e un termine superficiale, dovuti all'interazione forte. Si sa che quest'ultima agisce su piccolissime distanze, quindi un nucleone (termine che indica sia un protone che un neutrone) sente solo l'interazione con i primi vicini, proprio come una molecola in un liquido, e per questo i termini di volume e di superficie dipendono appunto solo dal volume e dalla superficie.

Viceversa, l'interazione elettrostatica tra i protoni agisce su distanze lunghe, quindi ogni protone sente l'interazione con tutti gli altri, e quindi questo termine, che è repulsivo, dipende dal quadrato del numero delle cariche. C'è poi un termine che tiene conto del fatto che protoni e neutroni sono fermioni, quindi devono occupare livelli sempre più alti, come del resto fanno gli elettroni. Però i livelli dei protoni e dei neutroni sono distinti, dato che si tratta di particelle diverse. Quindi se c'è uno squilibrio tra numero di protoni e neutroni, quelli più abbondanti devono andare a occupare livelli troppo alti, aumentando l'energia del nucleo. Infine, c'è un termine che tiene conto dello spin dei protoni e dei neutroni spaiati, perché queste particelle hanno anche un campo magnetico associato.



I numeri magici nucleari.

Questo modello spiega bene perché protoni e neutroni sono presenti sempre in maniera proporzionata, con un po' più di neutroni rispetto ai protoni, e perché c'è un limite al numero atomico per avere nuclei stabili. Inoltre, spiega il meccanismo della fissione, che è analogo alla rottura di una goccia di liquido troppo grossa rispetto alla sollecitazione. Però non

spiega le transizioni nucleari, che sono analoghe a quelle elettroniche, solo che emettono raggi gamma invece di radiazioni luminose o raggi X.

Il mio modello è in gran parte analogo a quello elettronico, con degli strati che vengono riempiti e in cui si assiste ad una modificazione dell'energia del livello a causa dell'accoppiamento tra spin e orbita, di nuovo una cosa analoga a quella che succede per gli elettroni, e che mi fu suggerita da Fermi. Ecco come la descrissi

Pensate a una stanza piena di ballerini di valzer. Supponiamo che girino per la stanza in cerchio, ogni cerchio racchiuso in un altro. Quindi immaginate che in ogni cerchio ci possano stare il doppio dei ballerini, facendone girare una coppia in senso orario e un'altra coppia in senso antiorario. Quindi aggiungete un'altra variazione: tutti i ballerini girano roteando su se stessi come trottole in cerchio intorno alla stanza, ciascuna coppia che volteggia e gira intorno. Ma solo alcuni di quelli che vanno in senso antiorario ruotano in senso antiorario. Gli altri ruotano in senso orario mentre girano in senso antiorario. Lo stesso vale per quelli che danzano in senso orario: alcuni volteggiano in senso orario, altri girano in senso antiorario.

I: Un'immagine molto poetica. Ma a che serve questo accoppiamento spin-orbita?

G: A mescolare tra loro i livelli energetici e a separarli in gruppi. In questa maniera si riescono a spiegare i famosi "numeri magici", ovvero 2, 8, 20, 28, 50, 82 e 126, che danno nuclei particolarmente stabili e sono analoghi ai gas nobili della tavola di Mendeleev, ovvero al riempimento di uno strato.

I: Una domanda personale. Marie Curie è stata scienziata e madre, mentre molte altre scienziate donna non hanno messo su famiglia o quantomeno non hanno avuto figli. È lei?

G: Io ho avuto due figli, un maschio e una femmina.

I: Quindi non è vero che una donna per riuscire a trionfare deve sacrificare la famiglia e tutto il resto al successo. La ringrazio molto per la sua partecipazione a RadioMoka.

G: Tanti saluti anche a voi.

Edward Lorenz



RadioMoka 19 gennaio 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

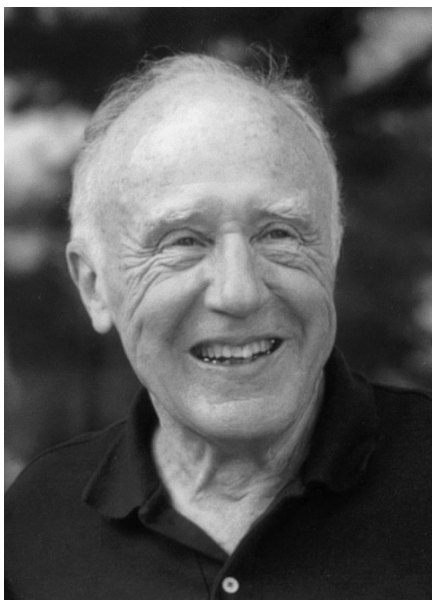
<https://youtu.be/0XFWQZWkvpM>

I: Oggi, per le interviste impossibili, abbiamo qui Edward Lorenz, il padre del “caos”. Benvenuto professore.

L: Grazie di avermi invitato in questa rubrica, ma devo premettere che non sono un fisico, anche se le mie scoperte sono state in qualche modo anticipate, e poi massicciamente espanse da fisici.

I: Può darci qualche elemento della sua biografia?

L: Sono nato nel 1917 a West Hartford, nel Connecticut. Anche da ragazzo ero affascinato dal tempo, registravo i massimi e minimi del termometro fuori dalla casa. Però ero anche interessato alla matematica, spesso risolvevo enigmi con mio padre. Dopo essermi laureato al Dartmouth College nel 1938, volevo studiare matematica, ma intervenne la Seconda guerra mondiale a cambiare i miei piani. Durante il conflitto ho lavorato come



Edward Lorenz.¹⁷

¹⁷ <https://anticargocultscience.wordpress.com/tag/edward-lorenz/>

meteorologo nell'aviazione americana elaborando le previsioni del tempo per i piloti dei bombardieri. Il soggetto era molto interessante e i modelli che usavamo mi sembravano così arcaici che al mio ritorno alla vita civile ho deciso di approfondire questo tema. Mi sono quindi iscritto a Meteorologia all'MIT, dove poi ho insegnato per molti anni.

I: E cosa scopri?

L: Mi occupavo di meteorologia generale, studiando argomenti come la circolazione generale dell'atmosfera. Ma con carta e penna non si andava molto oltre poche previsioni statistiche. Con l'avvento dei computer, all'inizio degli anni '60, vidi la possibilità di combinare matematica e meteorologia. Cominciai a costruire un modello matematico dell'atmosfera usando una serie di equazioni differenziali che rappresentavano i cambiamenti di temperatura e pressione, e davano la velocità e direzione del vento.

I: Sembra una cosa molto complicata.

L: Non poi tanto. In fondo era il modello della pentola sopra il fornello: il Sole scalda la Terra, che a sua volta scalda l'aria soprastante, come il fornello scalda il fondo della pentola e quindi l'acqua contenuta. In entrambi i casi abbiamo un sistema instabile: aria o acqua più calde e quindi meno dense in basso, e aria o acqua più fredde e più dense in alto. Basta una piccola differenza di temperatura e la conduzione non ce la fa più a dissipare il calore. Il fluido comincia a muoversi per formare delle celle convettive, che trasportano più efficacemente il calore dal basso all'alto. Queste celle sono quelle che danno il vento, e i vari fenomeni atmosferici sulla Terra. Ovviamente, nel caso reale ci sono più complicazioni rispetto alla pentola: la Terra è sferica, e quindi le celle di convezione non hanno una disposizione geometricamente semplice, e poi ruota, il che produce per esempio il fenomeno degli uragani. Il mio modello era solo il punto di partenza.

I: E poi che successe?

L: Avevo circa 12 equazioni differenziali, ovvero equazioni che, data la situazione attuale, permettono di calcolare cosa succederà poco dopo. Iterando queste equazioni con un computer si può riuscire a prevedere cosa succederà il giorno dopo, o il mese dopo, con una accuratezza che dipende dall'intervallo temporale. Più i passetti sono piccoli, più le predizioni sono accurate, ma questo richiede una potenza di calcolo

più grande. Non è per nulla strano, per esempio, fare predizioni sul passato, ovvero predizioni che richiedono più tempo di calcolo del tempo reale intercorso. Dipende dalla complessità del modello e dall'accuratezza richiesta.

I: E nel suo caso?

L: Riuscivo a predire un giorno ogni ora. Facevo predizioni nel futuro, quindi, ma tenete presente che il mio modello era molto grezzo, non c'erano per esempio i dati geografici. Però quello che veniva fuori assomigliava abbastanza ai fenomeni meteorologici naturali. Ogni volta che variavo i dati iniziali veniva fuori qualcosa di diverso, ma c'era chiaramente un ordine sottostante.



Un computer LGP-30 della Royal McBee.¹⁸

I: E poi?

L: Un giorno, nell'inverno del 1961, mentre esaminavo i risultati di una simulazione vidi che verso la fine stava iniziando un fenomeno interessante. Purtroppo, però la simulazione era finita, e c'era voluto molto tempo per farla, quindi avrei dovuto aspettare molto di più per vedere cosa sarebbe successo dopo. Quindi presi una scorciatoia: invece di ricominciare da capo, riinizializzai la simulazione prendendo i dati che il computer aveva stampato verso la fine di quella precedente. Inserii i dati nel computer e me ne andai a prendere una tazza di caffè. Quando tornai, dopo circa un'ora, trovai un risultato inaspettato, che seguì per un bel po'. Invece di ripercorrere esattamente la simulazione precedente, il calcolo mostrava un "tempo virtuale" che rapidamente divergeva da quello precedente, in modo che in pochi "mesi" virtuali, tutte le somiglianze tra i due erano scomparse.

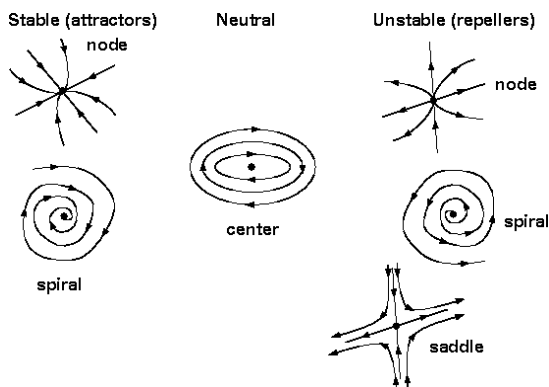
¹⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Royal_Typewriter_Company

I: C'era un errore nel programma?

L: A dire la verità, all'inizio pensai che si fosse guastato il computer. Usavo un Royal McBee, che consisteva in una specie di macchina da scrivere, che funzionava come tastiera di ingresso e come stampante, e in un computer a valvole che spesso si guastavano. Ma il tecnico non trovò nulla di strano.

I: Quindi era come dicevo io, c'era un errore nel programma.

L: Non poteva essere il programma, non perché dovesse per forza essere giusto, ma semplicemente perché i computer sono deterministici. Se prendete un programma sbagliato e inserite gli stessi dati di inizio, vengono fuori gli stessi dati sbagliati.



La stabilità dei punti fissi.

I: E allora?

L: Il problema stava nei numeri che avevo digitato. Il computer internamente memorizzava i dati con sei cifre decimali, ma nella stampa, per risparmiare spazio, ne apparivano solo tre. Quindi c'era un errore, detto di troncamento, dell'ordine di 1 su mille.

I: Ma è piccolo! E poi gli errori ci sono sempre!

L: Infatti, ma bisogna tenere presente che eravamo agli albori delle simulazioni numeriche, anche se ne erano già state fatte, come avete raccontato voi quando avete intervistato Fermi. Eravamo però abituati ai calcoli con carta e penna, e in quel modo si tende a privilegiare i sistemi lineari, perché così si può spesso "saltare" alle conclusioni senza iterare il tutto passettin-passettino, una cosa molto noiosa da fare a mano. Nei sistemi lineari gli errori crescono anche loro con il tempo, ma in maniera prevedibile, restando vicini ai valori "esatti". Nei sistemi non-lineari che conoscevo la situazione è ancora migliore, nel senso che gli errori

tendono a scomparire. Quindi, mi aspettavo certo di vedere una discrepanza nei risultati, nel senso di vedere una simulazioni un po' diversa, ma con le stesse caratteristiche.

I: E invece?

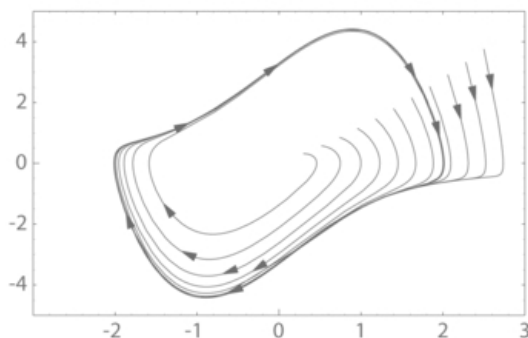
L: C'è una caratteristica dei sistemi non-lineari che non conoscevamo. In alcune situazioni gli errori crescono piano piano con il tempo, per poi improvvisamente diventare molto diversi.

I: Può farci un esempio?

L: Prendiamo il sistema che porta il mio nome, che è una semplificazione estrema di quello che stavo studiando. Nel cosiddetto modello di Lorenz ci sono tre equazioni in tre incognite, quindi il moto avviene nello spazio. Per certi valori particolari dei parametri, abbiamo dei punti fissi instabili...

I: Che cosa sono i punti fissi?

L: Ha ragione, devo prima introdurre il concetto di attrattore. I sistemi come quelli che studiavo io sono detti sistemi dissipativi, perché non conservano l'energia, che viene fornita da una sorgente esterna, per esempio il Sole. Per



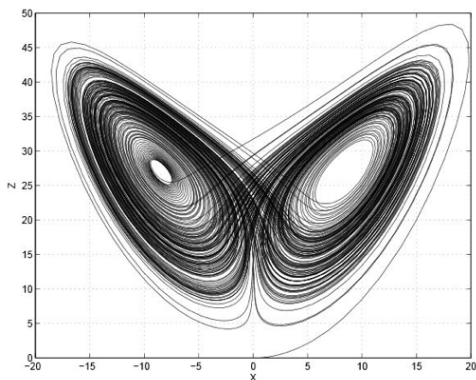
Un ciclo limite.

certi valori dei parametri, per esempio l'irraggiamento solare, il sistema tende a dissipare più energia di quanta ne riceve, e quindi va verso una situazione, detta punto fisso o nodo, che è indipendente dal punto di partenza, almeno per variazioni contenute. Per esempio, possiamo partire con una cella di convezione già formata per via del riscaldamento solare. Poi il sole tramonta, e viene a mancare la fonte di energia. Quindi il vento pian piano cala e il sistema si stabilizza con zero vento, un punto fisso. Questo magari può succedere ogni giorno al tramonto, anche se ogni giorno si comincia con una situazione diversa. Supponiamo però che stia

arrivando l'estate. L'aria è globalmente più calda e quindi anche dopo il tramonto il punto fisso, ovvero niente vento, può diventare instabile. Quello che succede è che se iniziamo senza vento, la situazione rimane così, ma se c'è una variazione questa si amplifica. Quello che normalmente succede è che appare un ciclo limite, ovvero una oscillazione regolare del vento e delle altre variabili, di nuovo indipendente dalla condizione iniziale.

I: Perché questa enfasi sulla condizione iniziale?

L: Perché se la situazione finale è indipendente dalla condizione iniziale, anche un qualsiasi errore viene assorbito. Dai calcoli fatti con carta e penna conoscevamo i punti fissi e i cicli limite, e pensavamo che questi fossero gli unici attrattori possibili.



L'attrattore di Lorenz.

I: Capito. E invece...

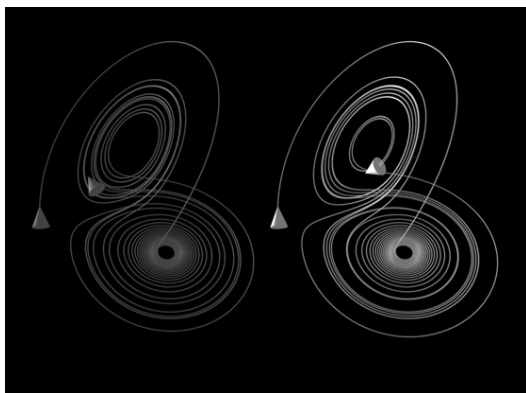
L: Nel sistema di Lorenz c'è appunto un punto fisso instabile. Se si comincia la simulazione con una condizione vicina a questo punto, si vede che la traiettoria comincia a spiraleggiare, allargandosi, come fanno quando appare un ciclo limite. Se fosse stato così, la spirale avrebbe dovuto approssimare un ciclo, ma io sapevo che non poteva farlo.

I: E perché?

L: Perché c'è un teorema, che porta anche il nome di Poincaré, che lo proibisce nel mio sistema. E infatti quello che succede è che la spirale si allarga, finché a un certo punto la traiettoria cambia completamente direzione, e comincia a spiraleggiare intorno ad un altro punto fisso instabile, per poi ritornare a spiraleggiare intorno a quello di partenza.

I: Un comportamento bizzarro, ma non stranissimo.

L: Però adesso faccia girare due simulazioni, da una configurazione iniziale molto simile, ovvero con un piccolo errore. Per esempio, in una simulazione c'è lo stesso vento, ma in più anche il battito d'ali di una farfalla. Vedrà che per un po' le due traiettorie vanno insieme, separandosi piano piano, ma poi improvvisamente una "sterza" verso l'altro ramo, mentre la prima resta lì, o viceversa.



La divergenza di due condizioni iniziali simili.

I: Questo vuol dire che il battito d'ali di una farfalla è capace di generare un tifone? È il famoso "effetto farfalla"?

L: Nel 1963 dissi che "il battito delle ali di un gabbiano sarebbe stato sufficiente ad alterare il corso del clima per sempre". Quando in seguito sviluppai il modello semplificato, notai che i due lobi dell'attrattore, quelli che danno le traiettorie a spirale, somigliano alle ali di una farfalla. Il titolo della mia conferenza del 1972 fu perciò: "Può, il batter d'ali di una farfalla in Brasile, provocare un tornado in Texas?".

I: Ovvero, se la farfalla non avesse battuto le ali il tornado non ci sarebbe stato?

L: Sì e no. Non ci sarebbe forse stato in quel momento. Ma l'attrattore è lo stesso, il che vuol dire che statisticamente non cambia nulla. Ovvero: una farfalla può cambiare, dopo un intervallo di tempo opportuno, l'intensità del tornado e l'istante in cui avviene, ma le stagioni sono sempre le stesse: d'inverno fa freddo, d'estate fa caldo e tra maggio e giugno ci sono sempre i tornado, farfalla o non farfalla.

I: Capito. Per cambiare il tempo non ci vuole una farfalla ma qualcosa di molto più grosso.

L: Tipo l'azione dissennata di miliardi di esseri umani. La saluto, ho voglia di andare a vedere come sono cambiati i computer per le previsioni del tempo in questi ultimi anni. Ho saputo che riuscite a fare previsioni affidabili addirittura per alcuni giorni nel futuro!

I: Sì, anche se l'errore è sempre in agguato. Buona esplorazione e arrivederci.

L: Arrivederci anche a voi.

Wilhelm Röntgen



RadioMoka 2 febbraio 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/Oi2Bgjwdclw>

I: Per le interviste impossibili di oggi abbiamo nientepopodimeno che il primo premio Nobel della storia per la Fisica. Benvenuto professor Röntgen.

R: Grazie, sono molto contento di essere qui.

I: Lei è famoso per aver scoperto i raggi X.

R: Diciamo che sono il primo ad averli descritti in termini scientifici, in realtà erano stati osservati già da prima, anche senza riconoscerli. Anche per questo mi sono sempre opposto a chi voleva chiamarli con il mio nome.

I: Ci può intanto raccontare la sua vita?

R: Volentieri. Sono nato nel 1845 da una famiglia mista, mio padre era tedesco e mia madre olandese. Sono andato a scuola a Utrecht, ma a vent'anni venni espulso per una



William Röntgen, 1901.¹⁹

¹⁹ https://it.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Conrad_R%C3%B6ntgen

caricatura di un insegnante, che in realtà era stata fatta da un mio compagno. Senza diploma, non potevo iscrivermi

all'università, e quindi frequentai alcuni corsi come semplice uditore. Però alla fine scoprii che potevo iscrivermi al politecnico di Zurigo, dove studiò anche Einstein.

I: E come mai poteva iscriversi senza diploma?

R: Il politecnico è sempre stato molto flessibile, anche chi non ha titoli può provare a passare l'esame di ingresso. Così alla fine presi il dottorato di ingegneria meccanica. Dopo vari cambi di università, nel 1900 arrivai finalmente all'università di Monaco, ma avrei voluto trasferirmi negli Stati Uniti, dove avevo dei parenti.

I: E perché non lo fece?

R: Avevo già l'incarico alla Columbia University di New York, ma scoppiò la Prima guerra mondiale e rimasi a Monaco.

I: Ci racconta delle sue scoperte?

R: A quei tempi, erano tutti molto intenti a studiare gli effetti dell'elettricità, e uno dei campi di indagine erano le scariche nei tubi in cui era stato fatto un vuoto più o meno spinto. Per intenderci, più o meno i vostri tubi al neon.

I: Per farci delle lampadine?



Un tubo di Crookes.²⁰

²⁰ https://it.wikipedia.org/wiki/Tubo_di_Crookes

R: Beh, anche per cercare di capire qualcosa su come era fatto un gas. Il tubo che veniva più studiato era il tubo Crookes, inventato nel 1875. In questo tubo veniva fatto un vuoto parziale, ovvero restava poca aria, e poi si faceva passare una

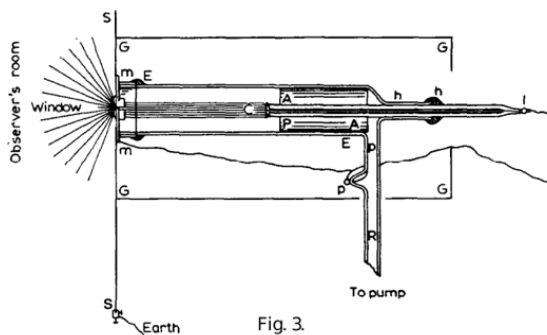


Fig. 3.

Uno dei primi tubi a raggi X.

scarica con un potenziale di qualche centinaio di chilovolt. Il tubo fu studiato anche da Davy e Faraday. Si sapeva che questo tubo aveva il potere di generare degli aloni luminosi, specialmente nei materiali fluorescenti, e di impressionare una lastra fotografica anche se era chiusa in una busta.

I: E nessuno studiava il motivo?

R: Diciamo che nessuno fece degli studi sistematici, solo delle osservazioni sparse. Per esempio, Tesla notò che le pellicole si impressionavano anche con altri tipi di circuiti ad alta tensione. Hertz e Lenard cercarono di capire se questa radiazione era di tipo elettromagnetico o corpuscolare, ma non ci capì molto perché in realtà si producono sia elettroni che onde, e le stesse onde si possono produrre in tante altre maniere.



La prima radiografia.²¹

²¹ https://it.wikipedia.org/wiki/Raggi_X

I: In che senso?

R: I raggi X sono onde elettromagnetiche con frequenza di oscillazione molto più alta di quella della luce visibile, e di conseguenza lunghezza d'onda molto corta. Si producono in genere per frenamento di elettroni, per esempio facendo uscire degli elettroni da un metallo tramite riscaldamento, accelerandoli poi



Radiografie casalinghe (1896).²²

con un campo elettrico e facendoli infine collidere con un bersaglio. Questi elettroni si chiamano “raggi catodici” perché vengono emessi dal catodo, l'elettrodo negativo. Quando gli elettroni si frenano sul bersaglio o sul vetro della valvola, si generano raggi X. Nei tubi Crookes invece l'alto voltaggio riusciva a strappare gli elettroni dagli atomi del gas nel tubo, che poi venivano accelerati. Se la densità del gas era abbastanza alta, gli elettroni dopo poco collidevano di nuovo, e si generava luce visibile. Con densità più basse si generava luce ultravioletta, è quello che succede nei tubi al neon in cui poi la luce ultravioletta viene convertita in luce visibile dai fosfori depositati sul vetro.

I: Ecco perché i tubi fluorescenti sono bianchi e non trasparenti.

R: Esatto. E poi in un tubo a scarica si vede una zona oscura vicino al catodo, dove gli elettroni sono ancora troppo poco veloci per emettere, ma nei tubi fluorescenti si usa una corrente alternata, e quindi le zone scure sono alternativamente ai due estremi e non si vedono.

I: E poi?

²² https://it.wikipedia.org/wiki/Storia_della_radioprotezione

R: Se si abbassa ancora la densità del gas si cominciano ad emettere raggi X, che però sono completamente invisibili.

I: E qual era la difficoltà?

R: Che nessuno aveva idea dell'esistenza degli elettroni come particelle che costituivano gli atomi, e neppure che potessero esistere delle radiazioni elettromagnetiche di frequenza così alta. Tenga conto che gli elettroni furono scoperti nel 1897 da J.J.

Thompson, e che ci volle tempo per capire che l'atomo non era indivisibile.

I: E lei che fece?

R: Nel 1895 io stavo studiando questi effetti usando un tubo Lenard, ovvero un tubo Crookes con una finestrella coperta da un sottile foglio di alluminio che, ora si sa, permetteva anche ad alcuni elettroni di uscire. Avvolsi il tutto con cartone nero e lo accesi per verificare che il cartone bloccasse tutta la luce eventualmente prodotta. Mentre facevo così mi accorsi che lo schermo fluorescente che volevo usare per il resto dell'esperimento cominciava a brillare, anche se effettivamente il tubo era tutto ben schermato. Dopo alcune settimane in cui letteralmente non uscii dal laboratorio, riuscii a scoprire molti aspetti della radiazione emessa, che chiamai per il momento "radiazione X", dato che non sapevo cos'era.



Una paziente esaminata con un fluoroscopio toracico nel 1940.²³

²³ <https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray>

I: E il nome rimase.

R: Già. Nel frattempo, mi resi conto che i raggi penetravano anche il corpo umano, e feci la prima radiografia, quella della mano di mia moglie con il suo anello. Quando la vide lei disse che “aveva visto la sua morte”, ovvero il suo scheletro da viva.

I: Immagine che fece molto scalpore.

R: Certo. Immediatamente tantissime persone si costruirono tubi simili e cominciarono a radiografare a destra e a manca, ovviamente senza protezione. Addirittura, si usavano schermi fluorescenti per vedere “in tempo reale” all’interno dei corpi per esempio i movimenti dei feti.

I: Immagino che ci si rese conto presto che i raggi X erano pericolosi.

R: Beh, l’anno dopo Becquerel scoprì la radioattività dell’uranio, e pochi anni dopo arrivarono il polonio ed il radio. Il radio emette raggi gamma, molto simili ai raggi X, e in effetti fu molto usato per fare radiografie. Inoltre, i raggi X e gamma possono curare tumori della pelle, oltre a generarne di nuovi. Insomma, c’era una grande confusione. Si capì presto che le radiazioni intense causavano bruciature e caduta di capelli, ma ci volle molto di più per intuire che inducevano tumori. Per esempio, ci furono subito estetisti pronti a depilare con i raggi X.

I: Anche lei ebbe dei danni?

R: Sono morto di un carcinoma intestinale, ma nel 1923, a 78 anni, non male per la mia epoca.

I: La scoperta lo rese famoso.



Una classica pubblicità anni '70 di sedicenti occhiali a raggi X.

R: Certo. L'idea di raggi che passavano attraverso i corpi e permettevano di vedere all'interno di questi catturò l'immaginazione. Del resto, Superman ha appunto la vista a raggi X. E ovviamente si pensò subito di usarli per vedere sotto le vesti delle donne, come con i famosi "occhiali a raggi X" che venivano venduti nei giornalini dei vostri anni '80. Così uscirono subito i vestiti "a prova di raggi X". Anche questi, come gli occhiali a raggi X, erano delle bufale.

I: Grazie professore, è stato molto istruttivo.

R: Arrivederci a voi e ai vostri ascoltatori.

Ernst Ising



RadioMoka 26 gennaio 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/1giXn1V4S-Q>

I: Per le interviste impossibili di oggi abbiamo una persona a suo modo speciale. Ernst Ising, quello del "modello di Ising". Benvenuto professore!

El: Grazie del benvenuto. Ricordo quando mi hanno chiesto per la prima volta "Ma lei è quello del Modello di Ising?". Era il 1947, ma il mio modello risale al 1924.

I: Ci può raccontare la sua vita?

El: È stata abbastanza avventurosa. Sono nato nel 1900 a Colonia, in una famiglia ebrea. Ho

partecipato per qualche mese alla Prima guerra mondiale. Ricordo come terminò: ero salito su una scala per appendere un cartello. Quando riuscii a fissarlo, mi guardai intorno ed ero completamente solo: la guerra era finita e tutti erano andati via. Dopodiché entrai all'università di Gottinga e poi ad Amburgo e studiai matematica e fisica. Feci il dottorato sempre ad Amburgo sotto la direzione di Wilhelm Lenz, che è il vero ideatore del famoso modello che porta il mio nome. Nel gruppo di Lenz



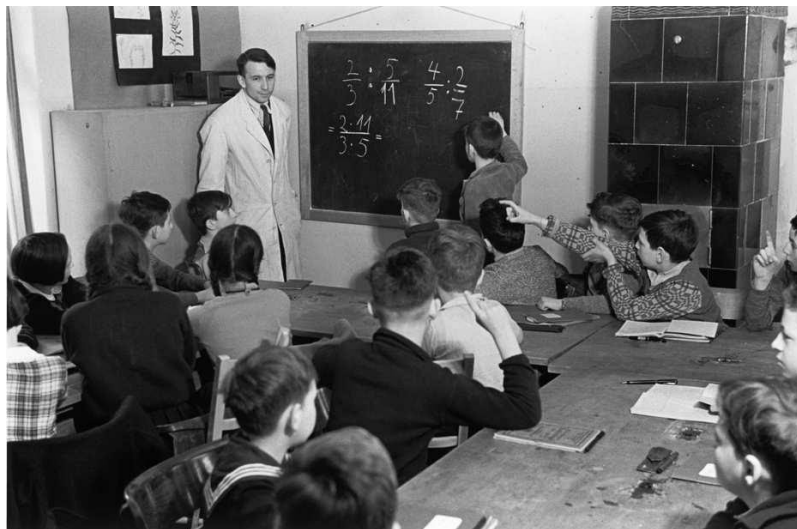
Ernst Ising nel 1925.²⁴

²⁴ T. Ising, R. Folk, R. Kenna, B. Berche, Yu. Holovatch, *The Fate of Ernst Ising and the Fate of his Model*, Journal of Physical Studies 21(3), Article 3002 (2017) DOI: <https://doi.org/10.30970/jps.21.3002>

c'era anche Wolfgang Pauli, che però era già assistente e molto più brillante di me.

I: E dopo il dottorato che fece? Non rimase nell'università, vero?

El: No, forse perché il risultato della mia tesi era essenzialmente nega-



Ernst Ising e una sua classe al Landschulheim Caputh.²⁵

tivo, e non riuscii a tirarci fuori neppure una pubblicazione decente. Veramente ironico, pensando che oggi appaiono circa 800 lavori all'anno sul mio modello. Andai a lavorare fuori, alla AEG (ora General Electric), a Berlino.

Però preferivo insegnare, e così nel 1930 presi l'abilitazione e passai all'insegnamento nelle scuole medie e superiori. Inoltre, avevo conosciuto la mia futura moglie Johanna, che aveva un dottorato in economia, e insegnava all'università. Però nel 1933 tutti gli insegnanti ebrei furono

²⁵ T. Ising, R. Folk, R. Kenna, B. Berche, Yu. Holovatch, The Fate of Ernst Ising and the Fate of his ModelJournal of Physical Studies 21(3), Article 3002 (2017) DOI: <https://doi.org/10.30970/jps.21.3002>

licenziati, ed io riuscii a sopravvivere facendo lezione ai bambini ebrei, che pure erano stati espulsi dalle scuole pubbliche.

I: Un periodo difficile...

El: Un vero incubo, durato 12 anni. Per fortuna mia moglie era ariana, cosa che probabilmente mi salvò quando nel 1939 fui arrestato dalla Gestapo. Mi lasciarono solo quando promisi che avrei lasciato la Germania, ma del resto avevano distrutto anche la scuola in cui insegnavo. Riuscimmo ad andare in Lussemburgo, con una compagnia di musicisti. Volevamo in realtà emigrare negli Stati Uniti, ma le quote erano esaurite. Per il mio 40-esimo compleanno ricevetti in regalo l'invasione tedesca, ma riuscimmo a sopravvivere facendo lavori sempre più umili, feci il pastore e lo stradino.

I: Non capisco perché molti ebrei di coppie miste furono internati, ma lei no.

El: Forse perché la discendenza ebrea avviene per via materna, così mio figlio era considerato "ariano". Per fortuna la nostra zona non fu mai teatro di guerra, anche se fummo costretti a lavorare per l'esercito. Comunque, solo 36 ebrei sopravvissero in tutto il Lussemburgo.

I: E poi?

El: Nel 1947 finalmente arrivammo a New York, dove ho insegnato in un college. Devo dire che gli studenti erano parecchio diversi da quelli che avevo in Germania... L'anno dopo mia moglie ed io fummo assunti dalla Bradley University a Peoria, nell'Illinois, dove lavorammo fino alla pensione.

I: Adesso ci deve parlare del suo modello.

El: Volentieri. All'inizio del '900 il magnetismo era un fenomeno misterioso. In natura ci sono tre tipi di materiali per quanto riguarda le loro proprietà magnetiche: i diamagneti, i paramagneti e i ferromagneti. I diamagneti sono quei materiali che vengono respinti da una calamita. In realtà tutti i materiali sono diamagnetici, ma di solito questo effetto è molto debole e mascherato dagli altri. L'origine del diamagnetismo è quanto-meccanica, ma si può dare una spiegazione classica (anche se sbagliata) pensando ad un elettrone che gira intorno al nucleo come ad una spirale percorsa da corrente. Quando si cerca di aumentare il campo magnetico che passa in una spirale, in questa si genera una corrente che si

oppone a questa variazione. Un effetto simile avviene nel diamagnetismo.

I: E il paramagnetismo?

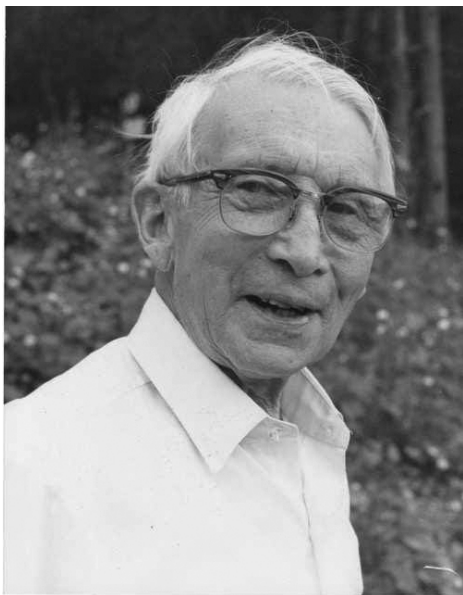
El: Questo è più semplice, avviene nei materiali che hanno un elettrone spaiato. Dato che l'elettrone ha un momento magnetico, e anche la sua orbita si comporta come un magnetino, in totale l'atomo si comporta come una calamitina. Se si mette una calamita in un campo magnetico questa si allinea e viene attratta da un'altra calamita, come fanno i paramagneti.

I: E anche le calamite vere, no?

El: Sì, ma non si possono pensare le calamite come formate da tanti paramagneti.

I: E perché no?

El: Perché se uno accosta dei paramagneti, o delle calamitine, quello che succede è che si dispongono in maniera da abbassare l'energia, ovvero nord con sud e sud con nord, mentre in una calamita i magnetini che stanno accanto sono disposti paralleli e rafforzano il campo. Ovvero: se lei polverizza una calamita, la polvere non si comporta più come una calamita, ma piuttosto come un paramagnete e il campo risultante è praticamente nullo.



Ernst Ising nel 1987.²⁶

²⁶ Foto di Thomas Ising. <https://physik.uni-koeln.de/en/studium/studies/ernst-ising-dissertation-prize>

I: Quindi quello che allinea i magnetini elementari in una calamita non è il campo magnetico?

El: No, l'aveva già dimostrato Bohr che non poteva essere un effetto puramente magnetico. Quello che succede, ma fu scoperto molto dopo da Heisenberg con il contributo del principio di esclusione di Pauli, è che in certi atomi come quello del ferro gli elettroni di atomi vicini "preferiscono" allineare lo spin, perché così stanno in media più lontani dato che in ogni orbitale ci può stare solo un elettrone con un certo spin, e questo abbassa l'energia elettrostatica, che è repulsiva per due elettroni.

I: E qual era il problema che angustiava Lenz?

El: Pierre Curie aveva mostrato che se si scalda un ferromagnete, ad una certa temperatura questo perde la magnetizzazione e diventa un paramagnete, è quella che si chiama una transizione di fase. E Weiss aveva mostrato che in un ferromagnete esistono delle zone ampie, detti domini magnetici, in cui gli atomi stanno tutti allineati. Ma non era chiaro qual era il meccanismo più semplice per avere questo allineamento. Lenz si era domandato se, supponendo che esistesse una interazione di allineamento tra atomi vicini, questa fosse sufficiente a generare un allineamento generale.

I: E perché non dovrebbe bastare?

El: Perché la temperatura tende a distruggere l'ordine. Sapevamo che in un modello in cui ogni atomo sente l'interazione con tutti gli altri, c'è una transizione ferromagnetica. Ma in questo caso due atomi interagiscono anche se sono a grande distanza. Era necessario imporre una interazione a lunga distanza? Fisicamente non era molto plausibile, ma non sapevamo se sarebbe bastato imporre una interazione solo tra primi vicini.

I: Ho capito. E lei cosa fece?

El: Il compito in principio è semplice: basta contare tutte le possibili configurazioni e sommare la loro energia. Però questo va fatto nel limite di un reticolo infinito, quindi bisogna trovare delle scorciatoie. Ora, quando gli atomi sono indipendenti la scorciatoia è banale, ma non si trova nulla. Io studiai il caso di atomi allineati in catene lineari, mentre il caso di atomi disposti su un piano fu risolto solo nel 1944 da Onsager, e quello di atomi disposti in un cubo è ancora irrisolto. E chiaramente non avevamo computer per fare simulazioni.

I: E cosa trovò?

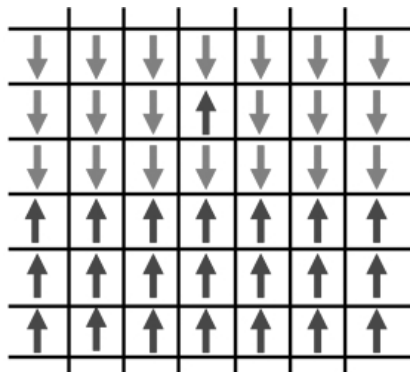
El: Che in una dimensione non si vedeva nessuna transizione, e in effetti c'è un teorema generale che lo dice. Quindi, conclusi, il modello non permetteva di spiegare le transizioni di fase neppure in due o più dimensioni.

I: E non è così, come ha detto.

El: Infatti. Nel 1936 fu provato che in due dimensioni il modello avrebbe funzionato, e da lì in poi diventò sempre più famoso.

I: Ma come mai? Così tanta gente si interessava al ferromagnetismo?

El: Il fatto è che vicino ad una transizione di fase prevalgono gli effetti a lunga distanza, e i dettagli del modello diventano irrilevanti. Così che il mio modello si può applicare a un'infinità di casi, sia in fisica che in altre discipline. Per esempio, pensi ad un modello di formazione di una maggioranza in una consultazione pubblica. Ogni persona tenta di convincere i vicini, ovvero di farli allineare con la propria opinione. Se ci sono solo due opzioni, abbiamo il mio modello, in prima approssimazione.



Il modello di Ising in 2D.

I: È vero! E quindi si apprezzò l'importanza del modello semplificato?

El: Wannier, nel 1966, scrisse che "Il risultato più importante della meccanica statistica è il modello di Ising", e Kadanoff nel 2013 disse che con il mio lavoro, c'è stato un cambiamento epocale nella fisica, per la prima volta si poté descrivere il comportamento collettivo dei materiali.

I: Peccato che lei non abbia potuto sfruttare la notorietà!

El: In realtà mi dispiace soprattutto per Lenz. Non solo non riuscì a confermare l'importanza della sua intuizione, ma il modello da lui inventato ha poi preso il mio nome, e del suo non si ricorda nessuno, o quasi.

I: Ma non c'è la legge di Lenz? Quella che dice che la forza elettromotrice indotta in una spira è tale da opporsi alla causa che l'ha generata? L'abbiamo sfruttata per spiegare il diamagnetismo.

El: Quello è Heinrich Lenz, fisico russo dell'inizio 800, il mio tutor era Wilhelm Lenz, nato nel 1888, che è stato assistente di Sommerfeld.

I: Lei è stata veramente una brava persona, e mi dicono anche un ottimo insegnante. Siamo molto felici di averla avuta qui a RadioMoka. Arrivederci.

El: Arrivederci anche a voi ed ai vostri ascoltatori.

Hugh Everett III



RadioMoka 9 febbraio 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

Versione lunga per Fisicast 1 novembre 2020 (voci di Franco Bagnoli e Chiara Piselli).

<https://youtu.be/aJde2XUG0Zo>

I: Buongiorno prof. Everett.

E: Buongiorno a voi, ma non sono professore.

I: Lei non è molto conosciuto.

E: No, davvero. Direi che sono stato ignorato per più di vent'anni.

I: Dato che molti di quelli che ci leggono probabilmente non hanno mai sentito parlare di lei, ci racconta qualcosa della sua vita e delle sue scoperte?

E: Volentieri. Sono nato nel 1930 e sono cresciuto un po' con mia madre e un po' con mio padre, che si erano separati. Mio padre era militare e dopo la Seconda guerra mondiale andai per un po' da lui che era di stanza in Germania.

Lì prendemmo parecchie fotografie della ricostruzione, evitando di riprendere le persone.

I: E perché? privacy?



Hugh Everett III nel 1964.²⁷

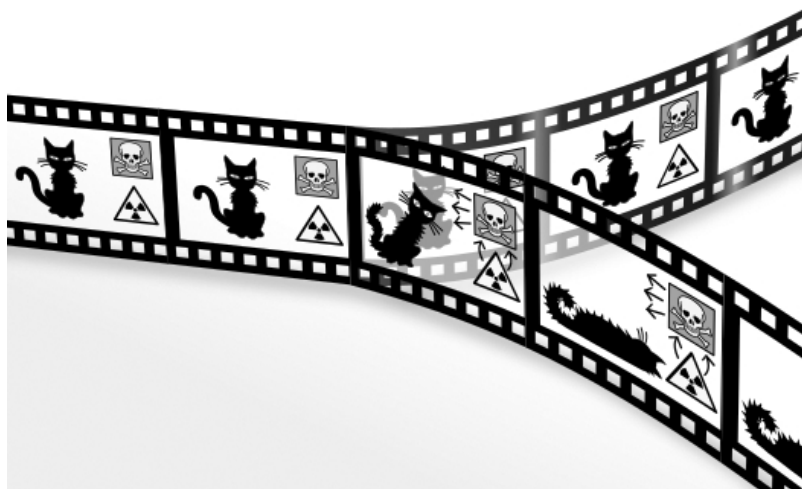
²⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Hugh_Everett_III#/media/File:Hugh-Everett.jpg

E: No, erano semplicemente irrilevanti dal punto di vista tecnico. Mi sono poi iscritto alla Università Cattolica d'America, e poi a Princeton. Ho studiato matematica. Poco prima di laurearmi cominciai a seguire dei corsi di fisica quantistica, e poi feci il dottorato con Wheeler, lo stesso che fece da supervisore a Feynman.

I: Un tipo interessante?

E: Molto. Mi stimolò a studiare un problema insolito: il collasso della funzione d'onda.

I: Uno dei capisaldi della interpretazione di Copenhagen!



Il gatto in una sovrapposizione di stati.²⁸

E: Già. Secondo Max Born, la funzione d'onda di Schroedinger si deve interpretare in senso probabilistico: il suo modulo quadrato in un punto dà la probabilità di osservare l'evento.

I: Vuole dire trovare un elettrone, un protone o cose così?

E: La funzione d'onda non descrive una particella, descrive tutto il sistema. Prendiamo per esempio due elettroni. Se li consideriamo isolati,

²⁸https://it.wikipedia.org/wiki/Interpretazione_a_molti_mondi

ognuno è descritto da una funzione d'onda. Se invece interagiscono, la funzione d'onda descrive il comportamento del sistema da loro composto. Se non hanno mai interagito, la funzione d'onda complessiva è semplicemente il prodotto delle due funzioni d'onda, ma dopo che hanno interagito non si può più separare, i due elettroni diventano entangled, attorcigliati.

I: E questo che vuol dire?

E: Che se faccio delle osservazioni contemporanee sui due elettroni, posso trovare delle correlazioni che dimostrano che hanno interagito nel passato. Per esempio, potrebbero tornare a interagire e il risultato può dipendere dalla interazione precedente, ovvero fanno interferenza. E come ha detto Feynman anche qui, non solo un elettrone può interagire con un altro elettrone, ma anche con se stesso, come nell'esperimento della doppia fenditura. È come se un elettrone "esplorasse" contemporaneamente tutte le possibili alternative.

I: Certo, me lo ricordo, anche se è una cosa difficile da capire. E il collasso?

E: L'equazione di Schrödinger, e anche quella di Dirac, sono equazioni lineari, il che vuol dire che un oggetto quantistico può stare in una sovrapposizione di stati, per esempio un elettrone può stare con lo spin su, lo spin giù, o in una combinazione su + giù.

I: E questo che conseguenze ha?

E: Che quando vado a misurare il suo spin, se è su lo trovo sempre su, se è giù lo trovo sempre giù, ma se è in una sovrapposizione lo trovo a volte su e a volte giù, a seconda del modulo quadrato dei coefficienti.

I: Chiaro.

E: E non solo: una volta che l'ho misurato "fisso" il suo spin, se lo misuro su, e poi dopo un po' di tempo lo rimisuro, senza che l'elettrone abbia interagito con nulla, lo trovo sempre su. Quindi ho modificato irreversibilmente la sua funzione d'onda.

I: Cosa c'è che non va?

E: Che questa modifica non è prevista dall'equazione di Schrödinger, bisogna inserirla "ad hoc". Nell'interpretazione di Copenhagen si dice che l'osservatore fa collassare la funzione d'onda. Ma cos'è un osservatore?

I: Il problema del gatto di Schrödinger?

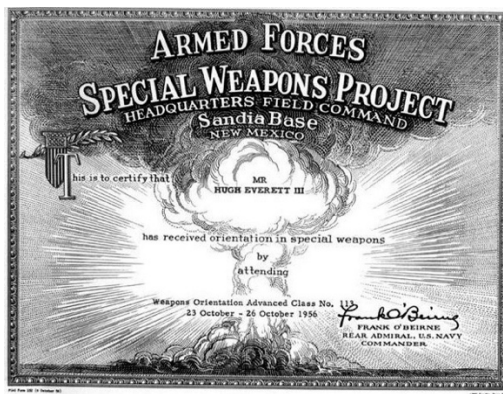
E: Esatto. Secondo la meccanica quantistica, anche il gatto è descritto da una funzione d'onda. Una volta che ha interagito con l'elettrone, diventa entangled con questo, e quindi se l'elettrone era in una sovrapposizione di stati su e giù, e, supponiamo, lo stato giù fa scattare un meccanismo che ammazza il gatto, allora il gatto + elettrone stanno in una sovrapposizione di stati elettrone su + gatto vivo ed elettrone giù + gatto morto.

I: Questo finché non guardiamo nella scatola.

E: Ma perché solo un umano può far collassare la funzione d'onda? Il gatto non è un osservatore? Quali sono le caratteristiche di un osservatore? Su questo problema si è discusso a lungo.

I: E la sua soluzione?

E: Che non c'è nessun collasso. Guardando nella scatola anche noi diventiamo entangled con l'elettrone e il gatto, e quindi saremo in una sovrapposizione noi felici+gatto vivo+elettrone su e noi tristi+gatto morto+elettrone giù.



Il certificato di "specializzazione" in armamento di Everett.²⁹

I: Ma come possiamo essere contemporaneamente felici e tristi?

E: Perché noi, come del resto tutto il mondo, secondo la mia teoria esistiamo in tutte le possibili combinazioni. Ogni volta che c'è una interazione quantistica è come se aumentassero gli universi paralleli, e tutte le alternative esistono in uno di questi universi.

I: È pazzesco. Magari in uno di questi universi io sono morto.

²⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/Hugh_Everett_III

E: E in un altro io sono ancora vivo. Io ho sempre creduto in questa forma di immortalità quantistica. Purtroppo, in questo universo io sono morto di attacco cardiaco a 51 anni.

I: La sua teoria non è stata accettata?

E: No, per vent'anni nessuno l'ha considerata degna di un'occhiata, andai anche a parlarne con Bohr che ovviamente non ci capì nulla ma comunque non prese neppure in considerazione la mia eresia. Così lasciai la ricerca e mi misi a lavorare per i militari. Poi nel 1970 Bryce DeWitt scrisse un articolo per *Physics Today* in cui coniò l'espressione di "universi paralleli", che diventò famosa. Wheeler, che comunque non condivideva la mia teoria, cercò che di farmi rientrare all'università. Hawking disse che la mia teoria era "banalmente vera".

E: E poi che è successo?

I: Il problema della mia teoria è che è inverificabile, almeno se la meccanica quantistica è strettamente lineare. In un determinato universo la mia teoria e l'interpretazione di Copenhagen danno gli stessi risultati. Ma gli universi paralleli potrebbero essere accoppiati, e sono stati descritti esperimenti per testare questa ipotesi. Nel caso lo fossero, sarebbe forse possibile fare viaggi nel tempo, anche se in universi diversi dal nostro.

E: Lei aveva famiglia?



*Mark Oliver Everett.*³⁰

³⁰ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mark_Oliver_Everett.jpg

I: Una famiglia piuttosto sfortunata. Io come ho detto sono morto a 51 anni. Ho chiesto che le mie ceneri venissero gettate nella spazzatura, tanto io ero sicuro di essere vivo in un qualche universo. Mia figlia si è suicidata, ma anche lei ha chiesto di gettare via le sue ceneri, tanto in un qualche universo sarebbe stata insieme a me. Mia moglie è morta di cancro, ma mio figlio Mark Oliver invece è vivo e fa il cantante di successo. È Mr. E degli Eels. Lui dice di essersi ispirato alle tragedie familiari, così come vede tutto serve a qualcosa. C'è un bel documentario della BBC che racconta come Mark sia andato alla mia ricerca, per capire chi ero e cosa diceva la mia teoria.

I: È stata un'intervista interessantissima. La saluto dr. Everett.

E: Saluto anche a voi e i vostri lettori, almeno quelli che stanno negli universi in cui esistiamo io, lei, e anche loro.

Fred Hoyle 1



RadioMoka 23 febbraio 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

Versione lunga per Fisicast 1° aprile 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/A80LqgarT-w>

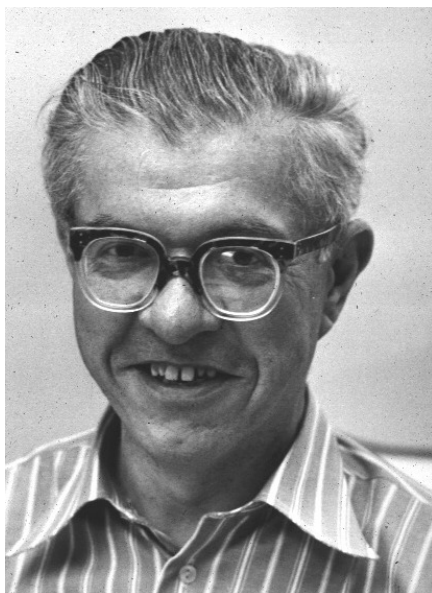
I: Per le interviste impossibili, oggi abbiamo una persona eccezionalmente eclettica: Fred Hoyle, fisico del '900 noto per la sua teoria alternativa al Big Bang e per i suoi romanzi di fantascienza

Ben arrivato, professore.

H: Grazie per avermi invitato. Sa, a volte penso che la gente mi eviti per le mie teorie non proprio ortodosse.

I: L'abbiamo invitata appunto per discutere di questo. Ci racconta un po' della sua vita?

H: Sono inglese, figlio di musicisti, ed ho studiato matematica. Durante la Seconda guerra mondiale ho lavorato nel campo dei radar, un elemento fondamentale per difenderci dai raid tedeschi, e anche per poi attaccarli. Una cosa che probabilmente non è conosciuta, è



Fred Hoyle nel 1972.³¹

³¹ <http://www.phys-astro.sonoma.edu/brucemedalists/hoyle/hoyle.jpg>

che queste ricerche nel Regno Unito impiegavano più persone di quelle coinvolte nel progetto Manhattan negli Stati Uniti.

I: Accidenti! Immagino che dietro il radar ci fosse un'organizzazione molto complessa.

H: Certo, bisognava coordinare chi operava con il radar con la difesa o la guida degli aerei, che di solito dipendevano da amministrazioni diverse e quindi parlavano difficilmente tra loro. Ovviamente c'era anche un pululare di spie, di maneggioni e di altre figure ambigue, che ho poi utilizzato nei miei romanzi di fantascienza, che non sono pura tecnologia ma comprendono anche gli aspetti spionistici ed organizzativi.

I: Ne parleremo dopo, vuole? Continui a raccontarci la sua vita.

H: Dopo la fine della guerra, il gruppo di ricerca militare per cui lavoravo mi pagò alcuni viaggi in America, durante i quali entrai in contatto con alcuni astronomi e fisici nucleari che mi illustrarono alcuni dei problemi aperti nei rispettivi campi d'indagine.

I: Ce ne può parlare?

H: Cominciamo con ordine. Nella prima metà del '900 c'era un'accesa discussione tra gli astronomi sulla staticità o meno dell'Universo. Einstein aveva scoperto le leggi della Relatività Generale, con cui poteva descrivere la gravità dell'intero Universo. Il russo Alexander Friedman sviluppò le equazioni di Einstein e calcolò i tre scenari possibili per un Universo omogeneo nello spazio: a seconda della densità media della materia che contiene esso può espandersi per poi ricollassare, oppure può espandersi indefinitamente con un moto sempre più lento fino a un diametro massimo, o infine, se la densità è molto bassa, può espandersi per sempre. Le galassie infatti non possono rimanere ferme le une rispetto alle altre perché la loro massa genera una curvatura dello spazio-tempo che contrarrebbe l'intero Universo facendolo collassare su se stesso.

I: Ma Einstein non era d'accordo...

H: Einstein era convinto della staticità dell'universo, e quindi introdusse quella che chiamò "costante cosmologica", che è praticamente equivalente ad una forza repulsiva, quella che ora voi chiamate energia oscura. Ma non bastò.

I: E perché?

H: Perché la soluzione stazionaria trovata da Einstein è instabile, è come la posizione di equilibrio di una bilia sopra una palla. Una qualsiasi perturbazione, per esempio una fluttuazione della densità del cosmo, porta al collasso, il “big crunch” o all’espansione illimitata. Einstein disse che l’introduzione della costante cosmologica era stato il peggior errore della sua vita, ma oggi viene accettata da tutti gli astronomi, anche se in un quadro completamente diverso, ovvero come “motore” che giustifica l’espansione sempre più rapida dell’universo, ed anche, subito dopo il Big Bang, come origine dell’inflazione, o stiramento, che ha reso l’universo così omogeneo.

I: E cosa fece cambiare idea a Einstein?

H: I fatti sperimentali. L’astronomo Hubble misurò direttamente la velocità rispetto a noi di un gran numero di galassie e vide che in effetti l’Universo è in espansione, poiché tutte le galassie recedono con velocità proporzionale alla loro distanza da noi. Secondo il prete e astrofisico Georges Lemaître questa era una dimostrazione di una sua origine “puntiforme”. In effetti, se l’Universo è in espansione vuol dire che nel passato era più piccolo e i modelli di Friedman dicevano che in effetti ci doveva essere un tempo nel passato in cui l’intero Universo era concentrato in un solo punto, quello che Lemaître chiamava l’“atomo primigenio”.

I: La creazione biblica?

H: A dire la verità, Lemaître ha sempre voluto tener separate religione e astronomia. È vero che descrisse questo evento come “l’uovo cosmico che esplodeva al momento della creazione”, alludendo alle intuizioni cosmologiche di molti popoli, ma quando nel 1951 il papa Pio XII voleva dichiarare che la sua teoria era una prova del cattolicesimo, lui e il consigliere scientifico papale, Daniel O’Connell, convinsero il pontefice a soprassedere.

I: Ma comunque lei non era d’accordo. Perché?

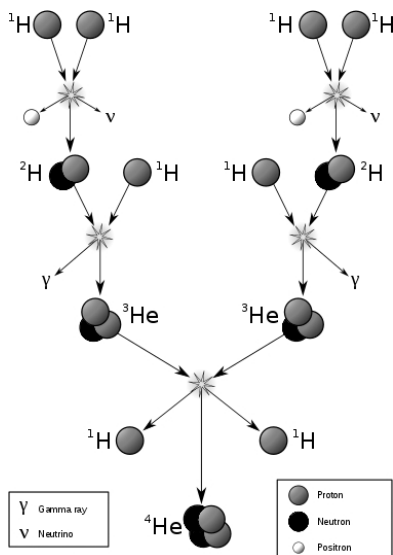
H: Ero d’accordo con Lemaître che l’universo si stava espandendo, cosa del resto confermata dalle osservazioni di Hubble, ma non ero d’accordo che ci fosse stata una origine esplosiva, proprio perché assomigliava troppo alla creazione, come dissi nella famosa intervista radiofonica nel 1950 dove coniai il termine “Big Bang”. E poi il fatto che Lemaître fosse un prete era comunque sospetto. Così, per sbotterlo, inventai il termine “Big Bang”, che poi, ironia della sorte, è quello che è stato accettato.

I: Davvero l'ha fatto perché odiava Lamaître?

H: Ma no, scherzavo. È vero che una volta dissi che per risolvere il problema dell'Irlanda del Nord bastava mettere in galera tutti i preti, sia quelli cattolici che quelli protestanti, perché instillavano l'odio, ma Georges era un mio buon amico e un ottimo astrofisico. Una volta andammo a fare una vacanza insieme, io, mia moglie e lui. Passammo un paio di settimane sulle Alpi italiane, divertendoci insieme. Ricordo che un venerdì sera andammo a cena, e io ordinai la carne, mentre Georges, che era appunto un religioso, ordinò il pesce. Ebbene, la mia porzione di carne era minuscola, e il suo pesce enorme. "Finalmente ho capito perché sei cattolico!" gli dissi per scherzare, ma vidi che lui arrossì. Pensavo di aver detto qualche cosa sconveniente che non capivo, poi mi ricordai che lui odiava il pesce!!

I: Ma senza Big Bang come spiegava l'espansione dell'universo?

H: A me non piaceva l'idea che l'Universo cambiasse nel tempo e che avesse un inizio: i modelli cosmologici di Friedman erano basati sul Principio Cosmologico, secondo il quale l'Universo non ha un centro ma è omogeneo e isotropo, che vuol dire uguale in ogni posto e uguale in ogni direzione, senza nessun luogo privilegiato. Secondo me doveva valere lo stesso per il tempo: l'Universo doveva anche essere eterno e uguale in ogni tempo, un'idea che chiamiamo Principio Cosmologico Perfetto.



Schema delle reazioni nella catena protone-protone.³²

³² https://it.wikipedia.org/wiki/Catena_protone-protone

I: E come fa? Se si espande diventa meno denso.

H: Secondo me, la materia si creava continuamente, per rendere la sua densità costante.

I: Una sorta di creazione continua? Un argomento piuttosto strano per un ateo, forse per questo in molti la considerano un sostenitore del disegno intelligente.

H: Effettivamente ho scritto un libro che si intitola "L'universo intelligente", ma non ho mai detto che c'era bisogno di un creatore. Se c'è una forma di energia legata allo spazio, quando questo si dilata l'energia aumenta finché non è sufficiente a creare della materia. Nella mia teoria quel che succedeva era la produzione di un nuovo atomo, che compariva in un posto a caso nell'Universo man mano che lo spazio si espandeva. La Teoria dello Stato Stazionario è rimasta per anni un'alternativa molto valida alla teoria del Big Bang. A dire la verità, questa teoria ha avuto l'appoggio di molti teologi, che la preferivano al Big Bang. Quest'ultimo infatti è un atto unico, una visione deista, mentre lo stato stazionario e la creazione continua è una prova dell'intervento continuo di Dio.

I: E poi?

H: È stata scoperta la radiazione cosmica di fondo.

I: E che cos'è?

H: Nel 1964 Arno Penzias e Robert Wilson scoprirono un'emissione di onde radio, nel dominio delle microonde, che proviene uniformemente da ogni direzione dell'Universo. Le caratteristiche di questo fondo erano esattamente quelle previste dalle formule della teoria del Big Bang, ovvero che si tratti delle onde elettromagnetiche emesse al momento in cui l'universo è diventato abbastanza freddo da permettere la separazione tra energia e materia. Questa radiazione si è poi raffreddata nel corso dell'espansione, ma può essere considerata come "l'eco" del Big Bang. La mia teoria non prevedeva questo fenomeno, che non fui in grado di spiegare in altro modo. Per questo dovetti abbandonarla. Però mi rifeci sulla teoria della formazione dei vari atomi, la cosiddetta nucleosintesi.

I: E che c'entra il Big Bang con la nucleosintesi?

H: L'idea, portata avanti da Gamow e altri, è che l'Universo abbia origine da una grossa concentrazione di energia dalla quale si produce, un po' come avviene nei moderni acceleratori di particelle, nuova materia,

grazie all'equivalenza tra massa ed energia scoperta da Einstein. Questa materia è inizialmente composta di protoni e neutroni che, raffreddandosi, possono combinarsi dando nuclei di deuterio. I neutroni da soli sono instabili, quindi dopo poco quelli che non si sono combinati decadono in protoni. Due nuclei di deuterio possono a loro volta unirsi dando luogo a un nucleo di elio, che è formato da due protoni e due neutroni, ma ci vuole una certa energia per superare la repulsione tra i protoni. Però l'energia di legame tra protone e neutrone nel deuterio è bassa: se queste particelle sono troppo “calde”, ovvero veloci, non si forma il deuterio. Se il deuterio diventa troppo freddo, a causa dell'espansione, non si forma l'elio.

C'è quindi bisogno di una tempistica adeguata: se l'espansione è troppo rapida non si forma abbastanza elio e tutto torna ad essere idrogeno, se è troppo lenta non rimane più idrogeno per formare le stelle. Alla fine di questa nucleosintesi primordiale abbiamo essenzialmente il 75% di idrogeno e il 25% di elio.

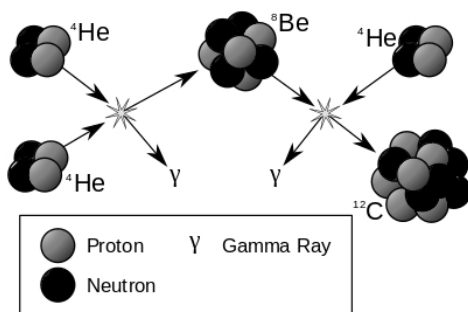


Diagramma del processo tre alfa.³³

I: Quindi siamo fortunati che l'espansione sia avvenuta con questa velocità.

H: Non è la sola coincidenza che secondo me è responsabile della vita sulla Terra, ma ne parleremo dopo. Comunque, anche se il Big Bang fosse avvenuto davvero, non si potevano essere formati gli elementi pesanti, non c'è stato tempo e poi c'è un collo di bottiglia, anzi due, dovuto al fatto che non esistono elementi stabili con 5 e 8 nucleoni.

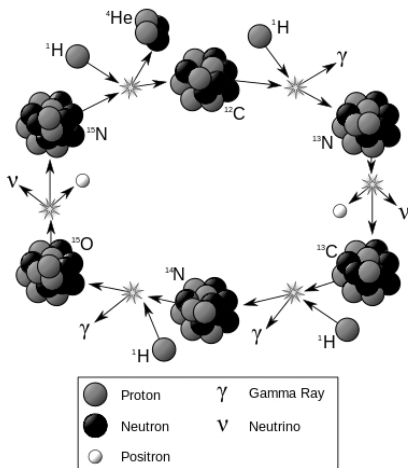
I: Nucleoni?

³³ https://it.wikipedia.org/wiki/Processo_tre_alfa

H: È il termine che indica sia protoni che neutroni.

I: Aha! E cosa comporta il fatto che non ci siano elementi stabili con 5 e 8 nucleoni?

H: Uno dei meccanismi che permette la creazione di nuovi elementi è la cattura neutronica, quando cioè un neutrone passa per caso vicino ad un nucleo atomico e viene catturato a causa della cosiddetta "forza nucleare", la forza di attrazione che tiene insieme protoni e neutroni nel nucleo atomico che a sua volta deriva dalla "forza forte", quella che tiene uniti i quark nei nucleoni. La cattura di un neutrone fa aumentare di uno la massa atomica, ma questo processo non può partire dall'elio, che ha massa 4, perché appunto appena si aggiunge un neutrone il nucleo dopo poco lo perde o si spezza. E non si possono neppure fondere due nuclei di elio perché il risultato è il berillio-8 che appunto è instabile.



I: E allora?

Il ciclo carbonio-azoto-ossigeno.³⁴

H: Qui entrano in azione le stelle. Nelle stelle l'idrogeno si fonde, formando elio e poi altri elementi pesanti fino al ferro, ma non è così ovvio come questo possa funzionare.

I: E come funziona?

H: Nelle prime stelle, dato che c'era solo idrogeno ed elio, si ha prima la fusione di due protoni, a formare un nucleo di deuterio con la trasformazione di un protone in un neutrone. Quindi si aggiunge un altro protone,

³⁴ https://it.wikipedia.org/wiki/Ciclo_del_carbonio-azoto-ossigeno

formando un nucleo di elio-3, e infine due di questi nuclei si fondono, formando un nucleo di elio-4 e liberando due protoni.

I: E gli elementi più pesanti?

H: L'unico isotopo stabile del berillio è il berillio-9, ma con due nuclei di elio si hanno a disposizione 8 nucleoni, non 9. Dobbiamo quindi pensare a un processo complicato, in cui due nuclei di elio si fondono generando il berillio-8, che però tenderebbe a disintegrarsi, a meno che subito dopo non si fonda con un altro nucleo di elio generando il carbonio. Questo processo è abbastanza improbabile, se non ci fosse una fortunata coincidenza: il nucleo di carbonio ha una "risonanza" proprio all'energia giusta, una cosa che ho suggerito io ben prima che venisse osservata sperimentalmente. Anzi, i fisici nucleari non ci volevano proprio credere.

I: Risonanza? Cos'è?

H: È un termine tecnico per dire che un nucleo sta in uno stato eccitato per un tempo sufficientemente lungo, ovvero con una probabilità sufficientemente alta. In fisica nucleare, bisogna tenere conto di tutti i processi possibili, a seconda della loro probabilità. L'insieme berillio-8 più particella alpha, ovvero elio-4, ha quasi la stessa energia di un livello eccitato del carbonio-12, quindi se berillio-8 ed elio-4 si trovano vicini, cosa che accade in una stella ma non nell'universo primordiale, possono combinarsi, per poi decadere nello stato fondamentale del carbonio-12 emettendo fotoni gamma. Se questo stato eccitato fosse stato troppo instabile, o ad energie diverse, il processo sarebbe stato troppo improbabile. Se lo stato del carbonio-12 fosse più stabile viceversa sarebbe accaduto troppo velocemente. E questa è la seconda incredibile coincidenza. Se la risonanza del carbonio fosse appena diversa, le stelle o non si accenderebbero, o terminerebbero troppo velocemente il loro combustibile.

I: Il carbonio è così importante?

H: Certo, serve come base per generare altri elementi per fusione con altri nuclei di elio, fino al nickel-56, ma anche perché serve come catalizzatore in un'altro tipo di reazione nucleare, detto ciclo carbonio-azoto-ossigeno, che è il "motore" dominante nelle stelle un po' più grandi del sole, ed è responsabile dei grandi moti convettivi, sempre nelle stelle, perché questo ciclo genera calore nella profondità della stella, mentre la fusione dell'idrogeno avviene più vicino alla superficie.

I: E come funziona questo ciclo?

H: Fu Bethe a spiegarlo. Cominciamo dal carbonio-12, questo cattura un protone, ovvero un nucleo di idrogeno, e diventa azoto-13, dissipando l'energia in eccesso come un fotone gamma. Questo azoto-13 decade poi in carbonio-13 per decadimento beta, sparando fuori un positrone, un neutrino ed altra energia gamma. Il carbonio-13 cattura un altro protone, diventando azoto-14 e...

I: Liberando energia.

H: Giusto. L'azoto-14 cattura un altro protone e diventa ossigeno-15, sempre generando energia. A questo punto c'è un altro decadimento beta, l'ossigeno-15 diventa azoto-15 che, catturando il quarto protone diventa...

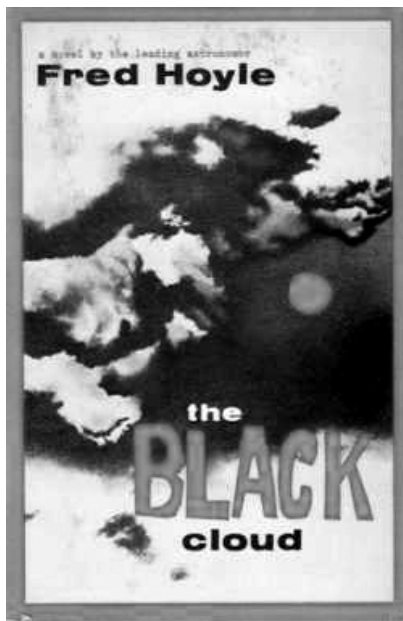
I: Ossigeno-16?

H: Potrebbe farlo, ma questo avviene solo lo 0,04% delle volte. Normalmente invece si forma carbonio-12 e un nucleo di elio.

Come si vede tutti gli elementi coinvolti ritornano allo stato iniziale, tranne i quattro nuclei di idrogeno che si fondono in un nucleo di elio, un nucleone alla volta, e i due positroni che dopo poco si annichilano con due elettroni generando altra energia. I neutrini invece scappano via.

I: E poi? Gli altri elementi?

H: Gli elementi più pesanti si formano per cattura neutronica, fino al ferro, che è l'elemento con il nucleo più stabile. Si possono generare



*Copertina del libro The Black Cloud
(La nuvola nera), 1957.³⁵*

³⁵ https://it.wikipedia.org/wiki/La_nuvola_nera

anche elementi più pesanti del ferro, ma che vengono poi ridisintegrati. Ma per fortuna ci sono le supernove.

I: Queste le conosco. Sono quelle immense esplosioni che avvengono alla fine della vita di una stella. Ma che ruolo hanno?

H: Esistono vari tipi di supernove, ma trascuriamo questo dettaglio. Prima di tutto, queste esplosioni espellono il materiale stellare nello spazio, fermando le reazioni nucleari e quindi “spandendo” i nuclei pesanti al di fuori della stella di origine, favorendo la nascita di altre stelle o di pianeti. Inoltre, durante l’esplosione, c’è un grande flusso di neutroni veloci, che possono essere assorbiti dai nuclei, aumentando la loro massa atomica e che eventualmente si trasformano in protoni. Questo assorbimento neutronico è responsabile della formazione circa la metà degli elementi più pesanti del ferro. Ultimamente



*L’inizio della miniserie (perduta) della BBC
“A for Andromeda” (1961).³⁶*

si è scoperto un altro meccanismo, la fusione di stelle di neutroni, che espellono parte del loro materiale durante lo scontro. Come per l’assorbimento neutronico, anche in questo caso i neutroni si possono trasformare in protoni, e questi agglomerati possono poi separarsi come nella fissione atomica, generando tutti i tipi di elementi.

L’onda d’urto delle supernove inoltre favorisce la nascita di altre stelle. Noi siamo effettivamente “figli delle stelle”, come cantava il vostro Alan Sorrenti.

³⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/A_for_Andromeda

I: Certo che ha fatto un sacco di cose diverse lei: il radar, la cosmologia, la nucleosintesi nelle stelle... senza contare che è famoso anche per la sua teoria dell'origine della vita nel cosmo, la cosiddetta "panspermia".

H: Sì, l'origine della vita sulla Terra mi sembrava troppo improbabile.

Una volta dissi: "che quella faccenda complicata e complessa che è una cellula sia nata spontaneamente e per caso sulla Terra ha la stessa probabilità che un tornado, passando su un deposito di rot-

tami, ne tiri fuori un Boeing 747 perfettamente funzionante." La grande quantità di carbonio nell'universo, e l'osservazione di molecole organiche nelle polveri interstellari, mi portarono a ipotizzare che la vita non si sia formata qui, ma sia arrivata dallo spazio, in forma di virus.

I: Come nel romanzo "The andromeda strain" di Michael Crichton?

H: Più o meno. Evidentemente molti credevano alla mia teoria, dato che per esempio gli astronauti delle prime tre missioni che sono atterrati sulla Luna sono stati tenuti una ventina di giorni in quarantena, al loro ritorno, per paura che fossero stati contaminati da virus spaziali. Insieme a Chandra Wickramasinghe avevamo anche fatto notare una significativa correlazione tra epidemie di influenza e macchie solari. La nostra idea era che molti virus si formano nello spazio e vengono poi trasportati dal vento solare, ipotesi che poi si è dimostrata infondata.



*La sigla del remake italiano
"A come Andromeda" (1972).³⁷*

³⁷ [https://it.wikipedia.org/wiki/A_come_Andromeda_\(miniserie_televisiva\)](https://it.wikipedia.org/wiki/A_come_Andromeda_(miniserie_televisiva))

I: È stato per queste teorie un po' esoteriche che non le hanno dato il Nobel?

H: Penso di sì. Anche perché amavo polemizzare con tutti, e anche con la commissione Nobel. Ho sostenuto per esempio che il fossile di Archaeopteryx, quello a metà tra un dinosauro e un uccello, fosse un falso, anche se poi è stato provato che è autentico.

I: Lei ha scritto anche romanzi di fantascienza

H: Certo, applicando le mie teorie. Nel romanzo "La nuvola nera" supponevo che nell'universo fossero comuni organismi gassosi, e che uno di questi arrivi a schermare il Sole. Poi si accorge, con molta meraviglia, che c'era vita sulla Terra e quindi si scansa. Nella sceneggiatura della miniserie "A come Andromeda", prodotta dalla BBC nel 1961, supponevo che arrivasse dallo spazio un messaggio che conteneva le istruzioni per costruire un supercomputer il quale a sua volta dava le istruzioni per "costruire" una donna, Andromeda, che aveva lo scopo di dominare la Terra, anche se poi si rivelava troppo umana e si innamorava. Purtroppo, la versione originale della serie è andata quasi del tutto perduta, ma so che voi in Italia ne avete prodotto un remake, nel 1972.

I: Certo! Quello con Paola Pitagora e Luigi Vannucchi. Che paura che mi ha fatto quando ero bambina! E non c'era solo il calcolatore a farmi paura, c'erano i militari, le spie, la corporazione cattiva Intel.... Tutti ricordi dell'epoca dei radar, immagino.

H: È così. Chissà se i fondatori della "vera" Intel, quella dei microprocessori, nata nel 1968, abbiano mai sentito parlare della mia trasmissione...

I: Grazie per essere intervenuto su RadioMoka. Arrivederci.

H: Arrivederci anche a voi.

Fred Hoyle 2



RadioMoka 8 marzo 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/44cVzd5zQOI>

I: Caro professor Hoyle, quando è venuto qui ci ha parlato delle sue scoperte nel campo dell'astrofisica e della nucleosintesi stellare, però ci ha anche incuriosito per il suo contributo alla ricerca sui radar durante la Seconda Guerra Mondiale, per cui l'abbiamo richiamata. Ci può raccontare cos'è e come funziona un radar? E perché ha questo strano nome?



Fred Hoyle mentre presenta la serie radiofonica "La natura dell'universo" (1950).³⁸

H: Il nome è un acronimo che in italiano vuol dire "radiatorilevamento e misurazione di distanza". Il radar è un sistema per "vedere" usando delle radiazioni diverse dalla luce visibile. Più o meno è come usare dei fari di notte: si vede un oggetto illuminato perché riflette la luce che gli si invia addosso.

I: E perché non usare la luce?

³⁸ http://www.bbc.co.uk/science/space/universe/scientists/fred_hoyle

H: Beh, ci sono vari motivi. La luce la usate sulle automobili e va bene per illuminare la strada di notte, ma per vedere navi oltre

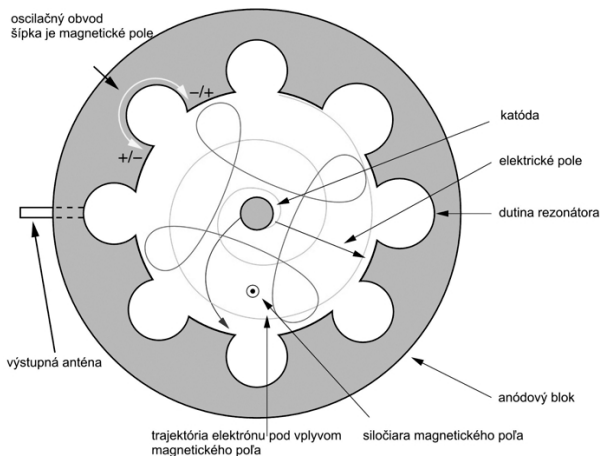
l'orizzonte o aerei sopra le nuvole la luce non è molto utile. Inoltre, produrre

della luce intensa richiede molta energia, almeno fino a quando non si sono stati inventati i laser.

I: E il radar?

H: Il radar usa le frequenze, nel campo delle onde radio, per cui l'atmosfera, e anche le nubi, sono trasparenti, a meno che non si vogliano osservare proprio le nubi, come nei radar meteorologici. Per generare le onde radio ci vogliono potenze più basse rispetto a quelle luminose, e inoltre le onde radio sono riflesse molto di più da oggetti metallici che da altri materiali, permettendo di identificare al volo navi ed aerei, anche se pure l'acqua riflette bene le radiazioni.

Inoltre, quello che si può fare con le onde radio, si può fare con il radar. Per esempio, il vostro Marconi è riuscito a comunicare attraverso l'Atlantico usando onde lunghissime, e quindi, anche se non è il vantaggio principale, con il radar si può anche vedere oltre l'orizzonte. Il limite inferiore è quello di onde lunghe qualche centimetro, per cui la radiazione comincia ad essere assorbita dall'acqua, e che si possono appunto usare per osservare le nubi nei radar meteorologici.

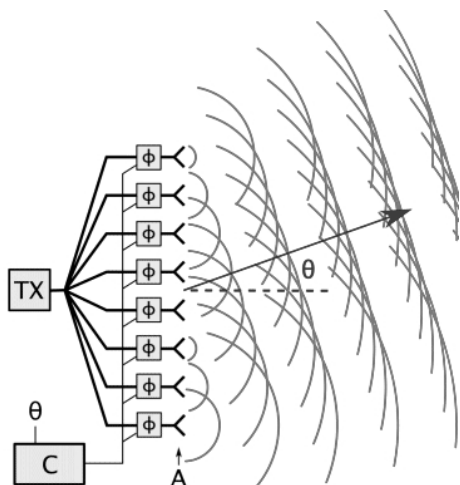


Schema di un magnetron.³⁹

³⁹ <https://it.wikipedia.org/wiki/Magnetron>

I: Mi sembra che convengano le onde lunghe, visto che si vede più lontano.

H: Si vede più lontano ma si vede poco. La "risoluzione", cioè il "dettaglio" con cui si vede dipende dalla lunghezza d'onda. Con onde di decine di metri non si riescono a vedere gli aerei, perché sono più piccoli della lunghezza d'onda, con le onde più lunghe neppure le navi. All'inizio si usavano onde lunghe qualche metro, ma poi riuscimmo a costruire dei radar decimetrici e centimetrici, che sono più precisi.



Schema del funzionamento delle antenne "phased array".⁴⁰

I: Come funziona praticamente un radar?

H: C'è un'antenna che genera il fascio radar, se possibile collimato, cioè concentrato in una sola direzione, come quello prodotto dalle antenne paraboliche, al contrario delle antenne dritte che inviano la radiazione a 360 gradi. Il fascio colpisce un oggetto e ritorna sull'antenna, che funziona anche da ricevente. In altre parole: si invia un fascio di radiazioni elettromagnetiche e si vede se torna indietro qualcosa.

I: Come si fa a distinguere tra segnale inviato e segnale ricevuto? Ci vorrà un'elettronica sofisticatissima, che non credo fosse disponibile all'inizio della guerra.

H: No, si possono fare dei demultiplexer, ovvero dei separatori, sfruttando l'interferenza delle onde radio. Però il segnale di ritorno è molto debole, va amplificato.

⁴⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Phased_array

I: In che modo?

H: Per fortuna erano state da poco inventate le valvole, ma non sempre bastavano. Il segnale è debolissimo, e inoltre c'è sempre un rumore di fondo, che deriva sia dall'elettronica, sia da riflessioni multiple del segnale, da riflessioni di segnali emessi precedentemente su altri bersagli più lontani, o da turbolenze atmosferiche o infine da altri tipi di scarica o anche da disturbi del nemico. Questo rumore può avere un'ampiezza anche maggiore del segnale, quindi rilevarlo è un'impresa. È come ascoltare una canzone alla radio, mentre c'è un martello pneumatico in funzione.

I: E come si faceva?

H: Si sfruttava il fatto che si conosce la forma del segnale emesso, e quindi potevamo filtrare il segnale ricevuto sulla base di quanto ci aspettavamo. Ovvero: se io so che c'è una radio per strada che trasmette una canzone stabilita mentre è sovrastata da un martello pneumatico, ma non so a che punto è la canzone, posso ascoltare la canzone "guida" da un orecchio, e il segnale stradale dall'altro. Quando la canzone "pulita" coincide con quella mascherata dal rumore, si ha una concordanza che si può riconoscere. Voi oggi usate questo filtro adattato, o "matching filter", per filtrare i segnali debolissimi delle onde gravitazionali.

I: Accidenti, si ricicla proprio tutto. Ma da cosa partite?

H: Le basi teoriche c'erano già in gran parte, molte delle conoscenze necessarie le aveva già elaborate Marconi.

I: Ma allora, se tutto era già conosciuto prima della Seconda guerra mondiale, cosa c'era da studiare ancora?

H: Tantissime cose. Anche se in forma primitiva, già all'inizio della guerra c'erano dei radar in funzione, sia in Gran Bretagna che in Germania, non dimentichiamo che Hertz era tedesco. E i tedeschi erano decisamente più avanti di noi.

Per controbilanciare questo svantaggio, bisognava per prima cosa potenziare al massimo gli apparati, in modo da poter "vedere" più lontano e più chiaramente. E qui avemmo un grande aiuto da parte degli americani, che nel 1940, presso i Bell Lab, svilupparono il magnetron, una valvola molto speciale, che consentiva di ottenere potenze molto maggiori delle valvole normali nella banda delle microonde.

I: E come funziona?

H: Pensi a un cilindro cavo di metallo, nel cui asse passa un filamento pure metallico. Come nelle valvole usuali, il filamento viene scaldato, in modo da emettere elettroni. C'è poi un campo elettrico intenso che strappa gli elettroni dal filamento, il catodo, e li accelera radialmente verso il cilindro, l'anodo.

I: Ok, fin qui è chiaro.

H: Adesso immerga il tutto in un campo magnetico intenso. Gli elettroni vengono deviati dalla forza di Lorentz, e cominciano a seguire delle traiettorie a forma di rosetta. Dato che sono accelerati, emettono delle onde radio.

I: Sì, lo posso visualizzare.

H: Adesso immagini che il cilindro esterno sia molto spesso, e ci scavi delle cavità cilindriche parallele al foro centrale.

I: Mi sembra che assomigli al tamburo di una pistola.

H: Esatto, infatti, i primi magnetron vennero proprio scavati nel tamburo di una colt. Queste cavità intrappolano gli elettroni, che risuonano, amplificando la radiazione emessa. In pratica il filamento al centro del tamburo emette tanti elettroni ognuno dei quali finisce per mettersi a girare in uno degli incavi che dovrebbero contenere i proiettili, e così facendo emettono potenti onde radio che noi indirizzavamo con la parabola del radar verso il nemico. Nei vostri forni a microonde si usano dei magnetron per generare le onde, in questo caso di frequenza tale da essere assorbiti dall'acqua contenuta nei cibi.

I: Accidenti, abbiamo un radar in casa! Ma continui a parlare dei radar e la guerra.

H: Oltre che per intercettare gli aerei e le navi, il radar è molto efficace per il puntamento dei cannoni antiaerei e quindi se un aereo ha un sistema per disturbare i radar può sfuggire all'intercettazione o almeno scansare i colpi. Un'altra esigenza era quella di distinguere tra aerei amici e nemici. Infine, se si riesce a fare dei radar abbastanza piccoli, possono essere montati sugli aerei in modo da essere usati anche in una battaglia su territorio nemico.

I tedeschi per fortuna pensavano solo alla guerra offensiva, e non svilupparono mai, a parte la marina, dei buoni radar da difesa. Invece erano bravi ad usare il radar per guidare gli aerei sul bersaglio, e per puntare i cannoni antiaerei. Ma noi svilupparammo delle contromisure.

I: E quali?

H: Lanciavamo milioni di striscioline di carta metallizzata che accecavano i radar tedeschi. Ora si chiamano comunemente “chaff”, letteralmente “crusca”, ma in tempo di guerra si chiamavano “Windows” nel Regno Unito e “Düppel” in Germania,

I: E perché le striscioline di carta accecano il radar?

H: Non è la carta, è il metallo che le ricopre, che riflette la radiazione. E se la lunghezza delle striscioline è ben calibrata, si può accecare il radar avversario mentre il nostro, che deve lavorare ad un'altra frequenza, ovvero un'altra lunghezza d'onda, continua a funzionare.

I: E come si fa a misurare la distanza?

H: Questo è più difficile che semplicemente capire se ci sono aerei nemici in volo. Ci sono due maniere: o si inviano degli impulsi, e si misura il tempo che ci vuole a andare e tornare, o si invia un segnale la cui frequenza è modulata nel tempo, ovvero che oscilla tra una frequenza alta e una bassa.

I: Capisco bene l'idea del tempo di volo, ma non ho capito a che serve la frequenza modulata. Perché non si usa solo il tempo di volo?

H: Perché la velocità della luce è molto alta, 300.000 km/s così che se un aereo è ad una distanza di 10 chilometri, il tempo di volo è di soli 33 microsecondi, 33 milionesimi di secondo. Ci vuole un'elettronica molto veloce, che non avevamo né noi né i tedeschi all'inizio della guerra.

I: E con la frequenza modulata è più facile?

H: Sì, perché quello che succede è che la frequenza cambia nel tempo, quindi l'eco che ritorna ha una frequenza leggermente diversa da quella che è in fase di invio. Quando lei somma due frequenze leggermente diverse, avviene il fenomeno dei battimenti, che è quello che si usa per accordare una chitarra. I battimenti hanno una frequenza che è pari alla differenza tra le due frequenze, quindi sono molto più lenti e possono

essere facilmente ascoltati anche in cuffia. Un operatore allenato poteva avere un'idea della distanza semplicemente ascoltando.

I: Capito. Ma come si fa a calcolare la direzione dove sta l'aereo?

H: Per la direzione si usa in genere un'antenna rotante che emette un fascio poco allargato in direzione orizzontale, mentre può essere molto esteso in direzione verticale. L'avrà vista in tanti film, sulle navi per esempio. Se poi collega il tutto a uno schermo fluorescente, può vedere la direzione da cui arriva l'eco.

I: E per l'altezza?

H: O si usa un fascio stretto, o si usa un altro apparato ruotato di novanta gradi e si fa anche una scansione in senso verticale. Alcuni radar "portatili" tedeschi, portatili con un camion, beninteso, erano proprio ruotabili a mano.

I: E si può anche misurare la velocità dell'aereo?

H: Per la velocità in senso trasversale, basta misurare come si sposta il pallino luminoso sullo schermo fluorescente. Per la velocità radiale, ovvero nella direzione dell'antenna, ci vuole il radar a impulsi, e si sfrutta l'effetto doppler. Come avrà notato quando viene sorpassata da un'ambulanza, il suono della sirena cambia frequenza quando l'ambulanza passa, ovvero è più acuto quando viene verso di noi, e più grave quando si allontana. Lo stesso accade con un'onda elettromagnetica. La polizia usa entrambi i sistemi per fare la multa: le stazioncine fisse hanno due traguardi e misurano il tempo che ci mette l'auto a passare davanti a questi, mentre le pattuglie usano un radar e sfruttano l'effetto doppler.

I: Ma se per fare tutto questo ci vogliono delle antenne rotanti, come si fanno a montare i radar sugli aerei?

H: Su alcuni aerei ci sono delle antenne rotanti, per esempio sugli AWACS americani. A volte l'antenna è racchiusa in un contenitore a forma di lenzichia. Ne svilupparammo uno anche noi, durante la Seconda guerra mondiale, per proteggere i porti del mare del nord e con cui si potevano anche vedere le u-boat in emersione. Altrimenti si usano radar ad allineamento di fase, o "phased array".

I: E cosa sono?

H: Si ricorda il principio di Huygens? Un fronte d'onda è dato dalla sovrapposizione di tante onde sferiche. Pensi a un raggio di luce che rimbalza su uno specchio. In realtà la luce viene assorbita e riemessa dagli elettroni degli atomi che compongono lo specchio, ma viene riemessa in maniera sincronizzata con la luce incidente. Si immagini un fronte d'onda lineare che incide su uno specchio con un certo angolo. Un estremo del fronte incontra lo specchio prima dell'altro, e quindi viene riemesso prima, e poi si continua con tutto il fronte. Ma ogni elettrone emette onde sferiche, è solo la differenza di fase che fa sì che la sovrapposizione di tali onde sferiche diventi un fronte lineare che si propaga in una certa direzione.

Se adesso lei prende tante antenne che emettono onde sferiche, e calibra in maniera opportuna la differenza di fase tra queste onde emesse, può ottenere un fronte d'onda che viaggia in una qualsiasi direzione.

I: Geniale! E perché non si usa questo sistema invece che un'antenna rotante?

H: È stato usato in tanti casi, per la prima volta dai tedeschi con il sistema Mammuth, ma il suo difetto è che per antenne messe in fila, la dimensione lineare del fronte diminuisce con l'angolo. Se lei osserva un filare di alberi, lo vede più o meno lungo a seconda dell'angolo di osservazione. Al limite, guardandolo di lato, appare come un solo albero. E poiché la risoluzione, cioè il dettaglio che si riesce a distinguere, dipende anche dalla lunghezza dell'antenna, quando l'angolo di osservazione è grande si finisce per aver poco dettaglio.

Però, se si usano tante antenne, si riesce ad avere un'ottima risoluzione. Negli Stati Uniti sono state costruiti vari tipi di radar ad allineamento, per scoprire velocemente gli eventuali missili balistici lanciati dai sottomarini dell'Unione Sovietica, e poi anche per l'osservazione di satelliti.

Questi sistemi in fondo sono simili a quelli che si usano per ricevere segnali dallo spazio. Ovviamente si può anche avere una linea di antenne che possono ruotare, come si fa in radioastronomia.

I: Ma come si fa a diventare invisibili al radar? Come funzionano gli aerei invisibili?

H: La prima cosa da fare è usare aerei con un profilo molto schiacciato, evitando le superfici che possono riflettere. Gli aerei invisibili sono degli aerei con un'ala molto larga, così da permettere una fusoliera molto

bassa. Inoltre, non hanno parti arrotondate che riflettono la radiazione, e sono fatti o verniciati con materiali che assorbono la radiazione radar. Anche i tedeschi, verso la fine della guerra, avevano sviluppato un velivolo tutt'ala a reazione, simile ai bombardieri invisibili degli americani, e lo avevano fatto in compensato, ovvero poco riflettente, forse perché non avevano più molto metallo. Comunque, per fortuna non ce la fecero a metterlo in produzione. I russi, invece delle vernici invisibili, stanno pensando a produrre un aereo che si circonda di una nube di plasma. Dato che in un plasma gli elettroni sono liberi, assorbono molto bene la radiazione incidente. Però non è vero che gli aerei invisibili siano veramente tali, si possono usare dei radar che sfruttano le onde riflesse dalla ionosfera e in tal caso l'aereo, illuminato dall'alto, è visibilissimo. Per esempio, durante la guerra del golfo, gli aerei invisibili americani furono visti dai radar inglesi usando questa tecnica, che tra l'altro permette anche lei di vedere oltre l'orizzonte.

I: Insomma, soldi forse buttati questi per gli aerei invisibili. Ma penso che sia stanco, ha parlato tantissimo, Grazie, è stato molto esauriente.

H: Grazie a voi per avermi richiamato. Alla prossima.

Stephen Hawking



RadioMoka 1° marzo 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/3nYiRd9m9s>

I: Buongiorno prof. Hawking, come sta?

H: Bene... grazie... certo... preferirei... essere... ancora... vivo... ma... non... mi... lamento...

I: Scusi se la interrompo, ma per esigenze radiofoniche dobbiamo accelerare un po' il suo discorso, le dispiace?

H: Figurarsi, sarebbe piaciuto anche a me poter parlare più velocemente, ma il fatto è che la mia malattia mi ha progressivamente bloccato, e nel 1985, dopo una polmonite, mi hanno tracheotomizzato, privandomi della voce. Da allora ho dovuto usare un sintetizzatore vocale, prima manovrandolo con degli impercettibili movimenti delle dita, e poi delle sopracciglia e degli occhi. Riuscivo a “parlare” molto lentamente, circa quindici parole al minuto, poi ridotte a 10. Nel 2013, in previsione della mia paralisi completa, avevano anche cominciato a sviluppare uno scanner cerebrale che mi avrebbe permesso di parlare solo pensando, ma sono morto prima.

I: Che cos'era la sua malattia?



Stephen Hawking con David Fleming, direttore di Intel (2013).⁴¹

⁴¹ https://it.wikipedia.org/wiki/Stephen_Hawking

H: Una forma di degenerazione del secondo motoneurone, simile alla SLA, la sclerosi laterale amiotrofica, ma per fortuna con un decorso eccezionalmente lento.

I: E cos'è il secondo motoneurone?

H: I nostri movimenti sono dati dalla contrazione dei muscoli, comandati da stimoli che vengono dal cervello o dal midollo spinale nel caso dei riflessi. La comunicazione avviene tramite due neuroni concatenati, il primo è la cellula localizzata nella corteccia frontale motoria che invia un lunghissimo prolungamento verso il basso, fino all'apice del midollo spinale. Il secondo è quella cellula che esce dal midollo spinale, raggiunge la periferia e va ad innervare il muscolo scheletrico. La mia malattia ha colpito prevalentemente questo secondo tipo di motoneurone, e all'inizio solo quelli dei movimenti volontari, tanto che sono stato capace di avere figli anche quando ero quasi paralizzato.

I: Sì, abbiamo tutti visto il film "La teoria del tutto", in cui lei emerge come un "bon vivant", per quanto era possibile. Lei è stato anche molto ironico e istrionico, vero?

H: Ho cercato di spassarmela per quanto potessi farlo. Ho partecipato a varie trasmissioni televisive, come in "Star Trek Next Generation", dove gioco a poker con Einstein, Newton e Data, e in "The Big Bang Theory". Volevo anche andare nello spazio, e nel 2007 ho fatto le prove in assenza di gravità su una "vomit comet", il Boeing che fa voli parabolici per avere condizioni di caduta libera. Purtroppo, i voli commerciali non sono cominciati per tempo. Del resto, ho sempre detto che l'umanità dovrebbe prevedere l'emigrazione verso qualche altra stella, dato che la vita sulla Terra potrebbe diventare impossibile, o per l'inquinamento o per una guerra nucleare o per l'impatto di un asteroide. O anche per lo sviluppo di robot troppo intelligenti, per cui noi siamo solo di impaccio.

I: Lei è sempre stato ateo, giusto?

H: Certo, sono uno scienziato. Anche se ho concluso il mio libro "Dal Big Bang ai buchi neri" citando "la mente di Dio", non mi riferivo certo a un dio personale, che interviene continuamente nel mondo. L'universo è regolato dalle leggi della fisica. Le leggi possono essere state decretate da Dio, ma Dio non interviene per infrangere le leggi, quindi il concetto di dio delle varie religioni non può conciliarsi con la scienza e non è correlato con il nostro mondo. C'è una fondamentale differenza tra la

religione, che è basata sull'autorità, e la scienza, che è basata su osservazione e ragionamento. E la scienza vincerà perché funziona.

I: E quindi secondo lei perché esistiamo?

H: Noi come animali siamo semplicemente il prodotto dell'evoluzione. Possiamo però domandarci come mai le varie grandezze fisiche sono regolate così finemente per permettere l'esistenza della vita. C'è probabilmente un qualche principio antropico, che si potrebbe spiegare con l'ipotesi del multiverso.

I: Principio antropico?

H: Sì, il fatto è che esistiamo in questo universo perché è l'unico in cui le leggi della fisica sono compatibili con la vita. O meglio, è uno di quelli possibili, ce ne potrebbero essere altri.

I: Ma questa è la teoria degli universi paralleli di Hugh Everett III?

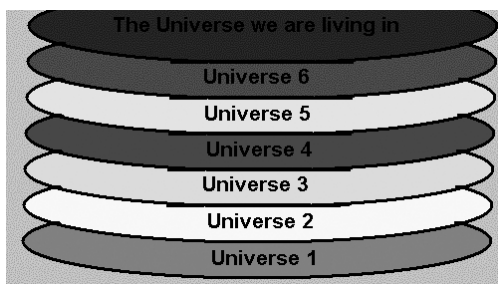
H: Sì, ho sentito con piacere la sua intervista qui su RadioMoka, ma in realtà quello a cui mi riferivo era il concetto di multiverso, che estende quello di universo parallelo. Nella teoria di Everett, che io considero talmente evidente da essere "banalmente vera", tutto l'universo esiste in una sovrapposizione di stati, come del resto dice la meccanica quantistica. Quindi ogni istante, per ogni evento quantistico, il numero di universi paralleli aumenta: in uno l'evento prende una strada e nell'altro una diversa, a seconda delle possibilità quantistiche. Ma in realtà nemmeno questa visione è esatta: la funzione d'onda ci dà la probabilità di osservare un dato universo in un dato istante, ma è definita per tutti gli universi possibili. Semplicemente, in un dato istante la possibilità di osservare un certo universo è ancora zero, perché tale combinazione non è stata ancora raggiunta, ma la sua esistenza è già prevista.

I: Mi faccia capire. È come quando si diffonde una macchia di inchiostro nell'acqua? Ovvero, una configurazione possibile è quella con l'inchiostro uniformemente diffuso, solo che subito dopo che la goccia è caduta è impossibile osservarla perché non ha ancora avuto il tempo di accadere?

H: Esatto, e potrebbe anche succedere che in qualche istante l'inchiostro diffuso torni ad addensarsi, solo che tale evento è assolutamente improbabile, ha una probabilità praticamente zero di verificarsi, ma è un evento possibile.

I: Ho capito, e allora il multiverso cos'è?

H: La possibilità che esistano tanti tipi di universi, con diversi valori delle varie costanti. In uno di questi universi le stelle non si sono mai accese perché tutto l'idrogeno è stato consumato durante il Big Bang, in un altro gli atomi non sono stabili, e così via, ma ce n'è almeno uno compatibile con la vita. Noi possiamo esistere solo in questo (più tutte le sue varianti quantistiche) e quindi siamo qui "a posteriori". Questa si chiama teoria dell'universo "a bolle", proposta per la prima volta da Andrej Linde, un fisico russo, negli anni '80. Questi universi potrebbero essersi formati a causa delle fluttuazioni quantistiche che avrebbero generato dei piccolissimi semi, o uova cosmiche per dirla alla Lemaître.



"Universi a bolla", ogni disco è un universo con costanti fisiche diverse da quelle degli altri.⁴²

I: Mi sta venendo il mal di testa. Torniamo a lei. Ci parli delle sue scoperte.

H: Ma questa è una delle mie scoperte, o meglio, delle mie teorie. Io ho sostenuto, supportandole matematicamente, un gran quantità di teorie, anche in parte contraddittorie tra loro, e forse per questo non mi hanno mai dato il Nobel. Ho sostenuto la teoria del multiverso, ma anche quella per cui c'è una sorta di selezione naturale tra gli universi, per cui il nostro è il solo che è sopravvissuto. E per le origini dell'universo, ne ho elaborata una con James Hartle, un fisico americano, nel 1983. L'universo non avrebbe una origine unica, ma deriverebbe da una delle fluttuazioni quantistiche del vuoto. Molti degli universi così creati collassano subito, nel nostro ha invece dato luogo al Big Bang, generando insieme alla materia e all'energia anche il tempo.

⁴² <https://it.wikipedia.org/wiki/Multiverso>

I: E i buchi neri?

H: Quelli sono stati il mio cavallo di battaglia. Come sapete, i buchi neri nascono quando la materia genera una gravità, o meglio, una curvatura nello spazio-tempo, tanto estrema da intrappolare anche la luce. Dato che nulla può uscire da un buco nero, i fisici avevano quasi rinunciato a studiarli da un punto di vista teorico, anche se cercavano di osservarli astronomicamente. Io invece mi sono sempre interessato a queste singolarità, fin dal tempo del mio dottorato. Per prima cosa ho fatto notare che le fluttuazioni quantistiche potrebbero farli evaporare.

I: Come evaporare? Se nulla può uscire da un buco nero...

H: Infatti, nulla esce, ma qualcosa entra. Nella meccanica quantistica il vuoto non è veramente vuoto: continuamente si creano coppie di particelle-antiparticelle, che immediatamente si riannichilano. Il principio di indeterminazione di Heisenberg infatti permette delle violazioni della conservazione dell'energia, a patto che durino poco tempo. Ma se queste coppie di formano vicino all'orizzonte degli eventi, che è la "superficie" del buco nero, quella che separa lo spazio da cui si può scappare da quello che inevitabilmente porta dentro al buco, può succedere che una di queste particelle cada dentro e l'altra venga emessa. Quindi il buco nero emette in pratica delle particelle e quindi evapora. Il tasso di evaporazione è tanto più grande quanto più è piccolo il buco, così che i buchi neri piccoli che potrebbero essere nati nelle fasi iniziali dell'universo sarebbero già evaporati.

I: Ma questa evaporazione è stata osservata?

H: No, ma si sta cercando di vederne delle tracce. La radiazione dei buchi neri è quella di un corpo nero...

I: Per forza!

H: No, non è così banale. Il buco si chiama "nero", un termine inventato da Wheeler, perché assorbe tutto. Ma in termodinamica si dice "radiazione di corpo nero" la radiazione emessa da un corpo non colorato, che però potrebbe benissimo essere incandescente, come il filamento di una vecchia lampadina. Secondo una mia teoria, la radiazione emessa da un buco nero dev'essere quella di un corpo nero perché non può contenere nessuna informazione, come invece farebbe una radiazione "colorata".

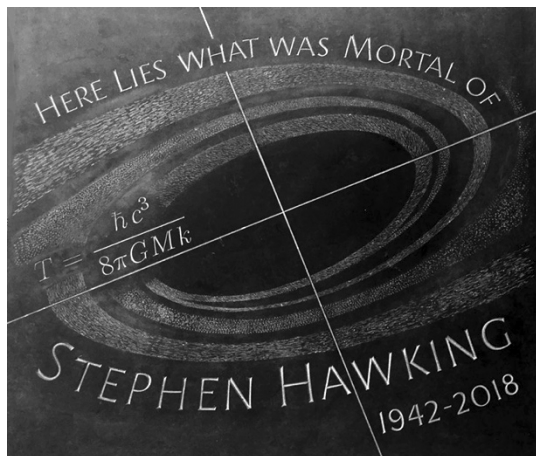
I: Perché i corpi neri assorbono tutta l'informazione contenuta nelle cose che inghiottono!

H: E questo è uno dei grandi problemi dei buchi neri. Ho contribuito a dimostrare una congettura, sempre di Wheeler, che i buchi neri non hanno "peli", ovvero che sono caratterizzati solo da massa, momento angolare e carica, per il resto

sono completamente "sferici". Ma questo contrasta con la seconda legge della termodinamica, che si può esprimere dicendo che l'informazione non diminuisce mai. Ma se l'informazione finisce in un buco nero, che poi emette solo radiazione non colorata, priva di informazione, dove finisce?

I: E dove finisce?

H: Non si sa. Nel 2015 ho proposto che questa informazione rimanga congelata sull'orizzonte degli eventi. In pratica, quello che succede è che vicino all'orizzonte degli eventi il tempo si dilata, a causa della curvatura indotta dalla gravità, e che quindi sull'orizzonte stesso rimanga l'immagine congelata di tutto quello che cade dentro, anche se sarebbe difficilmente osservabile. Infatti, la dilatazione gravitazionale porta a spostare la radiazione verso il rosso, così che sull'orizzonte degli eventi queste immagini sarebbero talmente spostate da avere una lunghezza d'onda immensa. Del resto, avevo già detto che l'entropia di un buco nero è proporzionale alla superficie del suo orizzonte degli eventi, che porta come conseguenza che la temperatura di un buco nero è inversamente proporzionale alla sua massa. Questa è l'equazione incisa sulla mia tomba, nell'abbazia di Westminster.



La lapide della tomba di Stephen Hawking nell'Abbazia di Westminster.

I: Peccato che le sue previsioni non siano state confermate sperimentalmente, secondo me avrebbe meritato il Nobel.

H: A dire la verità, nel 2016 degli israeliani sono riusciti in laboratorio a fare degli esperimenti con le onde acustiche, che riproducono bene quello che dovrebbe succedere in un buco nero, compresa la mia evaporazione. Hanno preso dell'elio superfluido e hanno creato un vortice, che si comporta come un buco nero per i fononi, che sono l'equivalente dei fotoni per quanto riguarda le vibrazioni. Ebbene, dato che quantisticamente si creano coppie di fononi di cui uno può essere assorbito dal vortice, si vede come questo vortice, che dovrebbe essere eterno in un superfluido, in realtà evapori.

I: È stata una conversazione interessantissima. Arrivederci.

H: Adesso vado a cercare Newton ed Einstein, per terminare la partita, visto che mi era appena entrato un poker. Arrivederci.

Irène Joliot-Curie



RadioMoka 23 marzo 2019 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/8vy9Fv3NnP8>

I: Per le interviste impossibili di oggi abbiamo finalmente un'altra delle poche donne famose nel campo della fisica, Irène Joliot-Curie. Benvenuta.

IJC: Buongiorno a voi e a tutti gli ascoltatori. Grazie per avermi invitata. Non molti si ricordano di me.

I: Si sente un po' oscurata dalla figura di sua madre?

IJC: Beh, certamente mia madre è stata una persona molto importante, e sicuramente è più famosa di me. Ma noi siamo state sempre molto unite, e non provo altro che riconoscenza verso di lei.



Irène Joliot Curie.⁴³

I: Lei spesso si è presa il carico di portavoce di sua madre?

IJC: La mamma era una donna estremamente forte, ma anche piuttosto schiva. Avrebbe fortemente voluto essere solo una ricercatrice, ma dovette farsi carico dell'insegnamento, dopo la morte di mio padre, e le toccò anche diventare una figura pubblica, quando andammo negli Stati Uniti alla ricerca di finanziamenti. In molti casi fummo mia sorella Eve

⁴³ https://it.wikipedia.org/wiki/Ir%C3%A8ne_Joliot-Curie

ed io a farle da portavoce, nonostante io avessi solo 21 anni e mia sorella 16.

I: Andiamo con ordine. Ci racconti la sua vita.

IJC: Sono nata e cresciuta praticamente in laboratorio.

I miei genitori erano impegnati a purificare le sostanze radioattive, e ave-

vano poco tempo per starci dietro, ma comunque furono sempre molto coscienti per fornirci una buona educazione. Volevano che sperimentassimo tutti i campi del sapere, e dato che invece le scuole erano molto carenti per questo, misero su una "cooperativa", come la chiamavano, in cui i figli di vari amici, in gran parte scienziati, venivano educati tutti insieme, dai vari genitori o da altre persone di gran levatura.

I: Avevano messo su una specie di scuola personale?

IJC: Qualcosa del genere, ma le lezioni si tenevano a turno nelle varie case. Studiavamo matematica e fisica, ma anche cinese e scultura. Uno dei maestri più brillanti era Paul Langevin.

I: Quello dell'"affaire Langevin", l'amante di sua madre?

IJC: Sì, ma si misero insieme dopo la morte di mio padre, che avvenne nel 1906, anche se ci furono varie malignità, e addirittura qualcuno sospettò che io fossi sua figlia.

Lo scandalo scoppiò nel 1910, durante il congresso Solvay, perché la moglie di Langevin scoprì le lettere che si scambiavano, alcune veramente



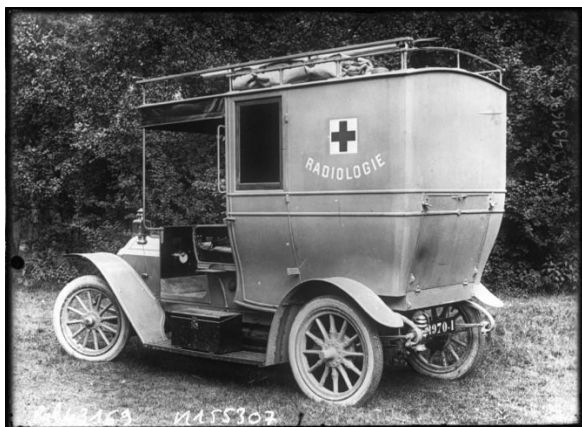
Marie Curie su un veicolo mobile per radiografie.⁴⁴

⁴⁴ Oxford Science Archive/Print Collector/Getty Images

appassionate. Nel frattempo, arrivò il secondo Nobel di mia madre, ma ci fu una dura campagna di stampa contro di lei, nonostante quello che aveva fatto per la Francia. I giornali sciovinisti francesi l'accusarono di essere una straniera ebrea, e di rubare posti di lavoro in Francia. La Francia ai Francesi, dicevano...

I: Mi ricorda qualcosa anche dell'Italia...

IJC: Certo, i fascisti c'erano da voi e da noi, e ci sono ancora. Ma comunque la mamma tenne duro, anche se meditò di suicidarsi qualche volta, e rintuzzò anche gli inviti a non presentarsi alla cerimonia, come ha raccontato anche qui. Alla cerimonia del Nobel c'eravamo mia zia ed io, che avevo 14 anni.



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Unità radiografica mobile usata dall'esercito francese.⁴⁵

I: Torniamo alla sua educazione. Eravamo rimasti alla "cooperativa".

IJC: Questa esperienza didattica durò solo un paio di anni, e dopo entrai in un liceo normale, e quindi alla Sorbona. Ma poi scoppiò la guerra.

I: E lei che fece?

IJC: La mamma ci mandò in campagna, da amici, ma appena compii 18 anni volli raggiungerla. Lei aveva organizzato un servizio mobile di radiografia, le "Petites Curies", per aiutare i medici a trovare i proiettili nei corpi dei nostri soldati feriti, e io andai ad aiutarla.

⁴⁵ Bibliothèque nationale de France, département Estampes et photographie.

I: Non era pericoloso?

IJC: Sì, era tutto molto grezzo, e penso che sia mia madre che io ci becchammo molte radiazioni. Sono morta poi abbastanza giovane di leucemia.

I: E poi?

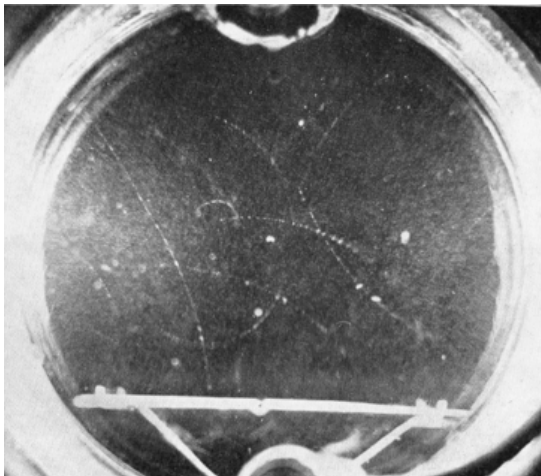
IJC: Dopo la guerra, ritornai a studiare all'Istituto del Radio, a Parigi, quello diretto da mia madre, dove mi dottorai. Come ho già anticipato, nel 1921 con mia sorella accompagnammo mia madre in un viaggio negli Stati Uniti, dove fummo accolte in maniera trionfale. Le donne americane raccolsero tantissimo denaro, che servì per acquistare un grammo di radio. Tenga presente che con tutte le tonnellate di pechblenda lavorate dei miei genitori, loro erano riusciti a raccogliere solo alcuni milligrammi di questa sostanza. Il radio ci fu consegnato dal presidente degli Stati Uniti. Con questo radio potemmo cominciare a fare dei veri esperimenti

I: E poi venne il Nobel.

IJC: Andiamo con ordine. Prima mi sposai. Conobbi Frédéric Joliot nel laboratorio di mio padre, di cui era allievo. Aveva tre anni meno di me, era ateo e comunista e ci piacemmo subito. Dopo sposati, nel 1926, cambiammo i nostri cognomi in Joliot-Curie, per dimostrare che eravamo alla pari. Comunque, firmavamo i nostri lavori

"Irène Curie e Frédéric Joliot". Mia figlia Hélène Langevin-Joliot ha seguito il costume di famiglia di mescolare i cognomi.

I: Ma quindi sua figlia ha sposato un Langevin?



Tracce di particelle cariche in una camera a bolle.

IJC: Sì, Michel Langevin, nipote di Paul. Sua nonna non la prese bene...

I: Continui con il racconto della sua vita, la prego.

IJC: Con Frédéric mettemmo su un ottimo laboratorio, ma eravamo forse troppo prudenti. Ci siamo lasciati scappare un paio di Nobel prima di azzeccarci.

I: In che senso?

IJC: Nel 1932 James Chadwick scoprì che il berillio, bombardato con delle particelle alfa emesse dal polonio, emetteva una radiazione penetrante e neutra, che non si capiva cosa fosse, e che poi capì che era composta da neutroni. Nello stesso periodo, anche noi facevamo esperimenti simili, e ci rendemmo conto che questa radiazione neutra poteva generare delle particelle cariche, che capimmo essere dei protoni sbalzati fuori dai nuclei a causa dell'urto con i neutroni (che ancora non sapevamo esistere). Oltre ai protoni però c'erano altre particelle cariche, che pensammo fossero elettroni sbalzati dal loro orbitale da raggi gamma, secondo l'effetto Compton. Però c'erano delle tracce strane, che sembravano andare in senso opposto a quanto aspettato, ma noi pensammo a qualche strano rimbalzo. Quando Dirac vide la foto, disse "hanno visto l'elettrone positivo e non se ne sono accorti", e in effetti poco dopo Anderson scoprì il positrone, con un apparato simile al nostro.

I: Come potevate confondere un elettrone con un positrone? Hanno carica opposta.

IJC: Il nostro apparato sperimentale era una camera a nebbia, in cui una particella carica lascia una traccia di goccioline, in un campo magnetico. Un elettrone lascia una traccia curva da una parte, e un positrone dall'altra parte. Ma un positrone che va in una direzione e un elettrone che va nella direzione opposta lasciano la stessa traccia.

I: E come fece Anderson?

IJC: Mise un sottile foglio di piombo nel mezzo. Il piombo rallenta le particelle, e così dall'aumentare della curvatura della traccia si capisce qual è la direzione, e quindi qual è la carica. Così Anderson vinse il Nobel per il positrone, e Chadwick quello per il neutrone.

I: Ma alla fine lo vinceste anche voi.

IJC: Sì, nel 1935, perché scoprimmo che con il bombardamento alfa potevamo indurre delle trasmutazioni nucleari, ovvero generare dei nuovi isotopi, generalmente radioattivi. Fu l'inizio della chimica nucleare, ed anche della medicina nucleare perché finalmente c'era un mezzo per produrre sostanze radioattive senza dover purificare tonnellate di materiale.

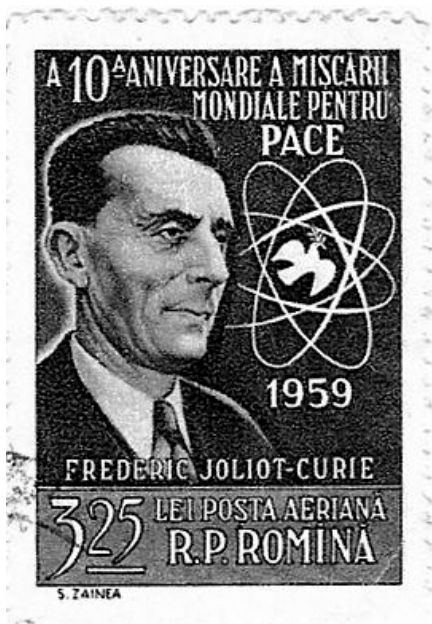
I: E poi?

IJC: Poco dopo, Enrico Fermi scoprì la trasmutazione per mezzo di neutroni lenti, e Lise Meitner la fissione atomica. Noi cominciammo a studiare la fisica nucleare, ovvero come costruire un reattore nucleare con l'uranio, usando l'acqua pesante come rallentatore di neutroni. Ma cominciò la Seconda guerra mondiale, e noi nascondemmo tutte le nostre ricerche. Mio marito riuscì a passare delle informazioni agli inglesi, e infatti Einstein ci citò nella famosa lettera a Roosevelt, nella quale lo metteva in guardia sulla possibilità, per i tedeschi, di replicare le nostre ricerche e produrre una bomba atomica. Mio marito poi entrò nella resistenza.

I: E lei?

IJC: Durante la Seconda guerra mondiale mi ammalai di tubercolosi, e quindi passai tutta la guerra in Svizzera, dove mi raggiunsero mio marito e i miei figli. Ma non mi ristabilii mai del tutto, e poi si aggiunse la leucemia. Anche mio marito morì nel 1958, come me, per una malattia al fegato, probabilmente dovuta all'esposizione alle radiazioni.

I: Una famiglia nucleare....



Un francobollo romeno commemorativo di Frédéric Joliot-Curie.

IJC: Sì, anche mia figlia Hélène è fisico nucleare, ma mio figlio Pierre è un biologo.

I: E anche politicizzata...

IJC: Certo, siamo sempre stati molto attivi nel campo della sinistra antifascista. Io mi dedicai particolarmente alla causa femminista, cercando di promuovere l'educazione delle donne. Mio marito era più estremista, e passò alcune informazioni sugli armamenti nucleari occidentali ai sovietici. Comunque, fummo insigniti della Legione d'onore.

I: È stata una bella avventura, anche se siete morti giovani.

IJC: Certo, non mi pento di nulla. Arrivederci.

I: Arrivederci.

Chien-Shiung Wu



RadioMoka 6 aprile 2019 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/iDs7mpvQwgg>

I: Per le interviste impossibili di oggi abbiamo ancora una donna, la professoressa Wu. Benvenuta.

W: Grazie di avermi invitato. E grazie anche di avermi presentata come una professoressa, di solito mi chiamavano “madame Wu”, come se Fermi lo chiamassero “il signor Fermi”.

I: Lei è di origine cinese, giusto?

W: Sì, sono nata nella provincia di Jangsu, che è vicina a Shanghai, nel nord-est della Cina.

I: Lei è la prima cinese che viene intervistata qui. Ci sono molti fisici suoi compatrioti?

W: Con la fine della dinastia Qing e la nascita della repubblica di Cina, nel 1912, si ebbe, nonostante le varie guerre civili e le rivolte, una forte modernizzazione del paese, come aveva fatto già fatto il Giappone anni prima. Così tanti andarono a studiare in occidente, e poi tornarono a formare noi cinesi. I miei colleghi Chen-Ning Yang e Tsung-Dao Lee, quelli



Wu Jianxiong (Wu Chien Shiun) nel 1978.⁴⁶

⁴⁶ https://it.wikipedia.org/wiki/Wu_Jianxiong

che hanno vinto il Nobel per la violazione della parità nelle interazioni deboli, sono nati vicino alla mia regione, Lee a Shangai e Yang nell'Anhui.

I: Parleremo dopo della violazione della parità, ci racconti prima della sua vita.

W: Io ho avuto la fortuna di nascere in una famiglia in cui c'era un forte sostegno all'uguaglianza dei sessi. Mio padre addirittura fondò una scuola femminile, dove studiai anch'io. Mio padre era un po' strano, da cui il mio nome.

I: Perché, cos'ha di strano il suo nome?

W: Per prima cosa, nella mia famiglia si usava mettere la prima parte del nome uguale a tutti i bambini di una certa generazione, così che sia i miei fratelli che io ci chiamiamo "Chien". Poi mio padre decise che avrebbe avuto 4 figli, e che li avrebbe chiamati, in ordine, con le parole "Ying-Shiung-Hao-Jie", che vuole dire più o meno "eroi e persone eccezionali". Così, io che sono la secondogenita, mi chiamo Chien-Shiung. Però poi mio padre ebbe solo tre figli.

I: Interessante, e poi?

W: A 11 anni partecipai ad un concorso per entrare in una scuola per diventare insegnanti, dato che formava come un liceo tradizionale, ma non c'erano tasse da pagare, e noi non avevamo abbastanza denaro. C'erano più di 10.000 domande, ma io mi piazzai nona. Alla fine della scuola mi iscrissi all'università a Nanchino. Lì guidai anche delle proteste studentesche, chiedevamo al governo di opporsi più fermamente alla politica espansionista del Giappone. Alla fine dell'università, cominciai una specie di dottorato sotto la guida di una collega, che aveva fatto il dottorato negli Stati Uniti. Dietro la sua spinta, mi feci dare un po' di soldi da mio zio e decisi anch'io di andare in America. Salutai i miei genitori e nel 1936 partii. Non li avrei più rivisti.

I: Che storia triste. Morirono presto?

W: Tutt'altro, ma tra la Seconda guerra mondiale, la rivoluzione comunista e l'embargo americano per i viaggi, non potei tornare a casa prima del 1972, quando Nixon visitò la Cina. Nel frattempo, però, quasi tutta la mia famiglia era morta nella rivoluzione culturale.

I: E negli Stati Uniti che fece?

W: Pensavo di andare nel Michigan, ma poi mi stabilii a Berkeley, in California, dopo aver saputo che dove volevo andare io alle donne non era permesso entrare dalla porta principale. A Berkeley incontrai un connazionale, anche lui fisico, Luke Chia-Liu Yuan, che alla fine sposai. Lavorai con Ernest Lawrence, il direttore del laboratorio e premio Nobel per l'invenzione del ciclotrone, e con Emilio Segrè. Per il mio lavoro usavo un emettitore beta, il fosforo-32, che veniva prodotto nell'acceleratore di Lawrence, e così cominciai a impratichirmi con la forza debole.

I: Che cos'è la forza debole? E il decadimento beta?

W: Nella natura ci sono quattro forze fondamentali: la forza gravitazionale e la forza elettrica, che sono presenti anche a grande scala e che tutti conoscono. Poi c'è la forza forte, quella che tiene insieme i quark nei protoni e neutroni e che è anche responsabile della stabilità dei nuclei. Però, queste forze non possono spiegare la radioattività beta, ovvero quando un neutrone si converte in un protone emettendo un elettrone e un anti-neutrino, e anche l'opposto, quando un protone diventa un neutrone.

I: E perché?

W: Perché la forza forte non può cambiare i quark, mentre nella trasformazione da neutrone a protone proprio questo accade. E i neutrini, che servono per far tornare i conti con l'energia, sono praticamente sensibili solo alla forza debole, dato che sono neutri, completamente insensibili alla forza forte e di massa piccolissima.

I: Capito. E poi?

W: Durante la Seconda guerra mondiale lavorai al progetto Manhattan, occupandomi della separazione degli isotopi dell'uranio per via gassosa. Come lei sa, solo l'uranio 235 può essere usato per una reazione a catena, dato che invece l'uranio 238, molto più abbondante, assorbe i neutroni senza rompersi, ma formando altri composti tra cui il plutonio, che invece può essere usato, dopo la purificazione, per fare bombe atomiche. Così, una delle strade per la produzione di armi nucleari era l'arricchimento dell'uranio, ovvero l'aumento della percentuale di uranio 235. Ma non si possono separare gli isotopi per via chimica, perché, dato che hanno la stessa conformazione elettronica, sono chimicamente uguali. Bisognava procedere per via fisica, sfruttando la differenza di massa, usando delle enormi centrifughe oppure la diversa capacità diffusiva una

volta che l'uranio viene prodotto in forma gassosa. Dopo la guerra andai alla Columbia University, a New York, e lì restai.

I: Veniamo al suo famoso esperimento.

W: Fermi aveva introdotto il suo modello del decadimento beta nel 1934, ma c'erano tante cose che non tornavano. In particolare, c'erano due particelle, due mesoni, che sembravano uguali, ma che decadevano in due maniere completamente diverse. Adesso sappiamo che si tratta della stessa particella, il Kaone, ma a quei tempi si pensava che non potesse essere così, perché il fatto che potesse decadere in queste due maniere violava la parità.

I: Ma che cos'è insomma questa parità?

W: È l'ipotesi che qualsiasi fenomeno, visto allo specchio, sia ancora un fenomeno osservabile. Ovvero, se lei osserva un sasso che cade verso la Terra allo specchio, non nota nulla di strano, giusto?

I: Giusto.

W: Infatti la gravità rispetta la parità. Lo stesso accade con l'interazione elettrica, e anche con l'interazione forte. Si pensava così che anche l'interazione debole rispettasse la parità, ma in realtà nessuno l'aveva verificato. I miei compatrioti Lee e Yang, dopo aver riguardato tutta la letteratura disponibile, cominciarono a sospettare che forse l'interazione debole non rispettasse la parità, ma ci voleva un esperimento per verificare questa ipotesi dirompente, così alla fine vennero da me proponendomi un esperimento, che io poi realizzai.

I: Con il suo esperimento si spiega la violazione della parità? Perché ancora non ho capito cosa voglia dire...

W: Vedrà che adesso diventa tutto più chiaro. Come sa, molte particelle, tra cui l'elettrone e il neutrino, sono dotate di spin, che è come dire che si comportano come delle trottole, o delle viti. Vediamo come si trasforma una vite vista allo specchio.

I: Rimane una vite....

W: Ma a volte cambia senso. Una vite normale si avvita in senso antiorario, ovvero, se si fa girare in senso antiorario, va avanti. Adesso pensi invece che a una vite ad una molla, ovvero un'elica. Anche l'elica ha un

verso, diciamo che se la percorre in senso antiorario e va avanti, ha elicità positiva.

I: Ok, si comporta come la vite.

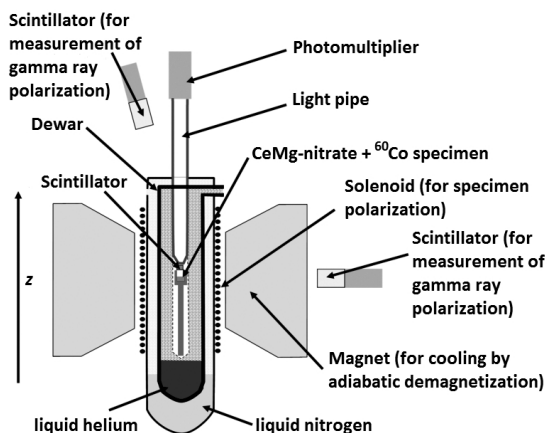
W: Adesso punti la sua elica ad elicità positiva verso lo specchio. Che fa l'elicità dell'immagine?

I: Allora, se io con il dito percorro l'elica, il dito avanza verso lo specchio. Il dito riflesso pure avanza verso lo specchio, nell'immagine, ovvero va nella direzione opposta al mio dito. Ma gira anche nel senso opposto, quindi mi sembra che alla fine l'elicità rimanga la stessa, perché se io giro il mio dito in senso orario, vedo l'immagine che gira in senso antiorario e va nel mio verso positivo di avanzamento.

W: Bravissimo. Adesso mettiamo l'elica con l'asse parallelo allo specchio.

I: Vediamo... se io avanzo con il mio dito girando in senso antiorario vedo il dito riflesso che avanza, ma gira in senso orario. Quindi in questo caso l'elicità si ribalta.

W: Giusto. Nel caso delle particelle elementari questa elicità è data dalla proiezione dello spin nella direzione di avanzamento. Neutrone, protone, elettrone e neutrino hanno tutti lo stesso spin, che vale un mezzo. Lo spin è analogo al momento angolare, che è dovuto, per esempio, al fatto che una particella giri intorno ad un'altra.



Schema dell'esperimento di Wu per rilevare la violazione di parità nel decadimento beta.⁴⁷

⁴⁷ https://it.wikipedia.org/wiki/Esperimento_di_Wu

Una legge di natura dice che la somma dello spin e del momento angolare di un insieme di particelle, che interagiscano solo tra loro, si conserva. Per esempio, nel sistema Terra-Luna, la Terra gira intorno a se stessa, ovvero ha uno spin, e la Luna gira intorno alla Terra, ovvero ha un momento angolare. Le maree rallentano la rotazione della Terra, diminuendo il suo spin, ma al contempo allontanano la Luna, aumentando il suo momento angolare.

I: Ok, capito.

W: Adesso prendiamo il cobalto-60, in cui un neutrone può decadere in un protone, generando il nickel-60, ed emettendo un elettrone e un antineutrino, entrambi con spin uguale a un mezzo. Ora, il nucleo del nickel-60 ha un momento angolare che è minore di uno rispetto a quello del cobalto-60, quindi per forza l'elettrone e l'antineutrino devono essere emessi con lo spin diretto nella stessa direzione. Ma devono anche essere emessi in direzioni diverse, per conservare la quantità di moto. Supponiamo che il momento angolare del cobalto sia diretto verso l'alto, così come devono essere quelli dell'elettrone e dell'antineutrino.

Quindi in principio si può avere o un elettrone che va verso l'alto, con spin diretto come la direzione di moto, ovvero con elicità positiva, e un antineutrino con elicità negativa, o viceversa, elettrone con elicità negativa verso il basso e un antineutrino con elicità positiva verso l'alto. Nello specchio, ognuna di queste configurazioni si ribalta.

I: Ovvio, penso.

W: Bene. La stupirà scoprire che in natura esistono solo antineutrini con elicità positiva, quindi gli elettroni sono emessi solo verso il basso. Il processo che lei vede nello specchio, non si può verificare in natura, e quindi abbiamo la violazione della parità!

I: Vuole dire che aveva ragione Carroll, ovvero che Alice giustamente trova un mondo diverso dentro lo specchio?

W: Proprio così. E questa violazione di simmetria di parità porta con sé anche la violazione di simmetria di carica, il che rende asimmetrica la produzione di antimateria rispetto alla materia. Questo potrebbe spiegare perché il nostro mondo è fatto di materia, anche se i calcoli non tornano, per ora.

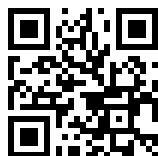
I: Ma allora, se la scoperta è così interessante, perché hanno dato il Nobel solo a Yang e Lee, e non a lei? Forse perché l'esperimento era solo una semplice verifica della loro ipotesi?

W: L'esperimento non era per nulla banale. Bisognava allineare i nuclei di cobalto, il che voleva dire raffreddarli quasi allo zero assoluto, e immobilizzarli con un forte campo magnetico. L'esperimento richiese molti trucchi sperimentali, ma alla fine vennero fuori dei dati incontrovertibili, che scioccarono tutti i fisici. Secondo me non mi hanno dato il Nobel perché ero una donna, e forse per non premiare tre cinesi tutti insieme... Certo, non contribuì il fatto che Lee parlò in giro dei risultati preliminari che stavo ottenendo, così che in tutta fretta furono fatti altri esperimenti su sistemi diversi che mostravano la violazione della parità. Alla fine, il mio articolo apparve insieme ad altri due. Ma poi nel 1972 ricevetti il premio Wolf, un premio israeliano molto prestigioso.

I: Probabilmente ha ragione che c'è stata, tanto per cambiare, una discriminazione di genere. Grazie della chiara esposizione di un argomento così ostico. Arrivederci.

W: Arrivederci anche a lei e a tutti gli ascoltatori.

Ernest Rutherford



RadioMoka 13 aprile 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

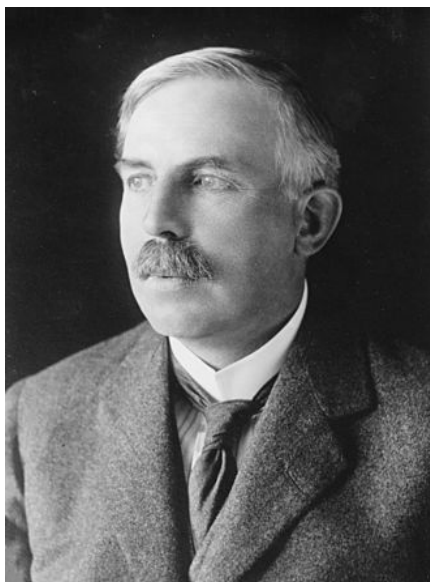
<https://youtu.be/NvoF1v5DCHg>

I: Per le interviste impossibili di oggi abbiamo una persona venuta da molto lontano, il professor Ernest Rutherford.

R: Buongiorno, effettivamente ho attraversato mezzo globo terrestre in gioventù, dato che sono nato in Nuova Zelanda, ma la mia famiglia era inglese, dell'Essex. Mio padre emigrò agli antipodi "per coltivare un po' di lino e crescere un mucchio di figli". In effetti ebbi 11 fratelli e sorelle.

I: Com'era la vita in Nuova Zelanda?

R: Molto inglese, anzi, scozzese devo dire. Pecore, pecore, pecore. Per fortuna i miei valutavano molto l'educazione, mia madre perché era insegnante e mio padre perché non ce l'aveva. Così potei andare all'università, e a 24 anni vinsi una borsa di studio per aver conseguito un record nella ricezione di segnali radio a lunga distanza, e andai a Cambridge, nel



Ernest Rutherford.⁴⁸

⁴⁸ https://it.wikipedia.org/wiki/Ernest_Rutherford

laboratorio di Joseph John Thomson, il cui cognome era quasi uguale a quello di mia madre, Martha Thompson, c'era solo una "p" di differenza. Ero considerato un po' un alieno, dato che non mi ero laureato a Cambridge, ma potei assistere agli esperimenti del 1897 con cui Thomson dimostrò che i raggi "beta" altro non erano che particelle cariche negativamente, che ora chiamate elettroni, che venivano fuori dagli atomi. Questo ovviamente fece sorgere la domanda di dove stava la carica positiva, dato che gli atomi sono nel complesso neutri.

I: Il modello atomico....

R: Già. A quei tempi una ipotesi era che gli atomi complessi fossero costituiti da un insieme di tanti atomi di idrogeno, che era quello più leggero e più semplice. Ovvero che ogni carica negativa fosse legata ad una carica positiva. Ma non si capiva perché dagli atomi uscissero fuori solo cariche negative, ovvero elettroni. Thomson considerò anche l'ipotesi planetaria, ovvero che la carica positiva fosse al centro, e quelle negative orbitassero intorno, ma questo era impossibile secondo la fisica classica, dato che gli elettroni, carichi, avrebbero accelerato e quindi irradiato energia, cadendo sul nucleo. Così Thompson elaborò il suo modello a panettone, in realtà "plum pudding", budino di prugne, con gli elettroni dispersi in un budino di carica positiva come le uvette nel panettone.



Joseph John Thomson nel 1884.⁴⁹

I: Un'immagine interessante. Ma com'erano disposti gli elettroni?

⁴⁹ https://it.wikipedia.org/wiki/Joseph_John_Thomson

R: Gli elettroni sono carichi negativamente, quindi si repellono. Ma nel modello di Thomson non sono fermi, come molti si immaginano, potevano ruotare in orbite, e Thomson aveva pensato che a causa della repulsione sarebbero stati disposti regolarmente lungo l'orbita. Inoltre, la differenza di energia tra le orbite poteva corrispondere alle frequenze di emissione, tenga presente che il lavoro di Planck e quindi la scoperta del quanto di energia è del 1900, e la spiegazione dell'effetto fotoelettrico di Einstein è del 1905. Il modello di Thomson è del 1904, quindi l'epoca era quella giusta, le idee giravano.

I: Ma gli elettroni in moto non irradiano?

R: Nel modello di Thomson no, perché sono immersi nel budino di carica positiva, che scherma l'irraggiamento.

I: C'era qualcosa che non tornava?

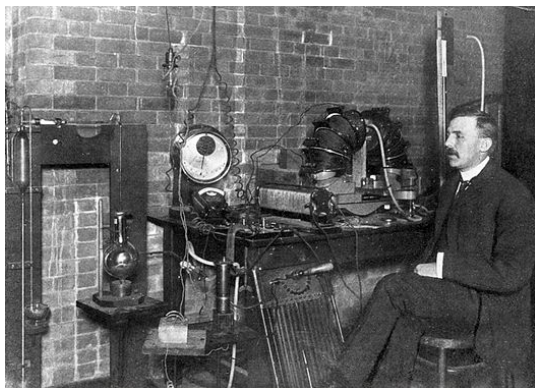
R: Sì, il fatto che con la fisica classica si può calcolare la forza che tiene una carica nella sua posizione in questo modello, ma è una forza debole, mentre le frequenze di emissione della radiazione, nel visibile, mostrano che la forza di richiamo è intensissima. È come avere una chitarra con le corde molto lenti, che emette suoni acutissimi. L'ha già illustrato qui Bohr, che in quei tempi, un po' dopo, a dire la verità, andò proprio da Thomson a studiare.

I: E lei dove era?

R: In Canada, a Montreal, alla McGill University, dove ero stato raccomandato da Thomson. Lì mi misi a studiare le sostanze radioattive, Becquerel aveva appena pubblicato le sue ricerche sull'uranio. In effetti coniai io i termini "alfa" e "beta" e "gamma" per le radiazioni. Studiando il decadimento radioattivo, mi resi conto che questo non era influenzabile in nessuna maniera, né con mezzi chimici né con quelli fisici. Adesso voi sapete perché: la radioattività si origina nel nucleo, che è assolutamente irraggiungibile dalla chimica e dalla fisica "normale", che hanno a che fare solo con gli elettroni esterni. Il decadimento radioattivo costituisce quindi una specie di orologio naturale, e con quello dell'uranio potei determinare l'età della Terra, che risultava essere vecchia di miliardi di anni, una cosa che fece arrabbiare molto Lord Kelvin, come ha raccontato anche qui. Per queste ricerche ricevetti poi il Nobel per la chimica, nel 1908.

I: Non fu per le sue famose ricerche sul nucleo atomico?

R: No, quelle vennero dopo. Nel 1907 passai all'Università di Manchester, e progettai un esperimento per verificare il modello di Thomson, di cui ero sicuro. Usando le particelle alfa come proiettili, irraggiai una sottile lamina d'oro e mi misi a guardare dove venivano deviati i pro-



Ernest Rutherford a McGill (1905).⁵⁰

iettili. Potei farlo perché nel frattempo avevamo inventato dei rivelatori a scintillazione e delle camere che permettevano di contare le particelle alfa. Pensavamo che questi proiettili sarebbero stati deviati leggermente dagli atomi di oro, e che questa deviazione ci avrebbe permesso di capire dove stavano gli elettroni. Con grande sorpresa dei miei assistenti, Geiger - quello del contatore - e Marsden scoprimmo che una piccola frazione di particelle rimbalzava all'indietro.

Era come se, durante la festa di Natale, lei lanciasse l'idea di sparare al panettone. Farebbe disporre i suoi invitati in semicerchio, con lei nel mezzo, e esploderebbe dei colpi verso il panettone posto al centro. Non si immaginerebbe mai che qualcuno dei suoi ospiti potesse essere ferito da un proiettile che rimbalza sul panettone.

I: E come reagì?

R: Fu l'evento più sorprendente che mi sia mai successo. Era quasi incredibile quanto lo sarebbe stato sparare un proiettile da 15 pollici a un foglio di carta velina e vederlo tornare indietro e colpirti. Pensandoci, ho capito che questa diffusione all'indietro doveva essere il risultato di una sola collisione e quando feci il calcolo vidi che era impossibile ottenere qualcosa di quell'ordine di grandezza a meno di considerare un sistema nel quale la maggior parte della massa dell'atomo fosse concentrata in

⁵⁰ https://it.m.wikipedia.org/wiki/Raggi_gamma

un nucleo molto piccolo. Fu allora che ebbi l'idea di un atomo con un piccolissimo centro massiccio e carico.

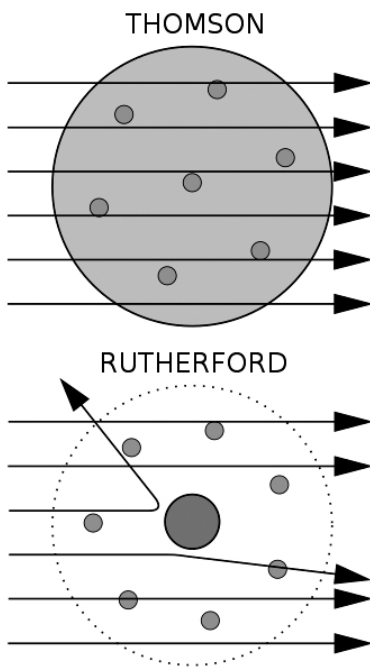
Seguendo la nostra analogia, era come se al centro del panettone qualcuno avesse nascosto una sfera di acciaio. Ovviamente gli elettroni dovevano stare intorno, come in un piccolo sistema planetario. Tutto ciò violava la fisica classica, e ci volevano nuove regole. Per fortuna Bohr, che aveva litigato con Thomson, venne da me, ed elaborò il suo modello euristico in cui gli elettroni sono vincolati, per cause misteriose, a stare su degli orbitali.

I: Era riuscito a toccare il nucleo! questo avrebbe dovuto influenzare anche la radioattività, no?

R: Non proprio la radioattività, che è un processo interno ai neutroni, ma io riuscii a indurre la prima trasmutazione atomica, convertendo, nel 1901, del torio in radio. Il mio assistente Soddy esclamò: "Ma è una trasmutazione!", al che risposi "Per dio, Soddy, non chiamarla trasmutazione, ci prenderebbero per alchimisti e ci taglierebbero la testa!". Poi riuscii a indurne altre, di trasmutazioni. Leo Szilard dice che l'idea della reazione nucleare a catena gli venne dopo aver letto un mio articolo, nel 1932.

I: E i suoi rapporti con Thomson si deteriorarono?

R: Thomson non abbandonò mai il suo modello, che almeno tornava con la fisica classica, ma era estremamente onesto e quando si ritirò suggerì



Il modello atomico di Thomson e quello di Rutherford.⁵¹

⁵¹ <https://www.matematicamente.it/appunti/chimica-appunti/modello-atomico-thompson-e-modello-atomico-rutherford/>

il mio nome come suo successore al Cavendish Laboratory, dove terminai la mia carriera. Ebbi anche l'intuizione del neutrone, poi scoperto da Chadwick nel mio laboratorio, come "colla" che doveva tenere insieme il nucleo.

I: Fu un grande anticipatore...

R: Sì, ma morii troppo presto per un'ernia strozzata. Probabilmente, dati i miei esperimenti con il materiale radioattivo, mi sarei ammalato di qualche tipo di tumore, come fecero molti dei miei collaboratori, anche se una commissione di inchiesta esclude che fosse a causa dei nostri esperimenti, e che era solo un caso.

I: Lei è famoso anche per alcuni aforismi, forse un po' troppo estremi...

R: Sì, ha ragione. Ricordo che dissi: *nella scienza esiste solo la Fisica; tutto il resto è collezione di francobolli*, ma deve tenere presente che ai miei tempi la biologia, per esempio, era solo descrizione, e anche la chimica non era molto più avanti, diventerà una scienza ben fondata solo dopo la scoperta della fisica quantistica. Viceversa, sono ancora convinto della validità di un altro mio aforisma famoso: *se non riesci a spiegarlo ad un barista, probabilmente non è buona fisica*.

I: È stata un'intervista molto interessante. Arrivederci.

R: Arrivederci anche a voi, penso di andare a salutare Thomson e Kelvin. A presto.

Susan “Sue” Storm



RadioMoka 11 maggio 2019 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

https://youtu.be/dVd4jvt_wfA

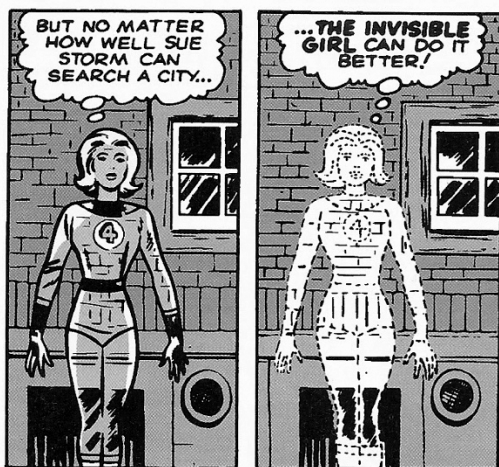
I: Per le interviste impossibili di oggi abbiamo una donna, almeno, così pensavo, perché qui in studio non vedo nessuno

S: Oh, scusi, non mi ero resa conto di essere invisibile. Eccoli qui.

I: Allora ricomincio. Benvenuta. Oggi abbiamo Susan Storm, detta Sue, meglio nota come “Ragazza Invisibile”, membro dei Fantastici quattro, sorella della Torcia Umana e moglie di Mister Fantastic, Reed Richards.

S: Buongiorno a tutti.

I: Lei è famosa per essere capace di diventare invisibile. Ci racconta come fa?



Susan “Sue” Storm Richards, la Donna Invisibile, creata da Stan Lee e Jack Kirby nel 1961.⁵²

⁵² https://it.wikipedia.org/wiki/Donna_invisibile

S: Beh, per cominciare sono invisibile solo per la radiazione visibile, posso essere vista sia agli infrarossi, che con i raggi X. E ovviamente non so bene come faccio, è una dote che ho acquisito dai raggi cosmici, quando tentammo di andare sulla Luna con l'astronave progettata da mio marito, a quel tempo ancora fidanzato. Ma ho cercato varie volte di sforzarmi di non violare le leggi della fisica, sa, in fondo noi supereroi buoni non dovremmo violare le leggi, di qualunque tipo.

I: E quindi come fa?

S: Per cominciare dobbiamo capire cosa è la visione. Abbiamo bisogno di una sorgente di luce o radiazione, di un corpo che si staglia su uno sfondo, e di un apparato sensore, un occhio. Ovviamente se manca la luce non si vede nulla...

I: Certo, il classico indovinello: "cos'è quella cosa che quando c'è non si vede e quando non c'è si vede?"

S: Non volevo solo indicare il buio. Intendevo che se lo sfondo è nero, o comunque assorbente, un oggetto che assorbe tutta la radiazione incidente, ovvero un oggetto nero, è invisibile. Molti trucchi teatrali si basano appunto sull'uso di attori vestiti di nero su sfondo nero. Lo stesso avviene con gli aerei invisibili, gli "stealth". In questo caso si parla di radar, ma il discorso è simile alla luce visibile. Gli aerei sono visibili al radar perché riflettono la radiazione e si stagliano rispetto al cielo che non la riflette. Gli aerei invisibili sono fatti con vernici che in parte assorbono la radiazione, e con una forma che riflette via il resto. Ma se il fascio radar viene fatto rimbalzare contro la stratosfera, l'aereo stealth è visibilissimo, appare come una chiazza nera contro il suolo che riflette la radiazione radar.

I: Altri metodi?

S: Il problema di essere invisibile è difficile se si deve essere invisibili da tutti i punti di vista. Se basta essere invisibili rispetto ad una sola direzione, allora è facile, basta per esempio indossare qualcosa che riproduca lo scenario sottostante, come fa la seppia. Oggi esistono sistemi basati su led e telecamere che possono farlo molto bene.

I: Ok, altrimenti?

S: In realtà un oggetto nero può essere invisibile anche in piena luce, basta che abbia la stessa temperatura della luce stessa.

I: Come sarebbe a dire la temperatura della luce?

S: Una lampadina ad incandescenza emette luce perché è molto calda, è quella che si dice "radiazione di corpo nero", più o meno a 4000 gradi per una luce bianca. Ebbene, se lei guardasse dentro la bocca di un forno a 4000 gradi, non vedrebbe gli oggetti contenuti, assumendo che non siano fusi, perché tutto emetterebbe la stessa radiazione. Le macchie solari sono visibili perché sono un po' più fredde del resto del Sole. Quindi lei mi può vedere perché io sono più fredda della luce che mi batte addosso, oppure perché ho un colore diverso da quello della luce che mi illumina, si sa che per esempio un oggetto verde di fronte ad uno schermo bianco, scompare se illuminato con luce verde.

I: Ma lei non è né verde come Hulk né ha una temperatura di 4000 gradi. Forse suo fratello potrebbe camuffarsi contro il Sole o in un incendio...

S: Una maniera per essere invisibile è non deviare la luce, ovvero far sì che un raggio luminoso passi attraverso un oggetto, o gli giri attorno.

I: Ma se gli passa attraverso è trasparente!

S: Sì, ma non tutti gli oggetti trasparenti sono invisibili. Gli oggetti trasparenti come il vetro o l'acqua, ma anche l'aria, hanno un indice di rifrazione, e quindi la luce quando passa da un mezzo trasparente all'altro devia. Per esempio, un vetro è trasparente, ma in aria, se non è esattamente perpendicolare alla linea di vista, si vede. È molto più facile essere trasparente in acqua, che ha un indice di rifrazione di 1,3. Già alcuni vetri o plastiche, che hanno indici di rifrazione vicino a 1,5, sono abbastanza trasparenti. Ci sono dei pesci che sfruttano questo sistema per essere quasi invisibili.

I: Ma lei sta in aria.

S: Giusto, e poi c'è un problema. Se uno è completamente trasparente, vuol dire che non assorbe la radiazione, quindi neppure i suoi occhi possono vedere nulla. Gli occhi dei pesci invisibili sono visibili, appunto, e per questo sono spesso posti lontano dal corpo, su peduncoli. E poi, anche se un oggetto è quasi trasparente, si può vedere che c'è dalla sua ombra.

I: E come mai?

S: Perché l'ombra può mettere in evidenza delle piccole variazioni di luminosità, che l'occhio non percepisce in maniera diretta. Per esempio, lei

può vedere l'ombra di una colonna di aria calda sopra un fornello, perché l'indice di rifrazione dell'aria dipende un po' dalla temperatura.

I: Aveva parlato di deviare i raggi luminosi.

S: Sì, sono in fase di progettazione dei metamateriali, ovvero dei materiali compositi con una struttura nanometrica opportuna, che sono in grado di far "girare" la luce attorno ad un oggetto. In questa maniera sarebbe effettivamente possibile avere l'invisibilità perfetta, il problema è che per ora questi materiali funzionano per una sola lunghezza d'onda, quindi per luce monocromatica. Beh, per esempio uno potrebbe essere invisibile alla luce gialla dei lampioni stradali. Per ora non mi resta che violare la fisica.

I: Lei riesce anche a spostare oggetti o proteggersi con un campo di forza. Lo fa in maniera ossequiosa alla fisica o no?

S: Mi dispiace dire che anche qui la fisica viene violata un bel po'. Per muovere un oggetto a distanza, o per frenarlo, si possono usare o campi elettrici, o campi magnetici, o campi elettromagnetici. Con i campi elettrici ovviamente si riesce a manipolare bene oggetti già carichi, come per esempio gli elettroni nei vecchi televisori a tubo catodico, o gli ioni nei motori ionici.

I: Ma io posso attrarre dei pezzettini di carta con una bacchetta elettrizzata, anche se la carta non è già carica.

S: Sì, se il campo è disomogeneo. Il campo elettrico provoca una polarizzazione del materiale, ovvero le cariche di segno opposto a quella della sua bacchetta sono attratte e quelle di segno uguale repulse. Se il campo è molto variabile nello spazio, si può far sì che una forza sia più grande dell'altra, esercitando una forza netta. È più o meno lo stesso effetto che una calamita fa su un pezzo di ferro non magnetico.

I: Ma in questi casi si ha sempre un'attrazione. Non si può repellere un materiale?

S: In realtà il campo magnetico ha sempre un effetto, detto diamagnetico, che è repulsivo, dovuto all'influenza del campo sulle orbite elettroniche, solo che è molto debole. Se lei sospende una bacchetta di plastica ad un filo, e poi avvicina ad un estremo un magnete molto forte, vedrà che la plastica viene respinta.

I: E con i campi elettromagnetici?

S: Beh, nei metalli si può usare un forte impulso di campo magnetico per indurre una corrente parassita, che a sua volta genera un campo magnetico. Dato che questo campo indotto è opposto a quello che lo causa, c'è una forza respingente sul corpo. Questo viene usato per esempio per separare i materiali non ferrosi nelle linee di processamento dei rifiuti, ma può farlo anche lei. Sospenda una barretta di rame o di alluminio a un filo e avvicini rapidamente un magnete, vedrà che la barretta si sposta.

I: E per i materiali non metallici?

S: Non resta che la pressione di radiazione. I fotoni portano quantità di moto, e quando vengono assorbiti, o ancora meglio riflessi, causano un effetto meccanico. La pressione di radiazione proveniente dal Sole è ciò che fa spostare la coda delle comete, e si stanno progettando delle navi spaziali spinte da dei potenti laser. Certo, è più facile friggere qualcuno con il laser che spostarlo, come fa appunto Ciclope...

I: La ringraziamo per questa spiegazione così accurata, abbiamo capito che se viola le leggi della fisica non lo fa per sfizio, ma solo per esigenze narrative.

S: La ringrazio per la sua comprensione. Quando i miei figlioli mi chiedono di aiutarli a fare i compiti di fisica mi sento sempre in colpa. Arrivederci.

I: Arrivederci anche a lei. Ci rivedremo presto, forse.

The Flash



RadioMoka 18 maggio 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/JdViLJ0MKFs>

I: Per le interviste impossibili di oggi abbiamo un altro supereroe. Dopo la donna invisibile, ecco qui l'uomo più veloce del mondo, The Flash. Benvenuto a radiomoka.

F: Grazie di avermi invitato.

I: Lei ha avuto varie incarnazioni....

F: Sì, nella cosiddetta "età dell'oro" dei supereroi, dal

1940 al 1955, ero John Garrick, uno studente di fisica che inala i vapori dell'acqua pesante, poi nell'età d'argento, dal '56 in poi, sono stato interpretato da Barry Allen, che è anche riapparso da poco, nonostante dal 1987 il testimone fosse passato a Wally West, ex-allievo e nipote di Barry, e poi da Bart Allen, un ragazzo venuto dal futuro.

I: Voi Flash avete la capacità di viaggiare nel tempo?



The Flash (creato da Gardner Fox e dal disegnatore Harry Lampert nel 1940) nella versione del 1956 (a sinistra) e del 1940 (a destra).⁵³

⁵³ [https://it.wikipedia.org/wiki/Flash_\(DC_Comics\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Flash_(DC_Comics))

F: Sì, dato che possiamo correre fino a sette volte la velocità della luce. Ovviamente per fare ciò devo violentare le conoscenze di fisica apprese quando ero John Garrick.

I: Volevamo appunto sapere quante leggi della fisica viola giornalmente.

F: Un bel po'. Per cominciare la relatività ristretta proibisce che un oggetto materiale possa raggiungere la velocità della luce. Questa proibizione nasce dall'equivalenza tra massa ed energia: via via che un oggetto acquista velocità, ovvero energia cinetica, diventa anche più massivo. E la massa, lei lo saprà, è quella cosa che mette in relazione la forza e l'accelerazione.

I: Ma anche il peso...

F: Quella è la massa gravitazionale, ci arriveremo tra poco, la massa di cui parlavo è la massa inerziale, quella che appare nella legge di Newton $f=ma$. Un oggetto è più massivo di un altro se, applicandogli la stessa forza, accelera meno. Quindi, dato che la massa aumenta con la velocità, usando sempre la stessa forza si hanno incrementi sempre più piccoli di velocità, fino ad approssimare, senza mai raggiungerla, la velocità della luce.

I: Capisco. Per arrivare vicino alla velocità della luce ci vogliono o tempi lunghi o forze pazzesche...

F: Dato che c'è sempre delle dispersioni, degli attriti, ci vogliono forze molto grandi. I fisici del CERN e di altri acceleratori lo sanno bene: per riuscire a imprimere agli elettroni o ai protoni e le loro antiparticelle delle velocità vicine a quelle della luce, devono costruire apparati giganteschi: un protone ha una massa dell'ordine di 10 alla meno 27 metri, e per accelerarlo a meno dell'un per cento dalla velocità della luce ci vogliono elettromagneti larghi decine di metri. Io, con una massa di 80 kg, dovrei quindi avere dei muscoli, che sono molto più inefficienti degli elettromagneti, del diametro di miliardi di miliardi di anni-luce...

I: Uhm.... in effetti è un problema.

F: E poi c'è la relatività generale, ovvero la massa gravitazionale, come aveva suggerito lei. Secondo Einstein la massa inerziale e quella gravitazionale sono sempre uguali, il che vuol dire che un oggetto difficile da accelerare pesa anche molto. Quindi se corro alla velocità della luce o

giù di lì, peserò anche infinitamente, e le mie gambe quindi dovrebbero reggere tale peso. Ma in effetti questo contrattempo mi torna utile.

I: E perché?

F: Come sa, io corro, non volo come Superman. Per correre, io, lei e chiunque altro, in effetti spingiamo la Terra all'indietro, e questa, per reazione ci spinge in avanti.

I: Vuole dire che se tutti cominciassero a correre verso Est, la rotazione della Terra rallenterebbe?

F: Sì, ma la massa degli umani è infinitesima rispetto a quella della Terra. Io invece, se corressi alla velocità della Luce, sarei in grado, in linea teorica, di accelerare o rallentare la rotazione della Terra, o di farla girare in altre direzioni. Ma torniamo al meccanismo della corsa. Per ricevere la spinta da parte della Terra, ci vuole un attrito sufficiente. Lei sa che sul ghiaccio non si riesce a correre, e nemmeno a stare in piedi, perché manca l'attrito. Ora, questo attrito è dato da un coefficiente, che dipende da com'è fatta la suola delle sue scarpe e la superficie stradale, moltiplicata per il peso, o meglio la forza che preme sulla strada. Tra l'altro il massimo di aderenza è dato dalle mescole con cui sono fatti i pneumatici di formula uno, che è anche maggiore di uno, ovvero "incolla" letteralmente le ruote alla strada. Nelle macchine di formula uno, si usa un alettone e la forma dell'auto per aumentare la forza premente e quindi l'aderenza, ma io non ho nessun alettone, solo delle alette sulle orecchie, mi rimane solo il peso. Dato che la mia massa aumenta con la mia velocità, questo migliorerebbe anche la mia aderenza, ma solo su un piano indefinito. Certo non posso né accelerare né frenare istantaneamente.

I: Ma in Formula uno le auto devono fermarsi ogni poco ai box per cambiare le gomme...

F: Sì, perché l'aderenza, ovvero l'incollaggio, fa sì che parte dello pneumatico rimanga sulla strada. Inoltre, c'è il calore prodotto da questo "strappare" via particelle dal pneumatico, e anche dalla compressione della sua gomma. I pneumatici di formula uno sono così larghi essenzialmente per riuscire a dissipare il calore, ma io porto solo il 44.

I: Accidenti, che complicazioni, e poi?

F: Poi c'è l'aria, che viene sempre trascurata nei fumetti. Ma lei sa che le meteore si incendiano per attrito con l'aria, e anche le capsule spaziali

che rientrano sulla Terra vanno progettate con degli scudi termici. Io invece posso correre a molte volte la velocità del suono senza nessuna conseguenza, anche se in realtà le saette che emetto quando corro sono probabilmente dovute a questo surriscaldamento.

I: Ora che ci penso, a quelle velocità non dovrebbe essere facile respirare.

F: Questo è un altro grosso problema. Correre veloci è come stare fermi in una galleria del vento. Siamo sottoposti ad una enorme pressione dell'aria, che cerca di entrare nei polmoni, ma la vera difficoltà è espellerla, anche se uno è aiutato in questo dalla pressione dell'aria sul torace. Direi che forse è il problema minore. Certo, i miei vicini mi odiano, quando inizio a correre spacco sempre timpani e vetri in tutto l'isolato.

I: Perché?

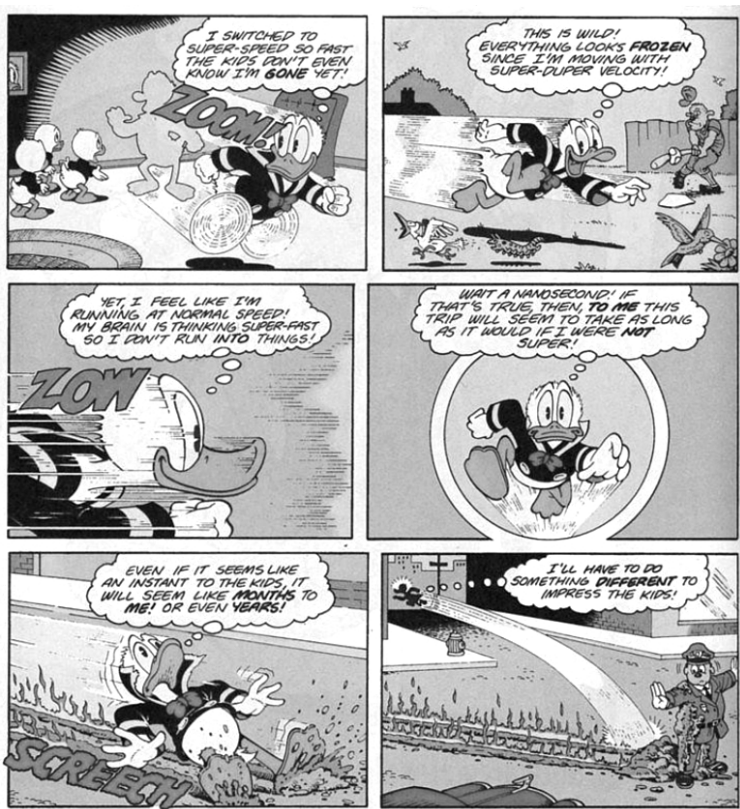
F: Per via del boom supersonico. La velocità del suono è essenzialmente la velocità tipica delle molecole di aria. Se qualcosa viaggia a velocità superiore, le molecole non possono "rimbalzare via" e si impilano, aumentando mostruosamente la forza di attrito viscoso. Questa "pila", quando scivola via di lato, "esplode" letteralmente, causando il "bang sonico". Essenzialmente, è lo stesso fenomeno dello schiocco della frusta. Il Concorde doveva rallentare a velocità subsoniche quando sorvolava centri abitati, come la Florida, per evitare danni e disagi. E poi ovviamente non posso udire nulla.

I: Altri problemi?

F: Se veramente viaggiassi alla velocità della luce, non potrei stare aderente alla superficie della Terra, dato che la velocità di fuga è solo 11 m/s, mentre la luce viaggia a 3 per 10^8 m/s. In un secondo arriverei sulla Luna...

I: E quindi altro che aderenza...

F: E poi c'è la dilatazione temporale. Io ho ovviamente un cervello super-veloce per reagire nei tempi imposti dalla mia velocità, e questo è già un problema. Come dice il mio competitore della Marvel, QuickSilver: *Ti è mai capitato uno di quei giorni in cui sei al bancomat e hai davvero fretta perché sei in ritardo ma la persona davanti a te non sa usare il terminale e non finisce più? Ora immagina cosa si prova a passare ogni giorno circondato da persone che non sanno usare il bancomat né nessun'altra cosa...*



Paperino ne "Il ritorno di Super Segugio" (Super Snooper Strikes Again), Keno Don Rosa (1992).⁵⁴

Se poi si somma la dilatazione temporale, si ha che devo pensare ancora più in fretta, e questo è terribile. Come sottolineato da Paperino quando, nel fumetto "Super-snooper strikes again" di Don Rosa beve una pozione radioattiva e diventa super, mentre corre il tempo per lui passa normalmente, ed è rallentato per tutti gli altri. Questo vuol dire che se facesse il giro della Terra, per gli altri sarebbe passato un secondo ma per lui anni e anni... Non molto divertente.

⁵⁴ <https://inducks.org/story.php?c=D+91076>

I: E poi dovrebbe attraversare gli oceani correndo sull'acqua, un'altra assurdità, immagino.

F: No, questo è possibile. L'acqua ha una certa viscosità, e quindi reagisce ad una compressione opponendo una forza, e cedendo con un certo tempo caratteristico. Se lei è abbastanza veloce, riesce a "saltare" prima che l'acqua abbia avuto il tempo di farla sprofondare. Se cerca su YouTube, scoprirà che è possibile fare qualcosa del genere anche per gli umani normali. Bisogna aumentare la viscosità del liquido, usando per esempio dell'amido, e poi vedrà che si può attraversare una piscina correndo, mentre se uno sta fermo sprofonda, come si vede fare a Dashiell Parr, detto appunto "Flash", nel cartone "Gli Incredibili".

I: Altre violazioni?

F: I miei colpi sono micidiali perché la massa del pugno aumenta con la velocità. Ma per il principio di azione e reazione, tanta forza esercito quanta ne ricevo, quindi quando sfracello gli avversari dovrei almeno spappolarmi il braccio.

I: E poi?

F: Beh, posso disintegrare gli oggetti facendo vibrare le loro molecole, ma in realtà questo è quello che succede quando si scalda un oggetto, quindi dovrei o incendiarlo o farlo fondere o evaporare... E poi posso vibrare in modo da attraversare oggetti solidi, il che equivale a dire che oggetti incandescenti diventano immateriali, abbastanza implausibile. Infine, la mia capacità di controllare l'energia cinetica a livello molecolare confligge con la seconda legge della termodinamica, dato che in principio potrei per esempio raffreddare un corpo rallentando le sue molecole senza riscaldarmi a mia volta, una proprietà che non è mai stata contemplata nelle mie avventure.

I: E problemi personali?

F: Beh, ovviamente tutti i flash soffrono di eiaculazione precoce...

I: Poveretti... Beh, è stata una discussione interessante. Arrivederci, e mi saluti gli amici della Justice League of America, o degli altri gruppi in cui le sue varie incarnazioni hanno fatto parte.

F: Lo farò senz'altro quando li vedo, ovvero tra qualche picosecondo. Arrivederci.

Pietro il Grande



RadioMoka 25 maggio 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/YWYLn2-LkL8>

I: Oggi per le interviste impossibili abbiamo qui un ospite di eccezione. Nientemeno che lo Zar Pietro I Romanov, detto Pietro il Grande, Imperatore di tutte le Russie. Benvenuto sua maestà.

P: Grazie, ma preferisco essere chiamato marinaio Pietro.

I: Come marinaio? Lei, un imperatore...

P: Guardi, sono stato eletto Zar quando avevo 10 anni, insieme al mio fratellastro Ivan V, ma in realtà per molto tempo sono riuscito a schivare le mie responsabilità, dedicandomi alle mie passioni, in particolare andare in barca e costruirle.



Ritratto dello zar Pietro I di Russia (1672-1725) da Paul Delaroche, 1838.

I: Mi sembra di ricordare che ci fossero vari intrighi di palazzo...

F: Quanto basta per riempire più di un romanzo. Mio padre era lo zar Alessio, che dalla prima moglie Maria aveva avuto 13 figli, tra cui appunto Ivan, Fiodor e Sofia che sarà una figura importante. Al 13° parto

Maria morì, e mio padre si risposò con Natalia, mia madre, che gli diede altri tre figli, di cui io ero il maggiore.

Alla morte di mio padre gli succedette Fiodor, che però era semi-invalido e si doveva muovere in portantina. I Boiardi, ovvero i nobili, decisero che avrebbero affidato la scelta alla folla lì riunita, che elesse me come zar. Ma la sorellastra Sofia non era d'accordo e quindi sobillò gli Strelzi contro la famiglia di mia madre.

I: Gli Strelzi? E chi erano?

F: La guardia dell'imperatore, una specie di pretoriani, che praticamente avevano un potere immenso quando si trattava di forzare la mano in caso di elezione di uno zar. Gli Strelzi marciarono sul Cremlino, e trucidarono un bel po' di boiardi e di miei zii, e sotto la loro pressione io fui affiancato dal mio fratellastro Ivan V. Però in pratica fummo entrambi estromessi e il potere passò a Sofia. Io ne approfittai per andarmene a giocare presso un lago lì vicino.

I: Giocare? Uno zar che gioca?

F: Ero molto poco educato, nel senso di erudito. Mi piaceva giocare con i soldatini, ma quelli in carne ed ossa. Misi su una specie di accampamento scout, con i figli di vari boiardi, ma anche con giovani del luogo e questo alla fine diventò il mio esercito personale. Eravamo molto irriverenti, io non mi feci mai eleggere come capo, ma c'era un amico che impersonava lo zar e un altro il patriarca. Dovete tenere presente che la società russa del tempo era estremamente conservatrice, in Europa ci consideravano dei barbari. L'unico contatto che avevamo con l'occidente erano gli stranieri che risiedevano in quello che era chiamato il quartiere tedesco, e che era stigmatizzato da tutti i preti.

I: E che facevate?

F: Parodie di battaglie e altri riti, che però servirono per apprendere da soli i rudimenti della guerra. E grandi bevute. Poi mi regalarono un sestante, ma non sapevo come usarlo e quindi andai a domandare nel quartiere tedesco. Lì trovai una persona, un olandese, che cominciò a insegnarmi varie discipline tecniche, tra cui l'arte di navigare a vela sul lago. Fu una vera illuminazione, mi appassionai alla navigazione ed alla marina. Timmerman, l'olandese, pretendeva che studiassi matematica, astronomia e geografia, ed io, che fino ad allora avevo evitato gli studi, rimasi folgorato.

I: Le piaceva la matematica?

F: Non solo, mi resi conto di quanto la Russia fosse indietro rispetto all'Europa. E di quanto era bello andare per mare, solo che la Russia non aveva nessuno sbocco. A sud il mar d'Azov e il Mar Nero erano parte dell'impero ottomano, e a nord il Baltico era occupato dagli svedesi. Restava solo il Mar Bianco, che però era sempre ghiacciato. Così pensai prima di sfondare a sud, ma non riuscii ad arrivare al Mar Nero, nonostante ci avessi buttato qualche migliaio di vite umane, così mi risolsi ad attaccare gli svedesi, a quei tempi una delle nazioni più agguerrite. Ma per far ciò avevo bisogno di inventare una marina russa, oltre che di trasformare completamente l'esercito.

I: E come fece?

I: Appena ebbi il potere, organizzai una grande spedizione in occidente, che mi portò a visitare tra le altre nazioni l'Olanda e poi la Gran Bretagna, paesi meravigliosi pieni di artigiani bravissimi e di sapienti. Io cercai sempre di viaggiare in incognito così da farmi assumere come manovale nei cantieri navali per imparare tante cose pratiche, cosa che avevo fatto anche in Russia. Alla fine, tornai dall'occidente con centinaia tra artigiani, carpentieri e scienziati, con cui rivoluzionai la Russia.

I: Addirittura! e cosa fece?

F: Beh, tutto. Obbligai i nobili a tagliarsi la barba, pena una tassa, e a vestirsi all'occidentale. Aprii la prima università russa, e imposi a tutti i figli di nobili o benestanti di seguire corsi di matematica.

I: E questo sforzo ebbe successo?

F: Sì, alla fine la mia marina nuova e l'esercito riformato mi consentirono di sconfiggere il re di Svezia Carlo XII, che all'inizio del conflitto aveva solo 16 anni, ma era bravissimo. Alla sua morte piansi amaramente. Comunque, approfittai delle vittorie sugli svedesi per fondare la mia capitale, S. Pietroburgo, finalmente una città sul mare!

I: Lei è stato un sovrano illuminato, come lo fu sua nipote Caterina II, detta "la Grande".

F: Visto a posteriori, non esagererei. Io fui senz'altro un innovatore, ma ero anche spietato. Per esempio, alla fine mi stancai dei complotti degli Strelzi, e ne feci fuori qualche centinaio, prima facendoli torturare per giorni, quindi tagliando loro braccia e gambe, per venire infine

decapitati. Feci rinchiudere la mia sorellastra Sofia in un convento, e feci impiccare una manciata dei suoi congiurati Strelzi alle sbarre della sua cella. Costrinsi anche la mia prima moglie, che era insopportabile ma mi era stata imposta da mia madre, a entrare in un convento, così potei sposare la mia amante, una donna di umili origini, che poi associò al trono come Caterina I, e che mi succedette alla mia morte.

I: Come sempre per i grandi del passato, ci sono luci ed ombre nella sua vita. Mi tolga però le ultime curiosità: lei si è proclamato Imperatore autocrate di tutte le Russie: che cosa vuol dire autocrate e quali sono queste Russie?

F: Autocrate vuol dire che non dovevo rendere conto a nessuno. Capisco che a voi questo può sembrare poco democratico, ma ai miei tempi era invece simbolo di modernità: Un sovrano autocrate illuminato poteva sovvertire il suo stato come voleva, l'alternativa era invece quella di appoggiarsi ai nobili, ai boiardi, che erano quasi per definizione conservatori.

I: E le Russie?

F: Ma ovviamente la Grande, la Piccola e la Bianca. La Grande Russia è quella che conoscete anche voi, va dal Don fino al Pacifico, la Piccola Russia è l'Ucraina, e la Russia Bianca è la Bielorussia.

I: E perchè la Bielorussia è bianca?

F: Il nome deriva probabilmente dalla radice slava "balt" che vuol dire bianco, e può dipendere sia dagli abiti tradizionali dei suoi abitanti, sia dal fatto che era occupato da popolazioni più "bianche" dei vicini.

I: Grazie della visita, abbiamo imparato un po' di storia e di come è iniziata la "nascita" scientifica della Russia, che poi è diventata una grande potenza europea ed asiatica. Arrivederci.

F: Arrivederci anche a voi, e salutatemi il doge di Venezia. Mi aiutò molto nella guerra contro i Turchi, e avrei voluto imparare da lui qualcosa sulle galee veneziane, ma dovetti rientrare precipitosamente in patria per domare la solita rivolta degli Strelzi. A presto.

Leonardo da Vinci

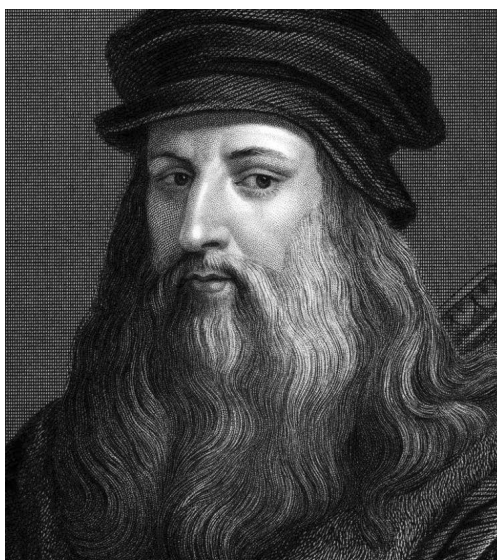


RadioMoka 8 giugno 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/897Flnefs1A>

I: Per le interviste impossibili, non poteva mancare il genio per eccellenza, di cui ricorre in questi giorni il 500-esimo anniversario della morte, ovvero Leonardo da Vinci. Benvenuto, maestro.

L: Grazie di avermi invitato, anche se sono un po' stanco. Non fanno altro che invitarmi di qua e di là, perché racconti come ho fatto a dipingere la Gioconda, come era strutturata la Battaglia di Anghiari, nel Salone dei 500 a Palazzo Vecchio, e se ho davvero inventato la bicicletta.



Leonardo da Vinci (reinterpretazione della Tavola Lucana).

I: Beh, sarebbe piaciuto anche a noi domandarle tutte queste cose, ma cerchiamo di evitare. Però non può esimersi da raccontarci un po' la sua vita e soprattutto cosa ha fatto come scienziato.

L: Penso che la mia vita la conosciate già, comunque la riasumo. Sono nato figlio illegittimo di un notaio e della sua serva Caterina. Dato che mio padre stava per sposarsi con una nobildonna, a mia madre fu assegnata una casetta e fu combinato il matrimonio con un contadino, tal Pietro del Vacca da Vinci detto anche l'Attacabriga. Un bel tipetto.



Copia di Paul Rubens della parte centrale del dipinto.⁵⁵

Però comunque fui bene accolto nella famiglia di mio padre, che del resto non avrà altri figli dalla prima moglie legittima. Così vissi la mia giovinezza a casa sua. Il babbo poi si risposò altre tre volte, riuscendo a mettere al mondo altri 12 figli, i miei fratellastri che non vollero spartire con me l'eredità paterna. Vagabondai un bel po', a Milano, poi a Pavia, di nuovo a Milano, a Mantova, a Firenze, a Roma, e infine in Francia, il posto dove sono stato sicuramente più in pace, tanto che qualcuno mi chiama "il genio francese".

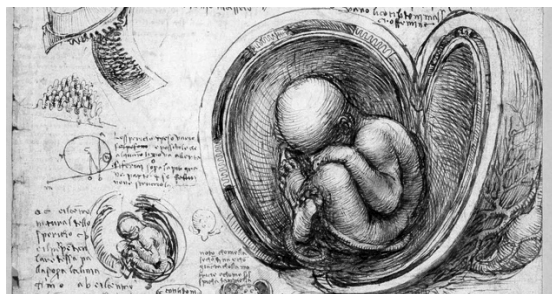
I: Che studi fece?

L: Purtroppo non potei fare gli studi umanistici necessari per diventare qualcuno al mio tempo: sapevo poco il latino e niente di greco. I miei primi insegnanti furono mio nonno e mio padre, che però erano alquanto discontinui e disordinati. Avrebbero voluto fare di me un notaio come loro, ma poi si rassegnarono e mi consentirono di studiare tantissime cose pratiche, soprattutto nella bottega di Andrea del Verrocchio.

I: Capisco che a bottega abbia imparato a essere un buon pittore, ma il resto delle sue conoscenze da dove sono venute?

⁵⁵ [https://it.wikipedia.org/wiki/Battaglia_di_Anghiari_\(Leonardo\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Battaglia_di_Anghiari_(Leonardo))

L: Innanzi tutto ai miei tempi non c'era una distinzione netta tra pittura, scultura, architettura e ingegneria, così che un pittore o uno scultore doveva anche conoscere come costruire una casa, come mettere in scena una rappresentazione teatrale, e magari anche come governare un fiume. Tenga



Prima immagine della corretta posizione del feto nell'utero, dal foglio 18 dei "Quaderni di anatomia".

presente che tutte queste scienze avevano cominciato da poco ad essere studiate sistematicamente. Per esempio, l'amico Luca Pacioli che incontrai a Milano nel 1497, era chiamato "matematico", ma, come disse lui stesso, si occupava di aritmetica, geometria, astrologia, musica, prospettiva, architettura e cosmografia...

I: E quindi imparò tutto dal Verrocchio?

L: No! Più o meno nel 1474, quando avevo 22 anni e cominciavo ad essere conosciuto, mi presi quattro anni di sabbatico, studiando fisica e meccanica con un vecchio astronomo, Paolo del Pozzo Toscanelli, che aveva insegnato matematica al Brunelleschi e che aveva calcolato, usando le elaborazioni sbagliate di Tolomeo, che la via più breve per raggiungere le Indie fosse attraverso l'Atlantico, la strada che intraprese poi Colombo. Nello stesso periodo mi appassionai anche all'anatomia, cominciando ad aprire i cadaveri provenienti dalle camere mortuarie. Forse lo sa già, ma ero interessato da tutto e alquanto incostante.

I: Sì, lo sappiamo, infatti ha terminato poco di quello che ha cominciato.

L: Il fatto è che quando avevo capito come funzionava un oggetto o un organismo, o come fare per ottenere un certo effetto, mi disamoravo, a meno ovviamente che non dovessi finirlo per forza. Comunque, in quegli anni venni accusato di sodomia, un'accusa alquanto pericolosa.

I: La Firenze del '500 non era tollerante verso gli omosessuali?

L: C'era un certo movimento culturale pro-omosessualità, che si rifaceva alla grecità, Sa, Firenze veniva chiamata l'Atene moderna, ma le pene previste per i sodomiti erano comunque pesantucce: evirazione per gli adulti e taglio del piede per i giovani.

I: E lei come se la cavò?

L: Fu facile, perché avevano denunciato anche Leonardo Tornabuoni, giovane rampollo di una delle famiglie più influenti di Firenze, così l'accusa fu insabbiata e finì nel nulla.

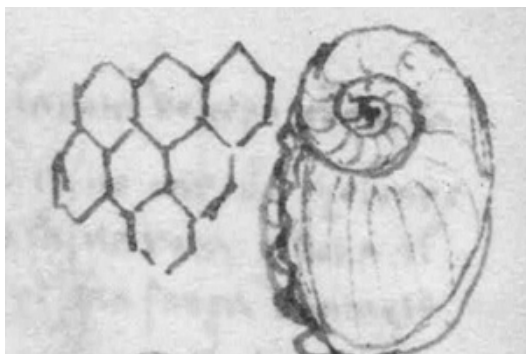
I: Ci parli di lei come scienziato.

L: Beh, forse perché ho fatto pochi studi classici, ho sviluppato una grande diffidenza verso la metafisica, ed ho sempre privilegiato l'esperienza diretta, supportata dalla matematica. Evidentemente però ho fatto pochi proseliti, dato che Galileo, duecento anni dopo di me, doveva lottare contro lo stesso atteggiamento che privilegia il ragionamento vuoto all'esperienza diretta. Comunque fui sostenitore dell'alchimia, perché ci vedevo lo spunto per un approccio scientifico, mentre mi opposi sempre alla magia. Ho praticamente fondato la geologia e la paleontologia.

I: La geologia? In che senso?

L: Ai miei tempi i fossili trovati in montagna erano considerati la prova del diluvio universale. Ma questo non mi convinceva. Notai che si potevano vedere i segni lasciati dai parassiti sulle conchiglie fossili, e le gallerie che queste scavavo nella fanghiglia, or-

mai diventata roccia. Se il mondo fosse stato sommerso dal diluvio, avremmo dovuto trovare i fossili nel luogo in cui vivono le conchiglie, ovvero lungo la fascia del bagnasciuga, invece si trovavano ovunque. Io



Leonardo da Vinci, disegno di un Palaeodictyon li (a sinistra) e di una conchiglia (a destra), Paris Manuscript I.

seguii un'analogia tra circolazione dell'acque e circolazione sanguigna, e conclusi che in tempi antichi i luoghi dove si trovavano i fossili dovevano essere stati fondali marini.

I: Una bella intuizione.

L: Ma che mi portò fuori strada per il ruolo giocato dal cuore per il sangue: per me non era altro che un grande lago, non una pompa.

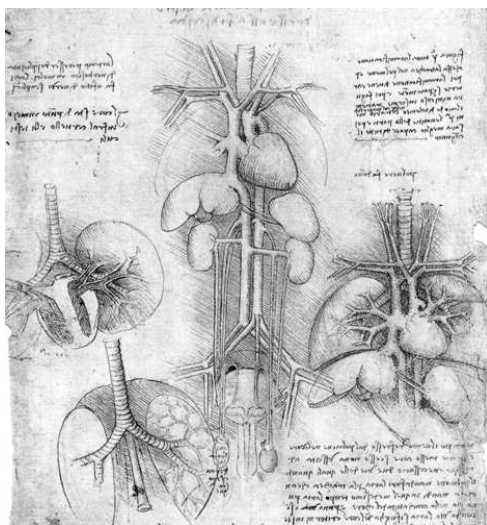
I: E per quanto riguarda l'astronomia?

L: Per cominciare ero un convinto eliocentrico, poi pensavo che i pianeti ed il sole si attraessero come calamite, in qualche maniera prefigurando la gravitazione. Immaginai di fare un buco che attraversasse la Terra, e mi domandai cosa avrebbe fatto un sasso che fosse stato gettato in questo pozzo.

I: A che conclusioni arrivò?

L: Che, a parte l'attrito dell'aria, il sasso sarebbe arrivato fino al centro, per poi risalire fino al livello originario agli antipodi, e quindi sarebbe tornato indietro, in una sorta di moto perpetuo.

I: Geniale, se si pensa che anche Newton sbagliò la prima risposta ad una domanda simile, anche se in quel caso c'era pure la rotazione terrestre da considerare.



Cuore, polmoni e altri organi.⁵⁶

⁵⁶ <https://www.rct.uk/collection/919104/recto-studies-of-the-heart-lungs-liver-spleen-et-verso-the-heart-lungs-and-other>

L: Poi mi interessai alla botanica, studiando la disposizione delle foglie, sa, per fare disegni più realistici, e la risalita della linfa nelle piante, ovvero la capillarità.

I: Ma quindi è stato lei, non Galileo, il primo scienziato moderno?

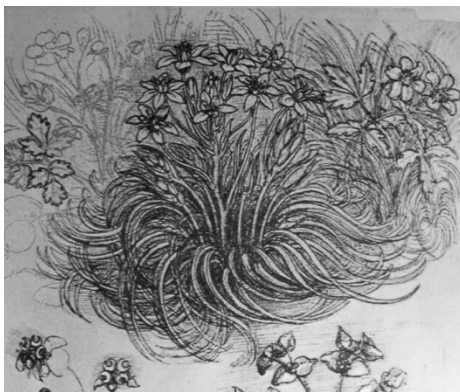
L: No, non esageriamo. Il mio spirito è molto diverso da quello di Galileo. Lui è stato sistematico, ha esaminato tutti i fatti da molti punti di vista, scrivendo dei trattati. Io avevo delle intuizioni, annotavo una idea o facevo un disegno, ma poi non scavavo a fondo in quello che avevo scoperto e non ero sistematico. La scienza non è tanto intuizione, quanto sistematicità nel portare avanti le conseguenze di una intuizione.

I: Lei è molto profondo, un vero filosofo.

L: Dio me ne scampi e liberi, dai filosofi. In questo sono d'accordo con Benedetto Croce, che non sono stato abbastanza riflessivo. Certo, il Croce lo diceva perché per lui i veri filosofi sono i metafisici, mentre per me "nessuna umana investigazione si può dimandare vera scienza, s'essa non passa per le matematiche dimostrazioni".

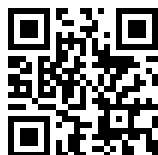
I: Sono d'accordo con lei. Grazie per la sua intervista.

L: Tanti saluti a voi e ai vostri ascoltatori. Devo sbrigarmi, mi aspettano i miei amici per una cena. Come scrissi nell'ultimo foglio delle mie note, mentre stavo abbozzando un teorema matematico: "smetto qui perché la minestra si fredda". Addio.



Studio botanico.

Rosalind Franklin



RadioMoka 15 giugno 2019 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

https://youtu.be/Wevov7pMW_c

I: Per le interviste impossibili, abbiamo oggi un'altra delle vittime dell'effetto Matilda, la dottoressa Rosalind Franklin. Ho detto giusto?

F: Sì e no. L'effetto Matilda si riferisce al fatto che a parità di contributo, alle donne viene riconosciuto minor merito che agli uomini, e che addirittura si tende a trascurare del tutto il loro contributo.

Se lei si riferisce al fatto che non mi hanno attribuito il premio Nobel per la scoperta del DNA insieme a Watson, Crick e Wilkins, c'è da dire che questo premio non viene attribuito postumo, e che io nel 1962 ero già morta.

Ci sono stati dei casi di Nobel "quasi postumi", nel 1931 fu dato il Nobel per la letteratura a Erik Axel Karlfeldt (appena morto), che però l'aveva rifiutato nel 1918 perché era membro della commissione del premio, nel

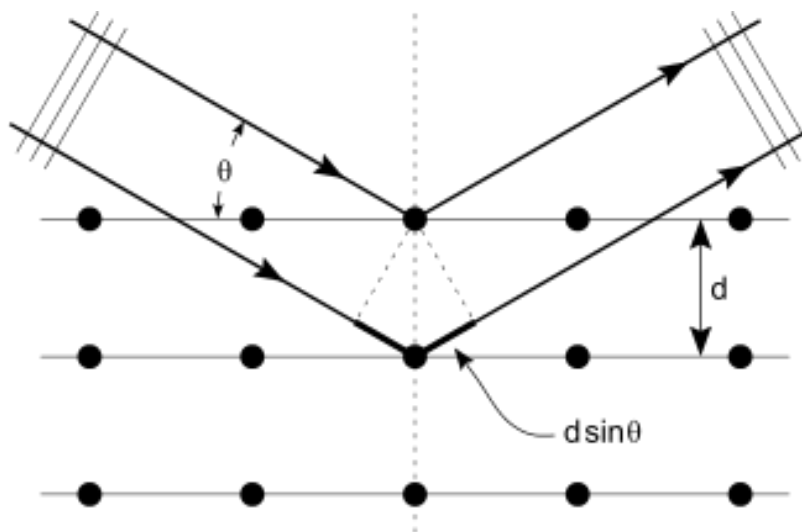


Rosalind Franklin.⁵⁷

⁵⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Rosalind_Franklin

1961 quello per la pace fu dato a Dag Hammarskjöld, che era morto (forse ucciso) in un incidente aereo in una missione di pace qualche settimana prima, e nel 2011 il Nobel per la medicina e la fisiologia è stato dato a Ralph Steinman con la motivazione che era morto quando avevano già deciso di darlo a lui.

Se invece si riferisce al fatto che nel famoso libro di Watson, “La doppia elica”, io sono stata citata solo per dire che ero fredda, arrogante e vestita da liceale, beh, direi che questo è dovuto al fatto che Watson è uno stronzo.



Riflessione di un'onda (tramite interferenza) da parte di un reticolo.

I: Lei è veramente diretta e parla senza peli sulla lingua, come dicono tutti quelli che l'hanno conosciuta. Ci può raccontare un po' della sua vita?

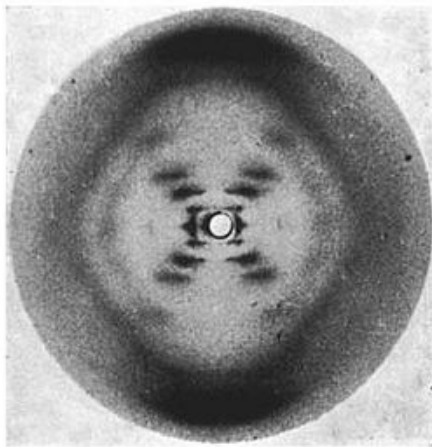
F: Volentieri. Sono nata nel 1920 in una famiglia ebrea dell'alta borghesia. I miei erano veri inglesi, più inglesi degli inglesi veri e propri. Da piccola ero brava nei giochi di memoria, e in aritmetica. Mi piaceva molto anche lo sport. Ero brillante, ma anche molto timida e apprensiva, a scuola soffrivo di ansia, anche se poi andavo sempre bene.

I: Lei è famosa per i suoi studi sulla diffrazione dei raggi X, ma ha sempre studiato questa materia?

F: No, in realtà ho cominciato come chimico-fisico studiando il carbone, o meglio, il carbonio nelle sue forme, in particolare la grafite. Avevo intuito che si sarebbero potuti ottenere dei filamenti estremamente robusti, quello che ora si chiama grafene. Per studiare il carbonio imparai la tecnica della diffrazione dei raggi X.

I: Ci può descrivere in dettaglio di che si tratta? Non è come una radiografia, giusto?

F: No, si tratta di una tecnica introdotta dai Bragg e da Von Laue, che avete intervistato anche qui. Quando un raggio X incide su un atomo, mette in vibrazione i suoi elettroni che a loro volta emettono onde elettromagnetiche. Se il materiale è disomogeneo, abbiamo una radiazione diffusa, ma se è in uno stato cristallino, la disposizione degli atomi si ripete in maniera ordinata, così che in certe direzioni la radiazione diffratta è molto intensa, in altre direzioni è assente. Si



L'immagine B 51 della diffrazione a raggi X del DNA da parte di Franklin e Gosling (1952).

ottiene cioè una immagine formata da punti luminosi, che poi diventano neri sulla lastra fotografica, e questi punti danno delle informazioni preziose su come sono disposti gli atomi nel cristallo.

I: Ma quindi non si vede un'immagine diretta del cristallo?

F: No, bisogna lavorare parecchio per ricostruire la struttura originale dalla sua immagine di diffrazione. A dire la verità, si procede quasi sempre in maniera opposta: si costruisce un modello del cristallo, e da questo modello si ricava, per via matematica o computazionale, l'immagine che darebbe ai raggi X, e si confronta con l'immagine ottenuta

sperimentalmente, per convalidare o meno l'ipotesi. Certo, alcune caratteristiche dell'immagine ci dicono subito se la struttura cristallina è, diciamo, composta da cubi, da piramidi o a forma di elica. La mia famosa "foto 51", quella che fu mostrata a mia insaputa da Wilkins a Watson e che confermò il modello che stavano costruendo, mostra chiaramente, con la disposizione ad X dei pallini luminosi, che si tratta di un'elica.

I: Andiamo avanti con la sua storia.

F: Dopo la guerra, che passai facendo lavoro volontario, come del resto tutta la mia famiglia, ma anche prendendo il dottorato, lavorai per quattro anni a Parigi, e poi tornai a Londra, al King's College. Lì, insieme con Gosling, un mio studente di dottorato, e con Wilkins, il capo laboratorio, ci mettemmo a studiare il DNA. Il problema è quello di farlo cristallizzare, cosa non facile dato che quando si disidrata cambia forma, e poi i campioni che si ottenevano erano piccoli, bisognava sviluppare delle tecniche di micro-analisi, perché più un campione è piccolo e più la foto è sfocata. dovevamo far "filare" il DNA con un capillare, e unire una ventina di queste fibre invisibili in modo da ottenere un micro-cristallo. Alla fine, ottenemmo delle belle immagini, che, come ho detto, mostravano la struttura ad elica del DNA. Ma c'era da fare anche il modello.

I: E qui entrano in gioco Watson e Crick.

F: Loro si intendevano a meraviglia. Watson era quello più arrivista. Era giovane, aveva studiato i virus e voleva capire come funzionavano i geni, ma sapeva poco di chimica e fisica. Crick era quello geniale. Avrebbero dovuto lavorare su altri argomenti, ma se ne fregavano e facevano quello che volevano. Watson però era quello che faceva anche la talpa, corteggiava Wilkins per ottenere delle informazioni sulle nostre immagini. Io mi ero scociata del King's College, dove mi chiamavano la "dark lady" e stavo prendendo contatti con un altro laboratorio. Mentre ero via Wilkins mostrò a Watson le mie foto, non a caso il Nobel lo hanno dato anche a lui. Quando Watson e Wilkins esaminarono la mia famosa "foto 51", si resero conto non solo che la forma del DNA è un'elica, ma che ha circa un passo di 10 basi, e, basandosi su un lavoro precedente, che la simmetria implica che le due metà dell'elica vanno in direzioni opposte. Nonostante questo, all'inizio Watson cercava di appaiare le basi simili, A con A, G con G, quando un chimico gli disse che stava sbagliando tutto. Inoltre, c'è una osservazione sperimentale che la quantità di adenina, A, è sempre uguale a quella di timina, T, così come succede per la citosina, C, e la guanina, G.

Se si appaia la A con la T e la C con la G, tutto torna. Inoltre, aprendo la doppia elica come se fosse una cerniera lampo, si ha il meccanismo per duplicare fedelmente il DNA.

I: L'articolo di Watson e Crick, quello Wilkins e collaboratori e quello suo e di Gosling apparvero sullo stesso numero di Nature.

F: Sì, ma l'ordine di apparizione, e il fatto che Watson e Crick nel loro articolo affermassero "siamo stati stimolati dalla conoscenza generica del lavoro della Franklin", invece di dire che avevano visto le mie foto, facevano intuire che il mio contributo era irrilevante.

I: Lei ci sarebbe arrivata da sola a determinare la struttura del DNA?

F: Non lo so, io sono sempre stata molto cauta, e quando mi mostrarono il modellino di Watson e Crick, dissi che non mi convinceva. Forse ero un po' prevenuta, perché questi due mi sembravano molto approssimativi, l'anno prima avevano elaborato un modello di DNA con i gruppi fosfato all'interno dell'elica, e le basi all'esterno, e io dissi loro francamente che il modello non stava né in cielo né in terra. Certo che se non ci fossero arrivati Watson e Crick, qualcun altro, nel giro di pochi anni o forse di mesi, l'avrebbe fatto. Probabilmente sarebbe stato Linus Pauling, che aveva già determinato la struttura delle proteine e stava lavorando sul DNA. Linus era un chimico molto migliore di Watson, che era un biologo, e di Crick, che era un fisico, ma aveva elaborato un modello di DNA a tripla elica che non concordava con le osservazioni a raggi X. Sarebbe dovuto passare dal mio laboratorio proprio nel 1952, e probabilmente gli sarebbe bastato dare un'occhiata alle mie foto per intuire la disposizione corretta.

I: E poi che fece?

F: Quello stesso anno me ne andai all'università Birkbeck, sempre a Londra, a studiare il virus del mosaico del tabacco, ovviamente sempre con i raggi X.

I: Ma non si è mai preoccupata delle radiazioni che prendeva?

F: Effettivamente eravamo esposti ad alte dosi di radiazioni, avevamo dei dosimetri e quando superavo il livello consentito ero molto arrabbiata perché mi toccava stare lontano dal laboratorio per delle settimane. Forse i due tumori alle ovaie, di grosse dimensioni, che mi trovarono nel 1956 sono collegabili a questa esposizione, anche se tutti gli ebrei

Askenazi mostrano una certa predisposizione a questi tipi di tumore. Sono poi morta nel '58, a 37 anni.

I: Per concludere, lei pensa di essere stata discriminata in quanto donna?

F: Beh, certo non sono stata favorita, ma erano anche i primi tempi in cui si vedevano donne nei dipartimenti di fisica e chimica. Per cominciare, in tutti i laboratori dove andavo, davano per scontato che avrei dovuto essere una assistente del capo, mentre io ho sempre lavorato in maniera indipendente, spesso scontrandomi con tutti gli altri. E poi c'erano i rapporti interpersonali. Per esempio, al King's College i ricercatori maschi pranzavano sempre in una saletta riservata, mentre le donne mangiavano con gli studenti al piano terra. Io ho sempre richiesto ai miei collaboratori, maschi o femmine, di stare insieme per la pausa caffè e per il pranzo. Watson poi era convinto di essere irresistibile con le donne, ed era molto contrariato che io non stravedessi per lui, non mi mettessi il rossetto, non andassi dal parrucchiere e non indossassi occhiali glamour e vestiti carini quando avevo un appuntamento di lavoro con lui, e soprattutto non sopportava che non mi facessi in quattro per aiutarlo, così mi soprannominò "la bisbetica Rosy". Ma comunque non sono mai stata una femminista.

I: Bene, la ringraziamo per questa interessantissima intervista. A presto.

F: Arrivederci.

Vera Rubin



RadioMoka 16 novembre 2019 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/f12QjhhaOMw>

I: Buongiorno, dottoressa Vera Florence Cooper

V: Mi chiami Vera Rubin, che è come la gente mi conosce.

I: Ma non le sembra un po' strano, lei che si è molto battuta per i diritti delle donne, essere conosciuta con il nome di suo marito.

V: Io e Robert, Robert Rubin, ci siamo amati molto. Ci siamo sposati a vent'anni ed abbiamo fatto quattro figli. Siamo sempre andati d'accordo e non mi sembra un peso portare il suo nome, anche perché qui in America usa così. Immagino che da voi in Europa tutto ciò sembri una perdita di identità.

I: Sì, effettivamente è così. Ma parliamo di lei. È stata una astronoma dilettante...

V: Sì, fin da piccola sono stata affascinata dall'osservazione del cielo e delle stelle, e ho delle foto in cui, da adolescente, guardo nel cannocchiale.



Vera Rubin al telescopio, Vassar College, circa 1947.

I: Lei è nata nel 1928. Nonostante non fosse più il tempo di Madame Curie (altra conosciuta con il nome del marito) e che sia nata in America, la situazione per le donne non era molto migliore.



Vera Cooper Rubin nel 1970, mentre sta misurando la velocità di rotazione delle galassie.

V: No, ha ragione. Era semplicemente inconcepibile che una donna studiasse astronomia, nonostante l'America vantasse la prima astronoma donna, Maria Mitchell che nel 1847 scoprì una cometa. Io fui la sola studentessa a prendere la laurea triennale in astronomia al Vassar College, una scuola femminile dove aveva insegnato proprio Maria Mitchell. La scelsi proprio per questo. Ma lei era una quacchera, una setta molto attenta alla parità tra uomini e donne, mentre io sono ebrea, e dove abitavo io, nello stato di New York, c'era molta più discriminazione.

I: Lei è religiosa? Non è una contraddizione per una scienziata?

V: Nella mia vita, la scienza e la religione sono separate. Come ho detto sono ebrea, quindi la religione per me è una specie di codice morale. Credo che la scienza, idealmente, dovrebbe essere considerata come qualcosa che ci aiuta a capire il nostro ruolo nell'universo.

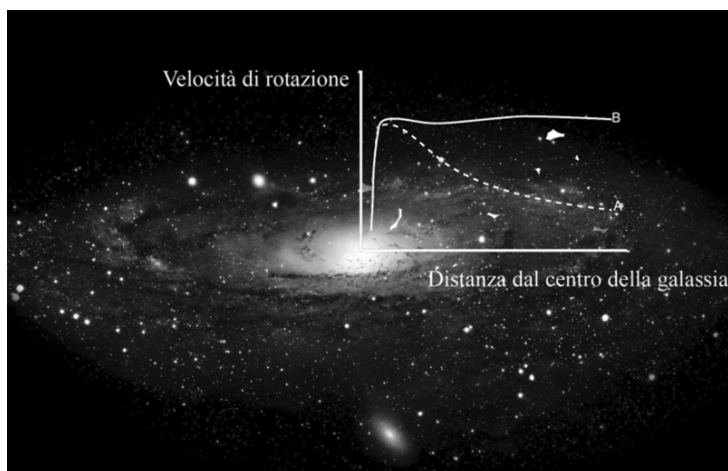
I: E come proseguì la sua carriera scolastica?

V: Provai a entrare a Princeton, ma quando chiesi di vedere la lista dei corsi mi risposero che loro non accettavano donne nelle magistrali di

fisica e astronomia, e lo fecero per i seguenti 27 anni. Inoltre, mi ero sposata, e Robert era stato accettato come studente alla Cornell, dove mi iscrissi anche io.

I: E cosa studiò?

V: Il moto delle galassie. Non volevo imbarcarmi in campi di frontiera, come quello delle quasar, e preferii studiare un argomento di nicchia. A quel tempo si pensava di sapere tutto sul moto delle stelle nelle galassie e delle galassie tra loro, ovvero che fossero semplicemente governate dalla legge di Newton, a sua volta determinata dalla massa osservabile delle stelle. Le mie osservazioni sembravano suggerire qualcos'altro, ovvero che le galassie ruotassero intorno ad un centro comune. In realtà, questa ipotesi fu poi sconfessata, ma le mie osservazioni furono considerate molto accurate.



*Esempio di velocità di rotazione delle stelle intorno al centro di una galassia.
A è la previsione teorica, B è la misura sperimentale.*

I: E dove fece le osservazioni?

V: All'osservatorio di Monte Palomar, e non furono facili. Tanto per cominciare, ero incinta, e poi a Monte Palomar non c'erano i bagni per le donne, così che all'inizio mi fu rifiutato l'accesso. La prima cosa che feci quando riuscii ad entrare fu di attaccare la figurina della donna sulla porta dei bagni, così potevo entrare anche io. Mi laureai subito dopo la

nascita del mio primo figlio, e praticamente feci le mie prime presentazioni alle conferenze mentre allattavo, supportata da mio marito.

I: Continui, la prego.

V: Dopo la laurea volevo prendere il dottorato, ma anche questo non fu facile. Entrai alla Gergetown University, a Washington, la sola università che dava un dottorato in astronomia. Avevo 23 anni ed ero incinta del mio secondo bambino, mentre mio marito si occupava del primo. Alla fine, riuscii ad avere George Gamow, uno dei primi studiosi del Big Bang, come supervisore, e nel mio lavoro di dottorato scoprii come le galassie formano degli ammassi. Fu proprio mio marito a farmi vedere un articolo di Gamow nel quale ci si domandava se le leggi di Keplero delle rotazioni dei pianeti attorno al Sole potessero applicarsi anche al moto delle galassie.

I: Le discriminazioni erano finite?

V: Per niente. Una volta volevo incontrare Gamow per discutere con lui una questione, ma non mi fecero salire negli uffici. "Le donne non sono ammesse", dissero, e dovemmo discutere al bar. Quando esposi i miei risultati il Washington Post scrisse "giovane mamma scopre il centro della galassia". Immaginatevi se un titolo del genere l'avrebbero fatto per un uomo con figli piccoli.

I: Ma questo non è il suo risultato principale, giusto?

V: È così. Dopo aver studiato le galassie mi rivolsi a quella più vicina a noi, la galassia di Andromeda. Cominciai a misurare accuratamente la velocità delle stelle in questa galassia, che è una specie di cugina della Via Lattea. Dopo un po' mi accorsi che le velocità delle stelle periferiche non andava d'accordo con quello che si pensava.

I: Le stelle più lontane vanno più lentamente, no? Non è la terza legge di Keplero?

V: La legge di Keplero vale per i pianeti che orbitano intorno ad una stella, per le galassie è un po' diversa perché la massa non è tutta concentrata ma distribuita. Comunque si prevede che le stelle più lontane viaggino via via più lente, ma le osservazioni invece mostravano che dopo una certa distanza, le velocità diventavano costanti.

I: E questo cosa vuol dire?

V: Che la massa non era concentrata come le osservazioni delle stelle visibili suggerivano. Per spiegare il moto osservato bisogna ipotizzare che ci sia molta più massa in giro, e che questa non sia concentrata nel centro della galassia ma bensì sparpagliata in un alone. Facendo i calcoli, questa massa oscura ammonta a 5-10 volte la materia visibile. I miei calcoli sono stati poi confermati da altre osservazioni, per esempio l'effetto lente gravitazionale da parte di galassie che hanno bisogno di molta più massa di quella osservabile per riuscire a curvare la luce.

I: E da cosa è composta questa materia?

V: Non si sa. Potrebbero essere nuove particelle che interagiscono poco con quelle conosciute a parte la gravità. Di sicuro non è polvere, perché oscurerebbe le stelle, né neutrini, perché questi viaggiano quasi alla velocità della luce e se ne sarebbero andati via. Potrebbero però essere dei buchi neri primordiali, non dovuti al collasso stellare ma formati all'epoca del Big Bang, stelle mancanti o altri aggregati di materia usuale, che però non ce la fa ad "accendersi" come stelle. Ci sono anche ipotesi più esoteriche, che dicono che questa attrazione "speciale" sia dovuta a universi paralleli (o "brane" nella teoria delle stringhe). Ma io di questo non mi sono mai occupata.

I: Lei ha avuto in tutto quattro figli...

V: ...che sono diventati tutti scienziati. E non è stato facile. Alla Carnegie Institution di Washington dovettero accettare una decurtazione del 30% dello stipendio per stare a casa nel pomeriggio per riuscire a passare del tempo con loro.

I: Lei si è data molto da fare per la parità di genere nella scienza.

V: Certo. Ricordo che nel 1996 fui eletta membro della Pontificia Accademia delle Scienze e mi lamentai con il Papa dello scarso numero di donne presenti. In fondo, se ci pensiamo, il 50% dei cervelli sono femminili, e non ci sono problemi che non possono essere risolti da donne. Sia gli uomini che le donne devono conquistarsi il "permesso" di fare ricerca, ma per le donne è più difficile. Io credo che la ragione sia che scoraggiamo le donne a farlo, e questo dipende da come alleviamo le bambine. Ovviamente la mia unica figlia adesso fa l'astronoma.

I: Lei è stata una donna molto coraggiosa ed interessante, ha fatto scoperte fondamentali ma non le hanno mai dato il Nobel.

V: Sì, la ragione ufficiale è che la materia oscura è solo un'ipotesi, ma nel 2011 hanno dato il premio Nobel per la fisica a tre uomini per la scoperta dell'energia oscura, altrettanto misteriosa, se non di più.

I: Non le voglio rubare altro tempo, la ringrazio per la sua partecipazione a RadioMoka.

V: Grazie a voi per avermi sopportato fin qui. Stasera porto mio marito a cena fuori, adesso abbiamo un mucchio di tempo libero per noi. Lui è morto nel 2008, io nel 2016.

Alessandro Volta



RadioMoka 23 novembre 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/1QzXRqDPyIM>

I: Buongiorno, professor Volta

V: Buongiorno a voi.

I: Il suo nome completo è Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta, ha l'aria di un nome aristocratico...

V: Sono nato a Como il 18 febbraio del 1745 in una famiglia altolocata, ma non eravamo ricchi, solo benestanti.

I: Ci può raccontare come andò la sua istruzione?

V: La mia famiglia avrebbe voluto che diventassi un avvocato, o almeno un prete, e mi fecero studiare in un collegio di gesuiti. Lì però incontrai Giulio Cesare Gattoni, che poi diventerà canonico del Duomo di Como, e lui mi introdusse allo studio della fisica, in particolare dei gas, dell'elettricità e della meteorologia, oltre a discutere di problemi filosofici, ovvero se gli animali avessero o meno un'anima.

I: Lei è famoso per i suoi studi sull'elettricità...

V: Ma le mie prime ricerche importanti riguardano i gas, in particolare scoprii il gas metano, e costruii una pistola a metano, la pistola elettro-



Alessandro Volta in un'incisione del 1895.

flogopneumatica, che funzionava con una miscela di ossigeno e metano infiammati da una scintilla elettrica. Ovviamente non parlavo di ossigeno, che era stato scoperto solo due anni prima, ma di aria “deflogistizzata”, ovvero privata dai prodotti della combustione.

I: E come tornò poi agli studi sull'elettricità?

V: Grazie alle scoperte di Galvani a Bologna. Rimasi affascinato dalla sua descrizione di come un muscolo di rana, toccato da un arco fatto con due metalli, si contraesse. Ma non ero d'accordo con Galvani sul fatto che questa fosse un tipo di elettricità “animale”, diversa da quella conosciuta, e quindi costruii la mia pila usando due metalli e una semplice soluzione salina o acidula, che sostituiva i tessuti animali. Mostrai quindi che l'animalità non c'entrava nulla con l'elettricità.

I: Una grande scoperta italiana!

V: A dire la verità, non mi sentivo italiano, almeno come nazione dato che non esisteva nulla che si potesse chiamare “stato italiano”, almeno fino alla repubblica napoleonica del 1802. La Lombardia era stata amministrata per molto tempo dagli spagnoli, ed era poi passata dopo la guerra di secessione spagnoli agli Asburgo d'Austria nel 1714. I sovrani austriaci investirono molto nella rinascita culturale, e Pavia diventò una delle università più importanti d'Europa. Fui quindi molto contento quando vi diventai professore di Fisica Sperimentale.

I: Insegnava tutta la fisica?

V: No, c'era già una cattedra di Fisica Classica e Generale, che si occupava di meccanica, idrostatica, idraulica e astronomia, ovvero la fisica teorica del tempo. Io invece dovevo insegnare la fisica di frontiera, quella per cui ancora non c'era una teoria stabilita, quindi elettricità, magnetismo, calore, acustica, meteorologia e ottica.

I: Torniamo alla sua scoperta. Diventò famoso, immagino, visto che la pila aveva mille possibili applicazioni.

V: A dire la verità c'è un vero e proprio giallo dietro l'annuncio della mia scoperta. Io inviai il manoscritto, scritto in francese, alla Royal Society a Londra, dove fu letto ed assegnato ad un esperto per la revisione prima della sua pubblicazione sulle *Philosophical Transactions*, il giornale più prestigioso di quel tempo. Purtroppo, questo Sir Joseph Banks fu talmente entusiasta della lettura che non seppe trattenersi e mostrò la mia

lettera al suo amico Antony Carlisle, un medico. Questo si mise subito a costruire una replica della pila, facendosi aiutare da William Nicholson, un valente chimico, e giocando con la mia pila scoprirono l'elettrolisi dell'acqua.

I: E che successe?

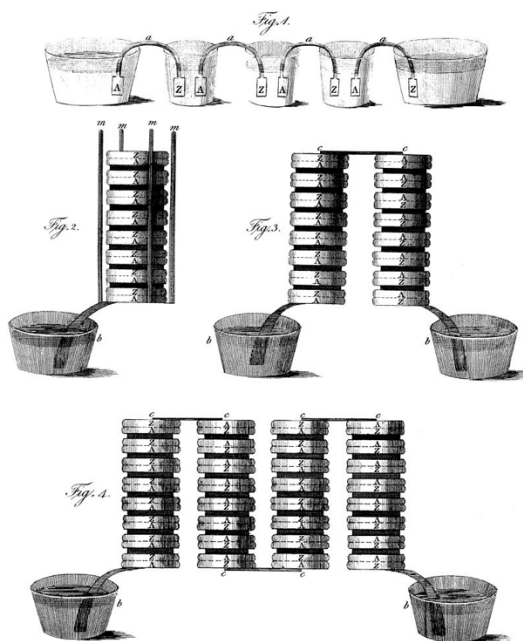
V: Che la notizia trapelò, ci furono esperimenti pubblici alla Royal Institution, e apparvero vari articoli su quotidiani e su giornali scientifici commerciali, spesso senza citarmi neppure, prima che apparisse il mio articolo ufficiale, nel Settembre 1800.

I: Se non sbaglio quello fu un periodo turbolento in Lombardia.

V: Può ben dirlo. Infatti, il mio articolo citava come località di redazione Como, non Pavia. Il fatto è che Napoleone aveva sconfitto le truppe lombarde ed Austria-

che giusto in quei giorni, e l'università era stata chiusa. Io feci parte della delegazione che accolse Napoleone a Milano, e poi fui invitato dall'Imperatore a Parigi. Io mi sentivo piuttosto asburgico, ma come rifiutare l'invito? E poi la Francia ed il francese erano il paese e la lingua della ricerca scientifica, a quel tempo.

I: La sua pila ha avuto moltissimi utilizzi. Ma lei aveva capito perfettamente come funzionava?



Disegni della pila a corona di tazze e varie configurazioni di pila a colonna, inclusi nella lettera inviata da Volta a sir Joseph Banks per annunciargli la sua invenzione.

V: Per niente. Dopo la mia intuizione che gli animali non erano necessari, avevo capito che si potevano mettere in serie le celle per avere un voltaggio maggiore. Ma pensavo che la sorgente dell'elettricità fosse il contatto tra i due metalli, e infatti se guarda le figure in cui descrivo sia la pila che la serie con tante celle galvaniche, vedrà che ci sono sempre i due metalli all'inizio e alla fine. Ovvero per me la pila era zinco-rame-acqua salata-zinco-rame-acqua salata... zinco-rame. In realtà quello che succede è che lo zinco passa in soluzione, ossidandosi e poi precipitando come ossido, e anche il rame si riduce passando in soluzione, ed il passaggio di elettroni dà la corrente.

I: Quindi è la soluzione, non il contatto, che genera la corrente.

V: Infatti, si può rimuovere il primo e l'ultimo dischetto metallico, non servono a nulla. Inoltre, pensavo di aver inventato un generatore perpetuo, perché poteva funzionare per giorni e giorni. Certo la mia pila aveva tantissime applicazioni, e infatti Sir Humphrey Davy la usò massicciamente per scomporre vari elementi chimici.

I: Lei ha fatto anche altre scoperte interessanti?

V: Ho lavorato molto sui gas, tanto che la legge di Gay-Lussac a volte è chiamata legge di Gay-Lussac-Volta. Ma certo la mia invenzione migliore, a parte la pila, è il condensatore a facce piane, che ho scoperto giocando con il mio elettroforo perpetuo, che è una semplice macchina per generare elettricità statica, ed è formata da un piatto di materiale metallico, appunto come una delle armature di un condensatore.

I: Alla fine però la sua genialità è stata riconosciuta!

V: Certo. Ricevetti la Medaglia Copley, praticamente il premio Nobel del mio tempo, dalla Royal Society nel 1794 per la scoperta del metano, sono stato nominato da Napoleone Cavaliere della Legion d'Onore, mi nominarono Cavaliere dell'Ordine della Corona ferrea del Regno d'Italia (quello napoleonico) e conte dello stesso stato, e l'unità di misura del potenziale elettrico è il volt, in mio onore.

I: La salutiamo, grazie per aver partecipato a RadioMoka.

V: Tanti saluti anche a voi, voglio vedere se trovo Galvani, ancora non sono riuscito a convincerlo dell'inesistenza dell'elettricità animale.

Alan Hodgkin e Andrew Huxley



RadioMoka 7 dicembre 2019 (voci di Massimo Reconditi, Marco Capitanio e Franco Bagnoli)

<https://youtu.be/SDF11YkoQxY>

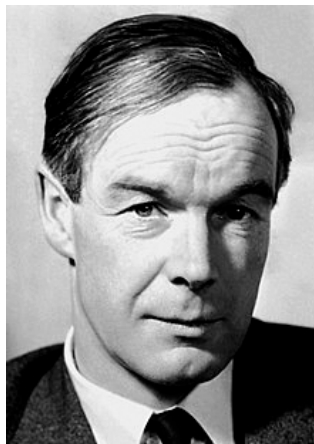
I: Salve. Questa volta per le interviste impossibili abbiamo una doppia intervista ad Alan Lloyd Hodgkin ed a Andrew Huxley. Bene arrivati a Radio Moka

Ho: Buongiorno a voi.

Hu: Buongiorno anche da parte mia.

I: Lasciatemi presentare i nostri ospiti. Il duo Hodgkin-Huxley è famoso per il modello del neurone che porta il loro nome, ma purtroppo i loro nomi possono essere confusi con altri famosi, non è così?

Ho: Sì, io vengo sempre confuso con Thomas Hodgkin, il medico inglese vissuto tra fine Settecento e inizio Ottocento che ha scoperto il linfoma di Hodgkin, che comunque era il fratello del mio bisnonno.



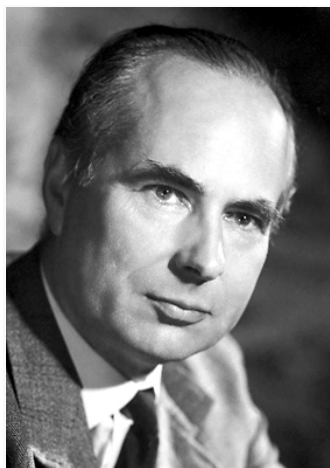
Alan Lloyd Hodgkin.

Hu: Ed io vengo sempre scambiato con il mio fratellastro Aldous Huxley, un po' più anziano di me e famoso per i suoi romanzi distopici, tra cui Il Mondo Nuovo, una specie di mondo social-nazista-razzista unificato ma i cui simboli derivano dal capitalismo fordiano.

I: Parlateci della vostra vita.

Ho: Io, Sir Alan Lloyd Hodgkin, sono nato nel 1914 a Banbury, nell'Oxfordshire. Mio padre voleva studiare medicina come il nonno, ma a causa di problemi di vista finì per lavorare in una banca. I miei erano quaccheri, e si sono sempre opposti a qualsiasi guerra, venendo anche bullizzati per questo. Comunque mi comunicarono un grande amore per la natura e

per le osservazioni. Mi diplomai al Trinity College in Cambridge, e passai anche un paio di mesi in Germania, nel 1932, dato che prima della guerra la scienza era essenzialmente tedesca. Passai anche un periodo negli Stati Uniti, nel 1939. Io politicamente ero piuttosto orientato a sinistra, quasi comunista, e partecipai a diverse manifestazioni contro la guerra. Comunque, durante il conflitto fui impiegato nella ricerca sui radar, compresi sistemi di puntamento per i cannoni e radar aviotrasportati. Dopo la guerra ripresi i miei studi sui nervi degli anfibi, la rana in particolare, nel dipartimento di fisiologia dell'Università di Cambridge.



Sir Andrew Huxley.

Hu: Io, Sir Andrew Fielding Huxley, sono di poco più giovane di Alan, sono nato nel 1917. La famiglia Huxley è alquanto famosa, il fondatore, per così dire, è Thomas Henry Huxley, un biologo dell'800, famoso per l'anatomia comparata e per la sua difesa della teoria dell'evoluzione di Darwin, tanto da venir definito "il mastino di Darwin". Alla fine, ci siamo anche imparentati con i Darwin-Wegwood, la figlia Angela di mio fratello David ha sposato George Pember Darwin, discendente di Charles. L'Inghilterra è piccola, in fondo. Mi sono diplomato alla Westminster School a Londra e poi sono andato al Trinity College a Cambridge, dove ho raggiunto Alan. Io ero piuttosto bravo con i lavori manuali, da quando a 12 anni mi regalarono un tornio. Mi facevo da solo ogni sorta di attrezzo o sistema sperimentale, una volta costruii persino una macchina a combustione interna. Quando Alan ritornò dagli Stati Uniti mi prese come suo post-doc, e iniziai a studiare i nervi delle rane con lui.

I: Ma poi avete abbandonato le rane per i calamari, perché?

Ho: Il problema è che i nervi dei vertebrati sono piccoli, dell'ordine del micron, e quindi è difficile infilarci dei sensori. Viceversa, quelli dei calamari sono molto grandi, in particolare il calamaro *Loligo forbesi*, comune nei mari britannici, ha un assone gigante che può raggiungere il millimetro e mezzo di diametro. Questo assone è quello che porta il segnale di

fuga, quando il calamaro spruzza via l'acqua che ha nel sacco per scappare.

Hu: La ragione di questa diversità è che i neuroni dei vertebrati, ma anche di qualche invertebrato, sono racchiusi in un involucro isolante, a parte alcuni punti, e questo permette di avere un'alta velocità di propagazione dell'impulso anche in un nervo di piccolo diametro, mentre se non c'è questo involucro, il nervo deve essere molto spesso per avere velocità apprezzabili.

I: Non ho capito cosa c'entra il diametro e l'isolamento con la velocità di propagazione del segnale nervoso.

Ho: In effetti questo è proprio il cuore della nostra ricerca, quella che ci ha fatto vincere il premio Nobel. Mi faccia spiegare con calma. Nel liquido interno ed esterno alle cellule si trovano degli ioni, in particolare gli ioni potassio e sodio, positivi, e quelli cloro, negativi. Praticamente si tratta di acqua salata. All'interno delle cellule ci sono poi dei grossi anioni negativi, in modo che in totale il numero di cariche negative è uguale al numero di cariche positive. La membrana dei neuroni è parzialmente permeabile agli ioni potassio, e quasi impermeabile a quelli sodio e ai grossi anioni. Ci sono due "forze" agenti sulle specie chimiche: le forze elettriche, che tendono a ridurre le differenze di potenziale, e le forze entropiche, che tendono a ridurre la differenza di concentrazione.

Nella membrana ci sono delle proteine che agiscono come pompe, sempre attive. Queste pompe trasportano contemporaneamente sodio fuori e potassio dentro, per ogni tre ioni di sodio che escono ne entrano due di potassio. Il bilancio totale è quello di mantenere l'interno negativo di -70 mV rispetto all'esterno. Ovviamente queste pompe consumano energia. Se la temperatura scende troppo le pompe si fermano.

Nella membrana ci sono anche delle altre proteine, dette canali ionici, che funzionano come rubinetti o saracinesche, che si possono aprire facendo passare un determinato tipo di ioni, o rimanere chiuse. Se i canali si aprono passa una cascata di ioni che porta a una differenza di potenziale positiva. Si noti che il passaggio degli ioni è dovuto sia a questa differenza di potenziale, che alla differenza di concentrazione.

Hu: La cosa interessante è che l'apertura di queste saracinesche, o almeno di un tipo di queste, è comandata proprio dalla differenza di potenziale. Se si riesce ad abbassare la differenza di potenziale a -55 mV i

canali si aprono, e si ha un picco positivo nella differenza di potenziale. Questo fa sì che anche i canali vicini si aprano, e quindi si ha un impulso di tensione che si propaga lungo il neurone. Questo è il segnale nervoso.

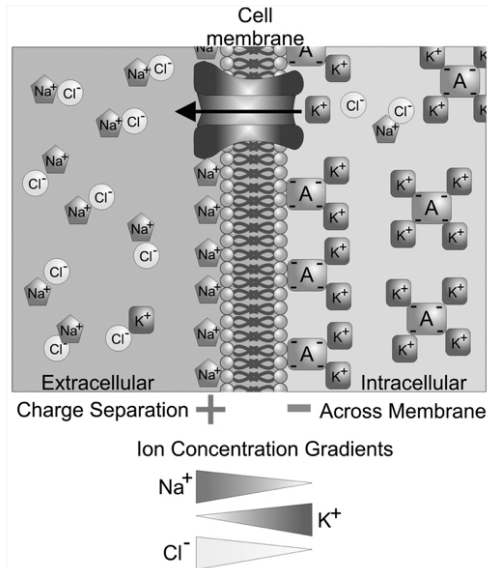
I: E la guaina a che serve?

Ho: L'impulso del meccanismo così descritto è tanto più veloce quanto più è grosso il diametro del neurone, ma avere neuroni tanto grossi implica un grande dispendio di energia, perché ci vogliono tante pompe. I vertebrati, e anche qualche invertebrato, hanno inventato il trucco di rivestire pezzi di neurone con una guaina isolante, lasciando un tratto scoperto circa ogni millimetro di lunghezza.

Hu: In questa maniera, solo nel pezzo scoperto ci sono le pompe e le saracinesche, e quando si "depolarizza" un pezzo, la differenza di potenziale si propaga senza causare nessun consumo fino alla "interruzione" seguente. È come se il segnale saltasse da un segmento all'altro, andando più veloce e consumando meno energia.

I: Che meccanismo sofisticato. E come funziona la trasmissione tra un neurone e l'altro?

Ho: Ci sono vari tipi di connessione, tra cui le sinapsi chimiche. Questo contatto funziona con il rilascio di molecole dette neurotrasmettitori da parte del neurone che trasmette il segnale e dai recettori sul neurone che



Le differenze nelle concentrazioni di ioni sui lati opposti di una membrana cellulare portano a una tensione chiamata potenziale di membrana.⁵⁸

⁵⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Membrane_potential

riceve. Questi neurotrasmettitori inducono l'apertura di saracinesche specializzate, che così depolarizzano parzialmente la membrana.

Hu: Si noti che in genere non basta un solo segnale per far partire lo stimolo nel neurone collegato. Se però più segnali, magari provenienti da vari neuroni, arrivano in un piccolo intervallo temporale, la loro azione congiunta è capace di depolarizzare abbastanza la membrana del neurone a valle, e quindi di far partire il segnale. Come si vede, è una specie di porta logica. Ci sono poi sinapsi inibitorie, quindi si possono anche fare delle porte logiche in cui il segnale viene trasmesso se arriva insieme da un certo numero di altri neuroni e non arriva da altri, quelli inibitori. Alcuni anestetici funzionano interrompendo la funzionalità dei neurotrasmettitori, altri, come il veleno del pesce palla, agiscono sui canali ionici.

I: Ho capito. E tutto questo lo avete scoperto voi?

Ho: Noi siamo riusciti a fare degli esperimenti abbastanza precisi da capire come funziona l'apertura comandata dei canali ionici, e abbiamo ottenuto delle equazioni che descrivono questo meccanismo. Abbiamo poi accoppiato queste equazioni a quelle, già conosciute, per i cavi telefonici, che dicono come si propaga un segnale in un cavo che è solo parzialmente isolato. Si tratta di un modello alquanto complesso, che però può essere semplificato in varie maniere. Comunque, è stato il primo modello che ha permesso di rappresentare matematicamente un mezzo eccitabile, ovvero un mezzo in cui una piccola perturbazione viene dissipata, mentre una perturbazione abbastanza grande dà origine ad una propagazione di un segnale, seguita da una fase di "recupero", che nel nostro caso è il tempo necessario per ristabilire la differenza di potenziale di riposo.

Hu: Il metodo sperimentale che abbiamo sviluppato, grazie anche alle mie abilità manuali, si chiama "voltage clamp". Si tratta di un sistema elettronico che permette di aggiustare la tensione in modo da tenerla pressoché costante, nelle varie parti del neurone. In questa maniera si poteva indurre l'apertura dei canali senza far partire il segnale.

I: E per questo avete vinto il Nobel.

Ho: Sì, noi due e John Eccles vincemmo il Nobel per la fisiologia e la medicina nel 1963, e poi fui anche fatto baronetto nel 1972

Hu: Io ricevetti il titolo di baronetto un po' più tardi, nel 1974.

I: È stato un piacere conoscervi, finalmente ho capito come funzionano i nervi. Arrivederci.

Ho: Salutiamo anche noi tutti gli ascoltatori.

Hu: Mi sarebbe piaciuto fare una chiacchierata con John Hopfield, che ha inventato l'idea della rete di neuroni, un modello che fornisce un meccanismo plausibile per spiegare come funziona la memoria nel cervello, ma per sua fortuna è ancora vivo. Potreste intervistarlo voi.

I: Magari, vedremo. Arrivederci di nuovo.

Edward Teller



RadioMoka 14 dicembre 2019 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/kh05LB4dfNM>

I: Buongiorno, dottor Teller

T: Buongiorno a voi.

I: lei è stata una persona molto discussa, nel bene e nel male. Vuole raccontarci un po' della sua vita?

T: Sono nato nel 1908 in Budapest, a quel tempo parte dell'impero Austro-Ungarico, in una famiglia ebrea anche se io non sono mai stato credente. Ho cominciato tardi a parlare, come del resto Einstein e Feynman. Dopo la Prima guerra mondiale l'Impero si sgretolò, e nel 1919 venne proclamata la repubblica sovietica di Ungheria. Disgustato dai comunisti, nel 1926 mi trasferii in Germania, anche se poco dopo sarei stato ugualmente disgustato dai fascisti e nazisti. Comunque, nel 1930 presi il dottorato sotto la guida di Heisenberg, e diventai amico di Gamow e Landau. nel '32 riuscii a passare un'estate a Roma, lavorando sotto la guida di Enrico Fermi, e quindi andai a Göttinga, dove c'erano Max Born e James Franck. Ma nel 1933 Hitler divenne



Edward Teller nel 1958.⁵⁹

⁵⁹ https://it.m.wikipedia.org/wiki/Progetto_Manhattan

cancelliere ed io me ne andai prima in Inghilterra, poi a Copenhagen per lavorare con Bohr. Infine, nel 1935 riuscii ad andare negli Stati Uniti.

I: Lei era uno dei "marziani".

T: Questa fu una battuta di Szilard. In un libro György Marx dice:

L'universo è vasto, contenente miriadi di stelle... che probabilmente avranno pianeti che ruotano loro attorno... Gli esseri viventi più semplici si moltiplicheranno, si evolveranno per selezione naturale e diventeranno più complicati fino a quando alla fine emergeranno creature pensanti... che desidereranno mondi freschi... e dovrebbero quindi diffondersi in tutta la Galassia. Queste persone estremamente eccezionali e di talento non potranno certo trascurare un posto così bello come la nostra Terra. "Ma se è così", domandò Fermi, "sarebbero dovuti già arrivare qui. Quindi dove sono?" e Leo Szilard fornì la risposta perfetta. "Sono in mezzo a noi", disse, "ma si definiscono ungheresi".

In effetti eravamo un gruppo di geniacci: Paul Erdős, Theodore von Kármán, John von Neumann, George Pólya, Eugene Wigner, Leó Szilárd stesso ed io. E poi parlavamo tutti l'inglese con un forte accento, come Bela Lugosi, l'interprete di Dracula. Insomma, un gruppo di geni, che parla una lingua misteriosa e che vengono da un posto sconosciuto come l'Ungheria, non potevano che essere marziani,

I: Lei è stato a suo agio in America.

T: È stato il mio paese ideale e credo di aver contribuito a renderlo grande, soprattutto in campo militare. All'inizio lavorai su problemi di fisica atomica, ma con l'ingresso nella Seconda guerra mondiale cercai di contribuire anch'io, all'inizio su problemi di aerodinamica e poi infine nel progetto Manhattan, invitato da Robert Oppenheimer. Lì ritrovai anche Fermi, che, con nonchalance, suggerì che forse si sarebbe potuto usare una bomba a fissione, che ancora non esisteva, per far partire un'esplosione basata sulla fusione atomica, molto più potente.

I: Accidenti che capacità predittiva. E lei che disse?

T: All'inizio pensai che era impossibile, ma mi appassionai all'idea. Ma intanto bisognava lavorare sulle bombe a fissione, ma le mie idee si rivelavano tutte impossibili o non pratiche.

I: E quindi non ebbe alcun ruolo nella bomba?

T: In realtà detti alcuni contributi, e poi ci fu la lettera di SZilard, che chiedeva al presidente di non lanciare la bomba atomica sui giapponesi. Dopo essermi consultato con Oppenheimer, che ancora non era diventato antinuclearista, decisi di non firmare, lasciando che della cosa si occupassero i politici.

I: E poi?

T: Dopo la guerra ripresi i miei studi sulla bomba a fusione, la super-bomba. Ma fu la prima esplosione di una bomba a fissione da parte dei sovietici, nel 1949, che fece decidere il presidente degli Stati Uniti, Truman. Mi misi quindi a lavorare con Stanislaw Ulam, un matematico molto in gamba, che dimostrò che i miei calcoli erano sbagliati. Finalmente inventammo un sistema per riflettere le onde elettromagnetiche in modo da comprimere il materiale ricco di deuterio e trizio per la fusione. Anno dopo mi attribuii tutto il merito della scoperta, dicendo che Ulam non aveva fatto nulla anche se in realtà l'idea di base era stata sua.

I: Lei non era un tipo molto accomodante...

T: No, non molto. In particolare, mi inimicai praticamente tutti i fisici quando testimoniai contro Oppeneheimer, che era stato accusato di essere un quasi-comunista perché non credeva che fosse conveniente sviluppare ordigni a fusione così potenti, quando già avevamo le "normali" bombe atomiche. Grazie alla mia testimonianza, un po' ambigua, gli ritirarono il permesso di lavorare nel laboratorio.

I: Lei invece era a favore...

T: Certo, per esempio aiutai Israele a sviluppare le sue bombe atomiche. Ma secondo me queste non erano solo utili in guerra. Mi adoperai molto per promuovere l'uso delle bombe atomiche anche nell'ambito civile.

I: Come è possibile?

T: Per esempio per scavare canali o porti, la cosiddetta operazione Plowshare. Ci pensi, con poche bombe termonucleari si potrebbero scavare dei bellissimi crateri, anche per estrarre petrolio. Io volevo scavare un canale molto più grande di quello di Panama che avrei chiamato "canale panatomico". Alla fine, non fu fatto, ma costò lo stesso circa 160 milioni di dollari in test. Fui anche uno dei primi a preoccuparmi dei cambiamenti climatici.

I: Davvero?

T: Certo, nel 1957 dissi che l'aumento della CO₂ avrebbe innescato un effetto serra che avrebbe portato allo scioglimento dei ghiacci e all'innalzamento del livello dei mari. L'unica soluzione possibile era usare solo energia atomica.

I: Che lei reputava sicura...

T: Ma certo che è sicura. Quando Jane Fonda pubblicizzò il film "Sindrome cinese" a proposito dell'incidente di Three Mile Island, mi arrabbiai così tanto che mi venne un infarto, e proclamai che ero stato l'unica vittima dell'incidente, ma non a causa della radioattività, ma per il film. L'energia nucleare non è pericolosa. Proposi di usare anche le bombe per deflettere pericolosi asteroidi o comete che dovessero venire verso di noi,

I: Lei è sempre stato un guerrafondaio...

T: Beh, ho sempre cercato di vendere bene quello che sapevo fare. Fui un fan delle "guerre stellari" di Reagan, anche se tutti gli scienziati dicevano che i sistemi di difesa proposti non avrebbero mai funzionato, era troppo facile ingannarli con delle esche finte.

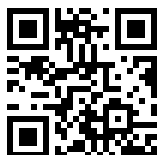
I: È vero che il personaggio del Dottor Stranamore è modellizzato anche sulla sua figura?

T: Non mi chiamo Stranamore! Non so chi sia questo Stranamore! Non mi interessa Stranamore. Cos'altro posso dire? ... Guardi, lo ripeta tre volte e la butto fuori da questo ufficio. Questo fu quello che dissi in una intervista a Scientific American nel 1999.

I: È stato molto interessante ascoltarla, anche se non posso dire che sia stato così piacevole. Comunque, grazie per essere intervenuto a Radio-Moka.

T: Tutti i gusti son gusti. Arrivederci.

Renato Cartesio



RadioMoka 18 gennaio 2020 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/RkThUTakbrY>

I: Per le interviste impossibili, abbiamo oggi un matematico-filosofo estremamente importante: Renato Cartesio. Benvenuto professore.

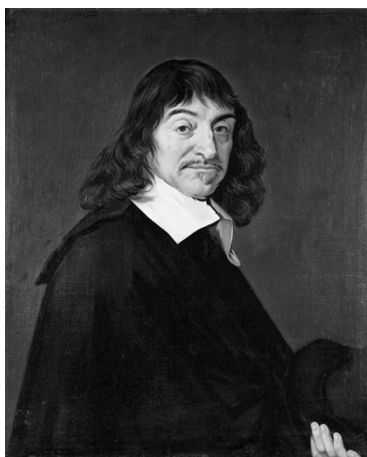
C: Grazie di avermi invitato, anche se non ho mai insegnato all'università.

I: Ci può raccontare la sua vita?

C: Sono nato nel 1596 nella Francia centro-occidentale, in un paese che adesso prende il mio nome. Mia madre morì un anno dopo la mia nascita. Mio padre, che era medico, si risposò e quindi io fui cresciuto da una balia e dalla mia nonna materna. Dato che ero gracile di salute, pensavano che non sarei sopravvissuto, quindi mi mandarono a scuola tardi, per evitare di sprecare soldi.

I: In effetti, anche dai suoi ritratti non sprizza salute.

C: Beh, sono vissuto 54 anni, un'età media del mio tempo, e se la regina Cristina di Svezia non mi avesse imposto di andare a fare ripetizioni alle 5 del mattino - in Svezia! - forse non mi sarei ammalato e avrei vissuto un po' di più. Anche perché, a parte le richieste della regina, non uscivo mai di casa e mi limitavo a scambi epistolari.



René Descartes in un ritratto di Frans Hals (1649).⁶⁰

⁶⁰ <https://it.wikipedia.org/wiki/Cartesio>

I: Lei è stato molto influente.

C: Sì, posso dire di aver rivoluzionato sia la filosofia che la matematica, e in fondo anche la fisica.

I: Prima studiò matematica, giusto?

C: In realtà al collegio dove stavo la matematica era proprio l'ultima delle discipline. Si studiava essenzialmente grammatica, lettere, fisica e meta-fisica aristotelica.

Come scrissi in seguito, "Sono stato allevato nello studio delle lettere fin dalla fanciullezza, e poiché mi si faceva credere che con esse si poteva conseguire una conoscenza chiara e sicura di tutto ciò che è utile nella vita, avevo un estremo desiderio di apprendere. Ma non appena ebbi concluso questo intero corso di studi, al termine del quale si è di solito annoverati tra i dotti, cambiai completamente opinione: mi trovavo infatti in un tale groviglio di dubbi e di errori da avere l'impressione di non aver ricavato alcun profitto, mentre cercavo di istruirmi, se non scoprire sempre più la mia ignoranza". Quello che mi faceva più rabbia era che non si stimolava assolutamente lo spirito di ricerca dei giovani, io ho sempre cercato di ottenere da solo le risposte alle mie domande, mentre mi insegnavano solo a cercare la risposta sui libri.

I: In soldoni cosa ha fatto?

C: Ho inventato la geometria cartesiana, ovvero la maniera di ridurre la geometria all'algebra. Lo avrà studiato a scuola, il tutto si basa sul piano cartesiano, un foglio quadrettato dove ogni punto è individuato dalle sue coordinate, e dove le curve e le rette sono espresse come relazioni algebriche che legano le coordinate dei punti che le compongono. Così è facile trovare le intersezioni tra rette e curve, i punti di tangenza e dimostrare, per via esclusivamente algebrica, i teoremi che appaiono così complicati quando si formula in termini geometrici. Lo stesso approccio doveva valere per la filosofia.

I: Ci ne parli...

C: Immagino che abbiate sentito ripetere il mio motto "cogito, ergo sum".

I: Certo.

C: Tutto cominciò mentre ero ancora soldato nella Guerra dei trent'anni...

I: A proposito, non ho mai capito la dinamica della Guerra dei trent'anni. Mi sembrava che fosse una guerra di religione, tra il sacro romano impero e la Spagna, cattolici, contro l'Olanda e la Svezia, protestanti. Ma allora perché la Francia, cattolica, entra in guerra insieme alla Germania, protestante, contro Austria e Spagna?

C: Perché Austria, o meglio il sacro romano impero, e la Spagna erano rette da due rami della stessa casata, gli Asburgo, e la Francia voleva evitare di essere presa nel mezzo. Comunque, la guerra, terribile, fu vinta dalla Francia e dalla Svezia, e infatti io, francese, mi trasferii poi nei Paesi Bassi e infine in Svezia. Lo feci anche per sfuggire alla censura vaticana, che infatti alla fine mise i miei libri all'indice.

Comunque, il 10 novembre 1619 fece tre sogni, durante i quali ebbi un'intuizione fondamentale per tutta la costruzione del mio pensiero filosofico, ovvero che la filosofia si dovesse strutturare come la matematica – un metodo valido per tutti i campi del sapere.

I principi su cui bisognava agire sono quattro:

- L'evidenza. Non considerare vera una cosa a meno che non ti sembri tale con piena evidenza, cioè senza il minimo dubbio;
- L'analisi. Dividi ogni problema complesso in parti più piccole e semplici;
- La sintesi. Organizza i pensieri con ordine, procedendo dagli oggetti più semplici a quelli più complessi;
- L'enumerazione. Fai la rassegna dei passaggi dimostrativi per controllare di non aver dimenticato o sbagliato nulla.

I: Mi sembra un percorso condivisibile

C: E infatti sono considerato il fondatore della filosofia moderna. Il percorso che conduce alla conoscenza inizia col dubbio, cioè col rifiuto di tutte le conoscenze che sono tramandate per abitudine e tradizione. È necessario, dunque, dubitare su tutto e considerare provvisoriamente come falso tutto ciò su cui il dubbio è possibile. Solo se, proseguendo su questo atteggiamento di critica radicale, si raggiunge un principio che resiste a ogni dubbio, esso potrà costituire la base per tutte le altre conoscenze e, quindi, la giustificazione del metodo: per questo si parla di dubbio metodico. Tuttavia, tutte le conoscenze devono essere sottoposte a dubbio: non solo le conoscenze sensibili (perché i sensi ci possono ingannare e perché nel sonno si hanno impressioni simili a quelle della

veglia), ma anche le conoscenze matematiche, perché esse potrebbero essere state create da un genio maligno che si pone l'obiettivo di ingannarci. Il dubbio così si estende ogni cosa e diventa universale, trasformandosi in un dubbio iperbolico.

I: E come se ne cava le gambe? Se uno deve dubitare di tutto...

C: Il fatto è che nel momento in cui dubitiamo stiamo, certamente, anche pensando: se dubito, esisto in quanto entità spirituale che pensa e, quindi, sono un essere pensante. Ecco come nasce la mia frase più famosa: penso (dubito), e quindi sono (esisto). So di esistere solo dopo aver pensato; o, in altre parole, penso e quindi so di esistere come io pensante.

I: Quindi direi che parecchie persone non esistono... Ma a parte esistere che altro si può fare?

C: Le cose che percepiamo molto distintamente e molto chiaramente sono certamente vere. E c'è un'altra idea che avvertiamo chiaramente, l'idea di Dio come essere eterno, infinito, perfetto, onnipotente e creatore. Questa idea non può essere stata prodotta dall'essere umano, che è limitato e imperfetto: per questo motivo, l'idea chiara e distinta di infinito è innata nell'uomo e deve avere la sua origine in un essere infinito e perfetto (Dio appunto), che l'ha messa in noi. Secondo me nel concetto di "essere perfetto" c'è anche il fatto che tale essere esista: se non esistesse, non sarebbe perfetto.

I: Ma questa non è la prova ontologica dell'esistenza di dio di Parmenide?

C: Sì, in effetti... Ma io aggiungo anche che poiché Dio è perfetto, è anche buono, e quindi non può ingannare l'uomo, né può esistere un genio maligno. Ecco da dove nasce il criterio delle idee chiare e distinte: l'esistenza di un mondo esterno conoscibile dall'uomo è una garanzia offerta da Dio. Se la nostra ragione identifica qualcosa in modo chiaro e distinto, questo qualcosa esiste perché Dio, nella sua perfezione, ci ha dato un'infallibile capacità di distinguere il vero dal falso. In altre parole, tutto ciò che ci appare chiaro ed evidente deve essere vero, perché Dio lo garantisce come tale.

I: Uhhh... Mi sa che questa garanzia non sia sufficiente per convincere tutti... E poi lei non era stato accusato di essere un arido meccanicista?

C: Certo, l'uomo può essere descritto come una macchina: le funzioni vitali e il sistema nervoso, infatti, possono essere descritti in termini meccanicistici. In questo senso, la morte non è altro che la dissoluzione della macchina umana. Corpo e anima si uniscono, però, attraverso la ghiandola pineale, posta al centro del cervello. Questa ghiandola consente un continuo processo di azione e reazione tra "anima", che è superiore, e "corpo". Solo gli esseri umani, però hanno un'anima: gli animali, sono solo sostanza estesa.

I: Oggi avrebbe qualche problema con gli animalisti ma anche con gli evolutuzionisti, lo sa? Comunque, dal punto di vista pratico che cosa ci può dire?

C: Le mie tre massime, che si rifacevano ai principi dello stoicismo, sono:

- Bisogna obbedire alle leggi e ai costumi (anche religiosi) del paese in cui ci si trova;
- Bisogna essere determinati nelle proprie azioni, una volta che si è scelta la risoluzione più probabile;
- Bisogna cercare di vincere se stessi più che la fortuna o il mondo.

I: E su questo siamo d'accordo... vincere le proprie passioni!

C: Anche le passioni vanno analizzandole come un fatto medico. Secondo me, le passioni sono "percezioni, sentimenti o emozioni dell'anima che sono causate, mantenute, rafforzate da qualche movimento degli spiriti": anche se turbano l'anima, quindi, non fanno parte dell'anima. Per natura, le passioni sono tutte buone, ma si deve evitare il loro eccesso o un loro cattivo uso: le passioni vanno addomesticate, attraverso la saggezza. L'uso della saggezza – cioè l'estensione della ragione – consente all'uomo di essere padrone della sua volontà.

I: Quindi alla fine lei era un sostenitore del libero arbitrio?

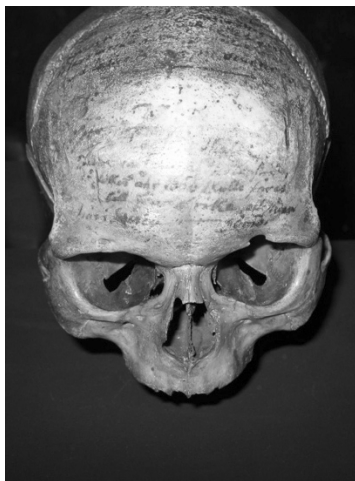
C: Certo!

I: Lei non ha avuto pace neppure dopo la morte...

C: A parte la messa all'indice dei miei scritti nel 1663, anche il mio corpo fu vandalizzato. All'inizio fui venne tumulato in un piccolo cimitero cattolico a nord di Stoccolma, dove il mio corpo rimase fino al 1666 quando i miei resti vennero riesumati per essere portati a Parigi, dove rimasero sino al 1819 quando la mia salma fu nuovamente trasferita nella chiesa di Saint-Germain-des-Prés, Aprendo la bara, i rappresentanti dell'Académie presenti si resero conto che il mio teschio era scomparso.

Si scoprì poi che già all'epoca della prima esumazione il teschio era stato probabilmente sostituito con un altro, e che nel 1819 si era volatilizzato perfino il cranio posticcio. Oltre ai due teschi, fu possibile verificare che anche altre ossa erano state sottratte

Il cranio alla fine ricomparve a un'asta a Stoccolma lì fu acquistato e donato alla Francia. Sul teschio, privo della mandibola e della parte inferiore, compaiono le firme dei suoi proprietari dalla fine del Seicento al momento della vendita. Deve tenere presente che ai miei tempi gli intellettuali tenevano sulla scrivania un teschio, meglio se di un illustre personaggio, a memento della morte comune e inevitabile.



Il teschio attribuito a Cartesio, custodito presso il Museo Nazionale di Storia Naturale di Parigi.

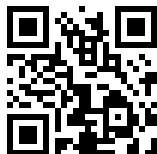
I: E ora dove sta? seppellito con il resto del corpo?

C: No, È esposto al Musée de l'Homme.

I: Accidenti, quante peripezie. Grazie del so intervento.

C: È stato un piacere. Voglio vedere se riesco a trovare Newton e domandargli perché ha rinnegato il mio approccio analitico, per scrivere i Principia nel suo astruso linguaggio geometrico... ma so già che mi manderà a quel paese...

Leonardo Fibonacci



RadioMoka 25 gennaio 2020 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/QTgW2GLm6ZI>

I: Non ce ne vogliano i fiorentini doc, ma oggi abbiamo a Radio Moka un pisano, Leonardo Fibonacci, il primo scienziato europeo.

F: Grazie, troppo buoni.

I: Lei è nato nel 1170 e morto nel 1242 a Pisa. Suo padre però non si chiamava Fibonacci...

F: No, era Guglielmo dei Bonacci, io sono stato chiamato così o come “figlio del Bonacci” o, più probabilmente “della stirpe dei Bonacci”. Del resto, è quello che è accaduto a Dante Alighieri, figlio di Alighiero.



Leonardo Pisano detto il Fibonacci, Dall'opera "I benefattori dell'umanità"; vol. VI, Firenze, Ducci, 1850.⁶¹

I: C'è chi dice che la cultura europea nasce con lei. Ci racconta un po' la sua vita?

F: La mia famiglia era, ovviamente, formata da mercanti, che facevano la spola tra Pisa e le città arabe. Mio padre aveva uno scalo commerciale a

⁶¹ https://it.wikipedia.org/wiki/Leonardo_Fibonacci

Bugia, in Cabilia, odierna Algeria, e lì appresi l'arabo e la matematica. Mi appassionai tanto che cominciai a viaggiare, in Cirenaica, Egitto, Siria, Asia Minore, Grecia e poi in Provenza. Studiai soprattutto le opere dei grandi sapienti arabi, come al-Kwarizmi e Abn Aslam, e attraverso loro scoprii le opere degli ellenisti come Eulero e degli indiani. Infine, ritornai in patria e mi dedicaì a diffondere questa conoscenza.

I: E scrisse il Liber Abaci...

F: Sì, che non è affatto un abaco, ma un manuale di aritmetica. Inizio introducendo i numeri arabi, così potenti rispetto ai numeri romani, e spiego come si usano, sia per i numeri interi che per le frazioni, e invento anche l'uso della barra per indicare queste ultime. M'occupo poi di equazioni di secondo grado, di radici quadrate e cubiche, e infine introduco il concetto di algebra, ovvero come manipolare formalmente le equazioni per risolverle. Il nome del mio libro si riferisce al fatto che senza i numeri arabi i calcoli andavano fatti usando l'abaco.

I: Ma lei si occupa anche di conigli...

F: Sì, mi pongo una serie di problemi astratti tra cui quello di determinare come crescano il numero di coppie di conigli, se ognuna di queste produce una coppia di figli a partire dal secondo mese della nascita. È la famosa serie che porta il mio nome, in cui ogni termine è la somma dei due precedenti.

I: E cosa scopri?

F: che il rapporto tra due termini consecutivi tende alla sezione aurea, un numero irrazionale, e anzi dimostro proprio che esistono numeri che non si possono "costruire" con riga e compasso. Tenga presente che Euclide aveva detto che esistevano solo i numeri interi e quelli frazionari, invece io faccio vedere che ne esistono molti di più, una infinità di più.

I: Il suo sistema fu subito accettato, immagino.

F: Per niente, tanto che nel 1280 la città di Firenze proibì l'uso delle cifre indo-arabe da parte dei banchieri. Si riteneva infatti che lo "0" generasse confusione e venisse impiegato anche per mandare messaggi segreti e, poiché questo sistema di numerazione veniva chiamato "cifra", da tale denominazione deriva l'espressione "messaggio cifrato". E poi io ero un protetto dell'Imperatore Federico II, lo "stupor mundi", nipote di

Federico Barbarossa e grande appassionato di scienza e di matematica, che fu scomunicato un paio di volte.

I: E questo che c'entra?

F: Beh, Pisa era ghibellina, e stava dalla parte dell'Imperatore, mentre Firenze era guelfa e stava con il papato...

I: Già, dimenticavo. Grazie infinite per la sua partecipazione.

F: Grazie a voi per avermi invitato. Vi consiglio di intervistare Tolomeo, grande propugnatore della cultura ellenistica su cui ho fondato il mio lavoro.

I: Lo faremo senz'altro. Arrivederci e grazie di nuovo.

Tolomeo I



RadioMoka 1° febbraio 2020 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/5FzcrwNBnNU>

I: Per le interviste impossibili abbiamo oggi Tolomeo, il grande astronomo, astrologo e geografo greco, autore dell'Almagesto...

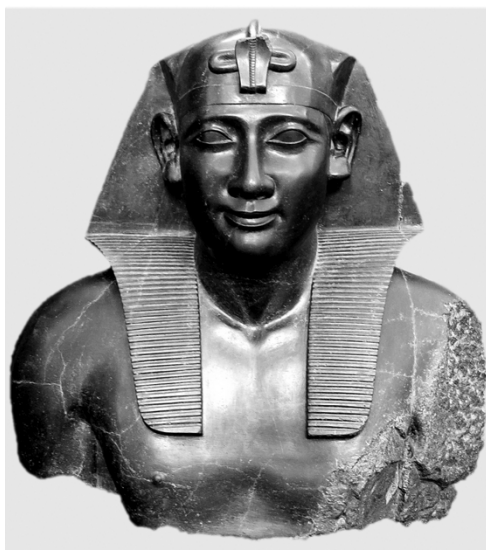
T: Ehmm... ci dev'essere stato qualche disguido, io sono Tolomeo I, generale di Alessandro il Grande e poi fondatore della dinastia tolemaica in Egitto.

I: Accidenti, il postino deve aver fatto confusione.

T: Comprensibile, direi. Solo di Tolomei nella mia dinastia ce ne sono stati quindici, più altri quattro sovrani non dell'Egitto, e otto Cleopatre.

I: Ma anche lei è una personalità interessante. Ricominciamo. Abbiamo qui oggi Tolomeo I, sovrano d'Egitto, mecenate e quasi inventore della scienza ellenistica, fondatore della grande biblioteca di Alessandria...

T: E del faro di Alessandria, una delle sette meraviglie del mondo. Anzi, visto che il colosso di Rodi, altra meraviglia, fu costruito dopo che Rodi,



*Busto di Tolomeo I in basalto
(British Museum, Londra).*

nostra alleata, ebbe sconfitto Demetrio I, posso dire di aver contribuito anche a questa.

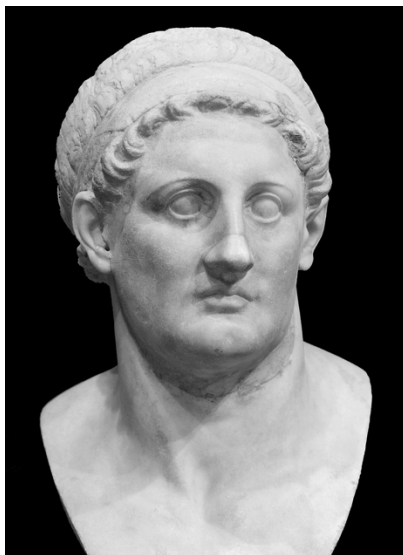
I: Mi sa che dovrà rinfrescarci un po' di storia antica.

T: Tutto comincia con Alessandro il Grande, che intorno al 334 a.C., inizia la sua famosa serie di conquiste, passando dall'Anatolia, il Medio Oriente, poi l'Egitto, l'Impero Persiano e la valle dell'Indo. Purtroppo, Alessandro muore a soli 32 anni, e il suo impero verrà spartito prima tra i figli e poi tra i vari generali, tra cui io che mi presi l'Egitto.

Nel 305, Demetrio, figlio di un altro dei successori di Alessandro, attaccò Rodi con un'armata di 40.000 uomini. Demetrio costruì delle enormi catapulte montate sulle navi, per distruggere le mura della città, ma una tempesta gli distrusse le navi. Fece allora costruire una torre d'assedio ancora più grande delle precedenti catapulte, ma i rodiesi allagarono il terreno davanti le mura, impedendo alla torre d'assedio di muoversi e rendendola inoffensiva. Alla fine, Demetrio dovette ripiegare abbandonando la maggior parte dell'equipaggiamento. Per celebrare la loro vittoria, i rodiesi decisero di costruire una gigantesca statua in onore di Helios, il loro dio protettore, usando proprio la torre di assedio di Demetrio.

I: Alessandria fu il faro della scienza ellenica...

T: Ellenistica, prego, non ellenica. Il termine ellenistico si riferisce a tutto il periodo storico-culturale dalla morte di Alessandro a quella della sua ultima discendente, Cleopatra VII d'Egitto. Si tratta di un periodo in cui



*Busto identificato con Tolomeo
(Museo del Louvre, Parigi).⁶²*

⁶² https://it.wikipedia.org/wiki/Tolomeo_I

la cultura greca si diffonde, e si mescola, con quella persiana, indiana, egiziana producendo dei geni assoluti e delle scoperte fantastiche. Si parla di Euclide, fondatore della geometria, Eratostene primo direttore della biblioteca, Archimede, fisico e matematico, che avete già intervistato, Erone, Aristarco di Samo, astronomo, Ipparco di Nicea e poi i medici Ippocrate, Erofilo e Erasistrato. Tutti studiosi che sono passati dalla biblioteca e dal Museo, e che poi si sono insediati in vari luoghi rimanendo in contatto tra loro.

Io e i miei discendenti facemmo il possibile per raccogliere tutto lo scibile umano, ogni nave che arrivata ad Alessandria veniva perquisita e tutti i libri che trovavamo venivano requisiti per il tempo necessario a copiarli. La biblioteca arriverà a contenere 700.000 volumi, poi purtroppo distrutti dal fuoco. Una sezione della biblioteca, il Sarapeo con 42.000 volumi, era aperto al pubblico, una cosa veramente innovativa, prima di allora tutte le biblioteche erano private.

Faccia conto che Aristarco sviluppa il primo sistema eliocentrico, valuta la dimensione del Sole, della Luna e della Terra, misura la distanza tra Terra e Sole e tra Terra e Luna. Ipparco misura la precessione degli equinozi. E la cultura che producevamo non era solo teorica: Archimede ha costruito varie macchine, ma non era il solo: nascono il torchio per le olive, il mulino idraulico e varie pompe, la soffiatura del vetro in stampi, e poi colori, profumi, medicine e anticrittogamici come il solfato di rame.

I: Ma solo Alessandria aveva una biblioteca?

T: No, grandi biblioteche erano a Timgad, oggi in Algeria e a Pergamo, in Anatolia (oggi Turchia), senza dimenticare Cartagine, erede dei fenici, che aveva accumulato una grande conoscenza geografica. Pergamo ci faceva molta concorrenza, tanto che un mio discendente, Tolomeo IV, proibì di esportare il papiro a Pergamo.

I: E che fece Pergamo?

T: Inventò la pergamena, come dice il nome stesso.

I: E che successe poi alla vostra cultura dopo l'ellenismo?

T: Ai romani, che occuparono l'Egitto dopo la sconfitta di Marco Antonio, della cultura scientifica non importava nulla. Erano una società agricola basata sulla schiavitù, e mentre produssero tanta cultura letteraria e legata alla giurisprudenza, dal punto di vista tecnico e scientifico rimasero

pressoché immobili per mille anni. Avevano già distrutto Cartagine e trascurato tutta la loro sapienza, e fecero lo stesso con noi. Dopo poi che l'impero si convertì al cristianesimo le cose andarono anche peggio: ai cristiani importavano solo i libri di chiesa e l'insegnamento religioso. Gran parte dei nostri manoscritti andarono perso, e quello che si salvò fu solo grazie agli arabi, che invece apprezzavano tantissimo la scienza e la tecnica, la studiarono a fondo e conquistarono mezzo mondo grazie alle loro innovazioni.

I: E non sa dirci nulla del suo omonimo astronomo?

T: Claudio Tolomeo? Beh, anche lui deriva dalla cultura ellenistica, non a caso visse e morì ad Alessandria nel 175 d.C., ma si parla già di epoca imperiale. La sua opera fondamentale è l'Almagesto, dal nome arabo che vuol dire "il grandissimo", In questo libro, basandosi sulle scoperte di Ipparco, Tolomeo formulò un modello geocentrico, in cui solo il Sole e la Luna, considerati pianeti, avevano il proprio epiciclo, ossia la circonferenza sulla quale si muovevano, centrata direttamente sulla Terra, il famoso sistema tolemaico. Ma questo sistema fu "riscoperto" in occidente solo nel XII secolo, quando la sua opera fu tradotta dall'arabo.

Tolomeo scrisse anche "la geografia", in cui si trova la mappa di tutto il mondo conosciuto, dalle Canarie alla Cina, e dal Mare artico all'Estremo Oriente e all'Africa centrale. In questo trattato vengono usate per la prima volta le coordinate latitudine e longitudine. Ma Tolomeo non era uno scienziato, era un compilatore, e infatti fece vari errori, tra cui quello della circonferenza della Terra. Eratostene aveva calcolato il raggio terrestre con una precisione del 3%, ma Tolomeo usò una diversa unità di misura e fece un errore di circa il 30%. Probabilmente Colombo fece la sua stima sul tempo necessario alla circumnavigazione della terra basandosi anche su questo valore errato, ma tenga presente che Ipparco, analizzando le maree dell'Oceano Atlantico e dell'Oceano Indiano, aveva già previsto l'esistenza di un continente intermedio, e sembra che i cartaginesi avessero già visitato le piccole Antille, chiamate isole fortunate, e la Groenlandia. Del resto, le navi cartaginesi erano più grandi di quelle usate da Colombo. Sembra che Tolomeo abbia confuso le Canarie con le isole fortunate e quindi abbia "ristretto" la Terra per far tornare i conti.

I: È stata un'intervista molto interessante, grazie per averci illuminato.

T: Grazie a voi.

Wolfgang Pauli



RadioMoka 8 febbraio 2020 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/aPojEtxglj8>

I: Buongiorno prof. Pauli, benvenuto a RadioMoka.

P: Buongiorno a voi.

I: Ci può raccontare in che epoca visse?

P: Sono viennese, come per esempio Schrödinger, di famiglia ebrea ma convertita al cattolicesimo. Sono nato nel 1900, e a 18 anni ho pubblicato il mio primo articolo sulla relatività generale.

I: Precocetto, direi...

P: Beh, non poi tantissimo, era l'età giusta per laurearsi, e la relatività era l'argomento di moda, anche se effettivamente richiedeva delle conoscenze di matematica non comuni.

Comunque, poi presi il dottorato con Sommerfeld, e nel mentre pubblicai un grosso articolo per l'enciclopedia della matematica di Felix Klein, sempre sulla relatività. Sa, Sommerfeld non aveva tempo, anche se era ovviamente molto ferrato sull'argomento.



Wolfgang Ernst Pauli nel 1945.⁶³

⁶³ http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1945/pauli-bio.html

I: Ah, sì, ricordo, Sommerfeld aveva inserito le correzioni relativistiche nel modello di Bohr. Ma torniamo a lei. Poi che fece?

P: Passai un anno a Gottinga con Born, e poi andai a trovare Bohr a Copenaghen. Fui poi nominato docente ad Amburgo, e lì formulai il principio che prende il mio nome. L'annessione dell'Austria alla Germania fece di me un cittadino tedesco, ma per fortuna a quel tempo ero professore a Zurigo. Nel 1940 comunque emigrai negli Stati Uniti, e andai a Princeton. Rientrai in Europa dopo la fine della guerra, e sono morto a Zurigo nel 1958.

I: Che tipo di persona era?

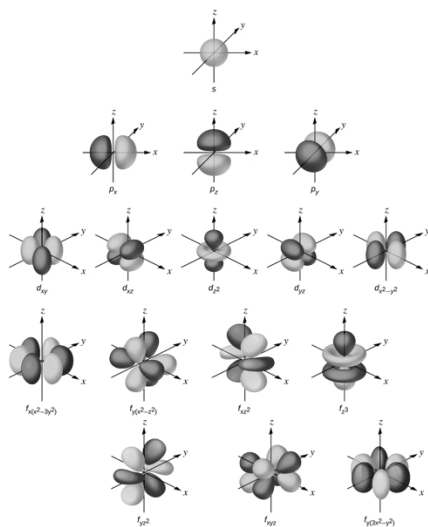
P: Parecchio scostante, temo. Anche piuttosto brusco. Ricordo una volta che incontrai un collega che aveva scritto un articolo pieno di errori. Gli dissi che non mi importava se lui non era capace di pensare rapidamente, ma mi irritava che pubblicasse gli articoli più velocemente di quanto poteva pensare. Una volta dissi addirittura che "quello che ha detto Einstein non è del tutto stupido".

I: E dal punto di vista sociale?

P: Una frana, temo. Pensavo solo alla fisica, tanto che una volta, quando ero a Copenaghen, un collega mi incontrò e mi chiese perché ero così triste. Risposi: "come potrei avere un aspetto felice se non mi riesce di risolvere il problema dell'effetto Zeeman anomalo?"

I: Che cos'è?

P: Un atomo emette dei fotoni con determinate energie, che corrispondono alle differenze delle energie degli orbitali atomici. In prima approssimazione, per un atomo di idrogeno, i livelli sono dati dal numero quantico principale, ma per ogni valore di questo numero quantico ci sono in



Orbitali atomici.

realtà più orbite. Prendiamo per esempio i primi orbitali. L'orbitale s è quello meno energetico, e si può considerare sferico, ed è unico. L'orbitale subito sopra è il p , e ce ne sono tre. Questi orbitali sono a forma di otto, e possono stare, per semplificare la visione, orientati lungo i tre assi. Si distinguono per il loro momento angolare, o meglio, per la proiezione di questo lungo un asse dato, ma se questa quantità non contribuisce a cambiare l'energia, il salto da p a s emette sempre fotoni con la stessa frequenza... Se però piazziamo l'atomo in un campo magnetico, le cose cambiano. Il momento angolare corrisponde classicamente al fatto che l'elettrone gira in un determinato senso, quindi si comporta come una piccola spira percorsa da corrente, e, immersa in un campo magnetico, la spira acquista una certa energia a seconda del suo orientamento. Quindi il livello p si divide in tre, a seconda del valore del momento angolare, e sperimentalmente si vede che la riga corrispondente alla transizione p - s si divide in tre.

I: Chiaro. Ma questo è l'effetto Zeeman normale, no?

P: Esatto. Con un campo magnetico più forte si vede che in realtà ci sono più di tre linee, nel caso p - s sarebbero cinque, e questo è chiamato l'effetto Zeeman anomalo. Tenga presente però che qui ho presentato un quadro ideale, in realtà le osservazioni non si fanno sull'atomo di idrogeno isolato, ma sulla molecola di idrogeno o su altre sostanze, e quindi le righe sono molte di più, ma il concetto è simile.

I: E alla fine ci riuscì a spiegarle?

P: Sì e no. Nel 1925 introdussi un altro numero quantico, oltre a quello principale e a quello del momento angolare, e trovai che per spiegare il tutto bisognava supporre che questo numero avesse due valori, e che su ogni orbitale ci potevano al più stare solo due elettroni, con questo numero atomico diverso. In altre parole, se identifichiamo un elettrone con l'insieme dei suoi numeri quantici, non ci possono essere due elettroni che li hanno tutti uguali.

I: Ma non è lo spin, questo numero che lei ha scoperto?

P: Sì, l'anno dopo, Ralph Kronig, un assistente di Landé, ipotizzò che questo numero corrispondesse alla rotazione dell'elettrone, una ipotesi che contestai aspramente perché avrebbe implicato che la superficie dell'elettrone, ammesso che la abbia, ruotasse più veloce della luce, per così dire. In realtà non si possono usare questi concetti classici in

meccanica quantistica, ma è vero che questo numero quantico corrisponde a una specie di momento angolare, che a sua volta è associato ad un momento magnetico. Dirac, nel 1927, fece vedere che lo spin è intrinsecamente legato alla descrizione relativistica dell'elettrone, e nel 1940 feci vedere che il mio principio è legato al fatto che una particella abbia spin semintero, ovvero che sia un fermione. I bosoni, quelli che hanno spin intero, possono stare nello stesso stato, come mi sembra abbia detto Bose proprio qui.

I: E da dove viene il principio di esclusione?

P: Da come si trasforma la funzione d'onda quando si scambiano tra loro due particelle identiche. Ovviamente, dato che le particelle sono identiche, nessuna osservazione deve cambiare dopo lo scambio. Ma le osservazioni sono legate al quadrato del modulo della funzione d'onda. Una funzione al quadrato non cambia se la funzione non cambia, ma anche se la funzione cambia semplicemente segno. In questo caso, però, se le particelle sono nello stesso stato, abbiamo che la funzione è uguale al suo opposto, ovvero che è zero. Quindi la probabilità di osservare due fermioni con gli stessi numeri quantici è zero.

I: E che conseguenze ha il suo principio?

P: Tantissime conseguenze. Prima di tutto permette di spiegare le proprietà chimiche degli elementi della tavola periodica. Se gli elettroni fossero bosoni, si distribuirebbero negli orbitali in una maniera che dipende solo dall'energia, e tutti gli atomi sarebbero simili. Invece, non potendo stare negli stessi stati, devono andare ad occupare gli orbitali più energetici. Ovviamente, ma non potevo saperlo io, qualcosa di simile avviene nel nucleo atomico, che non può collassare in un punto per via della "repulsione" che deriva dal mio principio.

I: Quindi c'è una forza che repelle i fermioni?

P: No, ma è come se ci fosse. Pensi ai livelli in un metallo, in cui gli orbitali più alti sono delocalizzati, ovvero condivisi tra tutti gli atomi, del resto è per questo che i metalli sono buoni conduttori di elettricità. Per trovare la disposizione media degli elettroni deve generare tutte le configurazioni possibili, e mediarle secondo la loro energia. Ma deve escludere tutte le configurazioni in cui due elettroni occupano lo stesso livello. È come se gli elettroni si stessero repellendo. Per esempio, in un metallo questo fa sì che tutti i livelli tranne i più energetici siano pieni, e gli

elettroni, pur essendo liberi di muoversi, non possano “immagazzinare” calore perché non possono saltare negli altri livelli già occupati. Per questo i metalli, buoni conduttori di elettricità e calore, hanno capacità termica molto bassa, ovvero si scaldano subito.

I: Altre conseguenze?

P: L'impenetrabilità della materia. Due atomi non si possono compenetrare perché gli elettroni, quando gli orbitali cominciano a sovrapporsi, dovrebbero saltare in livelli troppo alti. Anche il ferromagnetismo ha un'origine simile. Negli atomi di ferro gli elettroni di atomi vicini preferiscono saltare su orbitali più alti e disporsi con lo spin allineato perché così possono stare in media più distanti, una cosa che ovviamente è anche energeticamente preferibile dato che sono entrambi carichi negativamente. Ma così facendo generano un campo magnetico intenso.

I: E poi?

P: Il mio principio ha anche conseguenze cosmologiche. Quando una stella finisce il combustibile, non c'è più la pressione di radiazione che si oppone alla gravità, e collassa. In principio dovrebbe sempre fare un buco nero, ma quello che succede invece, per stelle non troppo massicce, è che quando la materia diventa denso interviene il mio principio e impedisce che i fermioni stiano troppo vicini. Così si originano le nane bianche, che poi, raffrendandosi, diventano nane brune. Se la stella è più grande, gli elettroni si fondono con i protoni e danno origine alle stelle di neutroni, che più o meno sono simili a enormi nuclei atomici.

I: Lei ha partecipato anche agli esperimenti che hanno confermato la sua teoria?

P: No davvero! Ero famoso per la mia incapacità sperimentale, e in effetti appena entravo in un laboratorio qualcosa si rompeva. Addirittura, una volta nel laboratorio di Franck a Gottinga si ruppe un apparecchio costoso. Qualcuno disse “e dire che non c'è nemmeno Pauli a cui dare la colpa”, ma invece io proprio in quel momento stavo cambiando treno a Gottinga per andare a trovare Bohr a Copenaghen. Questo caso passò alla storia come “effetto Pauli” e il mio buon amico Jung ci fece sopra addirittura una teoria.

I: Jung lo psicanalista?

P: Sì, lui. Ero andato da lui per entrare in analisi, a causa della mia depressione, ma invece cominciammo a chiacchierare, io gli raccontavo i miei sogni e discutevamo insieme su effetti non spiegabili dalla fisica, come la sincronicità.

I: E che roba è?

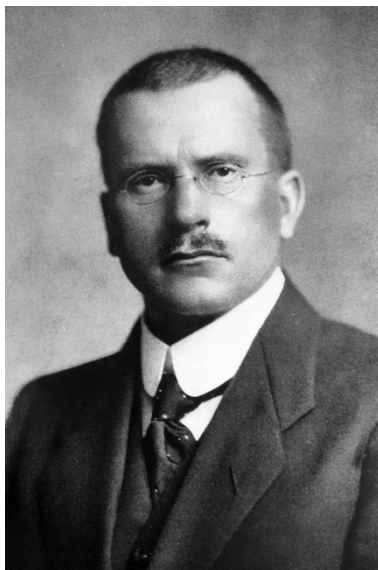
P: L'inspiegabile avvenimento contemporaneo di eventi che non hanno nessuna relazione causale, ma ce l'hanno a livello simbolico. Come appunto il fatto che si rompersero gli apparati sperimentali tutte le volte che entravo in un laboratorio. Immagino che a lei sembrino tutte stupidaggini, si parlava di energia indistruttibile nel continuum spazio-temporale e dell'analogia con i ching cinesi....

I: Forse era stanco...

P: Comunque verso la fine della mia vita mi convinsi che non solo la fisica quantistica era incompleta, come diceva Einstein, ma che tutta la fisica fosse inadatta a descrivere la vita, in particolare il cervello. Forse se avessi conosciuto quello che si sa ora sulle neuroscienze e il funzionamento dei neuroni, avrei avuto un approccio più scientifico.

I: La ringraziamo di aver partecipato e si riposi.

P: Quasi quasi vado a trovare Mach, un altro che aveva molte obiezioni da fare alla fisica riduzionistica. Lo sa che è stato il mio padrino al battesimo? Ecco un esempio di sincronicità. Arrivederci.



Carl Gustav Jung.⁶⁴

⁶⁴ https://it.wikipedia.org/wiki/Carl_Gustav_Jung

Oliver Heaviside



RadioMoka 15 febbraio 2020 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/byrKc7wxhJc>

I: Buongiorno professor Heaviside

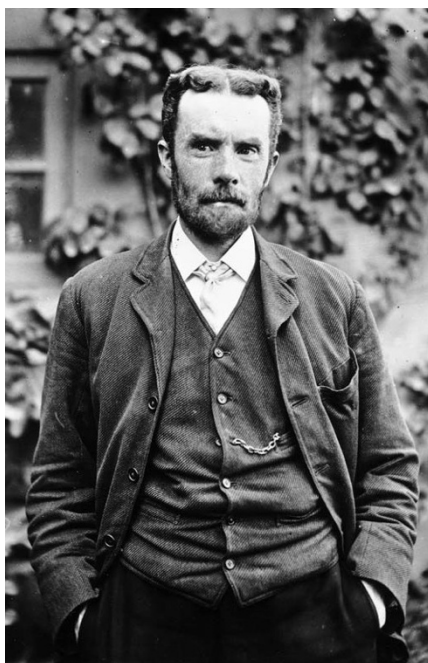
H: Può parlare più forte? Sa, ci sento poco a causa della scarlattina che ebbi da piccolo

I: HO DETTO BUONGIORNO PROFESSORE!

H: Ma io non sono assolutamente un professore. Addirittura, non mi sono neppure laureato. Sono un ingegnere autodidatta.

I: Ma come è possibile? È vero che ben pochi conoscono il suo nome, ma lei ha dato dei contributi importantissimi sia alla matematica che alla fisica, in particolare all'elettromagnetismo.

H: Sì, ma ho fatto tutto da solo. Sono nato a Camden Town, un sobborgo a nord di Londra, zona industriale e snodo ferroviario. La mia era una famiglia molto



Oliver Heaviside ritratto da Frances Hodge.⁶⁵

⁶⁵ https://it.wikipedia.org/wiki/Oliver_Heaviside

modesta, ma per fortuna ricevemmo una piccola eredità che ci ha permesso di trasferirci in una parte migliore di Camden quando avevo tredici anni, e fui mandato alla Camden House Grammar School. Ero un bravo studente, mi classificai quinto su cinquecento studenti nel 1865, ma poi a 16 anni dovetti abbandonare la scuola e continuai a studiare da solo.

I: Andò a lavorare, immagino.

H: Sì, per fortuna un mio zio acquisito era Sir Charles Wheatstone, che tutti gli studenti di fisica conoscono perché c'è un "sistema" per misurare le resistenze che si chiama ponte di Wheatstone, che sono obbligati a studiare. In realtà mio zio era famoso perché aveva stabilito la prima linea commerciale del telegrafo, e mi prese a lavorare con lui, anzi, in realtà con suo fratello Arthur.

I: E che faceva?

H: Facevo l'impiegato nella compagnia, ma intanto approfondivo i problemi legati alla trasmissione telegrafica. Si cominciavano a stendere i primi cavi sottomarini, per esempio tra l'Inghilterra e la Danimarca, ma la trasmissione dei segnali in questi lunghi cavi era mostruosamente lenta. Sapete che per trasmettere dei segnali telegrafici di apre e chiude il circuito, inviando quindi dei segnali di forma quadrata, che sono dei punti (segnali corti) e delle linee (segnali lunghi). Durante il loro viaggio questi segnali si allargano e si arrotondano, così che per essere sicuri che sia un punto o una linea bisognava separarli bene, altrimenti si mescolavano. E questo voleva dire che la trasmissione era estremamente lenta, in alcuni casi per trasmettere un carattere, formato da dei punti e delle linee, ci volevano anche 10 minuti.

I: E i fisici non avevano soluzioni?

H: A quel tempo l'elettromagnetismo era una materia ancora nebulosa. Per esempio, il grande Lord Kelvin modellizzò la trasmissione dei segnali con l'equazione del calore, che poi è quella della diffusione, il che portava alla conclusione che non c'era nulla da fare, i segnali si sarebbero irrimediabilmente mescolati, a meno di non separarli.

I: Ma non si potevano usare le equazioni di Maxwell?

H: Eccoci al punto. Quelle che voi chiamate "equazioni di Maxwell" in realtà le ho scritte io. Maxwell era abbastanza scarso dal punto di vista

matematico, ma questo lo capii molto dopo. Quando ebbi tra le mani il suo famoso trattato sull'elettricità, all'inizio non ci capii nulla: non avevo studiato analisi, mi ero fermato all'algebra e alla trigonometria, e quindi mi ci vollero degli anni di studio per riuscire a capire come usare le equazioni differenziali. Ma dato che studiavo da solo, sviluppai dei metodi miei particolari, che poi risultarono simili a quelli conosciuti come trasformata di Laplace, e dei concetti come la funzione che porta il mio nome, che è una funzione che passa da zero a uno in un istante particolare, e la sua derivata, che ora è conosciuta come delta di Dirac.

I: I suoi metodi non furono accettati?

H: Io ovviamente non fornii la dimostrazione matematica, le mie erano regole empiriche che però funzionavano molto bene, ma furono feroce-
mente osteggiate dai matematici.

I: E poi? Le equazioni di Maxwell?

H: Maxwell aveva formulato la sua teoria usando un formalismo molto complicato, quello dei quaternioni, che sono una specie di numeri complessi a quattro componenti. Lui aveva formulato l'elettromagnetismo usando ventidue equazioni, e quindi il tutto era oltremodo pesante da analizzare. Io riuscii a riscriverle usando il formalismo dei vettori usato oggi, ovvero il campo elettrico E , il campo magnetico B e i campi nella materia D e H . Sono sempre 12 componenti, ma scritti come vettori le equazioni si riducono a 4 equazioni vettoriali, che dicono come questi campi variano nel tempo in funzione delle cariche e delle correnti. Inoltre, feci vedere che le equazioni sono simmetriche, se introduciamo delle cariche e delle correnti magnetiche fittizie.

I: Usò queste equazioni per dei problemi pratici?

H: Ci può scommettere! Le applicai al telegrafo e ottenni la giusta equazione, che si chiama appunto equazione del telegrafo. È un'equazione che ha come soluzione un'onda viaggiante, che però viene smorzata dalle perdite. Ora, lei può pensare a un'onda quadra (quella del segnale) come alla sovrapposizione di tante onde sinusoidali. Se queste onde si propagano ognuna con una velocità diversa, l'effetto è quello di distorcere il segnale. Se invece si propagano tutte alla stessa velocità il segnale rimane lo stesso, anche se si attenua.

I: Quindi il problema era quello di tenere insieme le varie onde?

H: Esatto! Per capire come si fa, pensi a modellizzare un cavo telegrafico come una serie di componenti discreti, un altro concetto che ho introdotto io. Ogni metro di cavo può essere pensato come una resistenza, un condensatore e una induttanza, perché le cariche che si muovono nel cavo dissipano energia (la resistenza), inducono lo spostamento di altre cariche fuori dal cavo (il condensatore) e generano un campo magnetico (l'induttanza). Ora, l'attenuazione dipende dalla resistenza, ma la distorsione dipende dall'effetto combinato della capacità (il condensatore) e dell'induttanza.

I: E come si fa ad eliminare la distorsione?

H: La mia ricetta fu quella di mettere delle induttanze, ovvero degli avvolgimenti, in serie con il cavo. Ma fu violentemente rifiutata dai miei capi, perché a quei tempi si pensava che l'induttanza fosse il nemico da combattere. Solo dopo molti anni fu riconosciuto che il mio metodo funzionava, ma io non avevo brevettato l'idea e quindi non ricevetti nulla.

I: Non le pagarono niente?

H: In realtà mi offrirono dei soldi, a patto che non rivendicassi la paternità intellettuale della scoperta, ma io rifiutai sdegnato, anche se ero poverissimo. Solo in tarda età mi fecero accettare a forza un contributo dalla Royal Society, per riuscire a sopravvivere.

I: Ha fatto altre scoperte?

H: Certo. Ho scoperto l'effetto "pelle" dei conduttori.

I: I cavi hanno una pelle? Si riferisce al rivestimento di gomma?

H: No, niente del genere. Se si cerca di trasmettere un segnale ad alta frequenza in un cavo, ci si rende conto che la resistenza non diminuisce più con la sezione del cavo, ma solo con la sua circonferenza, ovvero ci vogliono cavi enormi per diminuire di poco la resistenza. Capisce che questo è un grosso problema per i cavi sottomarini: si vorrebbero inviare segnali usando frequenze più alte per impiegare meno tempo, ma se poi dobbiamo usare cavi enormi il tutto diventa troppo costoso.

I: E lei cosa scoprì?

H: Che questo era dovuto al fatto che le cariche, a causa della forza magnetica indotta, quella che oggi conoscete come forza di Lorentz ma che introdussi io, si dispongono sulla superficie del cavo. Quindi, invece di

usare un cavo di grande diametro, bastava usare tanti cavetti di piccolo diametro, con un enorme risparmio di rame.

I: Accidenti! E non ricevette nulla neanche per questa scoperta?

H: Macché. Lavorai anche sull'energia irraggiata da un cavo, o da un'antenna, introducendo quello che oggi viene chiamato vettore di Poynting. Lei sa che in un'onda elettromagnetica ci sono i campi elettrici e magnetici che sono perpendicolari alla direzione di avanzamento dell'onda. Consideri adesso una batteria connessa ad una resistenza con due fili senza resistenza.

I: Ovvero una batteria che alimenta una lampadina?

H: Esatto. La lampadina emette energia perché ha una resistenza, e quindi le cariche al suo interno vengono rallentate. Ma come arriva l'energia alla lampadina? L'energia non può stare nel filo "perfetto", deve stare nel campo elettrico e magnetico circostante.

I: Ho capito, ci sarà un campo elettrico tangente al filo, come quello che è al suo interno, e un campo magnetico circolare intorno al filo.

H: Questo è quello che diceva Poynting, ma se usa solo questi campi, non ha nessun trasporto di energia, perché questa è perpendicolare ai due campi. In realtà c'è un campo elettrico tra i due fili, a causa della caduta di potenziale sulla resistenza, ed è questo campo elettrico trasversale che, accoppiato al campo magnetico circolare, permette il passaggio di energia.

I: Credo di aver capito, anche se non è facile senza vedere dei disegni. E poi?

H: Predissi l'esistenza di uno strato ionizzato al di sopra dell'atmosfera, quello che ora si chiama ionosfera o "strato di Heaviside", che permette la trasmissione dei segnali radio a onde corte. Questi segnali rimbalzano sulla ionosfera, di giorno, e quindi possono mettere in collegamento zone che non sono "a vista". Purtroppo, questa mia scoperta ha causato un certo ritardo nell'osservazione dello spazio nelle microonde, perché per molto tempo si è pensato che queste non potessero arrivare a terra per via dello strato ionizzato. Ma almeno sono entrato nel mondo dello spettacolo.

I: Cosa, cosa? Mi vuol dire che qualcuno ha fatto uno spettacolo basato sulle sue scoperte?

H: Su quest'ultima. Il famoso spettacolo di Broadway "Cats", che è diventato anche un film, ruota attorno alla selezione di chi, tra i gatti del quartiere di Jellicle verrà scelto per salire nello "strato di Heaviside", ovvero andare in paradiso, per poi reincarnarsi in una nuova vita.

I: Beh, non so se questo riconoscimento è sufficiente per ripagarla di tutti quelli che non ha avuto. La salutiamo caldamente.

H: Vi saluto anch'io. Comunque, ultimamente la mia importanza viene riconosciuta un po' di più, per esempio nel 2005 un ignoto ha pagato per far ripulire la mia lapide tombale, e nel 2014 hanno fondato l'Heaviside Memorial Project per restaurarla completamente. Sono soddisfazioni...

Max Born



RadioMoka 14 marzo 2020 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/jY5JWGM4qZc>

I: Oggi per le interviste impossibili abbiamo un grande della fisica, anche se - credo - semi-sconosciuto ai più: il professore Max Born!

B: Grazie per avermi invitato. In effetti nessuno o quasi mi conosce, anche tra i giovani fisici.

I: Eppure lei ha vinto il premio Nobel per la fisica. Ma prima di raccontarci delle sue scoperte, può narrare la sua vita?

B: Sono nato nel 1882 a Breslavia, ovvero Wroclaw, oggi parte della Polonia ma allora parte dell'Impero tedesco, e città allora in grande espansione.

I: Lei è di famiglia ebrea?

B: Sì, mio padre era professore di anatomia e embriologia all'università, mia madre morì quando avevo solo quattro anni, ma in realtà la famiglia di mia madre fu molto più partecipe nella mia vita di quella di mio padre. Feci una carriera piuttosto regolare, al liceo, e poi al momento di



Max Born nel 1954.⁶⁶

⁶⁶ https://it.wikipedia.org/wiki/Max_Born

scegliere l'università decisi per fisica, anche perché non riuscivo a ricordare tutti i nomi latini necessari per studiare scienze naturali, nonostante mio padre ci avesse insegnato a tenere erbari, acquari e terrari con tanti animali. Ma in realtà avevo intenzione di lottare per il progresso delle idee socialiste e diventare un attivista.

I: E perché decise per la fisica invece della politica?

B: Un mio buon amico, dirigente della sezione del partito, mi prese da parte e mi disse: "senti, tu sei di famiglia benestante e ti puoi permettere di studiare. Lascia la politica a noi operai, che non abbiamo molte altre possibilità, e studia, vedrai che contribuirai lo stesso all'avanzamento dell'umanità". E così feci.

I: Con un buon successo, direi.

B: Sì, solo che a causa della mia origine ebraica e dei miei trascorsi socialisti ero molto osteggiato in Germania anche prima di Hitler, così nel 1936 me ne andai a Cambridge e poi ad Edimburgo, salvo tornare in Germania dopo la fine della guerra.

I: Ci parli adesso dei suoi studi.

B: I miei primi lavori furono sulla teoria della relatività di Einstein, che era quasi un mio coetaneo, aveva solo tre anni più di me. La teoria della relatività fu una vera rivoluzione, anche perché apparve tutta insieme, differentemente dalla fisica quantistica che invece venne raffinata in molti passi. Ho anche scritto un libro sulla teoria della relatività che è considerato ancora uno dei più chiari.

I: Lei è famoso per la chiarezza dei suoi lavori, ricordo il suo libro "fisica atomica" che è veramente illuminante. I suoi lavori principali riguardano la fisica quantistica, giusto?

B: Io ho incontrato la teoria dei quanti quando avevo già 46 anni, ma per fortuna ero ben dotato di basi matematiche, così potei padroneggiare facilmente anche questa nuova disciplina, che in realtà dava più problemi dal punto di vista interpretativo. Ma prima della fisica quantistica ho lavorato molto sui cristalli, introducendo già delle idee "quantistiche" anche se non esisteva ancora l'equazione di Schrödinger. Ho anche messo in relazione le quantità che interessavano i chimici, come il calore sviluppato nelle reazioni, con quantità fisiche come l'energia di ionizzazione degli atomi.

I: Ci parli dell'equazione di Schrödinger

B: Come sa, in fisica quantistica lo stato di un sistema è dato da una funzione, detta funzione d'onda, che è definita in ogni punto dello spazio, e che evolve nel tempo secondo l'equazione di Schrödinger. Questa equazione è molto simile, formalmente, a quella della diffusione, praticamente dice che la funzione d'onda si sparpaglia nel tempo, anche se viene "attratta" dai minimi del potenziale. Ma mentre la protagonista dell'equazione di diffusione è una funzione reale, ovvero la probabilità di trovare una particella in qualche posto, la funzione d'onda è una funzione complessa. I numeri complessi sono una specie di freccette, e si sommano come i vettori, accodandoli uno all'altro. Questo permette di avere gli effetti di interferenza, dato che due numeri complessi anche grandi si possono sommare dando qualcosa di molto piccolo, se sono orientati in senso opposto.

I: Ma cos'è questa funzione d'onda? Come si misura?

B: Ecco il punto. La funzione d'onda non si può misurare direttamente, ma il suo modulo quadrato, che corrisponde alla "lunghezza" al quadrato del vettore corrispondente al numero complesso, dà la probabilità di osservare la particella in qualche punto. Ovvero, consideri la funzione d'onda dopo una fenditura posta davanti ad una sorgente luminosa o una fonte di elettroni: ci sono punti dove la funzione d'onda è piccola, e questo vuol dire che lì la probabilità di osservare una particella è piccola, ed altre in cui è grande, ovvero dove c'è una grande probabilità di osservare una particella.

Ma dato che la probabilità è il modulo quadrato della funzione d'onda, non sappiamo come è "orientata" la funzione d'onda. Per capire come funziona, prenda una striscia di carta, diciamo lunga 20 centimetri e larga 3, e ci disegni tante linee, che rappresentano i vettori, nella direzione in cui la striscia è più corta. Ritagli poi la striscia in modo che sia più spessa nel centro e più fine alle estremità, come una curva a campana. Questa curva rappresenta la probabilità di osservare la particella, ma ci sono più maniere per avere la stessa distribuzione di probabilità, può tenerla dritta davanti a sé, oppure può darle una torsione come un'elica, e la probabilità è sempre la stessa.

Adesso apra un'altra fenditura vicino alla prima. Le due fenditure danno due funzioni d'onda simili, due strisce di carta a forma di campana, ma

un po' spostate l'una rispetto all'altra e anche arrotondate in maniera diversa.

Adesso bisogna sommare, in senso vettoriale, le linee ovvero i vettori delle due strisce di carta che stanno nella stessa posizione. In questa maniera si possono avere zone in cui la somma è piccola anche se il contributo delle due fenditure è grande, ma in opposizione.

I: Ho capito, due nastri trasparenti attorcigliati con due colori complementari nei due lati, se mostrano il colore opposto la luce non passa, se hanno lo stesso colore invece passa.

B: Ottimo esempio. Ora, questo comportamento era già conosciuto per la luce e anche per il suono, ed è facilmente comprensibile parlando di onde. Ma quando si osservano le particelle, e anche, dopo Einstein, i fotoni, si vede che sono sempre quantizzati, non si osserva mai mezzo elettrone o mezzo fotone. Quindi la domanda era: dove sta il fotone? De Broglie per esempio pensava che ci fosse un'onda che spingeva il fotone, come un'onda del mare può spingere un sughero galleggiante.

I: Mi sembra una buona ipotesi.

B: Ma non torna perché due elettroni che non hanno mai interagito sono indipendenti, mentre l'onda dovrebbe sospingerli in maniera correlata.

I: E la sua soluzione?



La pietra tombale di Max Born a Gottinga.⁶⁷

⁶⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Max_Born

B: È appunto l'interpretazione che la il quadrato della funzione d'onda sia la probabilità, e che poi, in qualche maniera magica, l'elettrone si "materializzi" in qualche punto a seconda di questa probabilità. Mi sono ispirato al fatto che l'intensità luminosa è proprio il quadrato del campo elettrico, e quest'ultimo è rappresentato da una funzione complessa, proprio come la funzione d'onda. Ma se la luce è quantizzata, l'intensità luminosa non è altro che la probabilità di osservare un fotone, e quindi il campo elettrico è proprio la funzione d'onda quantistica per i fotoni.

I: Mi gira la testa... Ma ricordo che ne abbiamo parlato nell'intervista a Hugh Everett III, quando abbiamo introdotto il concetto degli universi paralleli.

B: Io non mi sono spinto così in là, mi sono fermato al formalismo matematico, che funziona molto bene e per questo mi diedero il Nobel.

I: Sa che nell'edizione stampata delle nostre interviste impossibili abbiamo attribuito a Bohr il suo lavoro con Oppenheimer?

B: Sì, me l'hanno detto, è un lapsus frequente, dato che nessuno si ricorda di me... Anche la mia pagina su Wikipedia italiana è molto scarna

I: Su, non si deprima, lei è stato un ottimo maestro, ha scritto dei bei libri e poi sulla sua pietra tombale è scritto il principio di indeterminazione che ha sviluppato con Heisenberg, ovvero $pq - qp = i \hbar$ diviso 2 π greco

B: Certo, sono soddisfazioni... Arrivederci.

I: Arrivederci e torni a trovarci quando vuole professor Bohr, no, scusi Born.

Josiah Willard Gibbs



RadioMoka 26 aprile 2020 (voci di Franco Bagnoli e Giovanna Pacini).

<https://youtu.be/tToodUN3mpk>

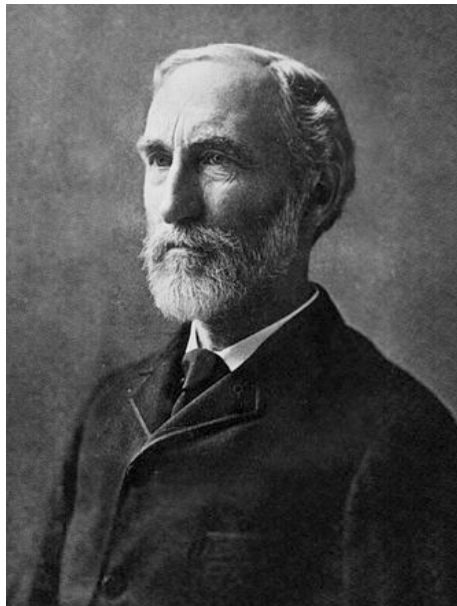
I: Oggi, per le interviste impossibili, abbiamo uno dei primi scienziati statunitensi, e forse il più importante, almeno del secolo scorso, Josiah Willard Gibbs.

G: Grazie, ma chiamatemi solo Willard, sa, mi chiamavo con lo stesso nome di mio padre, e quindi in famiglia per lui usavano Josiah e per me Willard.

I: Strano avere lo stesso nome, ma da voi si usava, giusto?

G: Sì, nella mia famiglia era molto comune, in onore di un nostro avo nel 18-esimo secolo. Eravamo una tipica famiglia yankee, molto devoti, repubblicani e abolizionisti.

I: Si riferisce alla schiavitù?



Josiah Willard Gibbs da "The Scientific Papers of J. Willard Gibbs", 1906.⁶⁸

⁶⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Josiah_Willard_Gibbs

G: Certo. Mio padre diventò famoso per l'"affaire" della Amistad.

I: Non ne so nulla, ce lo può raccontare?

G: Come saprà, la schiavitù negli Stati Uniti fu abolita definitivamente nel 1865, dopo la guerra civile. Già dal 1820 molti stati dell'Est avevano abolito la schiavitù, ma non il Connecticut dove vivevamo, che l'abolì solo nel 1848. Tuttavia, era proibito importare nuovi schiavi dall'Africa, e si potevano solo vendere schiavi che fossero nati da altri schiavi. Nel 1839 scoppiò una rivolta su una nave portoghese che trasportava schiavi a Cuba, questi si liberarono, uccisero il comandante e ordinarono ai marinai di tornare in Africa. I marinai invece si diressero verso gli Stati Uniti, certi di venir intercettati dalla nostra marina e quindi riportati nei territori spagnoli.

I: E che successe?

G: Vennero fermati a Long Island, vicino New York, e incarcerati a New Haven, nel Connecticut. I neri non parlavano inglese né nessuna lingua conosciuta, quindi all'inizio c'era solo la testimonianza dei marinai che dissero che erano schiavi nati a Cuba. Ma mio padre si interessò alla faccenda, insieme ad altri avvocati abolizionisti, andò a trovare i prigionieri e chiese loro, a gesti, di pronunciare i numeri uno, due, tre, ecc. Quindi, trascritta la pronuncia, si mise a cercare qualcuno che capisse quella lingua e ne trovò addirittura due.

I: E come finì?

G: Andò avanti fino alla corte suprema, che però decise che gli schiavi erano stati catturati illegalmente, che avevano avuto ragione a ribellarsi, e che potevano tornare a casa, cosa che fu possibile grazie a una colletta.

I: Che bella storia. Ci racconti un po' di lei, adesso.

G: Io ho studiato alla Hopkins School, e poi a Yale, dove eccellevo in latino e matematica. Ero molto cagionevole di salute e per questo non mi sono offerto come volontario per la guerra civile. Inoltre, ero molto astigmatico, ma ai miei tempi questo difetto non era ben conosciuto, e quindi dovetti costruirmi da solo le lenti per gli occhiali. Comunque, nel 1863 ricevetti il primo dottorato in ingegneria degli Stati Uniti, che era il quinto di tutti i dottorati consegnati negli USA. Quindi viaggiai per alcuni anni in Europa, insieme alle mie sorelle.

I: Eravate molto uniti, come famiglia.

G: Tanto che io non mi sono mai sposato e ho sempre vissuto con mia sorella Julia e suo marito, che era mio compagno di corso a Yale ma che lei ha sposato poi appunto durante quel viaggio.

I: E lei di cosa si occupò?

G: Io sono praticamente sempre stato a Yale, dopo il mio ritorno dall'Europa. Ho insegnato latino, francese e poi matematica e fisica agli ingegneri. Sono stato il primo professore di fisica a Yale, ma fino al 1880, quando avevo 41 anni, non ricevevo salario, me ne assegnarono poi uno di 2000 dollari, corrispondente a circa 25.000 degli attuali, e solo perché la John Hopkins University di Baltimora me ne aveva offerti 3000.

I: E come viveva?

G: Avevo l'eredità paterna, e poi sono sempre stato molto accorto, tanto che quando sono morto ho lasciato circa 100.000 dollari, corrispondenti a 2.5 milioni attuali.

I: E la ricerca?

G: Sono famoso per aver introdotto il calcolo vettoriale, in parallelo ma indipendentemente con Heaviside, che avete intervistato poco tempo fa. Come lei, lo applicai alle equazioni di Maxwell. Ma i miei maggiori contributi sono in termodinamica, e soprattutto nella fondazione della meccanica statistica, un termine che ho inventato io.

I: Ce ne può parlare in termini semplici?

G: Ci provo, ma sappia che quando morì Maxwell, dissero che "solo un uomo poteva capire il lavoro di Gibbs, e adesso è morto".

I: Incoraggiante!

G: Ma adesso la mia teoria viene insegnata in tutti i corsi di fisica, ed è rimasta pressoché inalterata anche se nel frattempo è stata sviluppata la fisica quantistica. Ma mi lasci cominciare dall'inizio. Il problema, come ha detto anche Boltzmann quando l'avete intervistato, è questo: come si passa dalle leggi della meccanica a quelle della termodinamica? Le leggi della meccanica sono microscopiche, deterministiche e reversibili, quelle della termodinamica sono macroscopiche, probabilistiche e irreversibili. Dov'è l'inghippo?

I: E dov'è?

G: Essenzialmente nel fatto che non conosciamo con tutti i dettagli lo stato di partenza di un sistema, e che i sistemi macroscopici sono formati da un numero sterminato di particelle microscopiche. Supponiamo di poter conoscere con ogni dettaglio lo stato di un sistema, diciamo posizione e velocità di ogni particella che costituisce un gas. Avendo a disposizione un computer, che ovviamente non esisteva al mio tempo, potremmo calcolare, con una certa approssimazione a causa degli errori numerici, lo stato futuro del sistema. Ma dato che non conosciamo lo stato esatto di partenza, dobbiamo considerare tutti gli stati microscopici compatibili con un determinato stato macroscopico, per esempio, tutti gli stati microscopici che hanno lo stesso volume, numero di particelle, pressione, energia, ecc.

I: Ma sono infiniti!

G: In effetti questo è un problema, che io elusi supponendo, anche se non lo dissi esplicitamente, che ci fosse una certa “discretizzazione” di tali stati, una cosa che per fortuna deriva dalla meccanica quantistica, anche se io morii prima che questi aspetti venissero inquadrati in una disciplina consistente. Ma a parte questo dettaglio tecnico, possiamo in principio immaginarci di poter seguire tutti questi sistemi. Ebbene, l’irreversibilità termodinamica nasce in maniera statistica, perché ci sono molti più stati compatibili con l’equilibrio, di quanti ce ne siano con il non-equilibrio.

I: Non ho capito.

G: Prenda un contenitore da sei uova, di quelli con il tappo, e metta dei chicchi di riso in un incavo. Questa è la configurazione di partenza. Supponiamo che ogni chicco di riso costituisca una “copia” del sistema, e che i chicchi non interagiscano tra loro.

I: Ma interagiscono.

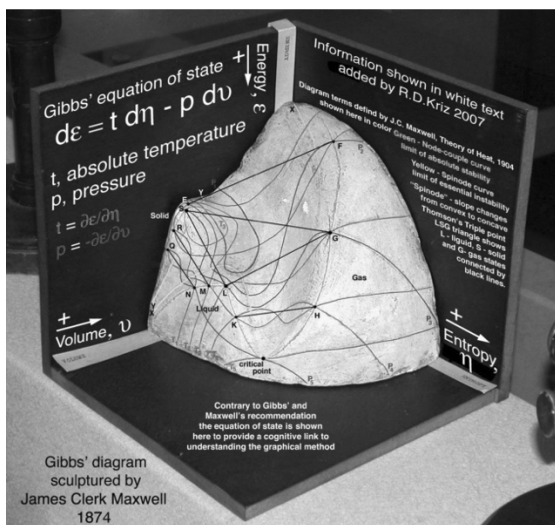
G: Sì, in realtà lei dovrebbe ripetere l’esperimento con un chicco solo per volta, ma così facciamo prima. Adesso lei scuota il contenitore. I chicchi si disperderanno in tutti gli incavi, in maniera più o meno uniforme. Per ogni chicco, all’inizio c’era solo una disposizione, ovvero stare nell’incavo di partenza, mentre alla fine ce ne sono sei. Come vede gli stati disponibili sono aumentati andando verso l’equilibrio. Questo corrisponde all’aumento di entropia. Sulla base di questa considerazione si può derivare tutta la termodinamica.

I: Capito. Ma nella realtà abbiamo un solo sistema, non infinite copie.

G: Qui entra il fatto che i sistemi macroscopici sono grandi. Anche se non l'ho detto esplicitamente, quello che succede è che in un sistema molto grande due zone molto distanti sono praticamente indipendenti, quindi è come se fossero due copie di un sistema. Per questo la termodinamica si applica rigorosamente solo a sistemi infiniti.

I: E questi concetti li ha inventati lei tutto da solo?

G: In realtà in concetto di “insieme statistico” era già stato introdotto da Maxwell e Boltzmann, per quanto non in maniera sistematica. Boltzmann in particolare aveva lavorato molto sui gas diluiti, in cui si può supporre che le particelle non interagiscano se non quando si urtano. In questa situazione, ogni particella è quasi indipendente dalle altre e quindi si può

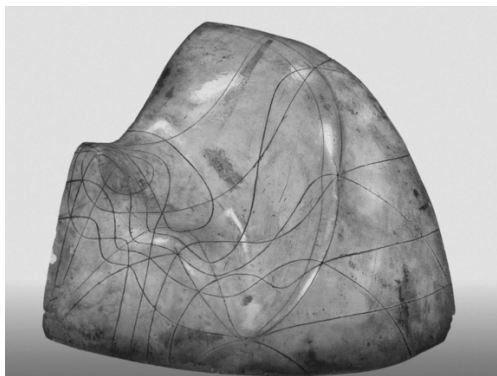


Il diagramma di Gibbs modellato da J. Clerk Maxwell, Cavendish Laboratory, Cambridge, England.

considerare un sistema a sé stante. Questo approccio è meno generale, ma permette di trattare anche casi di non-equilibrio. Anche Einstein ha utilizzato, in maniera indipendente, dei concetti simili prima che apparisse il mio libro tradotto in tedesco. Lui è stato anche molto gentile con me, dicendo che se avesse conosciuto prima il mio lavoro non avrebbe scritto i suoi articoli, che invece introducono concetti nuovi rispetto ai miei.

I: Ma lei ha mai incontrato Maxwell o Boltzmann?

G: Ero in stretta corrispondenza con Maxwell. Quando lesse il mio libro, "Sull'equilibrio delle sostanze eterogenee", 300 pagine con 700 formule, rimase talmente impressionato dal mio approccio geometrico che costruì con la creta un modello tridimensionale di un mio grafico. Usandolo come stampo, ne fece delle copie in gesso, e me ne inviò una. La sua è esposta al Cavendish Laboratory, a Cambridge, e la mia a Yale. Invece con Boltzmann non fui mai amico. Leggevo i suoi lavori e gli inviavo i miei, ma non ci scrivevamo. Quando lui venne in America non ci incontrammo, mi invitò poi a una conferenza a Heidelberg, per cui mi chiese anche in prestito il modello di Maxwell, ma non ci andai. Forse era anche un po' arrabbiato con me.



La copia del modello in gesso originale inviato da Maxwell a Gibbs, Yale Peabody Museum of Natural History.

I: E perché?

G: Come si ricorderà da quando ha intervistato Mach, c'era un gran dibattito sull'esistenza degli atomi, se erano reali o solo un artificio matematico. Boltzmann era un grande sostenitore degli atomi, ma c'erano dei seri problemi nell'usare il modello di atomo come se fosse una pallina, perché le leggi della meccanica applicate a delle palline davano dei risultati in contraddizione con quello che si poteva misurare. In effetti, solo con la meccanica quantistica abbiamo un modello microscopico in accordo con la termodinamica. Io quindi non presi posizione, e fui automaticamente iscritto al partito degli anti-atomisti, tanto che il traduttore del mio libro sulla meccanica statistica fu proprio Zermelo, il grande oppositore di Boltzmann.

I: Ma lei ci credeva o no agli atomi?



La tomba di Gibbs a New Haven.⁶⁹

G: Credevo che la materia fosse composta da elementi discreti, e addirittura che fossero indistinguibili.

I: E perché?

G: Perché c'è un problema, noto come “paradosso di Gibbs”. Prenda un contenitore diviso in due comparti, in uno c'è un gas di colore giallo e nell'altro uno di colore verde, alla stessa pressione e temperatura. I gas non reagiscono tra loro. Se adesso rimuove la separazione, i due gas si mescoleranno in maniera irreversibile, e l'entropia aumenterà.

I: Certo.

G: Ma se adesso mette nei due scomparti lo stesso gas, e apre lo scomparto, che succede?

⁶⁹

https://www.waymarking.com/waymarks/wm10D3C_Josiah_Willard_Gibbs_New_Haven_CT

I: Nulla.

G: Ma dal punto di vista molecolare le molecole si mescolano lo stesso.

I: Già. Ma macroscopicamente non cambia nulla.

G: Questo è il paradosso.

I: E come si risolve?

G: Supponendo che le particelle siano indistinguibili.

Boltzmann, che pure era un atomista convinto, pensava che, avendo a disposizione uno strumento abbastanza sensibile, si sarebbe potuto tracciare ogni particella. Invece, la meccanica quantistica cambia la maniera di contare le disposizioni delle particelle proprio dicendo che lo scambio di due particelle identiche non cambia lo stato del sistema.

Come vi ha detto anche Bose quando lo avete intervistato. Io introdussi un fattore analogo all'indistinguibilità delle particelle, anche se ovviamente non mi espressi al riguardo, per far tornare i conti.

I: Ma allora lei è stato veramente un visionario!



Lapide commemorativa in bronzo, originariamente installata nel 1912 allo Sloane Physics Laboratory, ora all'ingresso dei Josiah Willard Gibbs Laboratories, Yale University.⁷⁰

⁷⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Josiah_Willard_Gibbs

G: No, io sono sempre stato uno yankee, ancorato alla realtà. Non mi sono mai lanciato nelle speculazioni come Boltzmann e Mach, né sono stato geniale come Einstein. Sono stato piuttosto come Planck, ancorato alla matematica e pronto a utilizzare degli strumenti, anche esoterici, che permettessero di spiegare le leggi della natura, ma senza ricamarci sopra. Capisco di non essere un tipo da premio Nobel, che comunque è stato istituito nel 1901, due anni prima della mia morte. Mi devo accontentare della medaglia Copley della Royal Society, a quel tempo la più alta onorificenza scientifica possibile.

I: Grazie dell'intervista, è stata molto interessante. Adesso che è libero di viaggiare cosa fa?

G: Me ne sto nella mia casetta del Connecticut, tranquillo tranquillo. Se vede la mia pietra tombale, nel cimitero di New Haven, vedrà che è molto semplice, niente a che vedere con quella di Boltzmann a Vienna. Hanno dovuto fare una colletta anche per farmi una statua, e tutto quello che sono riusciti a fare è un bassorilievo, che sembra quello di un monaco medioevale. però mi hanno anche dedicato un poema, peccato che sia tutto sbagliato.

I: Spero che nel futuro riceva più attenzione. Arrivederci e grazie per l'intervista.

G: Grazie a voi a tutti gli ascoltatori di RadioMoka.

Non è (ancora) la fine

Come diceva Michael Ende, la storia non finisce mai, perché le interviste impossibili continuano su RadioMoka. Ecco una lista parziale di scienziati che ci assillano (ormai da due anni) perché vogliono partecipare:

Aristotele	Bernoulli	Eulero
Keplero	Boyle	Clapeyron
Leibniz	Watt	Bequerel
Huygens	Joule	Lorentz
D'Alambert	Helmholtz	Joseph John Thomson
Coriolis	Clausius	Van der Waals
Foucault	Poisson	Rayleigh
Lawrence	Heisenberg	Shannon
Nernst	De Broglie	Michelson
Stefan	Chadwick	I due Bragg
Lenz	Anderson	Yukawa
Gell-Mann	Bothe	Bethe

senza contare eventuali intrusi...

Quindi, se non volete aspettare, non vi resta che seguire RadioMoka o partecipare a qualche caffè-scienza.

Approfondimenti

Max Born, *Autobiografia di un fisico*, Editori Riuniti 2005
<https://www.ibs.it/autobiografia-di-fisico-libro-max-born/e/9788835956877>

Bryce S. DeWitt, 1970, *Quantum mechanics and reality*, Physics Today 23, 9, 30; doi: 10.1063/1.3022331

Hugh Everett, III, 1957, *Relative State Formulation of Quantum Mechanics*, Review of Modern Physics, 29: 454–462;

Hugh Everett, III, 1973, *The Theory of the Universal Wave Function*, in B. De Witt and N. Graham (eds.), *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*, Princeton University Press, Princeton NJ.

Andrea Frova, Mariapiera Marenzana, *Newton & Co., geni bastardi. Rivalità e dispute agli albori della fisica*, Carocci 2015. ISBN 978-8843076536

Andrea Frova, *Luce. Una storia da Pitagora ad oggi*, Carocci 2017. ISBN 978-88-430-8801-0.

George Gamow, *I trent'anni che sconvolsero la fisica*, Zanichelli 1996. ISBN 978-8808008244

George Gamov, *Biografia della fisica*, Mondadori 1998. ISBN 978-8804454892

Gialli.it, *La verità sui mitici occhiali a raggi X* (2014) <http://gialli.it/il-mistero-degli-occhiali-ai-raggi-x>

Pietro Greco, *La scienza e L'Europa. Dalle origini al XIII secolo*, L'asino d'oro edizioni 2014. ISBN 9788864432519

Pietro Greco, *La scienza e L'Europa. Il Rinascimento*, L'asino d'oro edizioni 2015. ISBN 9788864433240

Pietro Greco, *La scienza e L'Europa. Dal Seicento all'Ottocento*, L'asino d'oro edizioni 2016. ISBN 9788864433868

James Gleick, *Caos. La nascita di una nuova scienza*, BUR 2018. ISBN-13: 978-8817103572

Thomas Ising, Reinhard Folk, Ralph Kenna, Bertrand Berche, Yuriy Holovatch, *The Fate of Ernst Ising and the Fate of his Model*, Journ. Phys. Stud. vol. 21 No. 3 (2017) 3002. arXiv:1706.01764v1

Jordan Lite and George Musser, 2008, *Hugh Everett: New film tackles "many worlds" theory of quantum mechanics*, Scientific American blog <https://blogs.scientificamerican.com/news-blog/hugh-everett-new-film-tackles-many-2008-10-21/>. See also the Nova page <https://www.pbs.org/wgbh/nova/manyworlds/>. The video is available on YouTube <https://youtu.be/ZnnA3sgMXCI>

Matteo Martini, Psicosi2012, *La bufala degli occhiali a raggi X* <https://psicosi2012.wordpress.com/2013/09/08/la-bufala-degli-occhiali-a-raggi-x/>

Vincenzo Palermo, *Newton, la mela e Dio - La nascita della fisica moderna*, Hoepli 2016. ISBN 978-8820375553

Tim Palmer, *Edward Norton Lorenz*, Physics Today **61**, 9, 81 (2008); <https://doi.org/10.1063/1.2982132>

Manuel Santangelo, *L'arte del vendere fuffa: novanta anni dalla nascita di Harold Von Braunhut* (2016) <https://www.dudemag.it/attualita/larte-del-vendere-fuffa-novanta-anni-della-nascita-harold-von-braunhut/>

Emilio Segrè, *Personaggi e scoperte della fisica*, Mondadori 2009 (cofaretto).

Le monografie degli scienziati, apparse come supplementi di "Le Scienze": <http://www.castfvg.it/zzz/approfon/monogr01.htm>

... e ovviamente Wikipedia, soprattutto l'edizione inglese.

Franco Bagnoli

IL TACCUINO DEL DR. WATSON

ovvero: dove si nasconde la fisica nella vita di tutti i giorni?



La fisica è difficile! È vero. Ma è altrettanto vero che l'universo segue le leggi della fisica, come quella di inerzia o il principio di relatività. Non sono molte queste leggi affascinanti, giusto una manciata, e anche la sofisticazione matematica necessaria per averne una comprensione di base non è molto più di quella che si impara al liceo scientifico. Leggi che vengono spiegate in questo libro impostato come un giallo, con Sherlock Holmes e il dr. Watson che cercano di scoprire dove è nascosta la Fisica nella vita di tutti i giorni.

Un testo di divulgazione che, per non diventare noioso e didascalico, usa l'artificio retorico del "dialogo" disseminato qua e là da citazioni di Conan Doyle, immaginando di essere nel 1926 e al corrente dello sviluppo della scienza, in particolare della fisica. Oltre ad approfondire le proprie conoscenze su nuclei, elettroni, fotoni, atomi e molecole, il lettore può riprodurre a casa propria e con poca spesa quasi tutti gli esperimenti descritti, per i quali sono stati utilizzati materiali facilmente reperibili.

196 pagine a colori - € 15,00

Franco Bagnoli - Giovanna Pacini

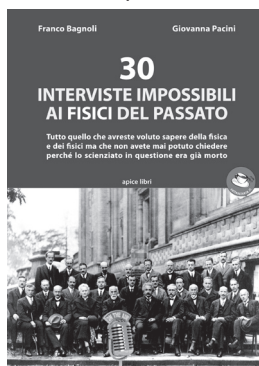
30 INTERVISTE IMPOSSIBILI AI FISICI DEL PASSATO

Tutto quello che avreste voluto sapere della fisica e dei fisici ma che non avete mai potuto chiedere perché lo scienziato in questione era già morto

Questo libro contiene i testi delle interviste impossibili ai fisici del passato (con qualche intruso), da Archimede a Kolmogorov passando per

Galileo, Einstein, Fermi, ecc. Queste interviste sono andate in onda nella stagione 2017-2018 e all'inizio di quella 2018-2019 su RadioMoka, la trasmissione del Caffè-Scienza di Firenze su NovaRadio. Un paio sono state poi "espansive" e sono diventate delle puntate di Fisicast, un podcast scientifico ospitato da Radio Scienza/Frascati Scienza.

Ogni intervista è corredata di un codice QR che consente di sentire la viva voce dell'intervistato... Beh, quasi... Comunque, oltre a un libro questo è anche un audiolibro!



230 pagine - € 12,00

S. Falsini - F. Ruggero - G. Pacini - F. Bagnoli



RIFIUTI?

Istruzioni per un futuro disponibile



I rifiuti, che siano i “resti” di oggetti usati o i loro imballaggi, costituiscono un errore di progettazione, dovuto sia a come viene organizzata la produzione e distribuzione dei beni, sia alle nostre abitudini e stili di vita. Ogni rifiuto costituisce una sconfitta: buttiamo via risorse ed energia, disperdiamo materiali preziosi, che diventano inutilizzabili, e soprattutto inquiniamo l'ambiente e contribuiamo ad alterare il clima. L'ideale sarebbe non produrli proprio: ogni processo dovrebbe essere disegnato in maniera da prevedere, per ogni materiale usato, per il prodotto stesso e per il suo imballaggio, un ciclo di vita che si concluda con il riuso, e comunque con il riciclo in

un altro materiale, non certo in una discarica o in un inceneritore. In questo libro cerchiamo di analizzare alcuni aspetti di questo problema, che, come scopriremo, è veramente complesso e multidisciplinare.

138 pagine a colori - € 12,00