

Franco Bagnoli

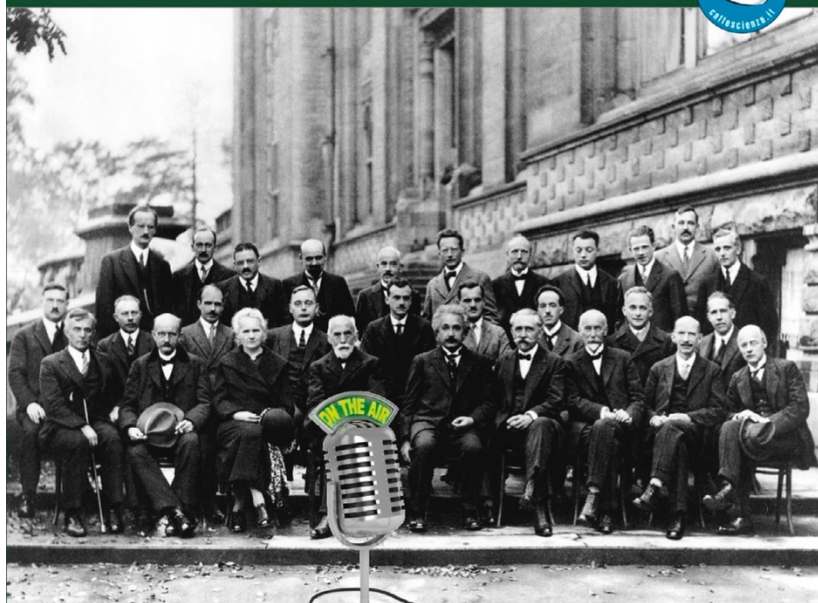
Giovanna Pacini

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

apice libri



Seconda di copertina

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 ed 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... Ovvero, oltre ad un libro questo è anche un audiolibro!



<https://youtu.be/vwUb7Xad8Po>

Terza di copertina

Franco Bagnoli è un fisico teorico della materia e lavora nel Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze. È membro del Centro Interdipartimentale per lo Studio di Dinamiche Complesse (CSDC), sempre dell'Università di Firenze, è associato al CNR (Istituto dei Sistemi Complessi) ed è il coordinatore nazionale dell'iniziativa PlexNet (reti complesse) dell'INFN. È stato coordinatore di vari progetti europei e nazionali.

Si occupa anche di divulgazione e di partecipazione. È presidente dell'Associazione Caffè-Scienza di Firenze ed è il responsabile dello Sportello della Scienza dell'Università di Firenze.

Giovanna Pacini è laureata in Fisica ed ha un dottorato in Telematica e Società dell'Informazione. Lavora come comunicatrice della scienza presso il CSDC. Si occupa in particolare dello Sportello della Scienza di Firenze, un progetto per sollecitare ed accogliere domande e temi ricerca proposti dai cittadini. Le ricerche risultanti sono poi portate avanti dagli

studenti dell'Università di Firenze, sotto la guida di un ricercatore. È la segretaria dell'Associazione Caffè-Scienza e, con Franco Bagnoli, è l'ideatrice e conduttrice della trasmissione RadioMoka.

Quarta di copertina

(dall'intervista a Paul Dirac)

I: Buongiorno Professor Dirac.

D: Buongiorno.

I: Siamo molto contenti di averla qui a RadioMoka.

D: (pausa) Dovrei dire qualcosa?

I: Beh, sì, di solito in una conversazione si parla in due.

D: Mi avevate detto che mi avreste intervistato, ma lei ha fatto un'affermazione, non una domanda. Mi successe lo stesso durante una conferenza. Uno del pubblico disse "non capisco l'equazione che ha scritto in alto a destra sulla lavagna". Io ovviamente restai zitto, non era mica una domanda...

(dall'intervista a Niels Bohr)

B: ...Le racconto un altro aneddoto, sempre relativo ai film western. Avevo elaborato una teoria del perché il buono vincesse sempre nei duelli. Secondo me il fattore principale era che il ragionamento è molto più lento della reazione istintiva e che il buono non vuole mai sparare se non costretto. Così è il cattivo che prende l'iniziativa ma, dato che lo fa in maniera razionale, è più lento del buono che semplicemente reagisce. Però nessuno credeva alla mia teoria finché un giorno George Gamov comprò un paio di cinture con fondine e pistole ed incitò tutti i giovani studenti a "uccidermi" estraendo per primi. Beh, non ci crederete, ma li seccai tutti, dal primo all'ultimo.

(dall'intervista a Lev Landau)

I: Lei era un vero specialista di donne...

L: A dire la verità, fino a 26 anni, ovvero finché non ho incontrato Kora, mia futura moglie, non avevo mai baciato una ragazza. Ma sono sempre stato un fervente sostenitore dell'amore libero, ho avuto parecchie

ragazze ma ho anche incoraggiato mia moglie ad avere delle avventure. Veramente, non so perché mi sono sposato.

I: È vero che sulla sua porta c'era scritto "attenzione, morde!"?

L: Il fatto è che il mio nome, Lev, in russo vuol dire leone, quindi c'era un gioco di parole su "Leone mordace". Ma d'altra parte il mio cognome in francese suona "l'âne Dau" l'asino Dau, ed infatti volevo che mi chiamassero Dau. E sul mio tesserino di riconoscimento avevo messo al posto della mia foto quella di una scimmia ritagliata da una rivista. Sapeste come mi lamentavo con i guardiani dell'istituto, quando con quel documento non mi facevano passare!



Acquistando questo libro supportate l'Associazione Caffè-Scienza (www.caffescienza.it), che organizza incontri partecipativi su temi scientifici e tecnologici a Firenze, Prato e dintorni.

Indice

Introduzione.....	1
Archimede di Siracusa	4
Ernst Mach	20
Lev Landau.....	25
Niels Bohr	31
Zenone di Elea	46
J. Robert Oppenheimer	51
Max Planck.....	57
William Thompson - Lord Kelvin.....	64
Michael Faraday	69
Lise Meitner.....	75
Ludwig Boltzmann	82
Wernher von Braun	88
Marie Skłodowska Curie	95
Satyendra Nath Bose	102
Philipp von Lenard e Johannes Stark	105
Max von Laue	112
Isaac Newton.....	117
Robert Hooke.....	124
Albert Einstein.....	132
John von Neumann	147
Henri Poincaré	153
Napoleone Bonaparte	159
Sadi Carnot.....	164

Richard Feynman 170

Erwin Schrödinger..... 177

Paul Dirac 184

Enrico Fermi..... 189

Galileo Galilei 198

Pierre-Louis de Maupertuis..... 206

Andrey Kolmogorov..... 211

Non è la fine..... 219

Approfondimenti..... 220

Introduzione

Il titolo di questo libro riprende ovviamente 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: reali, della storia o della cronaca, o fantastici, della letteratura o della mitologia, a loro volta interpretati da valenti 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.

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*



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

Philosophique fondato da Marc Sautet nel 1992. Un *Cafè 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 sono passati tanti anni e tanti eventi e 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, decidemmo di esplorare anche il canale radiofonico ed iniziammo a “costruire” RadioMoka. Il nome ovviamente ricorda quello della macchinetta del caffè (macchina-di-ferro-dal-nero-succo-che-ti-sveglia, secondo Stefano Benni – Bar Sport), che a sua volta è un gioco di parole tra caffè come luogo di incontro e caffè (o meglio *cazzofè*, sempre secondo Stefano Benni) come nero liquido eccitante. RadioMoka è una trasmissione artigianale, nel senso che la progettiamo, registriamo e montiamo noi stessi. Tanto per avere un’idea, sentite come abbiamo ideato la sigla che ci accompagna dalla serie 4:



<https://youtu.be/FWkmx9QKZGk>

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 (o meglio, seguendo l’estro del momento) 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.

Abbiamo inoltre immaginato che tutti gli scienziati del passato possano continuare ad incontrarsi ed a discutere nel limbo, rifacendoci più che a Dante all'ultima puntata di *Lost*. In questa maniera è stato possibile immaginare che un personaggio del passato potesse anche commentare gli sviluppi futuri delle sue scoperte.

Infine, recentemente si è stabilita una collaborazione con gli autori 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. Abbiamo quindi realizzato delle versioni più lunghe e molto più curate delle interviste ad Archimede ed a Niels Bohr, che sono appunto diventate delle puntate di Fisicast. Abbiamo potuto apprezzare cosa vuol dire lavorare con dei veri esperti di fisica e della comunicazione, che hanno ricontrollato tutti vari dettagli fisici che noi avevamo allegramente sorvolato (ma resta inteso che tutti gli errori che sono rimasti sono ancora colpa nostra).

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 tutti i colleghi ed amici che hanno prestato la loro voce allo scienziato o all'intervistatore, ovvero Alessandro Augugliaro, Margherita Bagnoli, Lorenzo Buffoni, Michele Campisi, Giulia Cencetti, Giulia Del Pace, Mirko Duradoni, Leonardo Lenzini, Gianluca Martelloni, Leonardo Salvi, Giovanni Spaventa, Niccolò Zagli. Ringraziamo Roberto Livi per i preziosi consigli, Antonio Mauro, Marco Ciardi e l'editore Stefano Rolle per i loro contributi di rilettura e correzione.



<https://youtu.be/vwUb7Xad8Po>

Archimede di Siracusa



RadioMoka S8E01 14 ottobre 2017 (voci di Giovanna Pacini e Leonardo Lenzini).

Versione lunga per Fisicast, 23 settembre 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/bORbTY89qcM>

I: Per le interviste impossibili abbiamo oggi Archimede di Siracusa. Buongiorno Archimede.

A: Buongiorno a lei ed a tutti gli ascoltatori.

I: Credo che tutti abbiano sentito parlare di lei, ma forse non ricordano esattamente in quale periodo abbia vissuto. Può ricordarcelo?

A: Sono nato a Siracusa, la più grande città della Grecia, nel 287 avanti cristo.

I: Ma Siracusa non è in Sicilia?

A: Appunto, la Magna Grecia, chiamata così proprio perché le sue città erano più sontuose di quelle della Grecia classica. Morii poi nel 212 per mano di un soldato romano quando

Siracusa fu espugnata, dopo tre anni di assedio, dal generale Marcello, che mi onorò di una sontuosa tomba, sormontata da una sfera e da un cilindro. La mia tomba fu ritrovata da Cicerone nel 75 a. C., ma poi perduta. Quella che oggi viene spacciata per la mia tomba non è altro che un colombario romano.



Archimede in un dipinto di Domenico Fetti (1620).¹

¹ <https://it.wikipedia.org/wiki/Archimede>

I: Ci racconta quali sono stati i suoi contributi alla scienza che più ama ricordare?

A: Io sono considerato uno dei più grandi matematici dell'antichità, ma in realtà, se dovessi catalogarmi secondo i vostri criteri, sono stato più fisico che matematico. Anzi si potrebbe dire che sono stato il primo ad applicare la matematica alla fisica e viceversa.

I: Ci può descrivere qualcuna delle sue scoperte nel campo della fisica?

A: Tra le scoperte che ricordo con più piacere c'è la pompa che porta il mio nome, in cui il liquido viene fatto salire usando una vite.

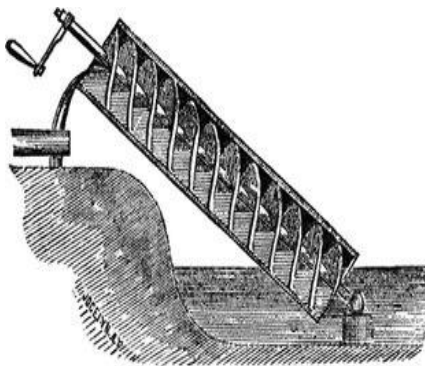
I: Ma una vite non si avvita nell'acqua! Come funziona?

A: Potete facilmente costruire una delle mie pompe usando un tubo di plastica ed un cilindro. Avvolgete a spirale il tubo intorno al cilindro e fermatelo con degli elastici o della colla a caldo o come preferite. Tenete il cilindro inclinato di circa 30 gradi sull'orizzontale e fatelo "pescare" in una bacinella d'acqua, tenendo la parte terminale del cilindro mezzo dentro e mezzo fuori dal liquido. Adesso "avvitare" nel senso in cui avete avvolto il tubicino. L'acqua entra nella bocca del tubo, che però poi ruotando esce dall'acqua e quindi il liquido resta intrappolato. Via via che il tubo ruota, l'acqua resta sempre nel punto più basso di ogni spirale del tubo. Quando il cilindro gira, il punto più basso di ogni spirale sale, per cui anche il liquido viene spinto in su fino ad uscire dall'imboccatura superiore del tubo. Si può dire che il liquido sale cadendo continuamente.

I: Geniale!

A: Sì, ma io ovviamente non avevo a disposizione dei tubi.

I: E allora come ha fatto?



Vista in sezione di una vite di Archimede azionata manualmente per il sollevamento dell'acqua.²

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

A: Avete presente quando fate un foro nel muro, o nel pavimento, con un trapano? La punta scava un buco cilindrico e la polvere viene estratta facendola risalire in tale cilindro perché la punta continua in una vite. L'estrazione della polvere dalla punta del trapano funziona anche in verticale, sia perché la polvere è un sistema granulare e quindi non "fluisce" come l'acqua, sia perché il cilindro scavato dalla punta è chiuso in fondo ed il muro "sbriciolato" in polvere praticamente aumenta di volume, dato che contiene dell'aria negli interstizi tra i granelli. La mia pompa, invece, se usata per l'acqua, deve stare inclinata.

I: Ma è difficile costruire una vite che ruoti a tenuta in un cilindro!

A: Non serve che la vite sia a tenuta perfetta, perché l'acqua che sfugge da una spira va a cadere in quella sottostante. Però la vite può essere solidale al cilindro ed in questo caso bisogna far ruotare tutto l'apparato, che però così è più facile da costruire. In questa vite solidale al cilindro ognuna delle scanalature si comporta come il tubo del primo esempio.

I: È vero!

A: Io ho inventato questa pompa per svuotare le stive delle navi ed è stata usata per secoli anche per pompare l'acqua nelle saline. Queste pompe sono molto robuste dato che non hanno valvole o pezzi che si possono incastrare e possono essere costruite con qualsiasi materiale, anche in legno. Normalmente sono lunghe solo pochi metri ma si possono mettere in serie, usando dei bacini intermedi. Queste pompe sono per esempio state usate per centinaia di anni in Olanda per pompare l'acqua dai polder, i campi "più bassi del mare", azionate ovviamente dai mulini a vento. In realtà non serve tutto il cilindro ma solo la parte inferiore e possono anche funzionare all'incontrario ovvero come motori: si può usare un piccolo salto di acqua per mettere in movimento un mulino, in maniera più efficiente che usando la classica ruota a pale, perché l'acqua sta sempre quasi ferma e non dissipa energia nei moti turbolenti.

I: Un'invenzione veramente geniale. E poi?

A: E poi ovviamente i miei lavori sull'idrostatica da cui il principio che prende il mio nome.

I: Ci racconti come arrivò alla scoperta.

A: Gerone secondo, tiranno di Siracusa, aveva commissionato una corona ad un orafo, dandogli una certa quantità d'oro. Quando ricevette la corona, il peso era quello dell'oro consegnato, ma fu preso dal sospetto che l'orafo avesse usato, per l'interno della corona, un metallo meno costoso. Ovviamente non si poteva tagliare la corona, in quando era stata fatta per ornare la statua di un dio e quindi era sacra. Gerone quindi si rivolse a me. Ora, il peso della corona era conosciuto, ma per poter valutare la sua densità bisognava conoscerne il volume.



Archimede in una stampa rinascimentale.³

I: Perché?

A.: Beh, se la corona è tutta d'oro deve avere lo stesso volume di un pezzo d'oro dello stesso peso, no?

I: Giusto. Ma come si fa a misurare il volume di un oggetto complesso come una corona?

A: Mentre stavo facendo il bagno mi accorsi che quando entravo nella vasca, che usavo riempire fino all'orlo, ne usciva dell'acqua, esattamente pari al volume del mio corpo. Quindi uscii nudo per la strada gridando Eureka! Eureka! Ovvero "l'ho trovato"! Almeno questo è quanto racconta Vitruvio.

I: E non è andata così?

A: Beh, io ero una persona seria ed andare in giro nudi gridando "l'ho trovato" avrebbe potuto dare adito a qualche malcomprensione... E poi se fosse andata così il principio di Archimede non avrebbe avuto nessun ruolo. Avrei semplicemente misurato peso e volume di un oggetto.

I: E invece?

³ <https://it.wikipedia.org/wiki/Archimede>

A: Invece io andai oltre e scoprii che un corpo immerso in un fluido riceve una spinta verso l'alto uguale al peso del volume di fluido spostato, quella che voi conoscete come spinta di Archimede.

I: Sì certo, ce lo insegnano a scuola. Ma quindi l'acqua ha una forza interna che spinge le cose? E perché poi le spinge proprio verso l'alto?

A: Beh no, l'acqua di per sé non fa niente, è la gravità che spinge l'acqua verso il basso facendola pesare sugli oggetti immersi. Il peso dell'acqua sovrastante esercita una pressione che preme su tutta la superficie del corpo immerso, da tutte le direzioni. Però sulla superficie superiore del corpo preme meno acqua che su quella inferiore, cosicché la spinta risultante è diretta verso l'alto!

I: E questo come l'aiutò con la faccenda della corona?

A: Misi su una bilancia la corona ed un pezzo d'oro dello stesso peso ed immersi il tutto in acqua: se la corona fosse stata tutta d'oro la bilancia sarebbe rimasta in equilibrio, perché la corona ed il pezzo d'oro avrebbero avuto lo stesso volume ed avrebbero ricevuto la stessa spinta, ma non fu così e la bilancia si inclinò verso il peso.

I: E come andò a finire?

A: L'orafo perse la testa. In senso fisico, non metaforico.

I: Oh, poveretto!

A: Beh, era un ladro ed ai nostri tempi non si andava per il sottile. Ma vediamo se ha capito bene il mio principio. Pesa più un chilo di piombo o uno di paglia?

I: Vuole prendermi in giro? Un chilo è un chilo, lo sanno anche i bambini che una bilancia resterebbe in equilibrio se metto il chilo di piombo da una parte e quello di paglia dall'altra.

A: Anch'io la pensavo in questa maniera, poi l'altro giorno discutendo nel limbo con dei fisici moderni, mi hanno detto che la faccenda è più complessa. Che cos'è il chilogrammo?

I: L'unità di misura della massa!

A: E la massa?

I: Il peso... No! Ora mi ricordo, è la misura di quanto è difficile accelerare un oggetto. Ma è anche proporzionale al peso di tale oggetto!

A: Nel vuoto, solo nel vuoto! Se fa la misura stando immersa in un fluido, deve correggere la misura per la spinta di Archimede!

I: Non mi dica che l'aria influenza la bilancia!

A: Certo! I palloncini e le mongolfiere galleggiano nell'aria grazie alla spinta di Archimede perché sono riempiti di un gas meno denso dell'aria alla stessa pressione, sia usando gas intrinsecamente leggeri come l'elio che usando aria calda, che, dilatandosi, diminuisce la sua densità per una certa pressione. E quindi, quando si pesa qualcosa si deve tenere in conto della spinta dell'aria. Nel caso della bilancia questo è particolarmente importante quando i due corpi hanno una densità molto diversa. Del resto, se fosse un palombaro e provasse a pesare il chilo di piombo e quello di paglia sott'acqua, certo non si aspetterebbe di vedere l'equilibrio! E l'aria dentro un palloncino sembra non pesare nulla solo perché il palloncino è soggetto ad una spinta di Archimede di pari valore.

I: Lei ha sempre ragione! Continui a raccontare. Di cos'altro si interessava?

A: Della leva.

I: Già! "Datemi una leva e vi solleverò il mondo!"

A: Veramente avevo detto anche "e un punto di appoggio", ovvero un fulcro. Studiando bilance ed altalene, avevo visto scoperto che quello che contava non era tanto la forza, quanto il prodotto del braccio per la forza a lui perpendicolare, quello che voi chiamate "momento della forza". È questo momento che deve essere uguale, per avere l'equilibrio. E quindi, se si aumenta abbastanza il braccio, si può sollevare un gran peso anche con una forza piccola.

I: Ma come può succedere questa magia? Le sue leve le conoscono tutti, ma io non ho mai davvero capito come sia possibile: insomma se usi una forza minore del peso di un oggetto come diavolo fai a sollevarlo?

A: Sai com'è fatta una porta?

I: Certo: è una tavola, incernierata da una parte e con una maniglia dalla parte opposta.

A: E perché è fatta così?

I: Ma per aprirsi e chiudersi, no?

A: Sì, ma perché la maniglia è dalla parte opposta dei cardini? Potrebbe anche stare al centro, o anche vicina alla cerniera.

I: Ho capito! La maniglia sta dalla parte opposta dei cardini perché altrimenti l'apertura sarebbe più faticosa! Ora che ci penso, il portone del mio condominio ha un pomello al centro ma tutti spingono dal lato opposto ai cardini. Capisco che lo fanno per vincere più facilmente la resistenza del meccanismo a molla di chiusura automatica! Certo! Mettendo la maniglia lontano dai cardini ho un braccio più grande e mi serve meno forza per aprire la porta. È un'applicazione della sua leva!

A: Come lo schiaccianoci. Anche il nostro corpo usa delle leve, dove i muscoli fanno ruotare le ossa imperniate nelle articolazioni per esercitare una certa forza, per esempio sollevare una mela.

I: Ricordo che a scuola abbiamo studiato le leve di vario tipo, da quelle come lo schiaccianoci o la porta, in cui la forza necessaria a fare un lavoro è sempre maggiore della forza resistente, a quelle come l'altalena, in cui il rapporto può variare a seconda della lunghezza dei bracci. E infine ci sono quelle come i muscoli e le ossa, in cui la forza muscolare deve sempre essere molto maggiore della forza resistente perché ha un braccio molto piccolo. Nel caso dell'avambraccio, la mela, appoggiata sulla mano, ha un braccio di 30 centimetri, ovvero dalla mano stessa al gomito, mentre il bicipite ha un braccio di tre o quattro centimetri, che è la distanza dal gomito all'attacco del tendine al radio. Perché la natura usa delle leve così svantaggiose?

A: Non bisogna guardare solo all'intensità della forza, perché per effettuare un certo lavoro, come sollevare la mela, se si usa una forza piccola bisogna fare uno spostamento grande e nel caso dei muscoli, questo non è facilmente realizzabile. E poi, se il tendine si attaccasse vicino al polso, o addirittura alla fine della mano, sarebbe alquanto scomodo ed ingombrante, no?

I: Come al solito ha ragione! Ma a parte formulare la teoria, ha anche prodotto delle applicazioni pratiche?

A: Certo, io non ero certo un fisico teorico di oggi, tutto quello che facevo aveva applicazioni pratiche. Per esempio, la carrucola che si usa per

sollevare un secchio d'acqua dal pozzo non è altro che una bilancia a bracci uguali.

I: Una carrucola è una bilancia?

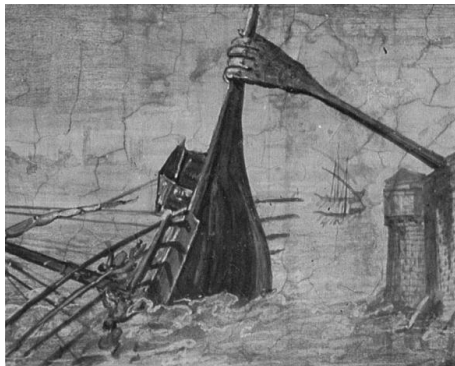
A: Certo. Il peso del secchio in ogni istante è bilanciato dalla forza con cui si tira la corda ed entrambe le forze hanno lo stesso braccio, il raggio della carrucola, rispetto al cardine della stessa. Quindi l'operatore che vuole prendere un secchio d'acqua da un pozzo facendo passare la corda in una carrucola fa la stessa fatica che sollevandolo direttamente, ma può tirare verso il basso invece che verso l'alto, cosa molto più comoda. Il gancio a cui è appeso il cardine della carrucola deve sopportare invece una forza doppia, il peso del secchio più lo sforzo dell'operatore. Ma combinando delle carrucole si può tirare su l'acqua con meno fatica. Il secchio in questo caso viene attaccato al cardine di una carrucola mobile e la corda parte da un attacco fisso, scende fino al secchio passando in tale carrucola, risale fino a passare dentro un'altra carrucola ed infine arriva all'operatore.

I: E perché così è più facile?

A: Perché abbiamo visto che il cardine della carrucola deve reggere una forza doppia di quella della corda. Quindi la corda deve reggere metà del peso del secchio, che è attaccato appunto al cardine di una carrucola, ed altrettanto l'operatore. Certo, ci vuole il doppio della corda... Questo è il principio del paranco, che pure ho inventato io.

I: E come ha usato queste invenzioni?

A: A parte le pompe, ho contribuito molto alla scienza militare. Ho costruito catapulte e scorpioni, ovvero una specie di balestre.



*Mano di ferro, Giulio Parigi (1600).
Stanzino delle matematiche,
Galleria degli Uffizi, Firenze.⁴*

⁴ https://it.wikipedia.org/wiki/Artiglio_di_Archimede#/media/File:Parigi_griffe.jpg

I: Siracusa poté opporsi ai romani così a lungo grazie alle sue macchine, giusto?

A: Sì, e se i nostri soldati non fossero stati così sciocchi da ubriacarsi, Siracusa sarebbe ancora indipendente e forse i nostri alleati cartaginesi avrebbero vinto le guerre puniche. Sapete, la tecnica di assalto di una città fortificata come Siracusa prevedeva un avanzamento lento, passo dopo passo, utilizzando passerelle per superare i fossati e scale per salire sui muri, proteggendosi sempre con degli scudi o delle pareti mobili. Era essenziale individuare i “punti ciechi”, dove le catapulte non arrivavano, per poter assemblare queste macchine da assedio, partendo, nel caso di Siracusa, dalle navi. Ma le mie macchine erano fatte in maniera tale da poter variare il tiro, così che non c'erano punti ciechi ed anzi potevo far cadere dei massi sulle navi usando delle lunghe leve, o anche sollevare la loro prua usando una specie di mano prensile, così da farle affondare.



Specchi ustori, Giulio Parigi (1600).

Stanzino delle matematiche,

Galleria degli Uffizi, Firenze.⁵

I: Ma come potevate costruire delle braccia così lunghe da afferrare una nave a distanza? Come facevano a restare rigide? Quanto pesavano?

A: In realtà erano delle specie di catapulte che lanciavano degli uncini legati a delle corde. Se l'uncino faceva presa, tiravamo la corda usando un paranco, così che si poteva rovesciare la nave o trascinarla contro gli scogli.

I: E anche bruciarle da lontano usando gli specchi?

A: Quello degli specchi ustori è un mito nato in epoca medioevale, le mie macchine potevano ovviamente lanciare sostanze incendiarie, per bruciare le navi che ci assediavano. Il problema è che per incendiare una nave c'è bisogno di concentrare molta energia e la radiazione solare porta al massimo un chilowatt per metro quadro. Quindi avrei dovuto

⁵ <https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes>

avere uno specchio molto grande, come quello rappresentato da Giulio Parigi in un quadro che si trova nello stanzino delle matematiche, nella Galleria degli Uffizi a Firenze. Ma un tale specchio, oltre che essere impossibile da costruire nella mia epoca, avrebbe avuto un difetto fondamentale. Quale?

I: Il peso?

A: No! il fuoco fisso! Avrei potuto incendiare solo le navi che si trovavano ad una distanza stabilita. Per ovviare a tale problema, si deve costruire la superficie riflettente usando tanti specchietti, opportunamente orientati. Hanno fantasticato di specchi composti da migliaia di specchi da toilette orientati dalle donne sugli spalti. Se volete vedermi in azione mentre incendio le navi romane con gli specchi, potete guardare il quarto episodio del film Cabiria, del 1914.

Nel 2010 ci hanno provato anche quelli di MythBusters, su esplicita richiesta di Barack Obama, ma senza riuscire ad incendiare neppure un po' di stoffa pur usando ben 500 specchi.

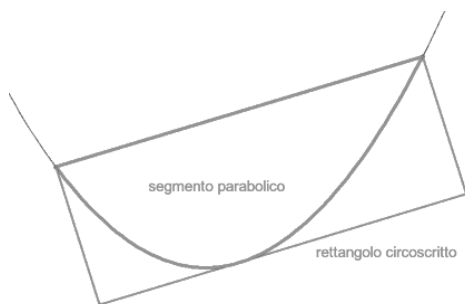
I: Quindi non si può fare...

A: Al contrario, è fattibilissimo ed anzi, viene fatto normalmente ogni giorno nelle centrali solari a concentrazione e nei forni solari. Nelle centrali, usando sistemi motorizzati per muovere gli specchi, si riesce a concentrare la radiazione in un punto e a raggiungere temperature altissime, tali da fondere anche il ferro o da azionare delle turbine a vapore. Questi specchi però, e qui sta la tecnologia che io non avevo, funzionano bene perché sono perfettamente parabolici, oltre ad avere una riflettività molto più alta di quella che potevo ottenere ai miei tempi. E poi nei forni solari il bersaglio sta fermo!

I: Quindi si deve concludere che per sfruttare l'energia del sole ci vogliono delle attrezzature sofisticate che i Greci non potevano avere.

A: Per prima cosa non è vero che ci vogliono sempre attrezzature sofisticate. Potete costruire un forno solare per cuocere del riso o dei fagioli senza grandi problemi. Prendete una scatola di cartone e tagliate via tre lati in modo da avere una specie di tetraedro senza fondo. Rivestite il tutto di foglio di alluminio. Nel mezzo mettete una piccola pentola annerita con il nerofumo (o una pentola nera se la trovate), ovviamente con

coperchio e possibilmente chiusa dentro un sacchetto trasparente resistente al calore, di quelli che si usano per cuocere gli alimenti nel microonde. Mettete nella pentola il cibo ed esponete al sole, girandola ogni tanto in modo che resti sempre bene illuminata. Più è grande la scatola, ovvero lo specchio, meglio è, potete anche usare i lati che non servono, senza tagliarli del tutto, come specchi aggiuntivi. Il problema è che il Sole gira, visto dalla Terra, e quindi servono meccanismi di inseguimento.



Elementi del teorema di Archimede.

I: Che voi non avevate....

A: L'immagine che voi avete dei greci è quella di un popolo di astuti pastori, tipo Ulisse, e di eroi senza cervello, tipo Achille. Ma in realtà, soprattutto in epoca ellenistica, avevamo anche delle ottime abilità tecniche, come del resto le avevano i romani. Le guerre già ai miei tempi si combattevano usando macchine più che la forza bruta e queste macchine potevano essere anche molto sofisticate. Come ricorda Cicerone, io avevo costruito una "macchina circolare" con la quale si rappresentavano i movimenti del Sole, dei pianeti e della Luna, nonché delle sue fasi e delle eclissi. Insomma, un meccanismo simile a quello ritrovato poi ad Anticitera, una specie di orologio molto sofisticato con ingranaggi accurati messi in movimento dalla mia vite senza fine. Voi, tanto per fare un confronto, avreste raggiunto tale perfezione tecnica solo nel medioevo, dopo l'anno mille.

I: Lo riconosco, l'immagine che abbiamo della Grecia classica è molto fuorviante. Diceva che aveva usato la fisica anche per risolvere problemi di matematica.

A: Sì, certo, in particolare per il calcolo dell'area del segmento parabolico, del rapporto tra volume del cilindro e della sfera e per l'approssimazione dell'area del cerchio. Anche in questo caso ho usato metodi più fisici che matematici, usando la leva.

I: In che senso?

A: Per calcolare le aree di figure irregolari, prima dell'invenzione degli integrali, si usava ritagliarle da una tavoletta di legno o di cartone, precedentemente pesata. Dal confronto del peso del cartone originale e di quello della figura, sapendo l'area del cartone si può derivare l'area della figura. Provate a calcolare π greco con la bilancia, ritagliando un cerchio da un quadrato di cartone.

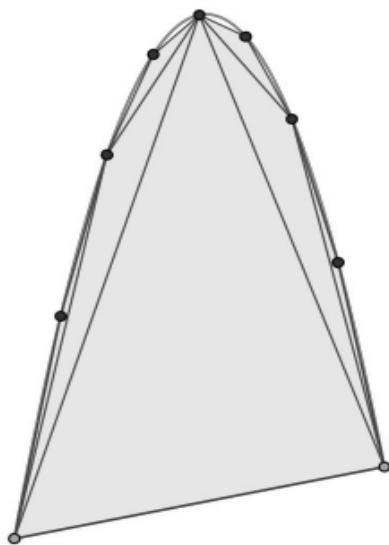
I: Geniale.

A: Io ho trasportato questo metodo empirico nel campo delle dimostrazioni matematiche. Praticamente immaginavo di appendere la figura di cui volevo determinare l'area su un braccio di una bilancia e di mettere sull'altro braccio delle figure equivalenti, fino ad equilibrare il peso. In fondo, è una procedura simile a quanto si fa per i triangoli: il baricentro di un triangolo è il punto dove posso "concentrare" la massa del triangolo così che una altalena sta in equilibrio se su un braccio appoggio il triangolo e dall'altra metto una massa equivalente al peso del triangolo alla distanza pari a quella del suo baricentro.

I: E così riuscì a misurare l'area di una parabola?

A: Sì, è quello che oggi si chiama il teorema di Archimede, che dice che l'area di un segmento parabolico è equivalente ai due terzi del rettangolo ad esso circoscritto. Secondo me è il risultato più importante che ho ottenuto ed infatti l'ho dimostrato in vari modi. Nel testo "*La quadratura della parabola*", divido il segmento parabolico in un numero infinito di triangoli, sempre più piccoli.

I: Che poi andavano sommati...



Divisione dell'area racchiusa da un segmento parabolico in triangoli.

A: Infatti, e posso dire senza falso orgoglio di aver utilizzato forse per la prima volta il fatto che una serie di infiniti termini poteva dare un risultato finito, un concetto molto ostico per noi greci, sempre alle prese con paradossi come quello di Achille e la tartaruga. Questo sistema funziona particolarmente bene per la parabola, dando una serie, ovvero una somma di infiniti termini, che si può sommare facilmente.

I: E per il cerchio?

A: In questo caso non sono riuscito a sommare la serie, anche perché avrebbe dato come risultato un numero trascendente che noi greci non conoscevamo. Ma sono arrivato ad approssimare il cerchio con un poligono di 96 lati, praticamente indistinguibile dal cerchio stesso. In termini moderni, ho trovato che π greco sta tra $3 + 10/71$ e $3 + 1/7$, ovvero che il suo valore decimale è tra 3,1408 e 3,1428.

I: Prima ha detto che ha usato anche un altro sistema...

A: Sì, nel trattato "*Metodo sui sistemi meccanici*" uso la leva per dimostrare tale teorema. Prendo un triangolo rettangolo che ha la stessa base del segmento di parabola che voglio misurare, con un lato tangente alla parabola stessa nel punto terminale del segmento. Si immagini un triangolo, in cui è disegnato un arco di parabola, appeso ad un braccio di una bilancia per mezzo di tanti gancetti attaccati ad un suo lato.

I: Ok.

A: adesso facciamo a fette il triangolo, una fetta per ogni gancetto.

I: Come se si fossero appese alla bilancia tante file di salsicce, diciamo dieci al primo gancio, nove al secondo, otto al terzo e così via?

A: Mi sa che lei cominci ad avere fame. Ma continuiamo la sua analogia. Meglio usare salsicce piccole, mettiamone venti al primo gancio, diciotto al secondo, sedici al terzo, fino a due e zero. Per visualizzare l'arco di parabola, usiamo salsicce calabresi, al peperoncino. Nella prima fila, quella di venti, non ce n'è nessuna, così come nell'ultima, che del resto è vuota. Nella seconda fila, la prima salsiccia è al peperoncino, così come nella penultima, che ha una salsiccia calabrese ed una normale. Il numero di salsicce piccanti aumenta verso il centro del triangolo, disegnando una parabola. Con il mio teorema posso dimostrare che posso appendere tante salsicce calabresi quante ce ne stanno nella parabola, ad un solo gancetto attaccato in un punto preciso dell'altro braccio della bilancia.

I: E a che serve?

A: Ma è la dimostrazione! Vuol dire che posso bilanciare l'area del segmento parabolico, individuato in questo caso dalle salsicce piccanti, con i vari pezzettini di triangolo, appesi in punti diversi. Ma io so dove sta il baricentro di un triangolo e quindi alla fine so dove devo appendere una massa pari all'area del triangolo per bilanciare la parabola e da lì, con pochi calcoli, si ottiene il teorema.

I: Sempre più geniale!

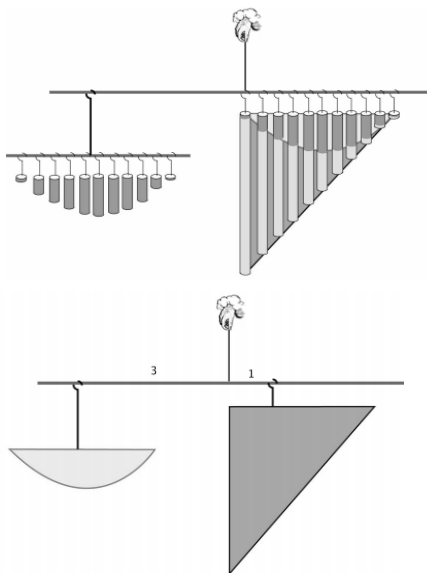
A: I miei lavori sono stati letti e studiati da Leonardo da Vinci, Galileo e Newton e forse hanno ispirato a quest'ultimo l'idea del calcolo differenziale.

I: Si dice che lei fosse anche un gran burlone...

A: Non lo nego. A quei tempi c'era una intensa corrispondenza tra noi sapienti, anche se eravamo dispersi nelle varie città del mediterraneo, ed io mi divertivo a spedire loro dei quesiti praticamente impossibili da risolvere, come quello sul numero di granelli di sabbia che potevano stare nell'universo o sul numero di buoi che componevano le greggi del Sole, quelle che i compagni di Ulisse mangiarono finendo poi molto male. Tra l'altro l'isola del Sole era ovviamente la Sicilia.

I: E qual era la difficoltà fondamentale di questi problemi?

A: La loro soluzione richiedeva l'uso di numeri molto grandi, che ovviamente erano difficilmente rappresentabili con i sistemi della mia epoca. Praticamente c'era bisogno della notazione esponenziale, una cosa che a quanto mi risulta neppure ai vostri giorni è molto comune.



Teorema di Archimede.

Noi greci usavamo le lettere dell'alfabeto per rappresentare i numeri, un po' come facevano i romani e già questo creava confusione. Ma il limite vero era la rappresentazione di numeri grandi, praticamente bisognava inventare un simbolo diverso per ogni "numerone".

I: E quale fu la sua soluzione?

A: Partii da 10.000 che chiamai "numero di primo ordine" e moltiplicandolo per sé stesso ottenni il numero di 100 milioni, che chiamai "numero di secondo ordine". Prendendo questo numero come unità giunsi poi ai numeri di terzo ordine e così via. Per maneggiare tali numeri avevo inventato un sistema che consisteva nel raggrupparli in ottadi, cioè in potenze in base 10 con esponente multiplo di 8. La prima ottade è il numero del secondo ordine, 10 alla 8, la seconda ottade arriva fino a 10 alla 16, che è il numero del terzo ordine, e così di seguito. Arrivai fino a 10 alla 800 milioni, ma avevo già dimostrato che i numeri sono infiniti.

I: Ci può fare un esempio di un problema risolto con le sue ottadi?

A: Ho calcolato il numero dei granelli di sabbia necessari per riempire tutto l'Universo. Prima misurai le dimensioni di un granello di sabbia, pari alla decima parte di un seme di papavero. Conoscevo poi, grazie agli studi di Aristarco di Samo e di Eratostene, la circonferenza della Terra e la sua distanza dal Sole, che era allora valutata in 925 milioni di chilometri, mentre in realtà si tratta di 150 milioni di chilometri. Presi in esame il cielo delle stelle fisse ed arrivai alla conclusione che l'universo avesse un diametro di 9 miliardi di chilometri. Tale grandezza sarebbe stata riempita da un numero di granelli di sabbia pari a 10 alla 63, praticamente meno di 8 ottadi.

I: Lei ha risolto tutti i problemi che ha proposto?

A: Non ho sempre dato la soluzione, per stimolare l'intelligenza dei miei amici. Prendiamo il problema dei buoi del dio Sole. Sfidai Eratostene a calcolare quanti erano tali animali, trovando il numero più piccolo che soddisfaceva ad una serie di condizioni. Per esempio, dicevo i tori e le giovenche erano di quattro colori, che il numero di tori bianchi era la metà più un terzo dei neri più quelli bruni, che il numero di giovenche bianche era uguale ad un terzo più un quarto della somma di tutti gli animali neri e così via. Ovviamente si dovevano usare solo numeri interi per non uccidere nessun animale. Il risultato è di circa una cinquantina di milioni di capi.

I: Un bel numero, ma di certo non astronomico!

A: Aspetti! Aggiunsi poi che chi l'avesse risolto non era comunque ancora un sapiente, dato che c'erano ancora due condizioni da rispettare. La prima era che la somma dei tori bianchi e neri doveva essere un numero quadrato, come 4, 9, 16, e la seconda che la somma dei tori bruni e di quelli pezzati doveva essere un numero triangolare, come 3, 6, 10. Solo nel 1880 due matematici tedeschi risolsero il problema, scoprendo che la minima soluzione è pari a circa 10 alla 200.000, ovvero a 2500 ottadi.

I: Ma lei l'aveva risolto?

A: Beh, qual è la mia espressione più famosa? Eureka! che vuol dire "ho trovato"!

I: Ho capito.... Grazie Mille, Professore. È stato veramente un onore poterla intervistare

A: È stato un piacere. Se capitate nel limbo non mancate di passare a salutarmi.

Ernst Mach



RadioMoka S8E02 21 ottobre 2017 (voci di Giovanna Pacini e Niccolò Zagli).

<https://youtu.be/yG3ssWezIdQ>

I: Buongiorno Prof. Mach, benvenuto a RadioMoka.

M: Buongiorno a lei ed a tutti gli ascoltatori.

I: Caro professore, le dispiacerebbe raccontare velocemente la sua storia? Ho paura che il suo nome non sia così conosciuto come meriterebbe.

M: Volentieri. Sono nato nel 1838 e morto nel 1916, ho quindi vissuto una fase importante del cambiamento della fisica e della scienza tutta, sia dal punto di vista delle scoperte che per quanto riguarda la sua epistemologia.

I: Lei è molto conosciuto per i suoi lavori sulla fluidodinamica.

M: Beh, ai miei tempi non eravamo così specializzati come adesso, io mi sono laureato in fisica, matematica e filosofia e ho lavorato ed insegnato in tutti questi campi. In particolare, per quanto riguarda la fisica, mi sono occupato della luce e di come si potesse utilizzare come strumento di misura. Ho inventato l'ombrogramma, con cui sono riuscito a mettere in evidenza le strutture fluide intorno ad oggetti che si muovono supersonicamente.



Ernst Mach nel 1905. Fotografia di Christian Lunzer (Hrsg.): Wien um 1900 - Jahrhundertwende, ALBUM Verlag für Fotografie, Wien 1999.⁶

⁶ https://de.wikipedia.org/wiki/Ernst_Mach

I: In effetti oggi la velocità supersonica è misurata in Mach, 1 Mach è la velocità del suono.

M: Però, mentre studiavo fisica sono stato preso da molti dubbi. Durante la mia giovinezza imperava ancora il meccanicismo, ovvero c'era la convinzione che la natura fosse conoscibile con perfezione, che i nostri sensi fossero una specie di macchina fotografica e che il mondo si potesse spiegare sulle basi delle leggi della meccanica, applicate financo alla psicologia. Come disse Cabanis nel

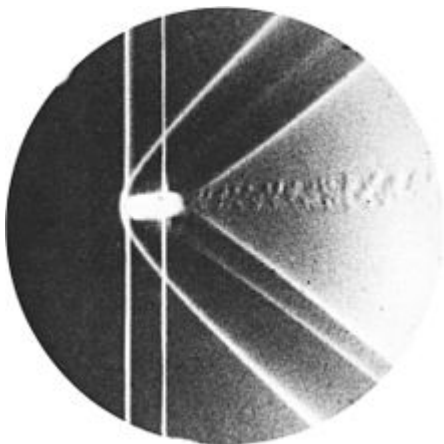
'700, l'idea era che *"Il cervello secerne pensieri come il fegato secerne la bile e le ghiandole salivari la saliva"*.

I: E invece?

M: Io mi sono messo a studiare le percezioni e mi sono accorto che il complesso occhio-cervello non era affatto una macchina fotografica, anche perché, altrimenti, ci vorrebbero un altro occhio ed un altro cervello per interpretare la fotografia, e così via. Studiando la percezione ho scoperto per esempio che quando due zone di grigio di diversa intensità sono confinanti, l'occhio percepisce una banda chiara ed una scura, che in realtà non esistono, vicino al confine. La sensazione è dovuta, ora si sa, all'effetto competitivo dei neuroni nella corteccia visiva.

I: Anche quelle portano il suo nome, le bande di Mach.

M: Ho poi continuato questa indagine, sostenendo che solo le percezioni sono effettivamente rilevabili, e che quindi non aveva senso sostenere che esistessero cose che non si potevano vedere, o meglio, misurare. Non



Ombrogramma di Mach di un'onda d'urto intorno ad un proiettile a velocità supersonica (1887).⁷

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

sono i corpi che generano le sensazioni, ma sono i complessi di sensazioni che formano i corpi.

I: Fino ad arrivare a sostenere che gli atomi non esistono!

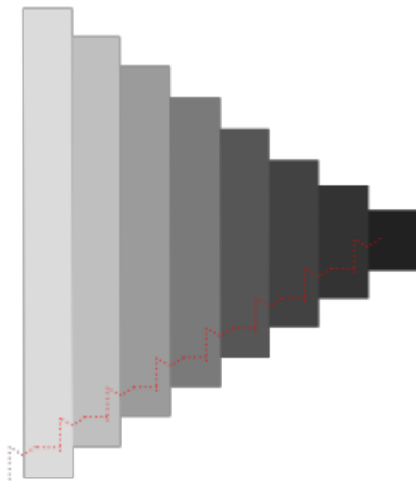
M: Sì, lo dissi nel 1897 a Vienna di fronte a Boltzmann, che invece sugli atomi aveva fondato tutta la sua teoria!

I: Ma gli atomi esistono!

M: Lei li ha visti? Quello che ha visto sono delle misure, delle sensazioni. Devo ammettere che non ho mai sviscerato appieno il ruolo matematico dei modelli come

strumento per guidare la ricerca e certo il modello atomico è piuttosto potente. Io comunque dicevo che la scienza è costruzione di *simboli*, ossia di concetti e di leggi che non devono *riflettere* specularmente il reale, bensì organizzarlo in rapporto agli interessi umani. Secondo me la scienza produce *finzioni provvisorie*, espedienti utili all'orientamento provvisorio e per determinati fini pratici, che poi sono i vostri modelli matematici. E, come oggi voi sapete bene, non c'è un solo modello valido per tutti i fenomeni.

Vede, io mi sono sempre battuto contro ogni dogmatismo e devo constatare che il mio pensiero ha anticipato, e forse stimolato, la rivoluzione della fisica del '900. Einstein mi teneva in molta considerazione ed in effetti la teoria della relatività è proprio la demolizione dello spazio e del tempo assoluti di Newton. E la fisica quantistica cos'altro è se non la critica al concetto di esistenza di una traiettoria per una particella molto piccola, ovvero al fatto che l'idea di poter misurare contemporaneamen-



Bande di Mach. Una banda chiara appare a sinistra del passaggio chiaro-scuro ed una banda scura appare al passaggio inverso.⁸

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

te posizione e velocità era una costruzione ideologica e non il risultato di una procedura fisica?

I: Però Einstein ha detto anche che se lei avesse portato alle estreme conseguenze la sua teoria, avrebbe dovuto supporre, come Berkeley nel '600, che il mondo non esiste e tutto è sensazione.

M: Il mio è empiriocriticismo, non solipsismo!

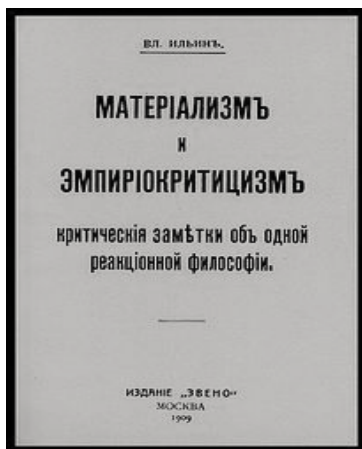
I: Ho paura che oggi pochi ricordino questo termine, probabilmente solo per la critica di Lenin nel suo "Materialismo ed empiriocriticismo" del 1909.

M: Lenin non era certo un filosofo. Lui non ce l'aveva con me ma con

Bogdanov, suo rivale politico tra i bolscevichi. Come spesso è accaduto nella prassi del marxismo-leninismo, i peggiori nemici sono i quasi-amici che possono diventare concorrenti. Così Lenin aveva paura che attraverso la critica alle sensazioni si arrivasse da una parte alla psicoanalisi e dall'altra all'idealismo religioso, mentre invece doveva esistere solo il materialismo dialettico di Engels, che poi è una teoria che non sta in piedi, almeno dal punto di vista scientifico.

I: In che senso?

M: Beh, tutto nasce dal problema di Achille e della freccia. Come fa la freccia a muoversi se istante per istante è in un luogo determinato e quindi ferma? Oggi è ben accettato che lo stato di un oggetto non è dato solo dalla sua posizione, ma dalla combinazione di posizione e velocità. Ma se ci pensate, anche nel cinema e nella televisione la velocità non esiste, nasce nel cervello quando si proiettano, ad alta velocità, immagini correlate. E anche l'occhio funziona più o meno così: ci sono persone che a causa di lesioni cerebrali hanno perso la capacità di "calcolare" la



Prima edizione di Materialismo ed empiriocriticismo pubblicata a Mosca nel 1909 da Lenin sotto lo pseudonimo "Vl. Ilyin".⁹

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

velocità e vedono il mondo stroboscopicamente. Ovviamente per loro attraversare la strada è un incubo.

I: Ed Engels che diceva?

M: Beh, lui vedeva la contraddizione tra un oggetto in una posizione (tesi) e lo stesso oggetto in un'altra al tempo seguente (antitesi) ed invocava il moto come sintesi e così via per qualsiasi altra cosa. In pratica vedeva la derivata come la sintesi del rapporto incrementale.

I: Beh, funziona, no?

M: Forse in matematica, ma non certo applicato a tutti gli argomenti. Come disse Popper nel '45, se qualsiasi cosa che non si inquadri nella teoria fino a quel momento è la prova di una antitesi e quindi può essere inglobata nella teoria stessa, allora la teoria non è falsificabile e quindi non è scientifica, ma solo vuoto idealismo. Applicava la stessa critica anche alla psicoanalisi di Freud, guarda caso anche lui viennese.

I: Mi sembra che Popper fosse molto lucido.

M: Beh, non tutta la scienza è falsificabile come voleva Popper, altrimenti per esempio gran parte della fisica teorica attuale sarebbe fuori gioco, ma anche l'astrofisica, direi. Devo dire che Popper era un critico del positivismo logico, che è l'estensione, avvenuta dopo la mia morte, dell'empirocriticismo a tutto il resto della filosofia, perché diceva che i suoi postulati, ovvero che non si dovesse rispondere a domande prive di senso, non erano falsificabili. Però con Popper avrei condiviso la necessità della concretezza delle costruzioni filosofiche e del fatto che dovessero ancorarsi a degli esperimenti verificabili. Peccato non averlo conosciuto.

I: Quando intervisteremo Popper gli porteremo i suoi saluti. Intanto la ringraziamo per il tempo che ci ha dedicato.

M: Grazie a voi per avermi dato l'occasione di parlare di cose ormai quasi sconosciute. Tanti saluti e buon lavoro.

I: Arrivederci anche a lei.

Lev Landau



RadioMoka S8E03 28 ottobre 2017 (voci di Giovanna Pacini e Giovanni Spaventa).

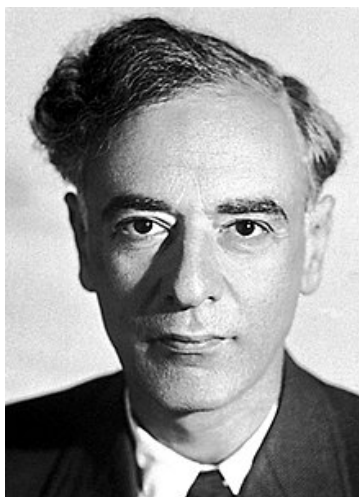
<https://youtu.be/XU4rYZL6UfA>

I: Per le interviste impossibili di RadioMoka, abbiamo oggi Lev Davidovic Landau. Buongiorno professore.

L: Buongiorno a voi ed agli ascoltatori.

I: I fisici la conoscono certamente, visto che quasi tutti hanno studiato sui suoi libri, ma forse lei non è così conosciuto da tutti gli altri. Ci vuole brevemente illustrare la sua vita e le sue scoperte?

L: Beh, non è mai piacevole parlare di sé stessi, soprattutto quando si è dei quasi-geni come me. Sono nato nel 1908, in una famiglia ebrea a Baku, in Azerbagian, a quei tempi parte dell'Impero Russo. A 12 anni ho imparato da solo le derivate ed a 13 gli integrali, finendo così le scuole preparatorie. Mia madre pensava che a 13 anni fossi un po' troppo giovane per andare all'università, così mi ha fatto passare un anno in una scuola economica e tecnica. Finalmente, a 14 anni mi sono iscritto a fisica ed a chimica e per un po' ho seguito entrambe le lezioni. A 19 anni mi sono laureato, nello stesso anno in cui ho scritto il mio primo lavoro, inventando la matrice densità, un oggetto matematico molto usato in fisica quantistica, contemporaneamente a Von Neumann. A 21 anni ho potuto fare il mio primo, ed unico, viaggio in Europa, visitando anche il grande Niels Bohr a Copenaghen. Dopodiché sono diventato professore, ma non mi è stato più permesso



Lev Davidovič Landau nel 1962.¹⁰

¹⁰ https://it.wikipedia.org/wiki/Lev_Davidovič_Landau

di uscire dall'URSS. Nel '62, a 54 anni, sono rimasto coinvolto in un incidente di auto, riportando molte fratture al cranio e non sono più tornato quello di prima. Sono morto sei anni dopo.

I: Quindi si definisce un genio?

L: Mi è sempre piaciuto fare delle classifiche ed ho fatto anche quella dei fisici. Ovviamente ho scelto una scala logaritmica, così che tra un'unità e l'altra l'intelligenza raddoppi. Ho classificato Isaac Newton nella classe 0, la più "alta". Albert Einstein sta a 0,5, quindi più della metà di Newton; Niels Bohr, Werner Karl Heisenberg, Paul Dirac, Erwin Schrödinger ed altri erano nella classe 1. Per un lungo periodo mi sono considerato nella classe 2,5 per promuovermi infine alla 2.

I: Altre classifiche?

L: Per esempio quella delle donne: nella classe 0 quelle che se le guardi, poi ti è impossibile distogliere lo sguardo. Nella classe 1 le bionde carine con il naso all'insù. Nella classe 2 quelle niente di speciale, che non sono però così brutte, ma si può anche far a meno di guardarle. Nella classe 3 quelle che è meglio non guardarle. Non sono pericolose per la gente, ma impauriscono i cavalli. Nella classe 4 quelle prive di interesse.

I: Era un vero specialista di donne...

L: A dire la verità, fino a 26 anni, ovvero finché non ho incontrato Kora, mia futura moglie, non avevo mai baciato una ragazza. Ma sono sempre stato un fervente sostenitore dell'amore libero, ho avuto parecchie ragazze ma ho anche incoraggiato mia moglie ad avere delle avventure. Veramente, non so perché mi sono sposato.

I: È vero che sulla sua porta c'era scritto "attenzione, morde!"?

L: Il fatto è che il mio nome, Lev, in russo vuol dire leone, quindi c'era un gioco di parole su "Leone mordace". Ma d'altra parte il mio cognome in



Foto di Landau in prigione (1938).¹¹

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

francese suona “l’âne Dau”, l’asino Dau, ed infatti volevo che mi chiamassero Dau. E sul mio tesserino di riconoscimento avevo messo al posto della mia foto quella di una scimmia ritagliata da una rivista. Sapeste come mi lamentavo con i guardiani dell’istituto, quando con quel documento non mi facevano passare!

I: Ci parli brevemente delle sue ricerche.

L: Mi sono occupato di tante cose, ci sono una ventina di equazioni e di quantità fisiche che portano il mio nome. Diciamo che mi ricordano più che altro per la mia teoria delle transizioni di fase e per i contributi che ho dato alla fisica dello stato solido, alla superconduttività ed alla superfluidità dell’elio-4.

I: E per questo le hanno dato il Nobel nel '62.

L: L’anno dell’incidente. Non potei andare a ritirarlo. Quando mi arrivò la notizia mi ero ripreso, ma non potevo certo viaggiare. Per me, eccezionalmente, la consegna del premio Nobel avvenne a Mosca, in contemporanea con la cerimonia di Stoccolma, e con l’ambasciatore svedese che leggeva lo stesso discorso che veniva letto in Svezia. Non c’era ancora Skype...

Ci furono grandi festeggiamenti in Unione Sovietica. E pensare che sono stato praticamente un sorvegliato speciale anche se avevo ricevuto il premio Stalin di Eroe del Lavoro Socialista. Stalin! Proprio colui che mi ha tenuto in galera per un anno e voleva fucilarmi, nel '38.

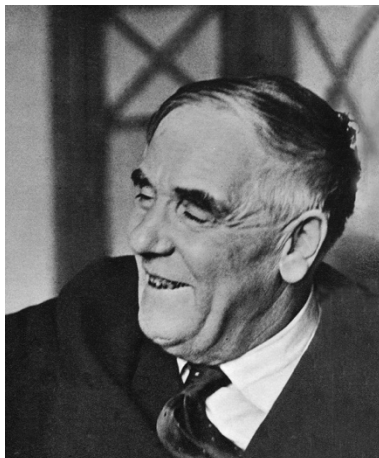


L’ambasciatore svedese nell’Unione Sovietica, Rolf Sulman, conferisce il Premio Nobel per la fisica a Landau (qui insieme alla moglie Kora) a Mosca per conto della commissione vincitrice del premio Nobel (1962).¹²

¹² <http://jewishjournal.com/blogs/238841/lev-landau-jewish-physicist-nobel-winning-genius-azerbaijan/>

I: E perché?

L: Beh, Stalin ne ha fatti fuori parecchi, di fisici e di altri scienziati. Lui era contrario alla fisica quantistica ed alla relatività, non erano concetti in linea con il “materialismo dialettico”, questa cavolata bestiale. Io ero un sostenitore del socialismo e della rivoluzione ed anche del materialismo storico, ma certo ero molto critico verso la burocrazia sovietica ed anche verso l'imperialismo e non lo tenevo certo per me. Avevo detto che in URSS la scienza non la capivano e non la amavano. Del resto, non c'era da meravigliarsi, perché



Pëtr Leonidovič Kapica (1964).¹³

erano i fabbri ed i carpentieri a comandare. Non c'era spazio per l'individualità. Le direttive ed il lavoro erano dettate dall'alto. La nostra scienza si è prostituita, in misura assai maggiore che all'estero. Nel '56, molto dopo la mia liberazione, ho detto che ero pronto ad inginocchiarmi davanti all'Ungheria in rivolta, perché l'eroismo degli Ungheresi meritava venerazione.

I: Ma qual era l'accusa?

L: Di essere una spia tedesca! Figuriamoci! Ho controbattuto che bastava che riflettessero sul fatto che io, pur essendo ebreo, per tutta la vita non mi sono fidanzato che con ragazze ariane e questo è severamente proibito dai nazisti tedeschi! In realtà ce l'avevano con me perché reputavo Stalin un fascista tale e quale Hitler. E collaborai alla stesura di un volantino che diceva quanto pensavo.

I: E come si è salvato?

L: Grazie all'intercessione di Bohr e Kapitsa, entrambi premi Nobel, anche se Kapitsa lo ebbe dopo, nel '78. Anche lui era stato praticamente intrappolato in URSS. Per parecchi anni è andato avanti ed indietro tra Mosca (dove aveva la moglie) e Cambridge (dove aveva il laboratorio),

¹³ https://it.wikipedia.org/wiki/Pëtr_Leonidovič_Kapica

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА I Л.Д. ЛАНДАУ Е.М. ЛИФШИЦ	ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА II Л.Д. ЛАНДАУ Е.М. ЛИФШИЦ	ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА III Л.Д. ЛАНДАУ Е.М. ЛИФШИЦ	ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА IV Л.Д. ЛАНДАУ Е.М. ЛИФШИЦ Л.П. ПИТАЕВ	ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА V Л.Д. ЛАНДАУ Е.М. ЛИФШИЦ
МЕХАНИКА	ТЕОРИЯ ПОЛЯ	КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА НЕРЕЛЯТИВИСТСКАЯ ТЕОРИЯ	КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА	СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ЧАСТЬ I
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА VI Л.Д. ЛАНДАУ Е.М. ЛИФШИЦ	ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА VII Л.Д. ЛАНДАУ Е.М. ЛИФШИЦ	ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА VIII Л.Д. ЛАНДАУ Е.М. ЛИФШИЦ	ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА IX Л.Д. ЛАНДАУ Е.М. ЛИФШИЦ Л.П. ПИТАЕВ	ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА X Л.Д. ЛАНДАУ Е.М. ЛИФШИЦ Л.П. ПИТАЕВ
ГИДРОДИНАМИКА	ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ	ЭЛЕКТРОДИНАМИКА СПЛОШНЫХ СРЕД	СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ЧАСТЬ II	ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

I volumi del “minimo teorico” richiesto da Landau ai nuovi allievi.

finché non gli hanno ritirato il passaporto per paura che emigrasse definitivamente. Però Kapitsa era indispensabile per la bomba atomica sovietica e quando minacciò di dimettersi mi liberarono. Mi diedero però una guardia del corpo, ovvero una guardia personale, per un bel po' di tempo, fino al '54. Me la tolsero solo dopo che avevo dato anch'io qualche contributo alla fisica atomica sovietica. Il mio fascicolo fu chiuso, senza accuse, dal KGB solo il 23 luglio del 1990, un anno prima della fine dell'URSS!

I: Parliamo del suo lavoro. Non era facile diventare suo allievo...

L: No, lo ammetto. Per entrare nel mio gruppo c'era da fare un esame, da me chiamato “il minimo teorico”, che poi era semplicemente tutto quello che sapevo. Era una serie di 9 esami, due preliminari di matematica e poi meccanica razionale, termodinamica e fisica statistica, teoria dei campi inclusa la relatività, meccanica quantistica non relativistica, meccanica quantistica relativistica, elettrodinamica quantistica e particelle elementari, elettrodinamica dei mezzi continui ed infine meccanica dei mezzi continui. Dal '43 al '61 solo 43 studenti riuscirono a passare l'esame, ma fecero tutti carriera, compreso due altri Nobel, Abrikosov e Ginzburg. Se volete provare, basta che vi leggete i 10 volumi del corso di fisica teorica che ho scritto con Lifshitz ed altri. Lì c'è tutto quello che c'è da sapere di fisica per cominciare a fare cose avanzate.

I: Un bel lavoro di scrittura!

L: A dire la verità, io non scrivevo nulla e nemmeno leggevo. A me è sempre piaciuto lavorare sdraiato sul divano ed imparare dai seminari che i

miei collaboratori facevano su quelli che reputavano argomenti interessanti. In genere mi bastava ascoltare l'inizio del seminario per poi derivare le conclusioni da solo. Anche per questo nei miei articoli e libri ci sono poche citazioni. In realtà ho ottenuto quasi tutto da solo, partendo dai principi primi, per cui in fase di scrittura non mi veniva in mente che queste derivazioni banali potevano costituire un lavoro importante di qualche altro scienziato.

I: Una grande perdita, la sua morte prematura.

L: Quando ci fu l'incidente, tutti i fisici sovietici e molti altri nel mondo si mobilitarono per aiutarmi. Inviavano i medicinali dall'Inghilterra e dagli Stati Uniti consegnandoli direttamente ai piloti degli aerei in partenza per l'URSS. Quando ebbi una grossa crisi respiratoria e sembrava che non ci fosse un polmone d'acciaio disponibile, i fisici (teorici) suggerirono di costruirne uno subito, nel laboratorio. Che cavolata!

Restai in coma per tre mesi e ci misi molto a riprendermi, ma pian piano ricominciai a parlare le varie lingue che conoscevo ed a ricordarmi un bel po' di cose del passato. Ma la memoria a breve termine non funzionava, non potevo lavorare, e poi avevo dei dolori continui. E mi facevano innervosire tutte quelle persone che mi ponevano domande di fisica solo per vedere se mi ricordavo qualcosa. Una volta i dottori mi chiesero di disegnare un cerchio e feci un triangolo. Poi mi chiesero un quadrato e disegnai una stella. Così imparavano a darmi problemi troppo semplici.

I: La ringrazio per il tempo che ha voluto dedicarci.

L: Arrivederci. Non vi dico di venirmi a trovare, tanto sono sempre stato ateo e non ho mai creduto nella vita dopo la morte.

I: Addio allora.

L: A lei ed a tutti gli ascoltatori.

Niels Bohr



RadioMoka S8E04 4 novembre 2017 (Voci di Giovanna Pacini e Michele Campisi).

Versione lunga per Fisicast, 19 giugno 2018 (Voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/qqGojRZyHNI>

I: Buongiorno professor Bohr. Come sta?

B: Potrebbe andare meglio. Mi piacerebbe essere ancora vivo, anche se adesso avrei 133 anni. Ma non mi lamento, ho vissuto una vita piena ed avventurosa.

I: Ce ne parli.

B: Beh, sono nato nel 1885, a Copenaghen. Mi sono laureato in fisica nel 1911, in tempo quindi per vivere in pieno la rivoluzione della meccanica quantistica, di cui mi sento un po' un padre.

A quei tempi una delle frontiere della ricerca in fisica era la struttura dell'atomo. Era un vero mistero. Sapevamo che non era indivisibile, come vorrebbe dire il nome, e che conteneva degli elettroni.

I: Immagino che il problema fosse capire in che posizioni stavano gli elettroni all'interno dell'atomo.

B: E anche come era disposta la carica positiva, perché si sapeva che l'atomo nel suo complesso è neutro. Ora, gli elettroni si possono estrarre facilmente dagli atomi ed era anche chiaro che fossero delle particelline, perché quando impattavano su uno schermo fluorescente si vedevano dei lampi di luce molto localizzati. Ma come stava il resto? Nel 1911, subito dopo la laurea vinsi una borsa di studio indetta dalla fondazione Carlsberg ed andai da Joseph John Thomson, a Cambridge. Thomson, nel 1900, aveva formulato un suo modello dell'atomo in cui gli elettroni



Niels Bohr nel 1922.¹⁴

¹⁴ https://it.wikipedia.org/wiki/Niels_Bohr

erano immersi in una gelatina di carica positiva. Fu subito nominato il “modello a panettone”.

I: Modello a panettone?

B: In inglese è plum pudding, il budino di prugne, ma in italiano direi che *panettone* rende meglio l'idea. Bisogna pensare agli elettroni nel modello di Thomson come alle uvette nel vostro tipico dolce natalizio.

I: Molto astuto!

B: Sì, ma a me questo modello non piaceva molto, perché non riusciva a spiegare le linee spettrali...



Joseph John Thomson nel 1906.¹⁵

I: Questa è una parola molto inquietante!

B: Forse è meglio se comincio dall'inizio. Newton aveva mostrato che la luce bianca è separabile in tanti colori, basta farla passare attraverso un prisma di vetro. L'avrete visto tutti: una lamina di luce bianca, passando attraverso un prisma trasparente, si trasforma in una striscia che contiene tutti i colori dell'arcobaleno. È il fenomeno che rende così belli i lampadari di cristallo. E gli arcobaleni, ovviamente.

Newton chiamò questa striscia colorata con la parola latina “*spectrum*”, che vuol dire immagine, apparizione. Ma un'apparizione è anche un fantasma, quindi effettivamente spettro è una parola inquietante. Bene, dopo Newton si sono usati strumenti sempre più sofisticati per analizzare lo spettro della luce solare. Uno di questi, il reticolo di diffrazione, è oggi, per voi intendo, molto diffuso.

I: Reticolo di diffrazione? Non mi sembra di averlo mai visto in nessun negozio...

B: Non è altro che un compact disk! Quei colori cangianti del disco sono l'effetto della diffrazione sui tanti “buchini” che codificano la musica. Wollaston nel 1802 e poi Fraunhofer nel 1814, usando un reticolo di diffrazione, scoprirono che nello spettro prodotto con la luce del Sole

¹⁵ https://it.wikipedia.org/wiki/Joseph_John_Thomson

c'erano delle sottili righe nere. In pratica mancavano certi colori. Successivamente, nel 1854, Kirchhoff e Bunsen scoprirono che lo spettro della luce emessa dagli atomi scaldati da una fiamma non era una striscia uniformemente colorata, ma soltanto una serie di righe, ovviamente di colori diversi. Inoltre, ogni sostanza aveva uno spettro caratteristico ed unico, tanto che dalla disposizione di questi colori nello spettro si poteva desumere quale sostanza si stava bruciando. In effetti, da allora si usa questo metodo per determinare gli elementi di un composto chimico.

Può fare facilmente anche lei l'esperimento mettendo del sale nella fiamma del fornello della sua cucina. La luce gialla emessa è dovuta al fatto che nello spettro del sodio c'è una riga intensa in corrispondenza del giallo.

I: Mi sto perdendo... Che relazione c'era tra le righe nere nello spettro del Sole e quelle nello spettro di una fiamma?

B: Qui sta il bello: sono le stesse! Praticamente la regola è questa: gli atomi isolati possono assorbire o emettere luce solo di certi colori caratteristici.

Deve sapere che il colore della luce dipende dalla frequenza dell'onda elettromagnetica di cui è composta. L'altra cosa da sapere è che ogni volta che una carica elettrica viene accelerata si produce un'onda elettromagnetica. È quello che si fa nella radio: gli elettroni vanno su e giù lungo l'antenna e questa irradia onde radio alla frequenza di oscillazione degli elettroni.

I: Quindi la luce che proviene dagli atomi scaldati è il risultato del fatto che gli elettroni di cui sono composti oscillano all'interno degli atomi?

B: Sì, ma mentre nella radio posso far oscillare gli elettroni alla frequenza che voglio, sembra che gli atomi possano assorbire o emettere onde elettromagnetiche, cioè luce, solo per particolari frequenze, visto che nello spettro compaiono solo alcuni colori. È come se gli elettroni non possano oscillare a tutte le frequenze.

Il problema della fisica dunque era proprio quello di riuscire ad elaborare un modello di atomo che riuscisse a spiegare perché gli elettroni non oscillavano con qualsiasi frequenza, ma solo con quelle stabilite. Ma non era tutto: non si riusciva neanche a capire come potessero gli elettroni atomici vibrare così velocemente da generare le frequenze della luce visibile, che sono molti ordini di grandezza più alte di quelle delle

onde radio. La frequenza delle oscillazioni di un oggetto è legata all'intensità della forza che cerca di tenerlo fermo, come può rendersi conto usando una chitarra: tanto più tende una corda tanto più acuto è il tono emesso.

Se si ipotizzava che a tenere gli elettroni fermi nelle loro posizioni fossero delle forze elettriche, come nel modello di Thomson, si ottenevano frequenze troppo basse. E questo era un altro grosso problema, perché le forze elettriche, a parte la gravità, che è anche più debole, erano le uniche forze che si conoscevano ai miei tempi.

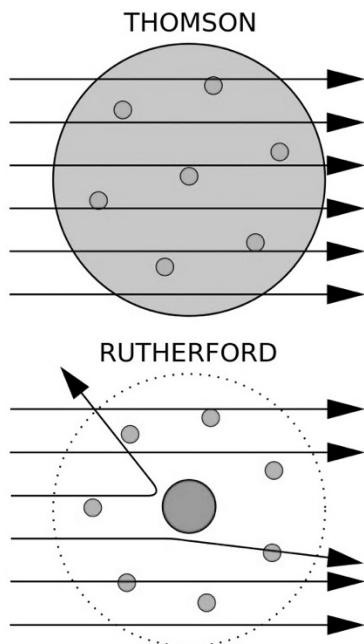
I: Un bel problema!

B: E poi, sempre nel 1900, Planck aveva mostrato che gli atomi emettono l'energia solo in pacchetti discreti detti quanti e nel 1905 Einstein aveva mostrato che in effetti tutta l'energia luminosa era quantizzata. Non sarebbe stato logico supporre che anche i modelli atomici avrebbero dovuto obbedire a qualche principio di quantizzazione?

I: Quindi Thomson dovette rinunciare al suo modello?

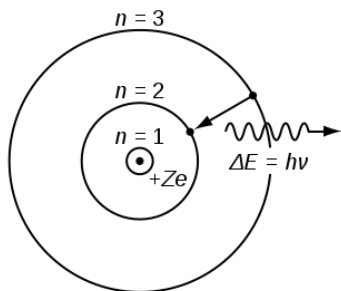
B: Figuriamoci! Thomson mi cacciò dal laboratorio quando gli suggerii questa idea! Ma dato che avevo ancora una parte della borsa di studio Carlsberg da usare, me ne andai dal suo concorrente Rutherford, a Manchester.

Rutherford aveva avuto una brillante idea su come fare per studiare sperimentalmente come erano fatti gli atomi: usare dei proiettili! L'idea era quella di sparare, su un materiale dato, una radiazione conosciuta come "raggi alfa", che oggi sappiamo essere costituita da nuclei di elio, emessi come proiettili da un pezzo di radio, l'elemento scoperto da Pierre e



Il modello di Thomson e quello di Rutherford.

Marie Curie. Quando Rutherford sparò questi proiettili contro sottili fogli di alluminio e di altri metalli, all'inizio non credette a quello che vedeva! I proiettili in genere attraversavano il bersaglio, ma qualche volta rimbalzavano a grandi angoli, tornando anche indietro, come se cozzassero contro qualcosa di piccolo e duro. Era come se al centro del panettone di Thomson ci fosse una sfera di acciaio. Gli elettroni infatti, essendo molto leggeri, non potevano certo causare questa deflessione.



Modello atomico di Bohr.

I: E allora?

B: Il nucleo doveva essere piccolo, duro e di carica positiva. Ma questo faceva nascere il problema di dove stessero gli elettroni. Non c'è nessuna possibilità di tenerli fermi lontani dal nucleo poiché, se questo è carico positivamente, sarebbero stati irresistibilmente attratti verso il centro. L'unica spiegazione era che fossero in movimento, come i pianeti nel Sistema Solare.

I: Già, i pianeti non cadono sul Sole grazie alla loro grande velocità!

B: Proprio così. Ma per gli elettroni questo non è sufficiente, perché sono carichi, ed una traiettoria circolare è costantemente accelerata verso il centro. Dato che, come abbiamo detto, una carica elettrica accelerata deve emettere onde elettromagnetiche...

I: ... se l'elettrone si muove in un'orbita circolare dovrebbe emettere luce e quindi perdere energia. Giusto?

B: Eh già. Era un problema che doveva essere rimuginato con calma. Quindi smisi di aiutare Rutherford e mi misi a pensare.

I: E cosa venne fuori?

B: Beh, lavorai in maniera parecchio euristica. Supposi che gli elettroni potessero avere soltanto determinate energie, diverse da zero, che in pratica vuol dire che potevano stare soltanto su alcune orbite circolari, ma non su tutte, come treni sui binari, e che non potevano cadere sul nucleo. In questo modo si poteva spiegare benissimo lo spettro

dell'atomo di idrogeno, l'elemento più semplice di tutti, che ha un solo elettrone. Questo elettrone poteva cambiare la sua energia soltanto saltando da un'orbita all'altra, ovvero da un binario all'altro, e quindi poteva emettere soltanto luce di alcuni determinati colori. In fondo era un trucco, come quello di Planck che non sapendo come spiegare lo spettro del corpo nero con le regole della fisica classica, si inventò delle regole ad hoc.

I: Sì infatti. Ma se era solo un trucco, perché il suo modello fu subito accettato?

B: Perché oltre a spiegare l'esistenza degli spettri a righe, permetteva di spiegare anche le regolarità di questi spettri. Gli spettroscopisti si erano resi conto che le righe di un elemento non erano messe a caso, ma si raggruppavano in serie che avevano delle speciali caratteristiche. Come fece notare Balmer nel 1885, si potevano trovare delle formule matematiche che davano le frequenze delle righe di una serie, come differenze di una funzione di un numero intero.

I: Quest'ultima affermazione non è molto chiara.

B: Lo diventa se pensa al mio modellino: gli elettroni possono girare intorno al nucleo in orbite stabilite. Ogni elettrone in un'orbita possiede un particolare valore di energia e può solo saltare da un'orbita all'altra emettendo o assorbendo un quanto di luce. Poiché l'energia si conserva, l'energia del quanto di luce emesso è data dalla differenza dell'energia degli elettroni nelle varie orbite. Inoltre, come aveva detto Einstein, l'energia di un quanto di luce è data dalla sua frequenza, per la costante di Planck.

Numeriamo le orbite: orbita numero uno, orbita numero due e così via. Nel mio modello l'energia di un'orbita era data dall'inverso del quadrato di questo numero. Quindi, se consideriamo per esempio la transizione tra l'orbita uno e due, la frequenza della luce emessa sarà proporzionale alla differenza tra uno diviso uno al quadrato ed uno diviso due al quadrato, ovvero uno meno un quarto.

I: Capito.

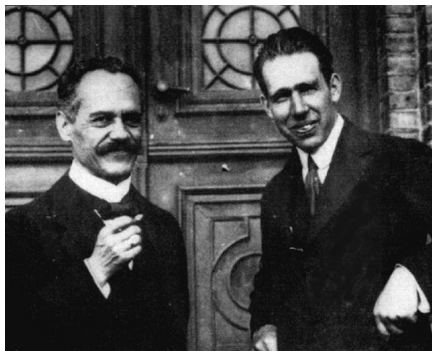
B: E se invece l'elettrone salta dall'orbita uno all'orbita tre la frequenza del quanto emesso sarà proporzionale ad uno meno un nono.

I: Sì, chiaro.

B: Allora mi dica: quanto vale l'energia di transizione tra due e tre?

I: Sarà proporzionale alla differenza tra un quarto ed un nono... Ah, ho capito, posso ottenere questa energia combinando le frequenze delle due transizioni di prima!

B: Proprio così. Era nato il modello atomico che porta il mio nome.



*Niels Bohr e Arnold Sommerfeld
ritratti da Emilio Segrè.¹⁶*

Il modello fu poi generalizzato da Sommerfeld. Lui introdusse la possibilità di orbite ellittiche che, utilizzando la teoria della relatività, potevano spiegare la struttura fine dei livelli, ovvero il fatto che guardando con attenzione uno spettro di righe si vedeva che ognuna era in realtà suddivisa in un certo numero di sottorighe. Inoltre, il mio modello, generalizzato da Sommerfeld, spiegava anche il fatto che la separazione tra queste sottorighe aumentava se l'atomo era immerso in un campo magnetico, come mostrato da Zeeman, o in un campo elettrico, come mostrato da Stark.

Questo voleva dire che in ogni orbita potevano starci elettroni con livelli di energia leggermente diversi, che quindi producevano righe spettrali di colori leggermente diversi.

I: Geniale. Con il suo modello si potevano spiegare tutti gli atomi?

B: No, in realtà il modello di Sommerfeld e mio funzionava solo per gli atomi con un solo elettrone, ovvero l'atomo di idrogeno, quello di elio ionizzato, e così via. Quando c'erano due o più elettroni non si riusciva a capire come introdurre la loro repulsione, né perché negli elementi più pesanti gli elettroni delle orbite più esterne non "cadessero" tutti sull'orbita di energia più bassa.

I: Ma non è proprio la repulsione elettrica a tenerli separati?

¹⁶ <http://charm.physics.ucsb.edu/people/hnn/physicists.html>

B: No, come nel caso delle frequenze, la forza elettrica è troppo debole per spiegarlo. La tavola periodica degli elementi, quella di Mendeleev, mostra appunto che ci sono delle periodicità. Per esempio, le proprietà chimiche del litio assomigliano a quelle del sodio e del potassio e la chimica del fluoro assomiglia a quella del cloro. Queste regolarità, così come anche la “forma” delle molecole composte dai vari elementi, sembrano indicare che gli elettroni popolino le orbite in maniera molto regolare: nel primo livello energetico si trovano al massimo due elettroni, nel secondo fino a sei e così via. E inoltre le orbite non sono soltanto circolari, altrimenti le molecole non formerebbero i cristalli con quelle particolari simmetrie.

I: Ah, ed allora?

B: Beh, nel 1925 Wolfgang Pauli risolse il problema con un'altra legge ad hoc, che ora voi chiamate *principio di esclusione* di Pauli, secondo la quale in ogni orbita ci possono stare al più due soli elettroni con una grandezza, chiamata “spin”, di valore opposto.

Infine, nel 1926, Schrödinger trovò un'equazione secondo la quale gli elettroni di un atomo non si muovevano su vere orbite, ma che esistevano delle zone nelle quali si aveva la massima probabilità di trovare un elettrone. Queste zone vennero chiamate “orbitali”. La loro separazione e la loro forma, ottenute per via puramente teorica/matematica, erano tali da spiegare i dati sperimentali per l'atomo di idrogeno. Ma il mio modello aveva il pregio della semplicità.

I: È per questo che si sente un po' il padre della meccanica quantistica?

B: Non solo per questo. Il fatto è che quando ritornai poi a Copenaghen, riuscii, sempre con un bel contributo della fondazione Carlsberg, a mettere su un istituto di fisica che nel tempo fu visitato praticamente da tutti i fisici che erano interessati alla fisica teorica, da Kramers a Landau, a Heisenberg e così via.

I: Ma questa Fondazione Carlsberg ha a che fare con la birra con lo stesso nome?

B: Sì, Questi birrai sono stati sempre molto generosi, offrendo borse di studio a me ed a parecchi dei giovani che volevano venire a trovarmi, dandomi la casa dove ho abitato dopo aver ricevuto il Nobel nel '22 e soprattutto installando una tubazione che portava la birra dalla fabbrica

direttamente a casa mia, ovviamente gratis! Stranamente non hanno mai lanciato il motto: *Carlsberg, la birra dei fisici!*

I: Si doveva lavorare piacevolmente a Copenaghen...

B: Si lavorava duro, ma ci si divertiva anche. Quando ero un po' stanco amavo andare al cinema, ma non volevo certo andare da solo! Perciò, passavo dalla biblioteca, dove i miei "ragazzi" stavano giocando a ping-pong o risolvendo problemi di meccanica quantistica, e mi facevo accompagnare a vedere un western.

I: Solo western?

B: Sì, mi piacevano solo i film con i cow-boy, ma devo ammettere che non riuscivo a seguire l'intreccio di quelle storie complicate e dovevo sempre chiedere spiegazioni ai miei accompagnatori. Per esempio, potevo capire che una ragazza indiana caduta in burrone riuscisse a salvarsi aggrappandosi ad un ramoscello e che in quel momento passasse un bel cowboy a salvarla. Ma non capivo come facesse la troupe cinematografica a trovarsi lì nello stesso momento!

In maniera simile, ero molto lento a capire la fisica. Spesso durante un seminario c'era una sottile dimostrazione matematica che tutti capivano tranne me, ma dato che ero il capo me la facevo spiegare più volte, finché alla fine riuscivo a capire che era sbagliata. Ero lento, ma riuscivo subito ad "annusare", per così dire, la presenza di errori.

Le racconto un altro aneddoto, sempre relativo ai film western. Avevo elaborato una teoria del perché il buono vincesses sempre nei duelli. Secondo me il fattore principale era che il ragionamento è molto più lento della reazione istintiva e che il buono non vuole mai sparare se non costretto. Così è il cattivo che prende l'iniziativa ma, dato che lo fa in maniera razionale, è più lento del buono. Però nessuno credeva alla mia teoria, finché un giorno Gamov comprò un paio di cinturoni con fondine e pistole ed incitò tutti i giovani studenti a "uccidermi" estraendo per primi. Beh, non ci crederete, ma li seccai tutti, dal primo all'ultimo.

I: Lei è sempre stato un tipo avventuroso!

B: Beh, non mi sono mai tirato indietro. Lo sa che in gioventù giocavo a calcio? Ero portiere e mio fratello attaccante. Lui arrivò fino alla nazionale, io invece venni buttato fuori perché un giorno mi distrassi a pensare ad un problema di matematica e presi un goal facile facile. Ma anche

dopo mi sono mantenuto in forma. Sugli sci ero un fenomeno. Ricordo poi che nel 1930, quando avevo 45 anni, venne a trovarmi Casimir, un fisico olandese che era anche un provetto alpinista. Mentre tornavamo a casa dopo cena vide che il muro della banca era fatto da blocchi di cemento, con delle larghe fughe tra blocco e blocco e volle mostrarci come ci si poteva arrampicare. Beh, non potevo certo lasciar perdere l'occasione. Sotto gli occhi preoccupati di mia moglie mi arrampicai fino al terzo piano, quando arrivarono di corsa due poliziotti.

I: E l'arrestarono?

B: No, appena videro che ero io, dissero "Ah, è solo il prof. Bohr!" e se ne andarono. Evidentemente ero conosciuto...

I: Torniamo alla fisica. Lei è famoso anche per il suo rapporto con Heisenberg e la ricerca atomica tedesca, da una parte, ed americana dall'altra.

B: Sì, in realtà sono più famoso per la mia teoria della dualità onda-particella, per cui le particelle elementari si comportano come onde o come particelle, a secondo del tipo di misura che viene fatta.

I: Come, come?

B: Beh, prenda la luce per esempio. La teoria ondulatoria permette di spiegare l'interferenza e la diffrazione, mentre la teoria corpuscolare spiega l'effetto fotoelettrico. Anche gli elettroni si comportano così, in genere come particelle, ma sono capaci di formare figure di diffrazione quando si fanno interagire con un reticolo, come quello degli atomi in un cristallo.

I: Cavolo! Ma quindi gli elettroni sono onde o particelle?

B: Lei ragiona come Einstein, che cercava di avere un modello unico per tutta la realtà. Io sono sempre stato molto più pragmatico e mi sono piegato ad usare qualsiasi modello che funzionasse bene come strumento predittivo, anche se era fatto da pezzi poco compatibili tra loro.

Se si meraviglia per il dualismo onda-particella, pensi un po' all'interpretazione della meccanica quantistica detta "di Copenaghen", dovuta appunto ad Heisenberg ed a me, secondo cui il pacchetto d'onda "collassa" quando viene misurato da un osservatore.

I: Che cos'è questo collasso?

B: L'equazione di Schrödinger non è come l'equazione di Newton, non ci dice dove trovare un elettrone intorno al nucleo, ma solo la probabilità di trovarlo in un certo punto. A un certo punto Schrödinger ha anche pensato che l'elettrone fosse veramente "sparpagliato", ma il fatto è che quando si fanno le misure si trova sempre un elettrone tutto intero, mai un pezzo di elettrone. Però, e qui viene il bello, per produrre gli effetti di interferenza l'elettrone ha bisogno di essere "sparpagliato", così come i fotoni hanno bisogno di essere anche onde, per fare la diffrazione. Ma una volta che l'elettrone viene "osservato" in una certa posizione, non è più sparpagliato e gli effetti di interferenza cessano.

I: Non ho capito granché.

B: Esaminiamo l'esperimento della doppia fenditura. Prenda un pezzo di cartone e ci faccia due buchini o due fenditure parallele. Quindi ci invii sopra un fascio di elettroni. Dietro lo schermo bisogna ovviamente mettere un rivelatore, che può misurare la posizione degli elettroni che arrivano, per esempio uno schermo fluorescente. Vedrà che sul piano del rivelatore si formerà una tipica figura di interferenza, formata da zone che ricevono molti elettroni e zone che non ne ricevono.

I: Ho capito, strisce chiare e strisce scure.

B: Esatto! Se però adesso lei chiude una delle due fenditure, si forma una figura tutta diversa, semplicemente un'"ombra" diffusa della fenditura.

I: Quindi vuol dire che quando passano elettroni in entrambe le fenditure si disturbano a vicenda ed invece di produrre due ombre nette, una per ogni fenditura, producono la figura di diffrazione?

B: Potrebbe sembrare così, ma la natura è più subdola. Per verificarlo, renda il flusso di elettroni così debole che viene emesso un solo elettrone ogni volta. Se tiene traccia dei lampeggiamenti, vedrà che la disposizione dei punti dove l'elettrone arriva sul rivelatore forma lo stesso la figura di interferenza, ma solo se i due buchi sono entrambi aperti. Se ne apre uno solo, si forma un'ombra diffusa!

I: Ma io potrei cercare di scoprire da quale buco passa un elettrone usando della luce. In fondo gli elettroni interagiscono con i fotoni, dovrei vedere un lampo di luce in prossimità del buco utilizzato dall'elettrone!

B: Se fa così, la figura di interferenza scompare! Ovvero: anche il singolo elettrone si comporta come un'onda, passando in entrambe le fenditure,

salvo che quando lo misuro si comporta da particella, visto che sul rivelatore lo vedo ogni volta in un punto diverso.

I: Come gli scarafaggi, che quando si accende la luce corrono a rifugiarsi negli angoli!

B: Anche peggio, perché lei potrebbe pensare di ridurre l'intensità della luce che usa per illuminare il buchino, in modo da disturbare meno gli elettroni.

I: Proprio quello che stavo per pensare!

B: Purtroppo la luce è composta da fotoni ugualmente energetici, riducendo l'intensità riduce solo il numero di fotoni, non la loro energia. Con una luce debole, qualche elettrone sfugge alla misura. Ebbene, se tiene traccia del punto sul rivelatore dove vanno a finire gli elettroni che ha "visto" passare da un buco specifico e di quelli che invece sono sfuggiti, scoprirà che gli elettroni che non ha visto formano la figura di interferenza, quelli che ha visto formano la figura di diffusione!

I: Ma questo è diabolico!

B: Proprio così. Il fatto è che le particelle elementari non sono affatto delle palline e che il nostro cervello non è abituato a trattare questi oggetti quantistici.

È come se lei fosse nato in una fitta foresta, tanto fitta che è sempre buio pesto. Tutte le volte che lancia un sasso, questo finisce per rimbalzare sui rami e, dato che è buio, non può seguirlo con la vista. Può solo fare esperimenti e troverebbe che in genere si può solo predire la probabilità che un sasso arrivi in un certo punto. Sarebbe molto sorpreso dall'idea che il sasso abbia una traiettoria ben definita, perché, dato che non può vederlo, può solo capire dove si trova lanciando un altro sasso, che inevitabilmente disturba il primo.

Non possiamo osservare continuamente le particelle elementari perché non disponiamo di "sonde" sufficientemente fini, anche i fotoni sono troppo "grossi".



Stemmi della birra Carlsberg.

I: Aspetti. L'energia di un fotone è proporzionale alla sua frequenza. Posso usare fotoni a frequenza più bassa, ovvero di lunghezza d'onda più lunga, dei fotoni più "rossi"!

B: Non funziona neppure questo. Via via che la lunghezza d'onda aumenta, si perde di risoluzione spaziale, ovvero il "lampo" generato dall'elettrone che interagisce con il fotone diventa più sparpagliato. Appena

la risoluzione diventa così bassa che non può più distinguere da quale buco è passato l'elettrone, la figura di interferenza riappare.

I: Magia pura! Come può la natura funzionare così?

B: Dobbiamo rinunciare all'idea che gli elettroni e le altre particelle abbiano una posizione ben definita in ogni istante, perché è un concetto non verificabile. Come ha poi mostrato Richard Feynman, per fare i calcoli bisogna sommare su tutte le possibili traiettorie dell'elettrone, tenendo conto che queste traiettorie possono interferire in maniera costruttiva o distruttiva. Se perturba solo una di queste traiettorie, come quando riesce a vedere il buco da cui passa l'elettrone, ottiene il risultato classico della diffusione. Se perturba in maniera coerente le traiettorie, come quando usa un fotone di grande lunghezza d'onda, le traiettorie continuano a formare le figure di interferenza. Ma saper calcolare non vuol dire capire... Il mio amico Albert Einstein non era per nulla contento di questa interpretazione, ma anche se filosoficamente non è molto solida, sicuramente è quella che funziona, almeno a livello pratico.

I: E la bomba atomica?

B: Lei deve aver visto l'opera di Michel Frayn, "Copenhagen" a teatro. Io ero molto amico di Heisenberg, che consideravo il mio miglior allievo e



Niels Bohr di fronte all'Istituto per la Fisica Teorica (poi rinominato Istituto Niels Bohr) nel 1965.¹⁷

¹⁷ http://www.nbi.ku.dk/english/www/niels/bohr/de_sidste_aar/

con cui facevo delle interessantissime passeggiate fisico-filosofiche, anche se in realtà Heisenberg ha fatto tutti i suoi lavori più importanti quando per qualche motivo non eravamo insieme. Nel '27 se ne andò a Lipsia e poi nel '32 prese il Nobel, ma rimanemmo comunque molto amici. Però nel '41 venne a trovarmi. La Danimarca era occupata dai tedeschi e lui era a capo della squadra che doveva costruire la bomba atomica nazista. Io tenevo contatti sia con loro che con gli inglesi...



Niels Bohr e Werner Heisenberg alla conferenza di Copenhagen nel 1930.¹⁸

I: Lei era una spia? Da quale parte stava?

B: Beh, non voglio togliere il lavoro agli storici, ma dato che gli inglesi vennero a prelevarmi giusto il giorno prima che venissi arrestato e che poi collaborai al progetto Manhattan...

I: Capito. E Heisenberg? Voleva veramente far trapelare qualcosa agli alleati, come suggerisce il dramma teatrale, o voleva arruolarla?

B: Anche qui lasciamo spazio agli storici, ma il fatto era che i tedeschi erano ancora in alto mare. Non avevano i mezzi per separare in grande quantità l'uranio 235 dal 238, come fecero invece gli americani, e quindi avevano la sola opzione di costruire una bomba al plutonio, che si separa per via chimica dall'uranio. Praticamente la bomba del Trinity Test e quella che fu fatta esplodere a Nagasaki. Ma senza un reattore era dura produrre il plutonio necessario ed inoltre questo materiale non raggiunge così facilmente la massa critica come l'uranio 235.

I: E quindi?

B: Voglio lasciare in ombra i dettagli di quella conversazione, che mi fece molto male. Basti sapere che fu la fine della nostra amicizia. In seguito,

¹⁸ <https://www.geniusstuff.com/blogs/the-uncertainty-of-heisenbergs-nazi-bomb-motivations.htm>

Heisenberg sostenne che loro, i fisici nazisti, avrebbero benissimo potuto costruire una bomba atomica ma che non lo fecero per amore di pace. Ma la prova di quanto i tedeschi fossero lontani da questa meta è data dalle registrazioni ambientali fatte dagli americani ai fisici prigionieri, tra cui lo stesso Heisenberg. Non riuscivano a credere che gli americani avessero veramente fatto esplodere delle bombe nucleari sul Giappone!

I: Che ne pensa della fisica teorica attuale? Le piacerebbe essere ancora al lavoro?

B: Come lo ho detto, io sono sempre stato un tipo lento a capire le cose. Anche se ho dato inizio alla teoria quantistica dei campi, chissà quanto mi ci sarebbe voluto per capire il modello standard, o ancora peggio la teoria delle stringhe, la supersimmetria o l'universo olografico. È roba da giovani...

I: Allora la salutiamo. Grazie dell'intervista.

B: Grazie a voi, fa piacere chiacchierare con qualcuno che sia ancora vivo... È così noioso, qui... Quasi quasi vado a scambiare due parole con Heisenberg.

Zenone di Elea



RadioMoka S8E05 11 novembre 2017 (voci di Giovanna Pacini e Alessandro Agugliaro).

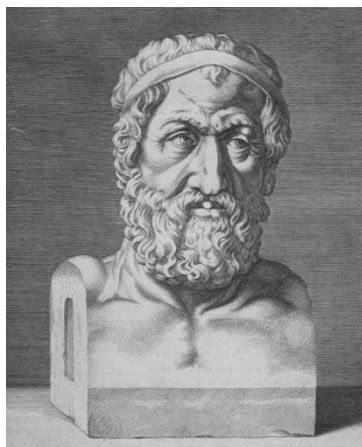
<https://youtu.be/jGGQhrL7JUo>

I: Per le interviste impossibile abbiamo qui oggi Zenone di Elea. Buongiorno.

Z: Buongiorno anche a voi.

I: Penso che tutti a scuola abbiano sentito parlare di lei, ma forse se lo sono dimenticato. Ci può rammentare di che periodo e luogo parliamo?

Z: Sono nato più o meno nel 490 a.C. ed ho vissuto sempre a Elea, nel Cilento, tranne forse un viaggio ad Atene insieme al mio maestro Parmenide, almeno così dice Platone.



Zenone in una incisione del 1692.¹⁹

I: Plutarco dice anche che lei era l'amante di Parmenide...

Z: Beh, certo! Parmenide era il mio maestro e quindi mi ha insegnato tutto, compreso il vero amore che ovviamente è quello tra due uomini. Non ha letto il Simposio di Platone?

I: Già, quando Aristofane narra il mito per cui anticamente gli esseri umani erano tondi, con quattro gambe, due teste e due sessi, gli uomini-uomini, le donne-donne e gli ermafroditi. Come punizione per aver tentato di scalare il cielo Zeus li divide in due e da allora tutti perdono tempo a cercare l'anima gemella.

Z: E ovviamente, come diceva bene Aristofane, gli ex-ermafroditi, ovvero gli uomini che vanno con le donne, sono gli adulteri, i rovina-famiglie,

¹⁹ https://it.wikipedia.org/wiki/Zenone_di_Elea

mentre quelli attratti dagli uomini sono i migliori, i più virili. E infatti anch'io non ero certo una mammoletta. Quando mi arrestarono per aver tentato di uccidere il tiranno Demilo, per non rivelare l'identità dei miei complici, sapendo che non avrei resistito alla tortura, mi strappai la lingua coi i denti e la sputai in faccia ai miei torturatori.

I: Niente male. Ma lei è famoso per i suoi paradossi...

Z: Ho solo cercato di supportare l'idea del mio maestro con degli esempi illuminanti. Parmenide diceva che l'essere, perché sia perfetto, non può mutare, in completo contrasto con quanto sosteneva Eraclito, quello del *"panta rei"*. Per noi invece il mutamento è solo un'illusione, e così il movimento.

I: Ma noi ci muoviamo!

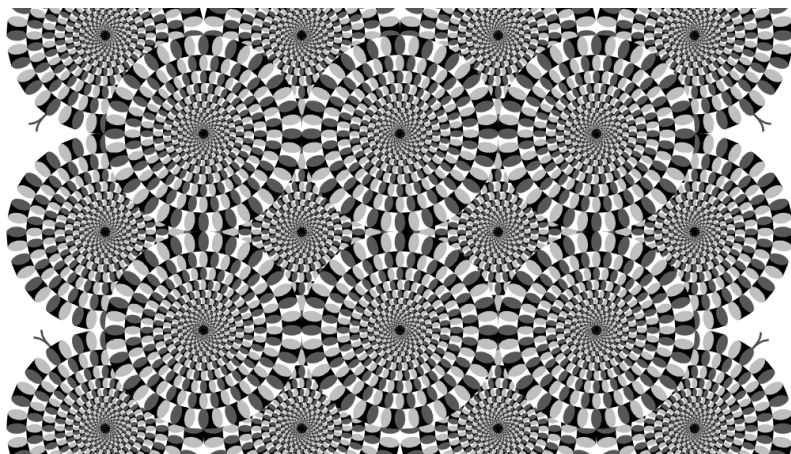
Z: Lei mi ricorda Diogene, lo stoico che viveva in una botte nel mercato di Atene. Quando gli riferirono le nostre idee lui si alzò e fece un giretto, pensando così di confutarle. Ma fidarsi dell'opinione anziché dalla verità, ossia giudicare la realtà in base all'apparenza, vuol dire agire secondo procedimenti illogici. L'esperienza fisica non è niente rispetto alla potenza del ragionamento, ed il ragionamento porta al fatto che il movimento non può esistere! L'Essere è ed il non-essere non è!

I: Mi ripeta il suo ragionamento per favore.

Z: Prendiamo il mio paradosso della freccia, che insieme a quello di Achille e la tartaruga è quello più conosciuto. Supponiamo di scagliare una freccia verso un bersaglio. Prima che arrivi al bersaglio però la freccia deve arrivare al punto di mezzo tra arco e bersaglio. E prima di arrivare lì deve arrivare al punto di mezzo del punto di mezzo, e così via. Ovvero, deve attraversare una infinità di punti di mezzo e quindi non può arrivare da nessuna parte!

I: Ma li attraversa in tempi sempre più piccoli!

Z: Beh, adesso, dopo Newton, per voi è tutto facile, ma Newton è vissuto duemila anni dopo di me. Il mio paradosso non ha fatto dormire generazioni di scienziati. Tanto per farvi capire come cercavano di aggirare il problema, pensiamo a quello che diceva Aristotele nella Fisica: *"il movimento è un insieme di punti distinti soltanto in 'potenza' e non in 'atto'. In atto il tempo e lo spazio sono un tutt'uno, di punti non distinti tra loro"*. Le sembra più chiaro?



"Rotating Snakes", illusione ottica di Akiyoshi Kitaoka e Hiroshi Ashida.²⁰

I: Effettivamente...

Z: Ovviamente adesso voi sapete qual è la soluzione del paradosso. Da una parte il fatto che sommando infiniti numeri, sempre più piccoli, si può ottenere un numero finito. Dall'altra, come diceva lei, che la freccia attraversa spazi sempre più piccoli in intervalli di tempo altrettanto piccoli, così che al limite il rapporto tra spazio percorso e tempo trascorso, ovvero la velocità media, diventa la velocità istantanea, che è proprio l'idea di derivata introdotta da Newton.

I: Certo, c'è voluto un grande sforzo intellettuale per capirlo! Ma come si poteva sostenere che il moto sia una illusione? Chiunque veda un sasso cadere, capisce che si muove!

Z: A parte che noi procedevamo per via esclusivamente logica, proprio voi moderni avete fornito i migliori argomenti per sostenere la nostra tesi. Ha presente il cinematografo, la televisione, il computer? Ha mai visto il filmato di un sasso che cade? Beh, questi strumenti si basano proprio sull'illusione del movimento. In realtà presentano immagini statiche ed il movimento viene "dedotto" dal cervello. E se lei pensa che questi esempi siano in fondo relativi a delle immagini mediate da un sistema

²⁰ Kitaoka A, Ashida H (2003), *Phenomenal characteristics of the peripheral drift illusion*. VISION 15:261-262.

artificiale, pensi a quello che succede in praticamente tutte le case: la vostra illuminazione “risparmiosa”, con scariche nei tubi a gas o con led, in realtà non è per nulla continua: si accende e si spegne 60 volte ogni secondo. Quindi vivete in una specie di discoteca con luci stroboscopiche e praticamente non vedete mai il movimento, solo immagini statiche molto fitte.

I: È vero! non ci avevo pensato! In effetti lo aveva detto anche Mach, qualche intervista fa...

Z: Dirò di più. Gli studiosi della Gestalt hanno scoperto che ci sono dei neuroni (anche se loro non li chiamavano così) dedicati alla percezione del movimento, che lo rivelano valutando la variazione di intensità tra due immagini consecutive acquisite dagli occhi. È possibile imbrogliare questi neuroni con immagini statiche come quella dei serpenti rotanti, che sembrano muoversi, e che sicuramente sarebbero state per me un ottimo argomento sperimentale per dimostrare che il movimento è illusione.

I: Giusto! Le ho viste su internet. Impressionante! Appena uno muove l'occhio ha la netta impressione che l'immagine sia cambiata.

Z: In casi molto rari, si può avere una lesione cerebrale localizzata in questi neuroni, il che comporta la perdita della sensazione del movimento, o acinetopsia. In questi casi un oggetto in movimento appare come una serie di immagini statiche. Ovviamente la vita diventa molto difficile, pensi come dev'essere attraversare la strada! Un momento prima un'auto è ferma e lontana e subito dopo è sempre immobile ma molto vicina. Un po' come giocare a “un due tre stella!” con tutto ciò che ci circonda!

Se volesse provare questa sensazione, sappia che l'acinetopsia può essere temporaneamente indotta utilizzando la stimolazione magnetica transcranica sull'area V5 anche in soggetti sani.

I: Pazzesco! Sembra effettivamente che lei avesse intuito qualcosa di molto importante.

Z: Ma non è tutto! Proprio recentemente sono stato molto rivalutato proprio dai fisici. In fondo io sostenevo che, come fanno i soggetti acinetopsici, QUANDO si guarda la freccia questa appare ferma e quindi come farà a muoversi un istante dopo? Beh, i fisici hanno scoperto che SE si guarda la freccia troppo spesso, effettivamente questa non si muove!

I: Non ci credo!

Z: Si parla di meccanica quantistica. Pensiamo ad un atomo eccitato, che tende a decadere nel suo stato fondamentale. Se lascio passare un intervallo di tempo piccolo rispetto al tempo tipico di decadimento, l'atomo sarà in una sovrapposizione di stati "atomo eccitato" - "atomo decaduto", con una grossa probabilità che sia ancora eccitato. Se faccio una osservazione, quasi certamente vedo che è ancora eccitato. Ma così facendo l'ho "costretto" nello stato eccitato e quindi è come se il suo orologio ripartisse da capo.

I: Ma la piccola probabilità di trovare l'atomo nello stato decaduto prima o poi verrà fuori!

Z: Sarebbe vero se la probabilità di decadere aumentasse linearmente nel tempo. Si può far vedere che in certi processi quantistici questa aumenta quadraticamente, il che vuol dire che per tempi corti l'aumento è molto, molto piccolo, e quindi effettivamente se guardo spesso la freccia, posso immobilizzarla!

I: Diavolo di uno Zenone! Aveva intuito anche gli effetti quantistici!

Z: O forse volevo solo mettere in imbarazzo i "saggi" che contestavano Parmenide! Chi può dirlo? Tanti saluti a tutti.

J. Robert Oppenheimer



RadioMoka S8E06 18 novembre 2017 (Voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/9N6JmbkVRn4>

I: Salve dottor Oppenheimer, come sta?

O: Beh, potrebbe andare meglio, preferirei essere ancora vivo, ma non mi lamento.

I: Lei è una figura controversa, un "pentito" della bomba atomica. Potrebbe raccontarci un po' la sua vita?

O: Beh, sono nato nel 1904 a New York. Come tanti scienziati, sono anch'io ebreo, i miei sono di origine tedesca. Da giovane mi interessavo solo alla fisica. Non leggevo mai giornali né riviste, non avevo radio, né telefono. Ho saputo sul crollo del mercato azionario del 1929 solo molto tempo dopo l'evento. La prima volta che ho votato è stato nelle elezioni presidenziali del 1936. A molti dei miei amici la mia indifferenza nei confronti degli affari contemporanei sembrava bizzarra e spesso mi dicevano che ero troppo intellettuale. Mi incuriosiva l'uomo e la sua esperienza; ero profondamente interessato alla mia scienza, ma non ho mai veramente capito le relazioni tra l'uomo e la società.

I: È sempre stato negli Stati Uniti?

O: No, sono stato a Cambridge, al Cavendish, e poi a Leida, Gottinga e Zurigo. Ho anche lavorato con Bohr ed infatti ancora si parla dell'approssimazione di Bohr-Oppenheimer.



Robert Oppenheimer nel 1944.²¹

²¹ https://en.wikipedia.org/wiki/J._Robert_Oppenheimer

I: Di che si tratta?

O: Delle proprietà oscillatorie delle molecole. In linea di principio, per capire come si comporta una molecola andrebbe risolta la funzione d'onda degli elettroni, considerando anche i nuclei mobili. Si tratta di un problema molto difficile, soprattutto senza computer. Bohr ed io pensammo che gli elettroni sono molto più leggeri dei nuclei e quindi potevamo usare una approssimazione a due tempi: prima consideravamo i nuclei fermi e quindi potevamo risolvere la funzione d'onda degli elettroni. In base a questa potevamo stimare la forza tra i due nuclei e quindi farli spostare di un po', ed infine ripetere il primo calcolo. Certo, per problemi complicati



*Melba Newell Phillips.*²²

ci vuole un computer, ma nei casi semplici si riusciva a trovare una ottima corrispondenza con gli spettri vibrazionali osservati sperimentalmente. Ovviamente, se poi ci sono delle modifiche strutturali nelle configurazioni degli elettroni al variare della distanza tra i nuclei, la nostra approssimazione non funziona.

Nel 1929 poi tornai in patria e divenni un buon insegnante e ricercatore.

I: Ma davvero era così poco interessato a tutto ciò che non era fisica? Nemmeno alle ragazze?

O: Beh, le ragazze mi interessavano, ma sono troppo strane. In quegli anni girava la storia che me la facessi con Melba Phillips, la mia prima dottoranda. Una volta la polizia trovò Melba addormentata in un'auto sulle colline di Berkeley. Quando la risvegliarono, disse che io avevo guidato la macchina fin lassù, ma che non aveva idea di cosa fosse stato di me. A forza di cercarmi, mi trovarono addormentato nella mia stanza. Tutti erano convinti che mi fossi dimenticato di lei in qualche modo e che fossi tornato a casa dimenticandomi anche dell'auto. In realtà era lei che

²² https://en.wikipedia.org/wiki/Melba_Phillips

si era addormentata in un posto strano, io le avevo lasciato l'auto e me ne ero andato semplicemente a letto.

I: Quindi lei era una persona perfettamente normale?

O: Forse ero veramente un po' troppo distratto. Per esempio, io mangiavo molto poco e soprattutto non mi curavo molto del gusto. Non riuscivo a capire che altre persone magari avrebbero voluto saziarsi di più. Accadeva spesso che i miei ospiti andassero via affamati.

I: Lei ha avuto anche delle altre disavventure con l'auto.

O: Mi piaceva guidare veloce. A quel tempo la mia auto era una roadster Packard di nome Geryda, il nome del messaggero degli dei in sanscrito. Agli inizi degli anni trenta mi schiantai con l'auto mentre stavo facendo le corse con un treno, vicino a Los Angeles. La mia passeggera aveva battuto la testa ed era svenuta, ero convinto che fosse morta. Mio padre le regalò un disegno di Cézanne ed un piccolo dipinto di Vlaminck per scusarsi.

I: Altre storielle?

O: Ma sono tutte esagerazioni... Per esempio, una volta chiesi a Leo Nedelsky di tenere una conferenza per me, perché dovevo andare a Pasadena. Lui era preoccupato, ma io lo tranquillizzai: "*è tutto scritto su un libro*". Quando glielo diedi però Nedelsky obiettò che il libro era in olandese. "*Ma è olandese facile!*" gli dissi io.

I: Ma poi alla fine si interessò alla politica...

O: A partire dalla fine del 1936, i miei interessi cominciarono a cambiare. Questi cambiamenti non hanno alterato le mie precedenti amicizie, le mie relazioni con i miei studenti, né la mia devozione alla fisica; ma avevano aggiunto qualcosa di nuovo. Posso vedere in retrospettiva più di una ragione per questi cambiamenti. Ero infuriato per il trattamento degli ebrei in Germania. Avevo dei parenti lì, che poi avevo aiutato a venire via. Ho visto cosa stava facendo la Grande Depressione ai miei studenti. Spesso non potevano ottenere posti di lavoro o, se li trovavano, erano posti di lavoro completamente inadeguati. E attraverso di loro ho cominciato a capire quanto profondamente gli eventi politici ed economici potevano influenzare la vita degli uomini. Ho cominciato a sentire la necessità di partecipare maggiormente alla vita della comunità. Ma non sapevo come.



*Jean Tatlock.*²³

Nella primavera del 1936 poi incontrai Jean Tatlock, che era allora venticinquenne e stava facendo il dottorato in psichiatria a Stanford. Suo padre era un professore di letteratura medievale a Berkeley, ben noto per le sue opinioni di destra. Viceversa, la figlia si era sempre più impegnata in attività di sinistra e, quando mi incontrò, era un membro attivo del partito comunista e mi presentò ai suoi amici. Aveva capelli scuri, era alta e snella, con gli occhi verdi, una combinazione di bellezza ed intelligenza che trovai irresistibile. Siamo stati almeno due volte abbastanza vicino al matrimonio, ma ogni volta che stavamo lì per sposarci Jean scappava via. Gran parte dei suoi problemi derivavano dal suo stato di depressione. Nel 1944 poi si suicidò, o almeno sembra che si sia suicidata. C'è chi sospetta che sia stata assassinata.

I: Quindi anche lei era comunista...

O: No, non sono mai stato comunista, non mi sono mai iscritto al partito. È stato solo un momento. Poi la sera prima di Pearl Harbor andai in un grande party di sostegno per i repubblicani spagnoli ma il giorno dopo, quando abbiamo sentito la notizia dello scoppio della guerra, ho deciso di aver dato abbastanza per la causa spagnola e che c'erano altri problemi più urgenti al mondo...

I: E si mise a lavorare alla bomba atomica.

O: Si andava di fretta a quei tempi. La fissione nucleare fu scoperta solo nel '39 da Otto Hahn e Fritz Strassmann e poi correttamente interpretata

²³ <http://blog.nuclearsecrecy.com/2015/12/11/the-curious-death-of-oppenheimers-mistress/>

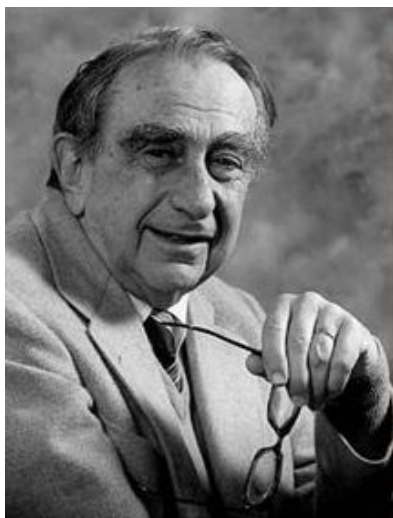
da Lise Meitner e Otto Frisch. Nel '41 incominciammo a lavorare alla separazione dell'uranio 235. Mi misero a capo del team, nonostante non avessi nessuna esperienza organizzativa e non avessi un premio Nobel. Non c'erano esperti, il campo era troppo nuovo.

I: Lei guidò il progetto Manhattan.

O: Fu un gran lavoro. Si lavorò su due linee diverse: la bomba ad uranio 235, più semplice come concetto, ma difficile da produrre in quanto l'uranio 235 è chimicamente uguale a quello più comune, il 238, e quindi si dovette procedere per via fisica, usando delle enormi centrifughe. Alternativamente si può usare il plutonio 239, che si ottiene dall'uranio 238 usando un reattore nucleare. Fu il gruppo di Fermi a produrlo, a Chicago. La prima bomba atomica che fu fatta esplodere nel Trinity test fu al plutonio, come quella che lanciammo su Nagasaki, mentre la bomba di Hiroshima era all'uranio.

I: Ma poi lei si pentì!

O: Abbiamo fatto il lavoro del diavolo! Le bombe sono bombe ed uccidono le persone, inutile negarlo o nascondersi dietro la beltà della fisica come fece Fermi. Io sono sempre stato consapevole della mia responsabilità, ma c'era da battere Hitler. Dopo la fine della guerra però non c'erano più alibi. Avevamo davanti due strade: sviluppare le bombe atomiche come strumento tattico o strategico. Nel primo caso, si sarebbero dovute usare bombe di piccola potenza, solo nei teatri bellici, come arma di difesa. In qualche maniera sarebbero state come le bombe tradizionali, solo più potenti, ma non di molto, e le avevamo già. Nel secondo caso invece si sarebbero dovute sviluppare bombe molto più potenti, le bombe



Edward Teller.²⁴

²⁴ https://it.wikipedia.org/wiki/Edward_Teller

a fusione o bombe H, e sviluppare un sistema di aerei a lungo raggio o missili per poter annientare il nemico sul suo territorio. Edward Teller era il propugnatore di questa seconda visione ed ovviamente vinse lui. Io venni estromesso e poi anche incriminato come comunista. Per fortuna Einstein prese le mie difese ed io potei ritirarmi come direttore dell'*Institute for Advanced Study* di Princeton, dove lavorava anche lui. Solo nel '63 mi riabilitarono in qualche modo, con il premio Enrico Fermi.

I: La sua è stata una vita difficile.

O: Mi hanno attribuito questa frase: "L'ottimista pensa che questo sia il migliore dei mondi possibili. Il pessimista sa che è vero". In realtà la frase è di James Branch Cabell, ma la condivido in pieno.

I: Grazie per l'intervista ed arrivederci.

O: Chiamatemi pure quando volete.

Max Planck



RadioMoka S8E07 25 novembre 2017 (voci di Giovanna Pacini e Mirko Duradoni).

<https://youtu.be/oB7b8AfHVNc>

I: Buongiorno Professor Planck, grazie di essere venuto a RadioMoka.

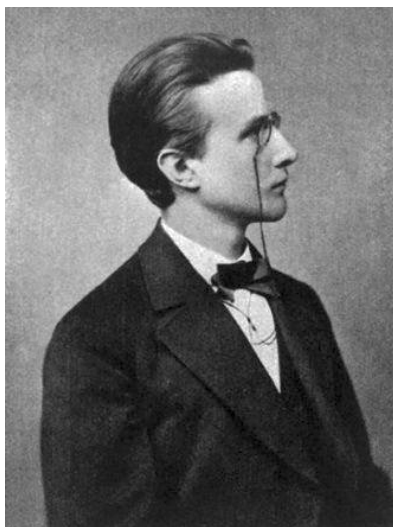
P: Grazie a voi di aver pensato a me. Non sono certo una star della fisica!

I: Ma che dice, professore! Lei ha dato inizio alla rivoluzione della fisica quantistica!

P: Beh, Segrè mi ha definito un rivoluzionario contro voglia. Ebbene, credo che avesse ragione. Sono sempre stato un conservatore, sia di idee che di spirito, con un carattere schivo. Eppure, sia io che la mia famiglia siamo stati per così dire costretti a metterci in luce. Sono nato nel 1858 a Göttinga, in una famiglia protestante dedita allo studio della legge. Quanto di più conservatore si possa pensare.

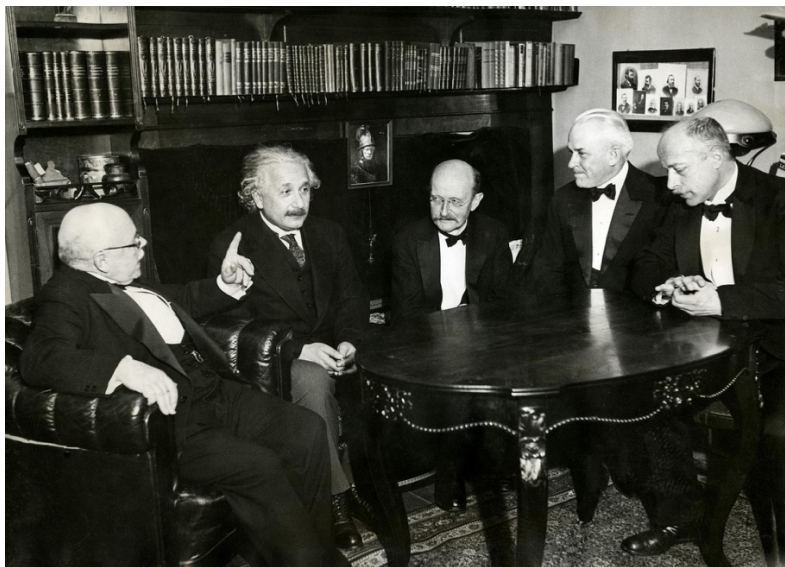
I: È vero che lei in realtà si chiamava Karl Marx?

P: Io mi chiamo, secondo il certificato di battesimo, Marx Karl Ernst Ludwig Planck, ma mi hanno sempre chiamato Max. Credo che quel Marx sia



Max Planck nel 1878.²⁵

²⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Max_Planck



*Da sinistra a destra: W. Nernst, A. Einstein, M. Planck, R.A. Millikan
e M. von Laue ad una cena a Berlino l'11 novembre 1931.²⁶*

stato un errore di trascrizione, forse il prete era comunista e ha fatto un lapsus freudiano compilando il certificato.

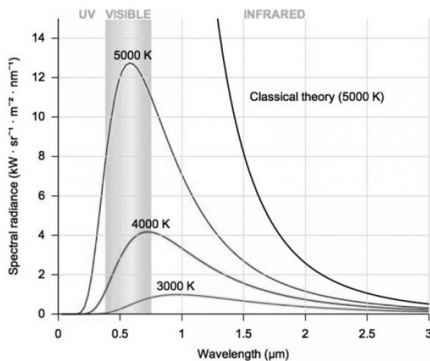
I: E come mai si è interessato alla fisica?

P: Grazie al mio insegnante di matematica del liceo, Hermann Müller, che mi introdusse allo studio dell'astronomia e della meccanica. Tuttavia, quando ero già all'università di Monaco, il mio professore di fisica, Philipp von Jolly, cercò di dissuadermi a continuare quella carriera, dicendomi che ormai il quel campo tutto era già stato scoperto e che rimanevano da riempire solo pochi "buchi", una frase spesso attribuita a Lord Kelvin. Io risposi che non volevo scoprire nulla di nuovo, solo capire come funzionava il mondo. Ma credo che il professor von Jolly volesse solo mettermi alla prova. Nonostante quello che si dice, tutti i fisici della fine dell'800, e Kelvin per primo, sapevano che c'erano dei grandi misteri irrisolti.

²⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Max_Planck

I: E quali erano?

P: Proprio quelli che avrebbero dato origine alla fisica moderna: Il fallimento dell'esperimento di Michelson e Morley, ovvero la costanza della velocità della luce, il fallimento del teorema di equipartizione dell'energia, che si riflette nel fatto che i calori specifici dei gas non tornavano con il modello meccanico, ed infine lo spettro del corpo nero.



Lo spettro di un corpo nero.

I: Il famoso corpo nero... Ce ne può parlare?

P: Il problema era quello di ricavare la quantità di energia che un corpo nero, riscaldato ad una certa temperatura, emetteva per una certa lunghezza d'onda. Ero stato incaricato da una ditta che produceva lampadine perché studiassi il sistema di massimizzare la luce prodotta. Si conosceva la forma dello spettro per via sperimentale, ma non si riusciva ad ottenerla per via teorica.

I: E come è fatta la curva sperimentale?

P: È una curva a campana, un po' storta. La curva va a zero sia per le lunghezze d'onda molto piccole che per le lunghezze d'onda grandi ed ha un massimo la cui posizione dipende dalla temperatura. Lo spettro della radiazione solare è molto simile a quello di un corpo nero, a parte l'assorbimento da parte dell'atmosfera.

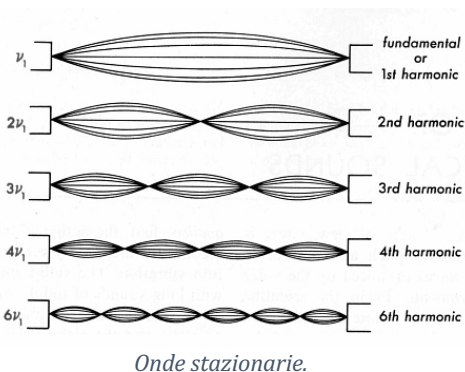


Un corpo nero è ben approssimato da una cavità con un foro.

I: E perché nero?

P: Semplicemente per far sì che lo spettro non sia influenzato

dal colore del corpo. Un corpo colorato, diciamo rosso, riflette quella parte della radiazione incidente, che corrisponde alla lunghezza d'onda del rosso. Un corpo nero invece assorbe tutta la radiazione incidente e quindi emette delle radiazioni solo in funzione della sua temperatura. Una buona approssimazione per un corpo nero è una cavità con un piccolo foro. Tutta la radiazione che entra sarà assorbita dalle ripetute collisioni con le pareti.



I: E poi?

P: Se la cavità è scavata in un materiale conduttore, allora sappiamo dalle equazioni di Maxwell che nella cavità ci possono stare solo delle onde stazionarie, come se fossero le oscillazioni di una corda elastica con estremi fissi. La lunghezza d'onda più lunga è pari al doppio dell'ampiezza della cavità, ma non c'è limite inferiore alle lunghezze d'onda più piccole. Ogni lunghezza d'onda ha una energia associata.

Ora, classicamente questa energia può essere di qualsiasi intensità ed il teorema di equipartizione dice che l'energia si dovrebbe distribuire ugualmente tra tutti i modi di oscillazione. Quindi, a qualsiasi temperatura, una cavità dovrebbe emettere anche raggi X e gamma, cosa che non succede.

I: E come ha risolto il problema?

P: Anche se lì per lì non me ne sono reso conto, ho supposto che l'energia fosse quantizzata, con il quanto di energia che diventa sempre più grande con il diminuire della lunghezza d'onda. In questa maniera, per una certa energia totale non si possono "eccitare" le frequenze troppo alte, ovvero le lunghezze d'onda troppo corte, e tutto torna. È stato un atto "matematico" di disperazione. Avevo già lottato 6 anni con il problema del corpo nero. Sapevo che il problema era fondamentale e ne conoscevo la legge empirica. Una spiegazione teorica doveva trovarsi a

qualunque costo, salvo l'inviolabilità delle due leggi della termodinamica.

I: Ma poi si è convinto della realtà dei quanti?

P: Nonostante il lavoro di Einstein del 1905 sull'effetto fotoelettrico, mi sono ostinato per molto tempo a cercare di riconciliare la mia scoperta con la fi-

sica classica, prima di ammettere che quello che consideravo un artificio matematico potesse avere un senso fisico. Si immagini che nel 1914, quando Einstein era stato raccomandato per l'adesione all'Accademia Prussiana, scrissi nella raccomandazione: *"può a volte mancare il bersaglio nelle sue speculazioni, come, ad esempio, nella sua ipotesi dei quanti di luce"*.

I: Lei però era molto favorevolmente impressionato da Einstein.

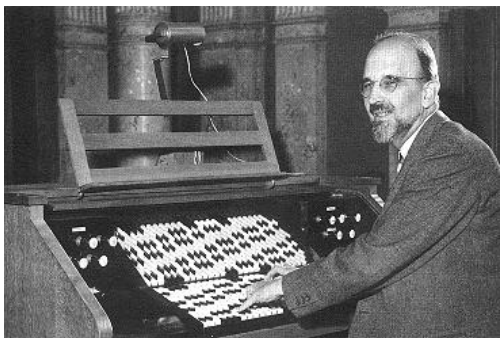
P: Posso dire che sono stato il primo a riconoscere l'importanza della sua teoria della relatività ed a sostenerla quando non era accettata da nessuno.

I: Lei è stato anche il portavoce della fisica tedesca.

P: È stato terribile, il nazismo si stava affermando ed io, che sono pur sempre stato un conservatore, non l'ho mai digerito, ma bisognava preservare gli scienziati dalle persecuzioni. Andai anche a parlare con il Führer per cercare di fargli abbandonare le sue peggiori aberrazioni, ma fui messo alla porta.

I: La sua vita privata non è stata facile.

P: Diciamo pure che è stata una tragedia dopo l'altra. La mia prima moglie, Marie Merck, morì nel 1909 di tubercolosi, mia figlia Grete morì di parto nel 1917 e sua sorella, che aveva sposato il vedovo, subì lo stesso



Adriaan Fokker ed il suo organo nel 1950.²⁷

²⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Adriaan_Fokker

destino due anni dopo. Il mio primogenito Karl morì a Verdun ed infine il mio carissimo secondogenito Eric fu fucilato dai nazisti nel 1945 per aver tentato di assassinare Hitler.

I: Lei è conosciuto anche per l'equazione di Fokker-Planck. Ce ne vuole parlare?

P: Beh, è stato essenzialmente il lavoro di Adriaan Fokker, un mio dottorando olandese, anche se è nato in Indonesia, che a quei tempi era appunto olandese. Era appassionato come me di musica, ha anche inventato un tipo di organo, ed era anche il cugino di Antony Fokker, l'inventore degli aerei tedeschi della prima guerra mondiale. Adriaan fu quello che aiutò, insieme a Dirk Coster e Otto Hahn, a organizzare la fuga di Lise Meitner dall'Austria all'Olanda.

Nel 1913, per il suo lavoro di dottorato, svilupparammo l'equazione che adesso si chiama di Fokker-Planck, che fu poi riscoperta anche da Kolmogorov nel '31. Ovviamente, come quasi sempre, la prima intuizione la ebbe Einstein nel 1905, ma noi la generalizzammo. L'idea è semplice. Prendiamo un processo governato in parte da un termine casuale, per esempio il moto di una particella di polline in acqua, soggetta a qualche forza esterna ma anche all'agitazione termica delle molecole circostanti. La traiettoria sarà irregolare, il cosiddetto moto Browniano. Possiamo pensare di studiare tante copie del sistema, pensando, per esempio, di sovrapporre in qualche maniera la posizione delle copie delle particelle. Se iniziano tutte da una stessa posizione, è come osservare una macchia di inchiostro che segue la corrente dell'acqua circostante e contemporaneamente si spande.

Possiamo quindi pensare di descrivere la probabilità di trovare la particella in una determinata posizione ad un certo tempo, che è data dalla probabilità di trovare la particella in un'altra posizione al tempo precedente, moltiplicata per la probabilità di saltare dalla posizione precedente a quella attuale. Bisogna poi sommare su tutte le possibilità e si ottiene quella che oggi voi chiamate equazione di Kolmogorov in avanti nel tempo. È un'equazione integro-differenziale, difficile da risolvere. Se però i salti sono solo locali, ovvero la particella non cambia di troppo la sua posizione (il che nell'esempio del grano di polline implica che il moto dell'acqua circostante non sia troppo turbolento) allora si può manipolare l'equazione ed ottenere una equazione alle derivate parziali, che è più facile da maneggiare. L'equazione di diffusione ottenuta da Einstein

nel 1905 è proprio il caso più semplice della nostra equazione di Fokker-Planck.

I: Lei è sempre molto chiaro. Aveva ragione Lise Meitner a dire che le sue lezioni erano le migliori che avesse mai sentito. La ringrazio di nuovo per il tempo che ha voluto dedicarci.

P: Sono io che la ringrazio, era molto tempo che non parlavo con nessuno.

William Thompson - Lord Kelvin



RadioMoka S8E08 2 dicembre 2017 (voci di Giovanna Pacini e Lorenzo Buffoni).

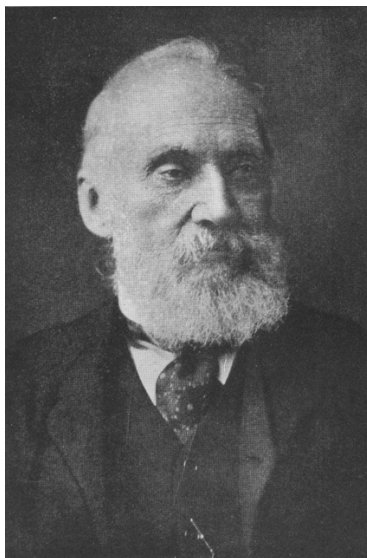
<https://youtu.be/-r3pbKhZ0BM>

I: Buongiorno professor Kelvin, benvenuto a RadioMoka.

K: Non per essere pedante, ma prima di essere professore sono un Lord.

I: Scusi, Sir Kelvin, non succederà più. Può raccontarci velocemente la sua vita?

K: Sono nato in Irlanda, a Belfast, nel 1824, come William Thompson. Mio padre era un professore di matematica ed ingegneria, mia madre morì quando avevo solo 6 anni. Nel '32 ci spostammo a Glasgow ed in seguito viaggiammo a Londra, Parigi, nella Germania e nei Paesi Bassi.



I: Dove ha studiato?

Lord Kelvin nel 1917.²⁸

K: Praticamente sempre all'università. Entrai all'università di Glasgow a 10 anni, ma non ero un bambino prodigio, semplicemente l'università aveva dei corsi per i ragazzi brillanti di quell'età. Ma mi dimostrai presto piuttosto dotato in matematica e mi innamorai del saggio di Fourier sulla propagazione del calore, che invece veniva attaccato dai miei colleghi perché Fourier usava la notazione di Leibnitz, mentre da noi andava ancora per la maggiore lo schema introdotto da Newton.

²⁸ https://it.wikipedia.org/wiki/William_Thomson,_I_barone_Kelvin

I: È stato sempre a Glasgow?

K: No, l'università vera e propria l'ho fatta a Cambridge, dove però ho avuto una cocente delusione. Al momento della tesi in matematica a Cambridge c'è una competizione per l'allievo più bravo, un test durissimo i cui risultati venivano addirittura pubblicati dal Times. Ero talmente sicuro che sarei il primo "*wrangler*" che inviai il mio valletto ad informarsi sui risultati per sapere chi era arrivato secondo. "*È lei*", mi rispose...

I: Ci dev'essere rimasto piuttosto male.

K: Sì, ma mi ripresi velocemente. Nel 1845 riuscii a dimostrare che l'induzione elettrostatica si comporta come il calore, in effetti obbediscono alle stesse equazioni.

I: Ma lei è famoso soprattutto per i suoi lavori in termodinamica!

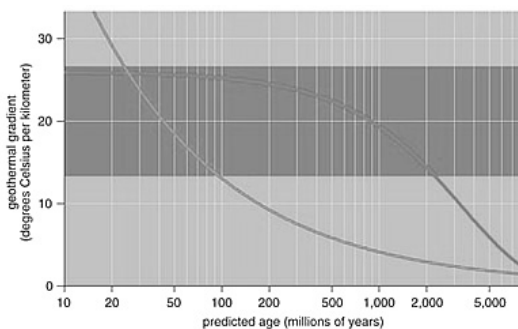
K: Nel 1847 assistetti ad un seminario di Joule che tentava di opporsi alla teoria del calorico, che però aveva ricevuto un grande impulso dal libro di Carnot sulla potenza motrice del fuoco e sulla possibilità quindi di produrre macchine termiche efficienti. In realtà Carnot aveva ragione, anche se usava un argomento sbagliato e Joule non aveva dietro di sé una matematica sufficientemente progredita.

I: E quindi arrivò lei...

K: Può dirlo forte. In particolare, ho definito la scala assoluta delle temperature, detta appunto scala kelvin, e riuscii a coniugare le idee di Carnot sul "calore perduto" con il principio di conservazione dell'energia di Joule, arrivando a formulare la seconda legge della termodinamica, ovvero che non si può estrarre del lavoro da una sola sorgente di calore, raffreddandola. Intuii anche l'idea che qualcosa, che poi Clausius identificò con l'entropia, dovesse sempre aumentare nei processi irreversibili e che quindi avrebbe portato alla morte termica dell'universo.

I: Ovvero?

K: Ai miei tempi non si conosceva l'espansione dell'universo, che era considerato statico, e neppure i processi nucleari. Quindi avevo stimato l'età del Sole e della Terra supponendo semplicemente che si fossero riscaldati per il collasso gravitazionale e si fossero quindi raffreddati lentamente. Feci i calcoli sfruttando la mia conoscenza della legge di trasmissione del calore di Fourier e delle misure fatte nelle caverne ed arrivai



John Perry ed il grafico dell'andamento della temperatura terrestre nel tempo.²⁹

ad una stima concorde di un'età tra 24 e 400 milioni di anni per l'universo. Continuando a raffreddarsi comunque avrebbe finito per arrivare tutto alla stessa temperatura, ovvero alla morte termica.

I: Ma l'universo è molto più vecchio!

K: È quello che continuavano a dirmi i geologi, che sostenevano un'età della Terra dell'ordine dei miliardi di anni sulla base del tasso di erosione, ed anche i biologi come Darwin, che avevano bisogno di miliardi di anni per far evolvere le specie. E quel che è peggio, vennero appoggiati da un mio collaboratore, John Perry!

I: Che diceva Perry?

K: Osava sostenere che io avessi sbagliato a considerare il raffreddamento per conduzione, quello tipico dei corpi solidi. In realtà, diceva lui, il centro della Terra e del Sole è liquido e quindi bisogna considerare i moti convettivi.

I: Ma i moti convettivi sono molto più efficienti della conduzione nel trasporto del calore e quindi la Terra avrebbe dovuto raffreddarsi ancora più in fretta!

K: Questo è lo stesso errore che fecero molti dei miei contemporanei. Ma le premesse sono sbagliate! Non conosciamo le condizioni iniziali, ovvero quanto era calda la Terra all'inizio, ma le condizioni alla frontiera,

²⁹ <https://malagabay.wordpress.com/2015/07/17/soft-centred-science/>

ovvero il gradiente termico per una piccola profondità. Se si prende il mio modello di Terra solida e si inserisce il gradiente misurato, si trova una temperatura interna che aumenta gradualmente e quindi una Terra piuttosto fredda. Viceversa, nel modello di Perry abbiamo una sottile crosta solida ed un mantello liquido. L'aumento di temperatura è altamente non-lineare, quindi, anche con una crosta fredda, si può avere un cuore liquido ed incandescente!

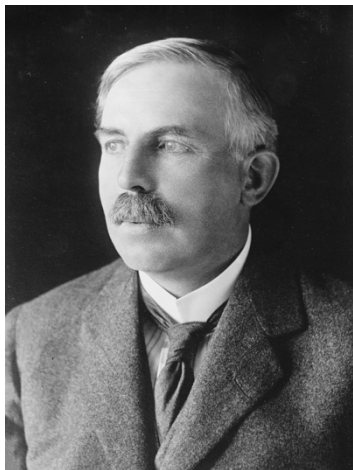
I: Una specie di tortino di cioccolato con il cuore morbido!

K: Già. Adesso sapete che il modello di Perry poteva anche spiegare la deriva dei continenti, che possono galleggiare sul cuore liquido della Terra. Per fortuna Perry mi venerava e non ebbe mai il coraggio di sostenere con vigore le sue idee, che vennero così riscoperte solo molto tempo dopo.

I: Ma il riscaldamento della Terra non è dovuto anche al decadimento radioattivo dell'uranio?

K: Questo venne scoperto dopo. Ricordo che nel 1904, quando già ero molto vecchio, Rutherford venne a dare un seminario alla Royal Institution, a proposito di rocce contenenti uranio che decadendo aveva prodotto del piombo. Ebbene, quel briccone, stimando la quantità di queste sostanze aveva calcolato che solo l'età di quella roccia era di 500 milioni di anni, allungando quindi enormemente l'età della Terra. Rutherford, quando mi vide tra il pubblico, fu terrorizzato, sapendo con quanta vemenza ero solito sostenere i miei argomenti.

I: E che successe?



Ernest Rutherford nel 1908.³⁰

³⁰ https://it.wikipedia.org/wiki/Ernest_Rutherford

K: Io feci finta di addormentarmi, una cosa in effetti che mi accadeva di frequente alle conferenze, e così lui poté esporre tutta la parte tecnica. Ma al momento delle conclusioni aprii gli occhi e lo fissai!

I: E poi?

K: Quel furbone si ricordò che nel mio saggio sull'età del Sole avevo specificato quali erano le premesse da cui partivo. Così disse: *"Lord Kelvin ha correttamente stabilito l'età della Terra a patto che nessuna nuova sorgente di calore venisse scoperta. Ma la radioattività produce calore e quindi le stime vanno cambiate!"*. Mi aveva fregato!

I: Quindi è la radioattività e non la convezione ad allungare l'età della Terra?

K: In realtà l'effetto è congiunto, diciamo più o meno metà e metà! E ovviamente adesso sapete che l'energia del Sole è dovuta solo in piccola parte al collasso gravitazionale ed in gran parte alla fusione dell'idrogeno, il che permette alle stelle piccole come il nostro Sole di brillare per miliardi di anni.

I: Quindi ammette l'errore!

K: A dire la verità, adesso che sono morto da molto tempo, posso dire di aver espresso dei giudizi leggermente affrettati. Per esempio, quando mi invitarono a diventare membro della società aeronautica dissi che non credevo assolutamente che si potesse volare con mezzi più pesanti dell'aria. E nel 1900 dissi che i raggi X erano una truffa e non esistevano.

I: Penso che la comunità scientifica l'abbia perdonato, visti i suoi enormi contributi. Arrivederci, Sir Kelvin.

K: Tanti saluti a lei ed ai suoi ascoltatori.

Michael Faraday



RadioMoka S8E09 9 dicembre 2017 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

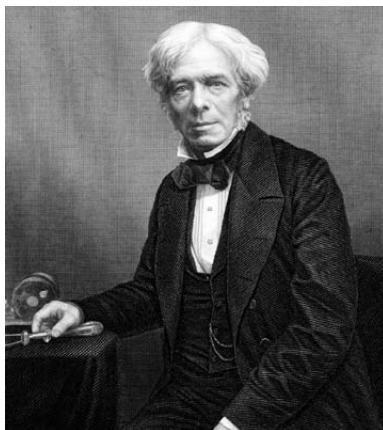
<https://youtu.be/Zd2tNJJqTOY>

I: Buongiorno professor Faraday.

F: Grazie per il buongiorno, ma non sono né professore né dottore. Sono solo un ricercatore appassionato.

I: Già, lei non ha avuto una formazione accademica...

F: Tutt'altro. Sono nato nel 1792 nel villaggio di Newington, vicino a Londra e mio padre era un fabbro. I miei non avevano certo i soldi per farmi studiare ed a 14 anni dovetti andare a lavorare. Per fortuna ero piuttosto abile con le mani, così invece di battere il ferro, andai a fare il rilegatore di libri in una libreria.



Michael Faraday.³¹

I: E questo lavoro le piaceva?

F: Certo! Sono sempre stato un buon artigiano ed in più in questa maniera potevo leggere un bel po' di libri, che non avrei certo potuto permettermi.

I: E come si è avvicinato alla scienza?

F: Leggendo un libro sulla chimica ed alcune voci dell'Enciclopedia Britannica. Venni a sapere delle ricerche di un vostro connazionale, Alessandro Volta, e mi costruii una pila usando dei nichelini.

³¹ http://www.dima.unige.it/~denegri/PLS2/PENSIERO_SCIENTIFICO%20DEF/QUATTRO_INTERAZIONI/Pages/EsperimentoFaraday.htm

I: E poi incontrò Humphrey Davy...

F: Già. Sir Davy era un frequentatore della libreria ed il mio capo riuscì a convincerlo a farmi assistere alle sue lezioni. A quel tempo la scienza era davvero popolare e c'erano fior fiore di gentiluomini, ma anche di donne, che pagavano per assistere alle lezioni di Davy. Lui poi era un vero dandy, a suo agio con la nobiltà. Era il direttore della Royal Institution.

I: Che non è la Royal Society...

F: No davvero! La Royal Society era formata da degli appassionati di scienza, certo, ma in senso molto elitario, tutta gente che veniva da Cambridge o da Oxford. C'erano sì stati Hooke e Newton nella Royal Society, ma questa non aveva certo uno scopo didattico. Invece la Royal Institution nacque per volere di Lord Rumford, ovvero Benjamin Thomson, che si era reso conto del distacco che avevamo accumulato con la Francia. Là, lo spirito enciclopedico si era tradotto in una serie di iniziative di promozione scientifica. Subito dopo la rivoluzione e l'ascesa al potere di Napoleone le istituzioni scientifiche francesi avevano realizzato una rivoluzione culturale non meno impetuosa di quella politica, mentre noi stavamo ancora a discorrere sui serpenti di mare e le pecore a due teste.

I: E quindi?

F: All'inizio, la Royal Institution avrebbe dovuto formare dei tecnici di alto livello, ma la sconfitta di Napoleone nel 1815 fece passare in secondo ordine questa esigenza e mentre Davy era direttore si trasformò piuttosto in un laboratorio di ricerca.



*Humphrey Davy,
da un'incisione del 1830.³²*

³² https://en.wikipedia.org/wiki/Humphry_Davy

I: E lei come ci entrò?

F: Grazie alla mia abilità artigiana. Seguì le lezioni di Davy e per ringraziarlo rilegai gli appunti che avevo preso, con tanto di disegni, e glieli regalai. Fu così colpito dalla mia coscienziosità da assumermi come pulitore di vetreria di laboratorio.

I: Come? Non come assistente?

F: Voleva mettermi alla prova, offrendomi un lavoro di così basso livello. Se avessi accettato sarebbe stato il segno che ero veramente disposto a tutto per entrare in un laboratorio, cosa che feci.

I: Fu bene accolto nonostante non fosse acculturato?

F: Evidentemente il mio valore emerse, diventai assistente di Davy e poi addirittura lo sostituii alla guida della Royal Institution. Ma non fu facile, per esempio quando Davy nel 1813 partì per un tour europeo, mi chiese di seguirlo.

I: Come un tour europeo? Non eravate in guerra con la Francia?

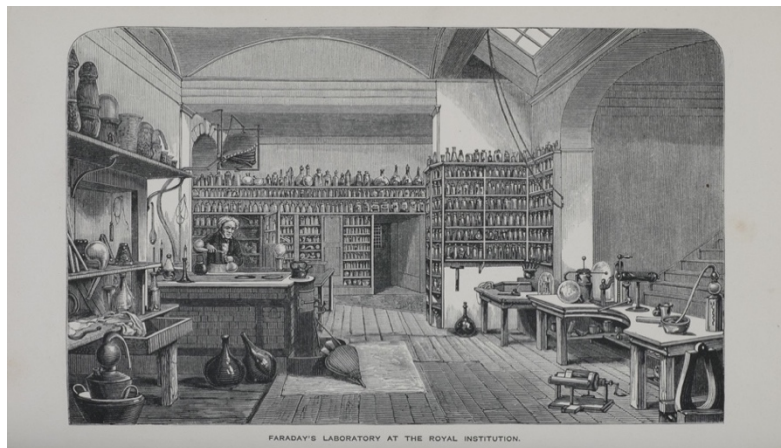
F: Bisogna dire che Napoleone apprezzava veramente la scienza, lui stesso si è sempre definito Accademico prima che Imperatore. Fornì quindi un lasciapassare a Davy che gli permetteva di viaggiare in tutti i territori sotto l'influenza francese, ovvero praticamente in tutta Europa.

I: Fu un'esperienza interessante?

F: Dal punto di vista intellettuale certamente, fu un'occasione unica. Ma dal punto di vista umano, fu terribile. Il cameriere di Davy non volle lasciare l'Inghilterra, così mi chiesero di fare il valletto fino a Parigi. Ma poi neppure lì riuscimmo a trovare un sostituto e dovetti continuare a fare il servitore. In particolare, la moglie di Davy, Jane Apreece, rifiutò di trattarmi come un pari grado e mi rese la vita così miserevole che considerai spesso l'idea di tornare da solo in Inghilterra e rinunciare completamente alla scienza. Ma grazie alla mia fede resistetti e sopportai tutto.

I: Di che fede era?

F: Sandemaniano, una setta di origine scozzese molto vicina al cristianesimo delle origini e quindi decisamente avversa alla chiesa anglicana. Anche Newton era sotto sotto un antitrinitariano come noi. Crediamo nel duro lavoro, nella modestia e nel riconoscimento divino dei nostri sforzi, cosa che puntualmente avvenne.



Il laboratorio di Faraday alla Royal Institution in una incisione del 1870.³³

I: In che senso? Vi aspettavate la ricompensa?

F: Affatto. Uno deve agire sempre secondo giustizia e compassione. Ho aiutato tanta gente che non ce la faceva a vivere dignitosamente ed ho pagato gli studi a molti ragazzi poveri. Per fortuna ho incontrato un'anima gemella, mia moglie Sara Barnard, anche lei sandemaniana, che mi ha sempre supportato ed aiutato.

I: Parliamo delle sue scoperte.

F: Come avrà capito, io sono stato essenzialmente uno sperimentatore, dato che mi mancavano completamente le basi matematiche. Ma grazie alla mia tenacia, documentata dagli innumerevoli libri di laboratorio che ho lasciato, sono riuscito a capire qualcosa del magnetismo. La forza magnetica è misteriosa, perché sembra avere più origini. Da una parte ci sono i materiali magnetici, dall'altra le azioni delle correnti e nel mezzo ci sono i materiali ferromagnetici, che si comportano in maniera diversa da quelli paramagnetici e da quelli diamagnetici. L'elettricità è molto più semplice: ci sono cariche positive e negative. Ma i poli magnetici non si possono separare, se si spacca una calamita i due frammenti avranno sempre un polo nord ed uno sud. Inoltre, le correnti agiscono sui

³³ https://en.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday#/media/File:Faraday_Laboratory_1870_Plate_RGNb10333198.05.tif

materiali magnetici, ma solo quando c'è una variazione. Anche il grande Ampère, che aveva determinato gli effetti meccanici tra due fili di corrente, non ci capiva nulla. Alla fine, dimostrai che gli effetti del campo magnetico sui conduttori si verificavano solo quando il flusso magnetico variava. Feci vedere che avvicinando una calamita o un solenoide percorso da corrente ad una spira, si induceva una corrente nella spira stessa.

I: Lei ha anche inventato il motore elettromagnetico.

F: Diciamo che ci sono andato vicino. L'idea era nell'aria e Davy voleva arrivarci prima di tutti. Sapeva che io ero più abile di lui e quindi mi proibì di lavorare sull'argomento. Mi toccò aspettare la sua morte per riuscire a far girare una sbarretta percorsa da corrente immersa in un bicchiere con del mercurio, che faceva da contatto rotante, dentro un campo magnetico.

I: Lei è stato anche un chimico...

F: Sì, ho scoperto le leggi che portano il mio nome e che praticamente dimostrano la quantizzazione della carica elettrica, ovvero dell'elettrone, visto che in una elettrodeposizione la quantità di materia depositata è sempre un multiplo del peso atomico della sostanza, a seconda del suo grado di ionizzazione.

I: E infine riuscì a dimostrare un effetto del magnetismo sulla luce...

F: Capire la natura della luce mi ossessionava. Adesso voi sapete che è una radiazione elettromagnetica, ma ai miei tempi c'era ancora lo strascico della disputa tra Newton, che sosteneva l'ipotesi corpuscolare, e Huygens che invece sosteneva quella ondulatoria. Ma se erano onde, si doveva riuscire a perturbare il mezzo in cui si propagavano. Alla fine,



Michael Faraday con la moglie Sarah Barnard.³⁴

³⁴ https://twitter.com/ri_science/status/766630636274745344

riuscii a dimostrare che un campo magnetico faceva ruotare il piano di polarizzazione della luce in un vetro. Oggi voi sapete che questo è dovuto all'interazione della luce con gli elettroni presenti negli atomi del vetro. Purtroppo, non mi riuscì di trovare un effetto analogo per la gravità.

I: Strano che lei non sia seppellito in Westminster come Newton.

F: Ci mancherebbe altro! Non ho mai voluto altro che riconoscimenti scientifici e mai mi sono piegato a fare altro che scienza. Quando durante la guerra di Crimea, nel 1853-56, il governo bri-

tannico mi chiese di contribuire alla realizzazione di armi chimiche dissi che i miei principi etici non me lo permettevano. Con uguale fermezza rifiutai anche i vantaggi sociali ed economici di una nomina a cavaliere e, per ben due volte, la nomina a presidente della Royal Society. Solo nel 1848 accettai l'abitazione ad Hampton Court che mi fu offerta dalla casa reale inglese, come riconoscimento per le sue scoperte scientifiche. E alla mia morte rifiutai anche il privilegio di essere sepolto nel pantheon inglese. Da sandemaniano avevo deciso che neppure da morto avrei mai varcato la soglia di una chiesa anglicana, tantomeno per restarci.

I: Lei è stato veramente un tipo tosto. Complimenti, signor Faraday!

F: Grazie dell'intervista, anche se non sono sicuro di non aver travalicato i miei principi rilasciandola. Buon lavoro.



André-Marie Ampère.³⁵

³⁵ https://it.wikipedia.org/wiki/André-Marie_Ampère

Lise Meitner



RadioMoka S8E10 16 dicembre 2017 (voci di Giovanna Pacini e Giulia Cencetti).

<https://youtu.be/JALSLomsZoA>

I: Finalmente una donna! Benvenuta professoressa Meitner.

M: Buongiorno a voi.

I: Lei è una delle poche scienziate che sono diventate famose. Mi piacerebbe che in questa intervista affrontassimo anche il tema delle donne e la scienza, ma prima vorrei che ci raccontasse un po' la sua storia.

M: Volentieri. Sono nata nel 1878 in una famiglia ebrea, a Vienna.

I: Molti fisici famosi sono ebrei. C'è chi dice che ci sia una intelligenza ereditaria nella vostra "razza", lei che ne pensa?

M: Sono sciocchezze! Molti ebrei sono diventati fisici e scienziati perché non era permesso fare molti altri lavori. Oggi per voi è difficile capire la condizione ebrea di prima della seconda guerra mondiale, ma c'era una enorme discriminazione.

Cominciamo con il mio nome. Nel 1785 il Kaiser Giuseppe II d'Asburgo-Lorena, nel suo editto sulla tolleranza degli ebrei, aveva stabilito che tutte le famiglie nel suo impero dovevano avere un cognome. Prima di allora, noi ebrei usavamo il patronimico, ovvero "figlio di...", come del resto facevano tutti fino al medioevo, basti pensare ai vostri cognomi toscani che finiscono in "i" perché è la forma del genitivo latino. Però a noi



Lise Meitner.³⁶

³⁶ https://it.wikipedia.org/wiki/Lise_Meitner

chiesero anche di assumere dei nomi “assimilabili” a quelli tipici tedeschi, un’usanza che, con le diverse declinazioni linguistiche, alla fine con Napoleone si diffuse in tutta Europa. Ecco perché molti cognomi ebrei sono nomi di luoghi.

I: Accidenti, non lo sapevo. E quindi?

M: Il mio bisnonno prese il nome di Meietheiner, dal villaggio di Meiethein in Moravia, che poi fu abbreviato da mio nonno in Meitner. Ci spostammo poi a Vienna, dove la vita per noi ebrei era decisamente migliore.

I: E come era la condizione degli ebrei nella capitale?

M: Non male. Dato che a noi era proibito svolgere molte professioni, alla fine avevamo occupato gran parte della burocrazia imperiale. Eravamo considerati affidabili e coscienziosi e poi in un impero così multiculturale e multirazziale come quello asburgico, noi eravamo alla fine quelli più “sopra le parti”.

I: Eravate credenti?

M: Mio padre era decisamente ateo e disilluso ed anche molti dei nostri amici erano lontani dalla pratica religiosa ebraica. I miei alla fine si convertirono al protestantesimo, altri erano cattolici.

I: E come era lei da piccola?

M: Una secchiona. Mia sorella Frieda mi prendeva in giro: “*Ehi, Lise, Che ci fai in giro senza libro?*”. Inoltre, non mi interessavano per nulla i ragazzi, volevo solo studiare, di preferenza matematica.

I: E i suoi genitori approvavano questa volontà?

M: I miei erano molto liberali, ma erano altresì preoccupati per il mio futuro. La donna ideale viennese era letteralmente prigioniera di tutto: dei vestiti, che dovevano coprirla e strizzarla, delle convenzioni, per cui dovevamo essere esperte solo di cucina, di allevamento dei figli ed al più di musica e teatro ed ignoranti di tutto il resto. Soprattutto dovevamo trovare marito entro i 25 anni!

Non era permesso per esempio entrare al liceo, il *gymnasium*, e solo una donna era riuscita a prendere il dottorato in Prussia, nel 1895, ma era americana. Andava meglio in Francia, per noi donne. Ovviamente il mio mito era Marie Curie.

I: E lei come ha fatto?

M: Ho potuto studiare matematica alla scuola, ma per tranquillizzare i miei mi sono anche diplomata in francese, così da avere un “mestiere”. A 14 anni però ho concluso il ciclo a cui potevo avere accesso ed ho proseguito con insegnanti privati. Per fortuna nel 1899 fu permessa l'entrata all'università anche alle donne, nell'impero, anche se non avevano seguito il *gymnasium*. Ma l'esame di ammissione era tremendo, di 14 partecipanti solo in 4 fummo ammesse. Finalmente, a 23 anni potevo entrare all'università!

I: E cosa ha studiato?

M: Matematica, fisica, botanica e filosofia, che era l'unica materia veramente obbligatoria. Tenete conto che i professori potevano rifiutarsi di fare lezione se c'erano donne presenti. Sempre meglio che in Prussia dove le donne dovevano chiedere un permesso per seguire i corsi, permesso che veniva in genere negato.

I: Lei ha avuto dei professori famosi...

M: Sì, ho studiato con Boltzmann. Era un professore fantastico. Come dissi a mio nipote Otto Frisch, ti parlava della fisica come se fosse una battaglia per stabilire la verità finale. Una visione che non mi ha mai abbandonato.

Del resto, erano gli anni delle polemiche con Mach e Ostwald, che si opponevano strenuamente all'atomismo con toni biblici, dicendo che gli atomi non si potevano vedere. E anche i religiosi vedevano l'atomismo come una limitazione alle capacità umane, limitazione che non veniva dalle sacre scritture! Ma Boltzmann si faceva beffe di tutti loro con un umorismo molto fine, anche se era decisamente bipolare. Si suicidò l'anno successivo.

I: Aveva amici a quel tempo?

M: Beh, Ehrenfest voleva che studiassi con lui. Era molto brillante e molto più esperto di me nella fisica teorica, per cui dal punto di vista intellettuale era molto stimolante. Però mi faceva molte domande personali che mi irritavano, per cui smisi di frequentarlo. Solo più tardi ho capito che lo faceva non per mancanza di tatto, ma perché era interessato a me, non so però in che senso. Ho paura di non essere molto brava con le relazioni umane.

I: Non si è mai sposata, vero?

M: No, e non ho nemmeno avuto relazioni di alcun tipo. Non so se fossi semplicemente asessuata o magari con inclinazioni omosessuali che non volevo manifestare.

I: E poi?

M: Mi interessai sempre più alla fisica nucleare, che era l'argomento "caldo" del tempo, in fisica. Dopo il dottorato feci domanda per entrare all'Istituto del Radio di Parigi, dove lavorava Marie Curie, incarico che però non riuscii ad ottenere. Venni comunque accolta nell'Istituto di fisica teorica di Vienna. Nel 1907 mi trasferii a Berlino per poter lavorare con Max Planck, un'altra persona che è stata profondamente ispirata da Boltzmann.

I: È mai stata discriminata per essere una donna?

M: Discriminata non direi, ma neppure incoraggiata. Planck per esempio pensava che fosse ingiusto proibire alle donne di frequentare l'università, ma anche che non dovessero essere spinte a studiare, le donne dottori dovevano rimanere delle eccezioni. Penso che l'esempio di Marie Curie sia stato fondamentale per far capire che le donne potevano, per quanto eccezionalmente, stare alla pari con gli uomini. E poi Planck era padre di due gemelle, conosceva abbastanza il mio genere.

I: Ci rimase molto tempo, a Berlino...

M: Trent'anni! Lì incontrai un giovane chimico, Otto Hahn, e potei lavorare nel suo laboratorio come ospite non pagata, fino al 1913. Nel 1917 scoprimmo il protoattinio e nel 1918 finalmente ebbi una sezione di fisica nucleare tutta per me. Nel '22 conseguii la libera docenza e nel '26

FRAUEN und WISSENSCHAFT



Un disegno allegorico di una studentessa tedesca.

divenni professoressa fuori organico di fisica nucleare sperimentale all'università di Berlino.

I: Poi cominciarono i guai con il nazismo...

M: La discriminazione cominciò appena i nazisti andarono al potere. Nel 1933 mi venne ritirato il permesso di insegnamento, per via delle mie origini ebraiche. Potei continuare a lavorare con Otto al Kaiser-Wilhelm-Institut perché non era direttamente controllato dallo stato. Ma poi nel '38, con l'annessione dell'Austria da parte della Germania, divenni cittadina tedesca e come ebrea, anche se convertita, ero ormai in pericolo di vita. Non mi restò che fuggire, con l'aiuto di Dirk Coster e Adriaan Fokker. Attraversai l'Olanda e la Danimarca e mi rifugiai in Svezia, dove continuai a lavorare fino al '46 all'istituto Nobel.



Lise Meitner e Otto Hahn in laboratorio nel 1913.³⁷

I: E perse i contatti con i fisici berlinesi?

M: No, continuai comunque a lavorare con loro via posta, magari avessi avuto Skype a quel tempo! Il 19 dicembre del 1938 Hahn mi descrisse uno strano fenomeno che aveva scoperto insieme a Fritz Strassmann, ripetendo gli esperimenti di Fermi a Roma. Irradiando con neutroni lenti dei nuclei di uranio, questi sembravano "scoppiare", ma la questo era veramente inconcepibile, dato che tutti gli altri elementi semplicemente si trasformavano in atomi più pesanti. Durante una passeggiata, mio nipote Otto Frisch ed io avemmo l'illuminazione della fissione, un termine che prendemmo a prestito dalla biologia.

³⁷ https://it.wikipedia.org/wiki/Lise_Meitner

I: E poi?

M: Lo comunicai a Hahn e fu una vera rivelazione per tutti. Frish, di ritorno a Copenhagen, lo disse a Bohr che esclamò *“Che idioti siamo stati tutti quanti! È fantastico! Deve essere proprio così!”*. Quindi Bohr si imbarcò per l’America e ne parlò con Fermi e poco dopo lui e Léo Szilárd capirono che la reazione generava neutroni in eccesso, che potevano dare origine ad una reazione a catena. Erano le premesse per lo sfruttamento dell’energia atomica.

I: Lei è stata chiamata in seguito la “madre della bomba atomica”.

M: Sono le contraddizioni della vita, perché io sono sempre stata una pacifista convinta e mi sono proprio rifiutata di lavorare alla bomba. Sono rimasta in Svezia per tutta la guerra.

I: Nel ’44 Hahn vinse il Nobel per la chimica per i suoi lavori sulla fissione e non la citò nemmeno...

M: Sono i misteri dell’animo umano. Certo, non potei sviluppare la parte sperimentale per via della mia fuga. Come mi disse il mio salvatore Dirk Costner, *“Otto Hahn, il premio Nobel se l’è certamente meritato. Però è un peccato che io l’abbia rapita da Berlino nel ’38, Altrimenti ci sarebbe stata anche Lei. Sarebbe certamente stato più giusto”*.

Hahn nel ’45, alla consegna del premio, era stato appena rilasciato dagli americani in quanto fisico tedesco potenzialmente coinvolto nel nazismo, e forse voleva rivendicare più meriti di quanti ne avesse veramente avuti. Comunque, qualche riconoscimento l’ho avuto anch’io. Nel ’49 mi fu conferita la Max-Planck-Medaille e nel ’66 il premio “Enrico Fermi”. L’elemento chimico Meitnerio porta questo nome in mio onore, come lo Hahn-Meitner-Institut di Berlino.

I: Per chiudere questa lunghissima intervista, qual è la sua opinione sulla scarsità di donne in fisica?

M: Ci sono tanti fattori. Ovviamente c’era già una selezione a priori sull’educazione e la formazione, le donne non venivano certo incoraggiate a fare studi fisici anche se erano predisposte, una cosa che continua in qualche maniera anche ora, mi sembra. Poi subivamo una grossa pressione per sistemarci, sposarci e fare figli. Ammiro moltissimo le Curie perché non hanno rinunciato alla famiglia per la fisica, anche se ovviamente nel loro caso bisogna tenere in conto il supporto ricevuto dai

mariti. Non credo che sarebbe stato possibile essere una fisica con famiglia con un compagno che non fosse uno scienziato, il che poi fa sempre nascere il dubbio sulle reali capacità di noi donne, come è successo per la Curie e sua figlia. Io ho semplicemente rinunciato alla famiglia, come del resto fece Rosalind Franklin, anche lei Nobel mancato. E non mi sembra che ora le cose siano poi molto diverse, anche Fabiola Giannotti, la direttrice del CERN, non ha famiglia e neppure l'ha avuta Rita Levi Montalcini. L'unico esempio che mi viene in mente di donna fisica famosa con marito non scienziato, ma sempre senza figli, è Margherita Hack.

I: Direi che c'è ancora molta strada da fare per una vera parità. La ringrazio sentitamente per il tempo che ha voluto dedicarci.

M: Grazie a voi, ma ora lasciatemi tornare ai miei studi. Arrivederci.

Ludwig Boltzmann



RadioMoka S8E11 13 gennaio 2018 (voci di Giulia Centetti e Gianluca Martelloni).

<https://youtu.be/KQOU5PAZpNE>

I: Buongiorno prof. Boltzmann, che piacere averla qui con noi!

B: Buongiorno a voi a tutti gli ascoltatori. Anche per me è un piacere stare in compagnia, anche se avrei preferito fissare l'appuntamento in un buon ristorante, qui in Toscana non manca certo il buon cibo ed il buon vino!

I: Magari dopo l'intervista andiamo insieme a cena. Ma prima dobbiamo parlare un po' di lei. Vuole raccontarci quando visse e di cosa si occupò?



Ludwig Boltzmann nel 1902.³⁸

B: Volentieri. Sono nato a Vienna il 20 febbraio 1844, la notte tra il martedì grasso (fine del carnevale) ed il mercoledì delle ceneri (inizio della quaresima) il che spiega il fatto che avessi un umore bipolare. Ho seguito una carriera abbastanza lineare e sono stato professore sia di matematica che di fisica. Devo dire che sono sempre stato piuttosto dotato in campo matematico ed anche parecchio affascinato dalle potenzialità deduttive del trattamento analitico, tanto da essere stato definito “terrorista algebrico”. Esagerazioni! È vero che la mia memoria per i numeri è di solito molto affidabile, ma per esempio ho sempre difficoltà a tenere il conto dei bicchieri di birra bevuti!

I: Immagino che i suoi risultati non siano facilmente illustrabili al nostro pubblico...

³⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Ludwig_Boltzmann

B: Tutt'altro. Sono certo difficili ma non incomprensibili. Il tema principale che ho sempre studiato è come nasce l'irreversibilità dell'universo.

I: Sembra un tema molto importante...

B: Lo è! Come saprà, tutte le leggi microscopiche della meccanica classica sono reversibili nel tempo. Prendiamo come esempio un gas, supponendo che sia composto da piccole sfere che urtano elasticamente, secondo le leggi della meccanica. Consideriamo una qualsiasi configurazione iniziale delle particelle e delle loro velocità. Applicando le leggi di Newton, possiamo calcolare la loro posizione e velocità dopo un certo intervallo di tempo. A questo punto ribaltiamo tutte le velocità e facciamo evolvere il sistema per un intervallo di tempo uguale al precedente, come se tornassimo indietro nel tempo, quindi ribaltiamo di nuovo le velocità. Riotteniamo così la configurazione di partenza.

I: Come vedere un film proiettato prima nel senso giusto e poi alla rovescia?

B: Esatto! Vedo che mi sta seguendo. Il risultato prima descritto avviene anche se uso particelle diverse dalle sfere e se queste interagiscono con forze qualsiasi. Questo perché appunto le leggi del moto sono reversibili nel tempo. Ma il mondo come lo conosciamo non funziona così: i piatti che cadono dal tavolo si rompono e non vediamo mai i frammenti ricomporsi. Il fumo di una stufa si disperde e non lo si vede mai ritornare nella stufa e ricomporre un tronco di legno. Le stelle e le persone nascono, invecchiano e muoiono.

I: È la seconda legge della termodinamica che dà il senso di avanzamento del tempo...

B: Appunto! La seconda legge della termodinamica ci dice che l'entropia, in un sistema chiuso ed isolato, aumenta sempre, ovvero che il mondo non è reversibile. È possibile derivare questa legge termodinamica dalle leggi della meccanica?

I: Lei ci è riuscito?

B: Sì e no. Io ho derivato un'equazione, che ha preso il mio nome, che determina l'evoluzione della probabilità di trovare delle particelle di un gas in un certo posto e con una certa velocità. L'equazione è difficile da scrivere, ma non molto da spiegare. Dice che la probabilità di trovare una particella in un certo luogo con una certa velocità e ad un certo tempo dipende da vari fattori. Dobbiamo contare quante particelle arrivano

lì senza fare collisioni, meno quelle che collidono e quindi prendono un'altra velocità, più quelle che collidendo vengono a trovarsi con la giusta velocità nel posto sotto esame. Fare i calcoli in un caso pratico è molto difficile, ma si può derivare un teorema che dice che esiste una quantità, equivalente all'entropia, che in media aumenta sempre nel tempo. Pensavo di aver così risolto il problema.

I: E invece?

B: Invece subii molti attacchi, che infine, a causa anche di alcune malattie, la morte di mio figlio ed il mio carattere bipolare, mi portarono al suicidio nel 1905. Il primo attacco arrivò dalla banda degli energetici, Mach e Ostwald in primis, che ce l'avevano con me perché utilizzavo il concetto di atomo per fare i miei modelli, mentre loro lo ritenevano una costruzione mentale indimostrabile e non volevano che si usasse. Sa, io sono stato definito *"l'uomo che credeva negli atomi"*. Comunque, la loro critica era essenzialmente filosofica e quindi non molto importante, come l'idealismo. Io mi sono invece sempre definito un materialista. L'idealismo asserisce che esistono solo l'"Io" e le varie idee, cercando di spiegare la materia a partire da queste. Il materialismo parte dall'esistenza della materia e cerca di spiegare le sensazioni a partire da questa.

I: E le critiche più serie quali erano?

B: Ce n'erano essenzialmente due, dovute a Loschmidt ed a Zermelo, due professori di fisica, uno austriaco (mio collega a Vienna) e l'altro tedesco di Friburgo. La critica di Loschmidt, condivisa anche da Kelvin, era basata sul teorema della ricorrenza di Poincaré. Questo grande matematico francese aveva dimostrato che un sistema classico torna sempre nelle vicinanze dello stato iniziale. La faccenda è molto più chiara se pensiamo di poter approssimare un sistema dinamico con un sistema discreto, in cui le posizioni e le velocità possono assumere solo dei valori numerabili. Dato che numero di configurazioni possibili è finito, prima o poi il sistema tornerà in una configurazione già visitata e, dato che è deterministico, non potrà fare a meno di ripercorrere il ciclo di prima. Quindi non ci possono essere quantità, come l'entropia, che aumentano sempre.

I: Mi sembra una obiezione grave...

B: Sì e no. Un sistema fisico è composto da tantissime particelle e lo spazio delle configurazioni è immenso. Se si fanno i calcoli, si vede che il tempo medio per ritornare ad uno stato vicino a quello iniziale è molto,

molto più grande del tempo passato dalla nascita dell'universo. Diciamo che ci si può contentare se l'entropia aumenta anche solo per questo tempo limitato.

I: Allora è l'obiezione di Zermelo quella più grave!

B: Sì, giusto. Zermelo fece vedere che si può esprimere il problema del moto con un formalismo simile a quello della fluidodinamica. Pensiamo ad un insieme di configurazioni iniziali molto simili, per esempio con tutto il gas racchiuso in un piccolo spazio. Possiamo assegnare ad ogni configurazione possibile un punto in uno spazio speciale detto spazio delle fasi. Consideriamo l'insieme delle configurazioni iniziali "vicine", come se fosse inizialmente una piccola sfera in questo spazio. Durante l'evoluzione dei vari sistemi, questa sfera iniziale diffonderà, come se fosse una goccia d'inchiostro nell'acqua. Ma come gli atomi di inchiostro non si distruggono né si creano, così il numero dei punti non cambierà, dato che l'evoluzione è deterministica e reversibile e quindi due punti non possono "fondersi" né un punto può "dividersi". Dato che si può dimostrare che l'entropia è legata al numero dei punti, otteniamo che l'entropia non cambia nel tempo.

I: Ma l'entropia aumenta!

B: Avrei dovuto aspettare Gibbs, che risolse il problema poco dopo il mio suicidio. Il fatto è che non esiste una precisione infinita nelle misure fisiche, anche senza considerare l'indeterminazione quantistica. Quindi, in effetti, i "punti" vicini nello spazio delle fasi non si possono distinguere e se si inserisce questo ingrediente, si ottiene l'aumento dell'entropia.

Ovvero, l'entropia riflette la nostra ignoranza dello stato iniziale, ignoranza che "diffonde" nello spazio delle fasi. Ma Gibbs arrivò troppo tardi per me. Mi consolo con il fatto che alla fine hanno dato essenzialmente



*Ernst Friedrich
Ferdinand Zermelo.³⁹*

³⁹ https://it.wikipedia.org/wiki/Ernst_Zermelo

ragione a me e che sulla mia tomba è incisa la mia formula più famosa, $S = k \log(W)$, che collega l'entropia S al volume nello spazio delle fasi W .

I: Accidenti, un vero e proprio giallo scientifico. Direi che si è ben meritato un invito a cena!

B: Sa, come ho raccontato nel riassunto del mio viaggio in America del 1899, *"Viaggio di un professore tedesco all'Eldorado"*, bisogna sempre prendersi cura del proprio fisico con pasti regolari, buoni ed abbondanti, innaffiati da del buon vino, regime non sempre facile da seguirsi in America.

I: Non le piaceva il cibo americano?

B: Il cibo americano è già un'avventura, ma il problema principale è la loro fobia dell'alcol. Ricordo l'invito a pranzo da parte di Mrs. Phoebe Hearst, grande donna, femminista e benefattrice dell'Università di Berkeley, dove in effetti ci sono donne ed uomini in ugual numero, tra gli studenti. Per cominciare mi parlarono dell'architetto della Hacienda di Mrs. Hearst, Schweinfurt, che, traducendo letteralmente dall'inglese, bevve vino fino alla morte. Di certo, visto che continuerò a bere finché campo, anche di me potranno dire la stessa cosa.

A tavola, il pranzo cominciò con delle more, che rifiutai, e del melone salato personalmente da Mrs. Hearst, che pure rifiutai. Dopo di che arrivò la pappa di avena, che pure avrei voluto rifiutare, ma che dovetti ingollare sotto lo sguardo severo della padrona di casa. Non so se conosceste questo piatto americano. A Vienna lo potrebbero usare solo per ingrassare le oche, anche se dubito che un'oca viennese lo vorrebbe assaggiare. Per fortuna poi arrivarono altre cose commestibili, ma sempre senza vino, come del resto succedeva per tutti i pasti a Berkeley.



La tomba di Ludwig Boltzmann a Vienna.⁴⁰

⁴⁰ https://it.wikipedia.org/wiki/Ludwig_Boltzmann

I: Dev'essere stata una sofferenza continua il suo viaggio all'Eldorado!

B: Beh, alla fine un collega mi rivelò, guardandosi intorno per paura di essere scoperto, dove si poteva comprare vino a Oakland e così il mio soggiorno californiano diventò molto più piacevole...

I: Un racconto affascinante.

B: Potrei andare avanti per ore, ma mi sembra che sia l'ora di pranzo...

I: Ha ragione! Salutiamo quindi i nostri ascoltatori e procediamo verso il ristorante più vicino!

B: Auf wiedersehen!



*Phoebe Hearst.*⁴¹

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

Wernher von Braun



RadioMoka S8E12 20 gennaio 2018 (voci di Giovanna Pacini e Leonardo Lenzini).

<https://youtu.be/Bz4ELRCA1I4>

I: Buongiorno Professor von Braun.

B: Buongiorno, ma non sono un professore. Solo un modesto tecnico. Al più in ingegnere. Un appassionato, diciamo.

I: Di cosa era appassionato?

B: Di volo spaziale, di missili. Ho scoperto l'importanza della matematica e della fisica per amore della missilistica.

I: Andiamo con ordine. Ci racconti un po' la sua vita.

B: Beh, una vita tutto sommato normale. La mia famiglia apparteneva alla vecchia nobiltà, io sono barone. Mio padre è stato ministro dell'agricoltura nella repubblica di Weimar. Mia madre vantava tra i suoi antenati molti membri delle famiglie reali d'Europa come Filippo III di Francia, Valdemaro I di Danimarca, Roberto III di Scozia ed Edoardo III d'Inghilterra. Abitavamo in Prussia, ma dopo il trattato di Versailles questa regione venne assegnata alla Polonia e la mia famiglia si trasferì in Germania, a Berlino.

I: Lei era appassionato di musica...



Wernher von Braun, nel suo ufficio di direttore del centro di volo spaziale della NASA nel 1964.⁴²

⁴² https://it.wikipedia.org/wiki/Wernher_von_Braun

B: Vero, suonavo il violoncello ed il pianoforte e non ero un cattivo esecutore. Ma non ho proseguito su questa strada.

I: Diceva che è stato "fulminato" dalla misilistica...

B: A scuola facevo pena in fisica e matematica, ma quando lessi il libro di Hermann Oberth "Il missile nello spazio interplanetario" ne rimasi affascinato. Mi misi a studiare matematica ed a fare esperimenti, tanto da causare parecchi danni ed essere arrestato, quando avevo 12 anni.

I: Il suo nome è legato al nazismo, almeno in parte.

B: Quando i nazisti presero il potere, stavo facendo il dottorato. Dopo la prima guerra mondiale alla Germania avevano vietato la costruzione di grossi cannoni, ma nel trattato di Versailles non c'era scritto nulla sui missili. I militari quindi presero in controllo di questa disciplina, fino a vietare la diffusione del film di Friz Lang del 1929 "Una donna nella luna" perché riproduceva in maniera troppo realistica molte delle teorie elaborate fino a quel momento. Non a caso Oberth era il consulente di Lang.

I: E che successe?

B: I militari mi offrono una borsa di studio per continuare a studiare ed a costruire razzi. Potevo rifiutare? Nel 1934 riuscimmo a lanciare due razzi che percorsero circa 2 chilometri e mezzo. Eravamo l'avanguardia mondiale in questo campo.

I: E lo foste per lungo tempo...



Von Braun, in primo piano ed in borghese, fotografato assieme ad ufficiali tedeschi a Peenemünde nel 1941.⁴³

⁴³ https://it.wikipedia.org/wiki/Wernher_von_Braun

B: Certo. Fu costruita la base segreta di Peenemünde, sul Mar Baltico e lì sviluppammo i propulsori a combustibile liquido per aerei a reazione e per i missili, sia quelli strategici come la V2 che per quelli antiaerei.

I: Lei entrò anche a far parte delle SS...

B: Sì, fui in pratica obbligato. Nel marzo 1944 la Gestapo mi arrestò per crimini contro lo Stato a causa della mia continua pubblicità sulla possibile costruzione di missili capaci di andare nello spazio. Ma le accuse caddero dato che il mio capo Dornberger ed il ministro degli armamenti Albert Speer convinsero Hitler che senza di me non avrebbe avuto i missili a cui teneva tanto... Così pensai che entrando nelle SS sarei stato al sicuro.



Von Braun (in borghese in alto a centro) tra ufficiali della Wehrmach e Hitler nel 1934.⁴⁴

Ma se lei vuole farmi delle accuse morali, consideri che fino al 1944 noi tedeschi non avevamo mai effettuato dei bombardamenti contro la popolazione civile, cosa che invece gli alleati fecero più volte. Questa "violazione" del fair play bellico fece infuriare Hitler che promise che si sarebbe vendicato sulla popolazione inglese. Le armi futuristiche che avevamo a disposizione erano le V1, una specie di piccolo aereo a reazione tipo siluro, e le V2. Le V1 erano molto economiche, anche se potevano essere intercettate, dato che volavano ad una velocità simile a quella dei caccia. Avrebbero potuto essere impiegate come missili da crociera aria-terra o terra-terra contro le truppe nemiche ma Hitler si intestardì a spedirle contro Londra. Le V2 invece erano dei veri missili balistici, assolutamente inintercettabili dato che salivano oltre il limite dell'atmosfera e

⁴⁴ <https://medium.com/the-secret-history-of-america/the-whitest-man-who-ever-lived-1350c5a237f5>

piombavano dall'alto a velocità supersonica. Ma erano anche estremamente costose, più o meno quanto un bombardiere che però trasportava molto più esplosivo ed era riutilizzabile.

I: E allora perché vennero scelte?

B: Beh, l'unico vero vantaggio delle V2 rispetto ad un bombardiere era che non richiedevano un pilota, proprio la figura che cominciava a scarseggiare. Ma i bombardieri o le V1 sarebbero stati molto più efficaci ed economici. Ovviamente a me questo non importava, io volevo solo avere i fondi per continuare a sviluppare i miei missili. Ma non fu facile convincere Hitler.

I: E come fece?

B: Preparai un bel film del primo lancio del mio prototipo A4, che portava l'immagine del film di Lang "una donna sulla luna" sulla fiancata. A Hitler i film piacevano tantissimo. E devo dire che il Führer non era uno stupido. Capì subito per esempio, che il problema delle V2 era che arrivavano a terra troppo velocemente.

I: E quindi?

B: Facevano pochi danni, poiché, usando il classico sistema di innesco a contatto, esplodevano praticamente sotto il livello del suolo. Cercammo di sviluppare una spoletta di prossimità, ma invano. In totale, mentre le V1 causarono parecchi danni a poco prezzo, le V2 dissanguarono la Germania con relativamente pochi risultati. Tenga presente per esempio che



Walter Dornberger, Herbert Axster, Wernher von Braun (con il braccio ingessato a causa di un incidente di macchina) e Hans Lindenberg il 3 maggio 1945, dopo essersi consegnati alle truppe statunitensi.⁴⁵

⁴⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Wernher_von_Braun

per produrre l'alcool necessario come combustibile dovemmo razionare le patate altrimenti usate per l'alimentazione.

I: E utilizzaste come operai dei prigionieri di guerra sfruttandoli fino alla morte...

B: Infatti, era tutto fatto in emergenza e poco razionalizzato. Le ho detto che tutto sommato le V2 furono un pessimo affare per la Germania, ma un ottimo affare per me, che potei dedicarmi alla mia passione. Lo sa cosa dissi in occasione del primo lancio di successo?

I: No. Cosa?

B: Che era iniziata l'era spaziale. Peccato che il missile sarebbe atterrato sul pianeta sbagliato.

I: Ma poi ce la fece a spedire i suoi missili sulla Luna.

B: Eh, sì. Che la Germania fosse destinata alla sconfitta lo sapevano tutti, ma c'era da fare i conti con i miei commilitoni SS, che avevano l'ordine di uccidere tutti noi ingegneri nel caso in cui corressimo il rischio di cadere in mani nemiche. Per fortuna riuscii ad imbrogliarli ed a convincerli a farci andare in Baviera, dove c'erano meno bombardamenti. Da lì riuscii a consegnarmi agli americani, battendo i sovietici e gli inglesi che pure cercavano di acchiapparci.

I: Sarà stato trattato come criminale di guerra...

B: Non proprio. Gli americani mi portarono via in tutta fretta e di nasco, tanto che poi mi fecero rientrare negli Stati Uniti dal Messico, per ufficializzare il mio ingresso. All'inizio mi tennero prigioniero in un forte in Texas, dove cominciai ad addestrare i militari all'uso dei miei missili.



Il logo del film di Fritz Lang "Frau im Mond" dipinto sul fianco della V2 del film mostrato a Hitler.⁴⁶

⁴⁶ https://de.wikipedia.org/wiki/Frau_im_Mond

Poco dopo mi dettero un bel laboratorio, e fui nominato capo della divisione di sviluppo dell'Army Ballistic Missile Agency, dove svilupparammo i missili Redstone, che non erano altro che delle V2 potenziate.

I: E infine il progetto Apollo.

B: Sì, lo schiaffo che gli americani ricevettero quando i russi, che avevano catturato molti dei miei collaboratori, riuscirono a mettere in orbita lo Sputnik e poi Gagarin, portarono moltissimi fondi alla missilistica. Fu fondata la NASA ed io diventai il direttore del centro spaziale, il *Marshall Space Flight Center*.

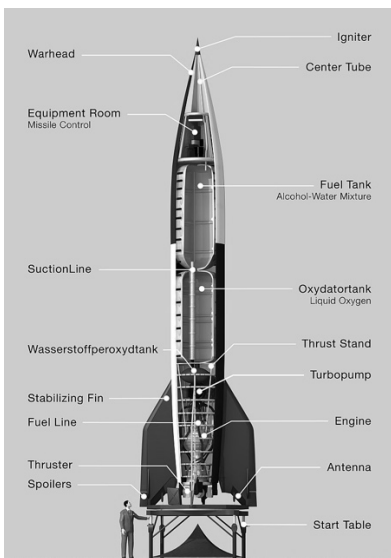
I: Finalmente soddisfatto?

B: No, per niente. Io volevo mandare i razzi nello spazio, su Marte e gli altri pianeti. Non era facile tecnicamente e ci sarebbero voluti tantissimi soldi, così pensai che dovevo convincere l'opinione pubblica americana, dato che in questo caso non bastava convincere una persona sola, ma il mezzo che usai fu lo stesso che con Hitler.

I: Ovvero?

B: I film! Insieme a Walt Disney facemmo una serie di filmati propagandistici del titolo "L'uomo nello spazio", in cui raccontavo come avrebbe funzionato una base spaziale, idea che fu poi utilizzata da Kubrick nel film *2001, Odissea nello spazio*, come avremmo colonizzato in massa la Luna e come saremmo andati su Marte.

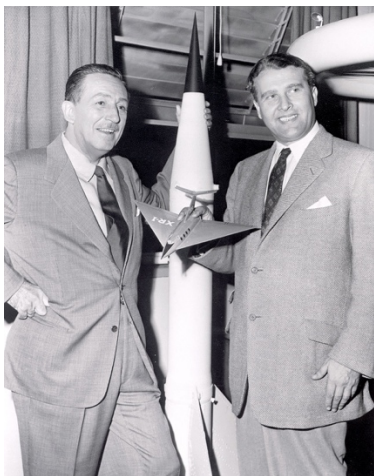
I: E poi?



Schema di una V2.⁴⁷

⁴⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/V-2_rocket

B: Beh, come sapete, dopo che superammo definitivamente i sovietici nella corsa alla Luna il progetto Apollo fu abbandonato ed allora anch'io lasciai la NASA. Mi misi a lavorare per alcune ditte private e cominciai a battermi contro la proliferazione nucleare, soprattutto nello spazio, perché secondo me era uno spreco usare dei missili tanto belli per lanciare testate atomiche e poi perché ormai sapevo bene che i militari hanno delle visioni troppo ristrette. Purtroppo, sono poi morto nel 1977 per un tumore al pancreas, a 65 anni. Mi sarebbe piaciuto vivere a lungo per veder realizzato qualcuno dei miei progetti, o almeno per vedere dei buoni film di fantascienza.



*Walt Disney e von Braun nel 1954
con un modello di astronave
passeggeri.⁴⁸*

I: Grazie della sua intervista, è stata molto interessante.

B: Grazie a voi e fatevi sentire quando volete.

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

Marie Skłodowska Curie



RadioMoka S8E13 27 gennaio 2018 (voci di Franco Bagnoli e Giulia Cencetti).

<https://youtu.be/D0ZsuJQREew>

I: Buon giorno Professoressa Curie, ben arrivata a RadioMoka!

C: Grazie, non mi accade spesso che mi chiamino Professoressa, di solito si limitano ad un Madame Curie!

I: Immagino perché in Francia, tutti sono Monsieur o Madame...

C: Secondo me perché sono una donna!

I: Ma lei è anche la scienziata più famosa! Una vera icona. Ricordo che da piccolo lessi la storia della scoperta del radio da parte sua e di suo marito Pierre, un racconto strappalacrime con lei che rimestava continuamente il calderone...

C: Ecco! Vede? Le donne a rimestare, sempre. Non sa quante volte ho sentito insinuare che i risultati scientifici che ottenemmo erano per lo più dovuti a mio marito e che io in fondo non ero che una assistente.

I: Lei porta uno strano vestito, lo si direbbe una corazza!

C: Ne parliamo dopo, vuole?

I: Ci può raccontare velocemente la sua vita?



Maria Skłodowska a sedici anni.⁴⁹

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

C: Mi chiamo Maria Skłodowska, sono nata a Varsavia nel 1867. Sono stata sempre piuttosto dotata, tanto che 4 anni leggevo decisamente meglio di mia sorella Bronia di sette. I miei fratelli mi facevano sempre scherzi perché io mi concentravo a leggere e non mi rendevo conto di quello che succedeva. Una volta fecero una catasta di sedie intorno a me e non me ne accorsi finché non mi crollarono tutte addosso! A 15 anni ho preso il diploma, a quel tempo il massimo livello di istruzione che una donna poteva avere in Polonia, che era parte della Russia. Sappete, nella Polonia russa il



Maria Skłodowska con quattro studentesse (1910-1915).⁵⁰

polacco era una lingua vietata, ma per fortuna c'erano degli insegnanti che trasgredivano. Io ovviamente parlavo perfettamente il russo, ma volevo fare qualcosa per la mia patria. Così mettemmo su una "università volante" con cui davamo lezioni ai contadini in polacco, cercando di insegnare un atteggiamento positivista, assolutamente ateo. Non possiamo sperare di costruire un mondo migliore senza migliorare gli individui.

I: Lei non era religiosa?

C: Già a 17 anni avevo capito che la religione è un mucchio di sciocchezze. Io miravo a capire il mondo da un punto di vista razionale.

I: E come fece per proseguire gli studi?

⁵⁰ https://it.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie

C: Non fu facile. Con mia sorella Bronia capimmo presto che l'unica maniera era emigrare, andare a Parigi. Ma non avevamo i soldi. Così stabilimmo un patto. Io avrei lavorato, così che mia sorella potesse studiare. Quando avesse terminato gli studi e trovato un lavoro, sarebbe stata lei a mantenermi all'università.

I: E funzionò?

C: Certamente, le donne sono sempre molto più affidabili degli uomini. Io lavorai come governante in varie case di ricchi e ci fu anche un giovane rampollo che si invaghì di me e mi voleva sposare. Per fortuna i suoi si opposero, altrimenti chissà come sarei finita. Nel 1891, quando avevo già 24 anni, potei finalmente iscrivermi alla Sorbona, la stessa università di cui, 15 anni più tardi, sarò il primo professore donna.



Pierre Curie nel 1903.⁵¹

I: Un bel traguardo, ma pagato caro, se ben ricordo.

C: Ha ragione, ma andiamo con ordine. Nel 1894 incontrai Pierre Curie, che all'epoca aveva 35 anni. Lui era già famoso per i lavori sul magnetismo e la piezoelettricità e mi accolse nel suo laboratorio per studiare il campo a quei tempi nuovissimo della radioattività. Diventammo subito amici, anche lui era ateo. Alla fine, riuscì a convincermi a sposarlo, pur essendo io assai riluttante a perdere la mia libertà.

I: Poi lui lasciò i suoi interessi per seguirla nella ricerca della radioattività!

C: Sì, fu un lavoro infernale, dovemmo trattare tonnellate di pechblenda, un minerale di scarto, per ottenere pochi milligrammi di polonio, un nuovo elemento che fu chiamato così in onore della mia patria. Questo fu l'argomento della mia tesi di dottorato. Poi ottenemmo anche il radio.

I: E fu il successo.

⁵¹ https://it.wikipedia.org/wiki/Pierre_Curie

C: Sì, finalmente ottenemmo dei fondi ed anche il premio Nobel nel 1903. Ci rendemmo presto conto che il radio causava ustioni, ma che poteva anche essere usato per guarire tumori della pelle e fare radiografie. Così non brevettammo il nostro metodo di estrazione per lasciare libertà alla ricerca. Ma purtroppo Pierre morì nel 1906 e mi lasciò con le mie due figlie, nate in mezzo alla radioattività.

I: Non fa certo bene alla salute!

C: Ora lo sappiamo ed infatti sia io che mia figlia Irene siamo morte abbastanza giovani di leucemia, ma l'altra mia figlia, Eve, è morta a 103 anni! Ma io mi preoccupavo molto della radioattività anche a quel tempo, anche se solo perché ostacolava il mio lavoro. Infatti, la radioattività si comunicava a tutti gli strumenti e rendeva l'aria conduttrice, era molto difficile fare delle misure di precisione.

I: E poi?

C: Dopo la morte di Pierre fui chiamata a continuare lo stesso corso, cosa che feci ripartendo dal punto in cui era arrivato. E poi appunto entrai a far parte del corpo accademico.

I: Lei è stata l'unica donna a partecipare ai primi convegni Solvay, quelli con Einstein.

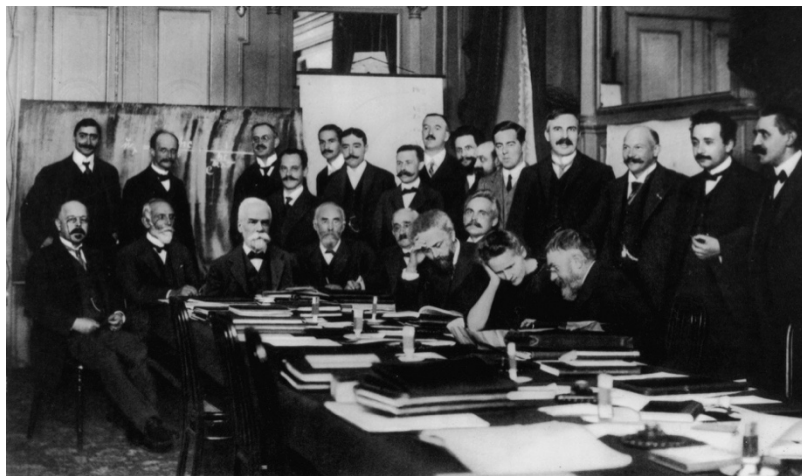
C: Albert è sempre stato un caro amico e mi ha sostenuto in varie occasioni.

I: Si riferisce al suo secondo Nobel?



*Marie Curie con le figlie
Irene ed Eva.⁵²*

⁵² <http://www.pinkblog.it/post/346851/marie-curie-150-anni-nasceva-la-scienziata-che-ha-scoperto-la-radioattivita>



Prima conferenza Solvay, Bruxelles 1911.⁵³

C: Sì, proprio a quello. Al tempo dei convegni Solvay avevo una storia con Paul Langevin, che però era già sposato e con figli. Lui mi diceva sempre che stava per lasciare la moglie, ma non lo faceva mai, anzi, ci fece un altro figlio. Sua moglie fece scassinare il nostro appartamento e rubò delle mie lettere, che passò poi ai giornali alla vigilia della mia premiazione all'accademia svedese.

I: Ci fu uno scandalo?

C: Sì, una cosa incredibile. Anche a inizio '900 c'erano scandali e tradimenti, ma sempre con attori o personaggi dello spettacolo, era la prima volta che uno scienziato faceva qualcosa di pubblicamente scandaloso con una scienziata. E poi io ero chiaramente anormale, mi descrissero come una sconsiderata, tutta dedicata a cose maschili quali i libri, il laboratorio, la gloria...

I: Ed Einstein?

C: Einstein, che è spesso stato accusato di essere un maschilista, mi manifestò subito il suo convinto appoggio: *"Se questa marmaglia continua*

⁵³ https://it.wikipedia.org/wiki/Congressi_Solvayg

ad occuparsi di lei, semplicemente smetta di leggere tutte quelle sciocchezze e le lasci alle vipere per cui sono state fabbricate”.

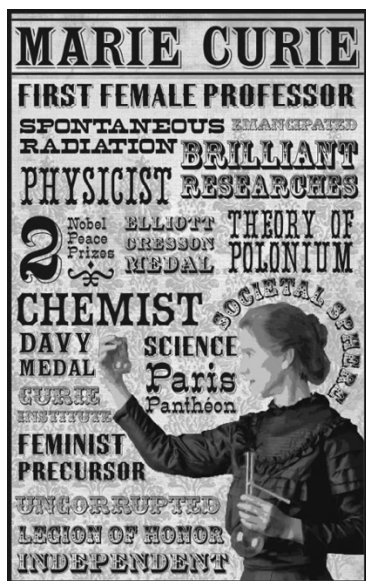
I: E poi?

C: Arrhenius, a nome della Accademia Reale delle Scienze, mi scrisse una lettera invitandomi a non presentarmi alla cerimonia a Stoccolma, per non mettere in imbarazzo il re. Scrisse: *“Se l’Accademia avesse creduto alla possibilità che la lettera in questione fosse autentica, con tutta probabilità non le avrebbe assegnato il premio se non dopo una plausibile dimostrazione della sua falsità. Spero quindi che telegraferà a M. Aurivillius o anche a me dicendo che le è impossibile venire [...] e che invierà una lettera in cui dichiara di non voler accettare il premio prima di una pubblica sconfessione delle accuse nei suoi confronti, durante il processo Langevin”.*

Che ipocriti! Il re di Svezia Gustav V non aveva molto di cui scandalizzarsi, dato che alcuni anni dopo fu ricattato per aver sedotto un uomo, con passato criminale, che era andato da lui per avere un permesso per vendere liquori nel suo ristorante, scandalo che ovviamente fu messo a tacere a suon di corone.

I: E poi che successe?

C: Risposi: *“Sarebbe da parte mia un grave errore seguire la sua raccomandazione. Il premio, infatti, mi è stato assegnato per la scoperta del radio e del polonio e credo non vi sia alcun rapporto tra la mia opera scientifica e le vicende della mia vita privata [...]”. In linea di principio non posso ammettere che le calunnie e le maldicenze della stampa influenzino l’apprezzamento accordato al mio lavoro scientifico”.* E andai a ritirare il premio accompagnata dalla mia amata sorella e dalla mia prima figlia Irène (che poi vincerà un altro premio Nobel).



Un manifesto femminista inneggiante a Marie Curie.

I: E la storia con Langevin finì?

C: Sì, anche se poi ebbe uno strascico: mia nipote Hélène, figlia di Irène, sposò in seguito Michel Langevin, nipote di Paul... chissà cosa avrebbe detto la nonna paterna!

I: Adesso può raccontarci perché indossa questa corazza?

C: Lo faccio per voi! I miei appunti sono ancora così radioattivi che non possono essere consultati liberamente ed anch'io lo sono così tanto che mi hanno seppellita nel Pantheon a Parigi avvolta in una camicia di piombo.

I: Hanno avuto ragione a definirla una donna tosta! Siamo molto contenti di averla avuta qui a RadioMoka.

C: Grazie anche a voi. E salutatemi Langevin se lo vedete.

Satyendra Nath Bose



RadioMoka S8E15 10 febbraio 2018 (voci di Giovanna Pacini e Niccolò Zagli).

<https://youtu.be/sBu941Xo1Tk>

I: Buongiorno professor Bose.

B: Buongiorno a voi. Spero che il mio italiano sia soddisfacente

I: È ottimo! lei conosce molte lingue, vero?

B: Beh, in India si parlano almeno 24 lingue, oltre all'inglese, inoltre conosco ovviamente il tedesco, che era la lingua scientifica del mio tempo. Sapevo, ho tradotto la teoria della relatività dal tedesco all'inglese. Ma la mia lingua è il bengalese, lingua in cui ho tradotto vari lavori e che ho anche insegnato.



Satyendra Nath Bose nel 1925.⁵⁴

I: Ci racconta la sua vita?

B: Sono nato nel 1894 a Calcutta, figlio di un ingegnere. Ho studiato matematica e fisica, materie in cui ero molto bravo, e sono riuscito ad entrare come assistente al Dipartimento di Fisica dell'Università di Dacca, pur senza avere un dottorato.

I: Fu quando formulò la teoria dei bosoni?

B: Sì, stavo spiegando ai miei allievi la teoria del corpo nero, in cui i modi di vibrazione del campo elettromagnetico in una cavità si comportano come "palline" in una scatola, o anche come monete che stanno a testa su o giù. Bene, si sapeva che se si contavano i modi di disporre tali palline o tali monete si otteneva un risultato che contraddiceva i dati sperimen-

⁵⁴ https://it.wikipedia.org/wiki/Satyendranath_Bose

tali. Però io feci un errore ed ottenni una formula che invece tornava con gli esperimenti.

I: Che errore fece?

B: Contai i modi di disporre le monete come se fossero indistinguibili. Se lei lancia due monete che possono stare in due posizioni, testa e croce, può ottenere quattro configurazioni: testa-testa, testa-croce, croce-testa e croce-croce. Se però le due monete sono indistinguibili, ne ottiene solo tre: testa-testa, testa-croce (uguale a croce-testa) e croce-croce. Come vede la probabilità di ottenere per esempio testa-testa da un quarto diventa un terzo.

I: E questo basta ad ottenere il risultato per cui Planck soffrì così tanto?

B: Sì, se si tiene in conto che i modi di vibrazione del campo in una cavità sono quantizzati. Ovviamente questi modi non sono distinguibili.

I: E che successe?

B: Che quando inviai il mio lavoro alle riviste lo rifiutarono, dicendo che sbagliavo a contare. Però lo inviai anche a Einstein, che consideravo il mio guru personale, e lui invece lo apprezzò molto e lo inviò a Zeitschrift für Physik insieme con un suo articolo. E così acquisii un po' di notorietà.

I: E che fece?

B: Riuscii ad avere un congedo pagato dalla mia università. Ne approfittai per viaggiare in Europa, lavorai un po' con Einstein, con Marie Curie ed incontrai altri fisici famosi. Al mio ritorno, grazie all'appoggio di Einstein, riuscii ad avere il posto di professore anche se non avevo il dottorato.



La lettera di Bose a Einstein del 1924.⁵⁵

⁵⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Satyendra_Nath_Bose



Piazza Bosone a Gubbio.⁵⁶

I: Il suo contributo fu anche riconosciuto dalla comunità scientifica?

B: Non molto, in realtà. Ci sono stati vari premi Nobel legati alle particelle che si chiamano bosoni in mio onore, per esempio per il laser o per la condensazione di Bose-Einstein, senza dimenticare il bosone di Higgs, ma a me non l'hanno mai dato. Come saprà, i bosoni sono quelle particelle che “amano” stare tutte insieme, per cui ce ne possono stare un numero arbitrario nello stesso livello atomico.

I: Ma avrà avuto delle soddisfazioni, no?

B: Certo, a Calcutta ho fondato l'Istituto di Studi Nucleari che porta il mio nome. E poi ho saputo che a Gubbio c'è una piazza Bosone.

I: Per le particelle che obbediscono alla sua statistica?

B: No, per tal Bosone da Gubbio, uomo politico del 1300, amante delle lettere e delle arti, appassionato di Dante, autore fra l'altro di compendio della Divina Commedia e di un romanzo in volgare, l'*Aventuroso Ciciano*. Ma bisogna accontentarsi.

I: Bene, potremmo dare a tutti i suoi fan appuntamento in piazza Bosone, tanto non c'è problema di affollamento. Ci vediamo lì!

B: Ottimo, invito tutti quelli che conosco!

⁵⁶ <http://rete.comuni-italiani.it/foto/2012/51135/view>

Philipp von Lenard e Johannes Stark



RadioMoka S8E16 17 febbraio 2018 (voci di Giulia Del Pace, Leonardo Lenzini e Leonardo Salvi).

<https://youtu.be/UWWkO17Tez4>

I: Buongiorno a tutti. Oggi abbiamo un'intervista doppia, con due fisici tedeschi, Philipp Lenard e Johannes Stark.

L: Buongiorno.

S: Buongiorno anche da parte mia.

I: Siete state entrambi insigniti del premio Nobel, se non sbaglio.



Philip von Lenard.⁵⁷

L: Sì, io nel 1905 per le mie ricerche sui raggi catodici.

S: E io nel 1919 per l'effetto che poi prende il mio nome, che da voi in Italia è chiamato effetto Stark-Lo Surdo.

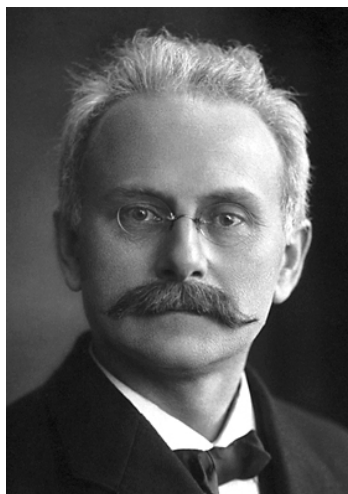
I: Potete brevemente ricordare qual era il soggetto delle vostre ricerche?

L: Io studiavo i raggi catodici, quelli che adesso chiamate elettroni. Queste particelle si producevano, e si producono anche ora, estraendole da un filamento incandescente e poi accelerandole con un campo elettrico. Ai miei tempi non era ancora chiaro se fossero particelle o onde elettro-

⁵⁷ <https://www.thefamouspeople.com/profiles/philipp-von-lenard-4066.php>

magnetiche, io pensavo che fossero vibrazioni dell'etere, ma poi J.J. Thompson dimostrò che erano particelle cariche.

Thompson in seguito propose il suo modello di atomo a panettone, in cui le cariche negative stanno immerse in una gelatina positiva, e vinse il Nobel l'anno dopo il mio. Mostrai anche che illuminando con luce ultravioletta un metallo si potevano generare elettroni, l'effetto fotoelettrico. Io non riuscivo a capire come funzionasse, ma ce l'avrei certamente fatta se non fosse arrivato quell'ebreo di Einstein. Alla fine nel 1921 gli dettero per questo anche il premio Nobel, nonostante la nostra ferma opposizione!



Johannes Stark nel 1919.⁵⁸

S: L'effetto Stark consiste nella separazione delle linee spettrali di emissione a causa di un campo elettrico esterno. È simile all'effetto Zeeman, che però è dovuto all'azione di un campo magnetico.

Si prende un materiale polverizzato e lo si mette in una fiamma, il materiale comincia ad emettere luce, che è composta da delle righe, causate dagli elettroni che saltano da un livello all'altro. Queste righe consentono anche di identificare il materiale. Bene, Zeeman aveva fatto vedere che se si pone il materiale in un campo magnetico alcune di queste righe si dividono in due o più ed io, ed anche Lo Surdo, in maniera indipendente, abbiamo fatto vedere che un effetto simile si può ottenere con un campo elettrico.

I: Non è stato geloso di Lo Surdo?

S: Sì, tanto da oppormi violentemente al conferimento a lui del premio Nobel, anche se la pensavamo nella stessa maniera in politica. Forse non

⁵⁸ https://it.wikipedia.org/wiki/Johannes_Stark

avrei dovuto prendermela con un camerata che come me odiava la fisica ebraica.

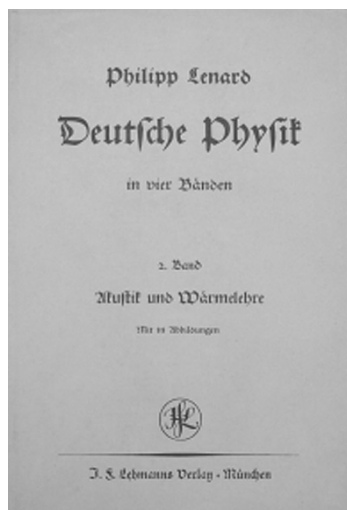
I: In effetti entrambi siete ricordati piuttosto per essere dei ferventi sostenitori del nazismo e per aver coniato il concetto di fisica ariana, anzi, di Deutsche Physik.

L: Inventai io quel termine. Bisognava applicare anche alla fisica le idee che il Führer aveva esposto in 'Mein Kampf', ovvero proteggere il sangue e l'onore tedesco dalla contaminazione delle razze inferiori, che dovevano essere eliminate o ridotte in schiavitù, come del resto facevano praticamente gli inglesi con gli indiani e gli americani con i negri. Lo scrissi esplicitamente nel 1935: *"Come ogni cosa che l'uomo crea, la scienza è determinata dalla razza o dal sangue. La Germania ha il diritto di promuovere risolutamente la sua propria natura anche nella scienza e ciò non soltanto nell'interesse della madrepatria ma anche perché in questo modo noi coltiviamo il meglio che il genere umano possa offrire"*.

S: Nel 1933 la nostra gioventù dette alle fiamme migliaia di libri di ebrei, comprese le opere di Einstein. I quadri degenerati di Van Gogh, Nolde, Picasso, Matisse, Chagall, Klee e così via furono bruciati e lo stesso doveva accadere con la scienza e la fisica.

I: Ma fu una perdita notevole anche dal punto di vista della Germania, che perdeva tantissimi scienziati proprio mentre si preparava alla guerra!

L: Fu quello che disse quel codardo di Planck, che osò rivolgersi a Hitler dicendogli che la fuga degli scienziati ebrei sarebbe stata assai dannosa. Per fortuna il Führer reagì violentemente, asserendo che se la loro di-



Il libro di Lenard.⁵⁹

⁵⁹ <http://giovanniboaga.blogspot.com/2011/01/deutsche-physik.html>

missione “*poteva causare l’azzerramento della scienza tedesca contemporanea, allora noi faremo a meno della scienza per alcuni anni*”.

S: Del resto, come diceva Hitler, “*Un ebreo è un ebreo; tutti gli ebrei si attaccano come sanguisughe. Dovunque c’è un ebreo, immediatamente si radunano altri ebrei di tutti i tipi*”. Planck osava sostenere quella sterile ginnastica fisico-matematica di Einstein e rimase a capo della Kaiser Wilhelm Gesellschaft anche quando suo figlio fu impiccato perché coinvolto nell’attentato contro Hitler!



Antonino lo Surdo circa 1954.⁶⁰

L: E avevamo tanti nemici, alcuni addirittura tedeschi come Max von Laue!

S: Sì, von Laue si oppose sempre sia al nazismo che alla mia scalata accademica. Addirittura, nel 1933 sostenne che la nostra condanna della relatività era simile alla condanna di Galileo da parte della chiesa! Però alla fine fu arrestato sia dai nazisti che dagli inglesi, alla fine della guerra!

L: Un altro traditore era quell’ebreo bianco di Heisenberg, che aveva studiato con quell’altro ebreo vero di Born ed anche lui sosteneva le idee di Einstein!

S: Nel 1934 mi impegnai a far sottoscrivere a tutti gli undici premi Nobel tedeschi ‘ariani’ la seguente dichiarazione di sostegno a Hitler: “*Noi ricercatori Germanici riconosciamo ed ammiriamo in Adolf Hitler il salvatore ed il leader del popolo tedesco. Sotto la sua protezione ed il suo incoraggiamento, il nostro lavoro scientifico sarà di supporto al popolo tedesco ed aumenterà la stima della Germania nel mondo*”. Ebbene, Heisenberg trovò la maniera di non firmare, adducendo come pretesto che gli

⁶⁰ https://it.wikipedia.org/wiki/Antonino_Lo_Surdo

770

NATURE

APRIL 30, 1938, VOL. 141

The Pragmatic and the Dogmatic Spirit in Physics

By Prof. J. Stark, President of the Physikalisch-Technischen Reichsanstalt,
Berlin-Charlottenburg

THE aim of physical science is the investigation and formulation of the laws which govern the properties and processes observed with objects of inanimate Nature. These inherent laws are inde-

phenomena investigated. The mathematically formulated theory is to physicists of the pragmatic spirit not an end in itself, but solely a method for the purpose either of presenting the knowledge

L'articolo di Stark su Nature del 1938.⁶¹

scienziati non dovevano fare dichiarazioni politiche! E gli altri fisici lo seguirono!

I: E che successe?

S: Quella femminuccia di Heisenberg si rivolse a Himmler dicendo che voleva che il suo onore non fosse infangato, altrimenti avrebbe dato le dimissioni e sarebbe emigrato negli Stati Uniti. Faceva presente che, malgrado certi eccessi dei nazisti, aveva scelto di rimanere in Germania per servire il suo paese, ma non era più disposto a tollerare che la sua reputazione venisse svilita. Ebbe una fortuna tremenda: sua madre era cresciuta con quella di Himmler, per cui si parlarono da mamma a mamma.

La signora Himmler promise che suo figlio avrebbe messo le cose a posto aggiungendo che Heisenberg *"è un così bravo ragazzo che mi fa sempre gli auguri per il mio compleanno"* ... Heisenberg fu esaminato e si concluse che malgrado inizialmente educato alla fisica giudaica, nel tempo la sua attitudine verso la scienza era diventata ariana. Sì, certo!

L: Il fatto è che nel frattempo Otto Hahn e quell'ebrea di Lise Meitner avevano scoperto la fissione nucleare e Heisenberg era più utile di noi per portare avanti il progetto atomico tedesco. Noi effettivamente della fisica quantistica non capivamo nulla. Pensi che nel 1942 Göring dichiarerà che Hitler avrebbe approvato la sospensione immediata delle leggi razziali nel caso di preminenti progetti di ricerca gestiti da scienziati di

⁶¹ <https://www.nature.com/articles/141770a0.pdf>

altissime capacità intellettuali dai quali si poteva trarre vantaggio, anche se avevano una moglie ebrea o fossero in tutto o in parte ebrei!

S: Addirittura mi mandarono forzatamente in pensione ed alla fine la Gestapo arrestò anche mio figlio!

I: Ma perché ce l'avevate particolarmente con Einstein?

L: Einstein era un ebreo ed un pacifista! Era un sostenitore della Repubblica di Weimar! Aveva rinunciato alla cittadinanza tedesca a 16 anni! Aveva eliminato il concetto di etere dalla fisica! E poi l'idea della relatività era proprio l'opposto di quello che sostenevamo noi nazisti. Riuscii quasi a provare che il suo calcolo della deviazione della luce a causa di un campo gravitazionale era solo una copiatura di un calcolo classico fatto da Soldner nel 1801, ma Einstein trovò l'errore che aveva commesso e predisse una deviazione doppia, poi confermata da Eddington.

Comunque, la sua ricerca non era *"null'altro che formule artificiose basate su definizioni irresponsabili"*. E poi il fatto che queste assurdità venissero accettate ed applaudite dai fisici di tutto il mondo, *"doveva per forza essere il risultato di una cospirazione. E le cospirazioni e le cabale sono i cavalli di battaglia degli ebrei"*. *"Tutta la vera ed autentica fisica proviene dalla razza ariana e la fisica 'giudaica', come le assurde teorie della relatività di Albert Einstein, non sono altro che una cospirazione ebraica internazionale intesa a distruggere la fisica ed ad elevare il popolo ebreo"*.

S: Come scrissi in un articolo su Nature nel 1938, ero d'accordo sul fatto che la fisica è indipendente dal pensiero e dagli atti di chi la studia ed è la stessa in tutto il mondo. Ma la mia idea era che esistono due mentalità di approccio ai problemi, quella *pragmatica* e quella *dogmatica*.

La prima, quella *pragmatica*, ricerca le leggi della natura tramite gli esperimenti e solo in seguito elabora la teoria appropriata. La seconda, quella *dogmatica*, invece inizia la ricerca appoggiandosi ad una teoria basata su supposizioni ed idee non comprovate, elaborate grazie a complessi ragionamenti matematici, ed infine cerca di dare loro un significato fisico. Se poi i risultati sperimentali confermano la teoria, lo scienziato *dogmatico* sostiene che solo grazie alla sua teoria si era realizzato un progresso scientifico. Le conseguenze sono che lo spirito 'dogmatico' paralizza la ricerca sperimentale ed è paragonabile al dogmatismo teologico del

medio evo. Al contrario, lo spirito 'pragmatico' porta a nuove scoperte e conoscenza. Tra i dogmatici ci sono Heisenberg, Sommerfeld ed ovviamente Einstein.

I: Beh, mi rendo conto che non ci sono molti punti di contatto tra noi, anzi, direi nessuno. Ma penso che sia importante ricordare a quali eccessi sia arrivato il razzismo! Arrivederci.

L: Arrivederci!

S: Tanti saluti a tutti.

Max von Laue



RadioMoka S8E17 24 febbraio 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/9k9xTBf91EU>

I: Buongiorno professor von Laue, come sta?

L: Bene, grazie, anche se ho ancora dei dolori per quel maledetto incidente.

I: Quale incidente?

L: Quello per cui sono morto nel 1960. Me ne stavo tornando tranquillo dal laboratorio quando la mia auto fu investita da una moto e rovesciata a testa in giù!

I: Una moto?

L: Sì, quel cretino che la guidava aveva preso la patente da due giorni. Lui morì immediatamente ed io una quindicina di giorni dopo a causa delle ferite riportate.



Max von Laue nel 1929.⁶²

I: Beh, aveva da poco compiuto 80 anni, aveva comunque vissuto la sua vita...

L: È vero, ed ho avuto anche le mie soddisfazioni, per quanto sia stato sempre minacciato dagli altri fisici, molti dei quali nazisti, e dai militari.

I: Non sarà un po' paranoico?

L: Ho dovuto difendermi tutta la vita dai nazisti e dalle SS; e quando sono arrivati gli alleati, mi hanno imprigionato nel campo di Farm Hall con gli

⁶² https://en.wikipedia.org/wiki/Max_von_Laue

altri scienziati tedeschi. Io rimproverai i miei colleghi, dicendo loro che avrebbero potuto fare come me ed opporsi al nazismo e come risultato non mi parlarono più. E i militari inglesi mi proibirono di andare alla commemorazione di Röntgen, nel 1945.

I: Poco tempo fa abbiamo avuto qui Lenard e Stark che ce l'avevano a morte con lei.

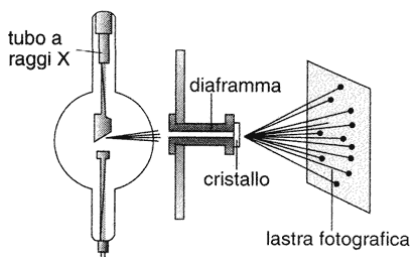
L: Quelle mezze calzette, Stark in particolare! Voleva diventare il Führer della fisica, ma non sapeva fare $2+2$. Per fortuna sono riuscito impedire che diventasse il presidente dell'Accademia Prussiana delle Scienze. Adirittura, mi scrisse una lettera in cui mi chiedeva di prendere posizione pro o contro la fisica ariana, chiudendo con un *Heil Hitler!*

I: E lei?

L: Lo diffidai dallo scrivermi ancora.

I: Per favore, ci parli delle sue scoperte.

L: Volentieri. Ho studiato e poi lavorato con Max Planck e Arnold Sommerfeld. Oltre a pubblicare lavori sulla relatività, mi sono occupato di cristallografia, materia sulla quale ho fatto il lavoro di dottorato. A quel tempo la cristallografia non era una materia da fisici. Nessuno metteva in dubbio che i cristalli fossero costituiti da atomi disposti in maniera regolare, ma non sembrava che si potesse trarre alcuna conseguenza da ciò. Verso la metà dell'800 Cauchy aveva calcolato le costanti elastiche di un cristallo composto da un reticolo regolare di forze centrali ed aveva concluso che doveva avere solo una costante, ovvero comportarsi in maniera isotropa. Viceversa, nell'ipotesi continua, si trovava che ci dovevano essere diverse costanti per le varie direzioni, cosa verificata sperimentalmente. È vero che Kelvin, e poi Born, avevano fatto vedere che bastava usare una "cella elementare" che non fosse isotropa, ovvero avere un cristallo composto da più di una specie chimica, per ritrovare il comportamento anisotropico, ma nessuno pensava che si dovesse



Diffrazione dei raggi X.

spendere nel tempo nel fare calcoli così difficili quando bastava l'approssimazione continua.

I: E lei?

B: Io mi misi a lavorare con due sperimentali, Paul Knipping e Walter Friedrich, e dopo qualche tentativo fallito riuscimmo a produrre una figura di interferenza da parte dei raggi X diffratti da un cristallo.

I: Quali furono le difficoltà?

L: Beh, in realtà non sapevamo bene cosa cercare. Io pensavo che avremmo dovuto vedere una figura di interferenza perché i raggi X avevano la lunghezza d'onda giusta, circa 10 volte la spaziatura tra gli atomi di un cristallo, ma non avevamo idea di come e dove si sarebbe formata.

I: Come? quando ce la fanno studiare all'università sembra tutto così semplice. I raggi X incidono sul cristallo ed ogni atomo li diffonde in certe direzioni caratteristiche a secondo di come sono disposti i suoi elettroni. Poi, a causa della disposizione regolare degli atomi, certe direzioni si rafforzano ed altre si indeboliscono, fino ad avere una figura tutta formata da macchioline che ci dicono come sono disposti gli atomi nel cristallo. È così che per esempio si è scoperta la struttura del DNA.

L: Sembra tutto facile ma non è così. Cominciamo con i raggi X. Questi vengono prodotti in un tubo a vuoto accelerando degli elettroni e poi facendoli collidere con l'anodo o anticatodo, una placca di metallo pesante disposta dall'altra parte del catodo. La radiazione emessa è composta da due parti: quella dovuta al frenamento degli elettroni, che ha uno spettro continuo ed è polarizzata, ed una a righe, detta radiazione caratteristica, dovuta all'eccitazione degli atomi dell'anodo. Noi inizialmente pensavamo che la figura di diffrazione sarebbe dovuta venire fuori a causa dell'eccitazione degli elettroni nel cristallo, in maniera simile alla radiazione caratteristica, per cui mettemmo i rivelatori dalla parte della sorgente, davanti al cristallo. Ovviamente non vedemmo nulla.

I: E perché non provaste dietro?

L: Lo facemmo dopo, un po' per disperazione. Il fatto è che la diffrazione viene fuori solo se la radiazione è monocromatica, almeno in parte, ma la radiazione di frenatura degli elettroni è continua e quindi contiene molte frequenze. In principio quindi si dovrebbero formare molte figure di interferenza sovrapposte e quindi non si dovrebbe vedere nulla. Però

invece l'interferenza si vedeva bene e solo dopo ci rendemmo conto che la radiazione era più monocromatica di quanto si pensasse, anche grazie al fatto che il vetro del tubo a vuoto schermava le basse frequenze.

I: Insomma un colpo di fortuna!

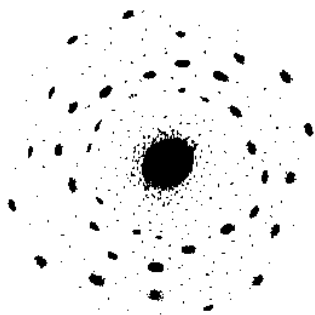
L: In parecchi la pensarono così, compreso Debye. Anche Sommerfeld all'inizio era parecchio scettico. Ci volle un po', a me ed ai due Bragg, padre e figlio, per capire cosa stava succedendo. Ma nonostante questo, mi dettero il premio Nobel a spron battuto: nel 1912 pubblicai l'articolo e nel 1914 ricevetti il premio.

I: Anche il suo premio Nobel ha una storia avventurosa!

L: Già. Avevo consegnato la medaglia d'oro del premio ad un chimico ungherese, George de Hevesy, che lavorava nel laboratorio di Bohr in Danimarca, così come aveva fatto James Frank, per evitare che la confiscassero i nazisti. Era strettamente proibito esportare l'oro, ma noi non volevamo assolutamente che servisse a finanziare il partito di Hitler. Quando i tedeschi invasero la Danimarca, Hevesy dissolse le medaglie in acqua regia, così che non furono trovate. Alla fine della guerra la bottiglia era ancora lì e fu possibile far precipitare l'oro. In questo modo la Nobel Society poté ricostruire le medaglie, usando lo stesso oro.

I: Franck si licenziò ed emigrò in America, disgustato dai nazisti, e lei?

L: Io rimasi in Germania fino alla fine della guerra, sempre osteggiando il nazismo a volto scoperto. Per esempio, giravo sempre con dei libri sotto le due braccia per evitare di fare il saluto nazista. E, con Otto Hahn, aiutammo parecchi colleghi a scappare. Ma io ritenevo che una opposizione interna era fondamentale per tenere acceso un barlume di pensiero critico.



Schizzo dall'immagine ottenuta da Von Laue nel 1912 con raggi X su un cristallo di solfato di rame.⁶³

⁶³ <http://www.fis.unipr.it/~derenzi/dispense/pmwiki.php?n=StatoSolido.StrutturaPeriodicaDeiCristalli>

I: A volte sfidò apertamente i nazisti.

L: Certo, come per esempio durante la commemorazione di Friz Haber. Haber è stato un gran chimico ed anche un patriota. Inventò il processo che porta il suo nome per la produzione di ammoniaca, per cui prese il premio Nobel, ed inventò i gas asfissianti nella prima guerra mondiale.

I: Beh, capisco che sia patriottico per i tedeschi ma non mi sembra molto umano.

L: A parte che i gas furono sviluppati anche dai francesi e dagli inglesi, e che poi voi italiani li usaste in gran quantità per piegare gli abissini, il fatto è che quando uno è morto è morto, non è che cambi molto se viene ammazzato da una pallottola - o meglio, dalle infezioni conseguenti ad una ferita, come accadeva in genere durante la Grande Guerra, prima dell'invenzione degli antibiotici - oppure rapidamente con il gas. Comunque sia, Haber ricevette molte onorificenze per il suo lavoro e si considerava un gran patriota. Era di famiglia ebrea ma si era convertito al cristianesimo, così come la sua prima e seconda moglie. Nonostante ciò, fu costretto ad emigrare in Inghilterra. Planck tentò di ammorbidire il Führer, ma non ci fu niente da fare. E tenga presente che Haber aveva inventato anche lo Zyklon B, un antiparassitario, che poi fu usato nelle camere a gas dei nazisti.

I: E lei?

L: Un anno dopo la morte di Haber, nel 1935, Planck, Hahn ed io organizzammo una commemorazione, ma io fui quasi l'unico professore a partecipare. Durante il discorso funebre paragonai l'espulsione di Haber a quella di Temistocle da Atene.

I: Lei si spese anche in difesa di Einstein

L: Sì, nel 1933, sostenni che la nostra condanna della relatività era simile alla condanna di Galileo da parte della chiesa!

I: Questo, nonostante lei fosse molto devoto!

L: Diversamente da molti altri fisici, ho sempre confidato nella benevolenza del Signore e quando stavo per morire chiesi che venisse menzionato nel mio epitaffio funebre.

I: Bene, la ringraziamo per aver partecipato a RadioMoka.

L: È stato un piacere. Qua attorno non ci sono militari, vero?

Isaac Newton



RadioMoka S8E18 3 marzo 2018 (voci di Margherita Bagnoli e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/XPP8sf2mon8>

I: Buongiorno, professor Newton.

N: Buongiorno. Mi chiami Sir, per favore. Non sa che sono baronetto?

I: Certo Sir Newton. La ringraziamo di aver dedicato un po' del suo tempo a RadioMoka.

N: È stata una vera eccezione, lo sapete che io non mi presto certo a parlare al volgo.

I: E per questo la ringraziamo di nuovo. Sappiamo che lei è stato il presidente della Royal Society, eletto deputato, nominato baronetto dalla regina Anna, direttore della Zecca di Londra e poi seppellito a Westminster.

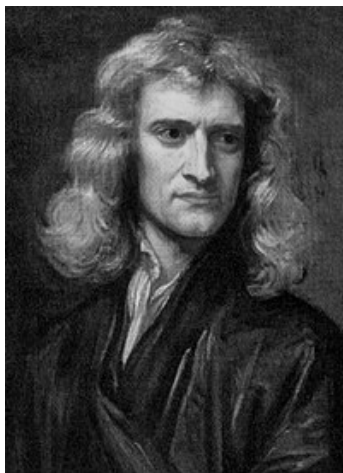
N: Direi che non hanno fatto altro che riconoscere il mio valore...

I: Ma lei non è nato da famiglia nobile...

N: Cosa dite mai? Io discendo dal baronetto John Newton!

I: A noi risulta che il titolo fu venduto dal vero baronetto, che però non era suo avo, che era in crisi finanziaria, ad un suo omonimo, vostro antenato.

N: Assurdo! E comunque mi hanno fatto baronetto un'altra volta nel 1705! Sono nato la notte di Natale del 1642, lo stesso anno in cui moriva Galileo, una specie di passaggio di testimone, si può dire. La mia famiglia



Isaac Newton, ritratto di Sir Godfrey Kneller (1689).⁶⁴

⁶⁴ https://it.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton

effettivamente era composta da contadini e pastori, che però si erano elevati socialmente fino a diventare proprietari terrieri, con una bella tenuta. Mio padre Isaac mise incinta mia madre Hannah e la dovette sposare, ma poi morì improvvisamente. Mia madre volle mettermi il nome di mio padre, ma dato che ero nato prematuro, tutti mi davano per spacciato. Invece vissi fino a 85 anni, il doppio della media della mia epoca.

I: Lei è sempre stata una persona solitaria.

N: Vero. Quando avevo 4 anni mia madre si risposò ed il mio patrigno non mi volle con sé, rimasi a vivere con mia nonna, una vecchiaccia. Per fortuna il mio patrigno mi regalò un pezzo di terra, che mi assicurava una certa rendita. Soffrì molto per il distacco da mia madre e da allora non ebbi mai né veri amici né tantomeno fidanzate o mogli.

I: La religione era una cosa importante ai suoi tempi, ma non è chiaro a quale chiesa lei appartenesse.

N: Come sa, negli anni '30 del 1500 Enrico VIII voleva separarsi dalla moglie Caterina d'Aragona e sposare Anna Bolena. Molti membri del parlamento e della camera dei Lord erano sotto l'influenza della riforma protestante ed il potente Lord Thomas Cromwell voleva sottrarre l'Inghilterra dall'influenza papale. Così il re prese l'occasione di sottomettere la chiesa d'Inghilterra e fondare la religione anglicana, in fondo abbastanza simile al cattolicesimo. Ma nel 1649 Oliver Cromwell, discendente di Thomas, prese il potere, fece decapitare il re Carlo I ed impose una fede puritana in cui solo i seguaci della Bibbia potevano salvarsi, tutti gli altri ed in particolare i cattolici erano destinati all'inferno. Seguire la Bibbia voleva dire lavorare sodo ed evitare qualsiasi tipo di divertimento. I



Enrico VIII ritratto da Hans Holbein il giovane.⁶⁵

⁶⁵ https://it.wikipedia.org/wiki/Enrico_VIII_d%27Inghilterra

teatri furono chiusi e demoliti, gli artisti puniti come canaglie e vagabondi. I ragazzi sorpresi a giocare a pallone erano puniti con la frusta, una singola bestemmia poteva portare in prigione. Lavorare di domenica era proibito e nel giorno del Signore anche fare una passeggiata poteva attirare multe, a meno che non fosse, ovviamente, per andare a messa. Bisognava digiunare completamente almeno un giorno al mese, le donne dovevano vestirsi di nero da capo a piedi ed avere sempre il capo coperto. A Natale le guardie pattugliavano le strade a caccia di festeggiamenti sacrileghi; il semplice odore di un arrosto poteva attirare sequestri e punizioni. Oliver Cromwell morì nel 1658, ma due anni dopo la monarchia fu restaurata, il suo corpo fu riesumato, decapitato e gettato in una fossa comune, mentre la testa venne impalata ed esposta davanti all'abbazia di Westminster fino al 1685, per 24 anni!

I: Un po' macabro, ai vostri tempi...

N: Beh, anch'io, quando divenni direttore della zecca, non esitai a svolgere indagini accurate sui falsari in modo da riuscire ad impiccarne quanti più possibile, oltre ad ottimizzare tutti i processi. In due anni, dal 1696 al 1698 la zecca produsse tante monete quanto nei trent'anni precedenti. Non eravamo teneri con le esecuzioni. Il condannato era portato in pubblica piazza ed impiccato in modo da soffocare, senza però morire. Poi, da vivo, era castrato, eviscerato e solo alla fine, pietosamente decapitato. Il corpo, fatto a pezzi, era poi esposto in varie strade di Londra, scelte dal re.

I: Bello! Ma non ci ha ancora detto di che religione era.

N: Ah, già! Caduto Richard Cromwell, figlio di Oliver, fu richiamato il re Carlo II, figlio del re decapitato da Cromwell, che, come ho detto, per prima cosa si premurò di squartare il cadavere dell'usurpatore. Il nuovo re era un vero edonista, ebbe 12 figli illegittimi ed abolì il puritanesimo di Cromwell, oltre a spendere oltre il dovuto in feste ed altri divertimenti. Carlo II fondò la Royal Society ma era piuttosto vicino al cattolicesimo, aveva una moglie cattolica e cercò di modificare la religione di stato in senso cattolico. Nel 1685 a lui subentrò il fratello Giacomo, cattolico dichiarato. Però molti inglesi ce l'avevano a morte con i papisti e nel 1689 ci fu la Gloriosa Rivoluzione, fu chiamato Guglielmo d'Orange che sbaragliò le truppe di Giacomo e prese il potere, regnando insieme alla moglie Maria come Guglielmo III d'Inghilterra, instaurando la monarchia

costituzionale. Guglielmo era un protestante e chi, come me, si era sempre opposto al cattolicesimo fu quindi favorito.

I: Quindi lei era luterano, o forse anglicano?

N: A dire la verità, niente di tutto questo. Io ero molto dubbioso per esempio del dogma trinitariano e piuttosto vicino alle tesi degli ariani, cosa che sarebbe stata molto pericolosa da svelare. Cattolici, protestanti ed anglicani, pur odiandosi tra loro, erano sempre ben contenti di bruciare eretici. Ma ero confortato dalla mia interpretazione scientifica della Bibbia!



Oliver Cromwell ritratto da Samuel Cooper nel 1656.⁶⁶

I: Ma lei non ha studiato fisica?

N: Nella mia vita ho fatto tre studi importanti: quelli fisici, in giovane età, poi ho studiato la Bibbia con rigore scientifico, cercando di scovare delle leggi equivalenti a quelle che avevo trovato per la fisica, ed infine gli studi alchemici. In realtà solo il 30% di tutti i miei scritti riguardano la fisica.

I: Ma lei pubblicò i Principia Mathematica nel 1687, a 45 anni!

N: Avevo da tempo abbandonato lo studio della fisica, ovviamente senza pubblicare nulla perché, nonostante avessi già scoperto le leggi che portano il mio nome, non ero tenuto a pubblicare per mantenere il mio posto. Però quel bastardo di Hooke cominciava a sostenere, pur senza avere la capacità matematica di provarlo, che le orbite dei pianeti potevano essere spiegate ipotizzando che la gravità decrescesse con il quadrato della distanza. E quell'altro bastardo di Leibniz stava propagando la sua versione del calcolo infinitesimale, senza riconoscere che aveva avuto l'ispirazione da una mia lettera.

⁶⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Oliver_Cromwell

I: E quindi?

N: Halley, lo scopritore della cometa, mi chiese una volta se avessi un'idea del tipo di forma avrebbe l'orbita di un pianeta, assumendo una forza che dipende dal quadrato della distanza. Risposi immediatamente: "Un'ellisse!". "Come fate a saperlo?" domandò Halley. "Beh" risposi, "l'ho calcolato" e dopo qualche mese gli inviai un trattato di nove pagine. Halley si emozionò e cominciò a tormentarmi perché scrivessi il trattato, correggendolo accuratamente. Alla fine, scrissi più di 500 pagine in tre volumi, che furono pubblicati a spese di Halley. Cercai di scriverlo nella maniera più difficile possibile, in modo che lo comprendessero solo i più eccelsi matematici e soprattutto in modo che Hooke non ci capisse nulla.

I: Mi sembra di notare un certo astio nella sua voce...

N: A parte Halley, che ricompensai quando diventai direttore della Zecca con l'incarico di funzionario in una succursale, per uno stipendio di novanta sterline l'anno, e Galileo, tutti gli altri scienziati erano solo dei bastardi, per dirla in maniera gentile. In particolare, i miei colleghi della Royal Society, che perdevano il tempo a disquisire di qualunque cosa, compreso un metodo per uccidere i serpenti a sonagli. Ma il più bastardo di tutti era Robert Hooke, che doveva fare ogni settimana una nuova dimostrazione scientifica per la Royal Society. Quando diventai presidente, nell'anno della sua morte, mi premurai di far rimuovere ogni riferimento a lui, arrivando a far distruggere il suo unico ritratto durante un trasloco, ed a far sì che il suo biografo lo descrivesse come una persona meschina,



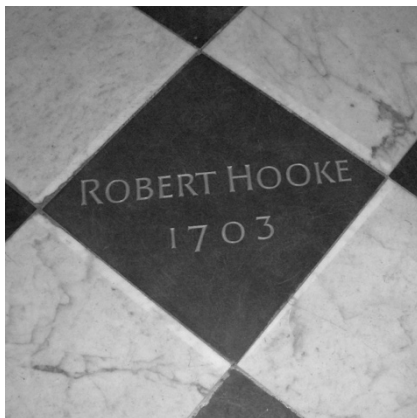
Incisione rappresentante Leibnitz.⁶⁷

⁶⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Gottfried_Wilhelm_Leibniz

sempre dedita a copiare i risultati scientifici altrui. Mentre io, come ho detto, se ho visto più lontano, è perché stavo sulle spalle di giganti, non certo su quelle di un nano come lui.

I: Non abbiamo parlato dei suoi risultati scientifici, che però penso siano ben conosciuti.

N: Ci mancherebbe altro che qualcuno non conoscesse le tre leggi della dinamica o il mio contributo fondamentale all'ottica, in cui dimostro senza ombra di dubbio che la luce è formata da particelle e non certo da onde come sostenevano quei bastardi di Hooke e Huygens!



Placca commemorativa di Hooke nell'Abbazia di Westminster.⁶⁸

I: A dire la verità, la natura corpuscolare della luce che usiamo oggi è molto diversa dalla sua e la luce si comporta in molti casi proprio come un'onda...

N: Non credo di poter sopportare più questa conversazione. Arrivederci.

I: Mi dispiace che si sia arrabbiato, in fondo lei è stato il fondatore della fisica moderna, anche se John Maynard Keynes, che acquisì molti dei suoi scritti sull'alchimia, disse che lei "non fu il primo dell'età della ragione: fu l'ultimo dei maghi". Ma Halley, nella prefazione ai suoi principi, scrisse un'ode, abbastanza imbarazzante, allo splendido ornamento del nostro tempo e della nostra nazione, il trattato fisico-matematico dell'eminente Isaac Newton.... "Ammirate lo scenario dei cieli, gli equilibri della divina architettura; i calcoli di Giove e le leggi che il Creatore di tutte le cose mai violò, ponendo le basi del mondo; ammirate le fondamenta che Egli diede al suo lavoro"

N: Come scrissi nella prefazione ai Principia, "non so come io appaia al mondo, ma per quel che mi riguarda mi sembra di essere stato solo come un fanciullo sulla spiaggia che si diverte nel trovare qua e là una pietra più

⁶⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Hooke

liscia delle altre o una conchiglia più graziosa, mentre il grande oceano della verità giace del tutto inesplorato davanti a me".

I: Addio, allora! E buon proseguimento.

N: Addio.

Robert Hooke



RadioMoka S8E19 10 marzo 2018 (voci di Giulia Centetti e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/6oisaX7tfYY>

I: Buongiorno professor Hooke.

H: Buongiorno, ma purtroppo non sono professore.

I: Allora buongiorno dottor Hooke.

H: Non sono neppure dottore.

I: Beh, buongiorno lo stesso. Penso che molti la conoscano per la legge sull'elasticità che ha preso il suo nome. Potrebbe per favore raccontarci qualcosa sulla sua vita?

H: Sono ricordato per la più stupida delle mie scoperte, la legge dell'elasticità. Penso che anche questo sia stato un complotto di Newton. Ma andiamo con ordine.

Sono nato nel 1635 nel villaggio di Freeshwater, nell'isola di Wight. Dal porto del villaggio po-

tevo vedere passare le navi che andavano o tornavano da posti lontani, che eccitavano la mia fantasia. Mio padre era pastore ed avrebbe voluto che io continuassi il suo mestiere, ma a me l'insegnamento religioso dava il mal di testa. Preferivo esplorare le grotte, studiare i minerali, i fossili e gli animali. Non riesco a capire perché a scuola ci insegnassero la fissità delle specie e che i fossili altro non fossero che scherzi della natura. A me sembravano esseri plausibili che però erano esistiti in altre epoche.



*Ritratto di Robert Hooke
realizzato nel 2004.⁶⁹*

⁶⁹ https://it.wikipedia.org/wiki/Robert_Hooke

I: Diceva che non è dottore, quale è stata la sua formazione?

H: A 13 anni, dopo il suicidio di mio padre, andai a Londra dove fui preso come apprendista in una bottega di pittura. Era l'epoca di Cromwell, la capitale era triste e puritana. Anche l'odore delle vernici mi dava il mal di testa, per cui me ne andai e riuscii ad entrare in una scuola per studenti bisognosi, grazie al fatto che in una sola settimana ero riuscito a padroneggiare i primi sei libri della geometria di Euclide.

I: Non è che stia un po' esagerando i suoi meriti?

H: Curiosamente, questo è un appunto che mi hanno fatto più volte. Lì studiai matematica, latino, greco ed un po' di ebraico e di aramaico, oltre a suonare l'organo. Ma quello che mi affascinava era il lavoro degli artigiani, imparare da loro. Escogitai più di trenta modi di volare, anche se non ebbi mai l'occasione di metterli in pratica. Purtroppo, a forza di stare curvo sul tornio, diventai un po' gobbo, cosa grave dato che già non ero alto.

I: Lei era molto dotato per il lavoro manuale.

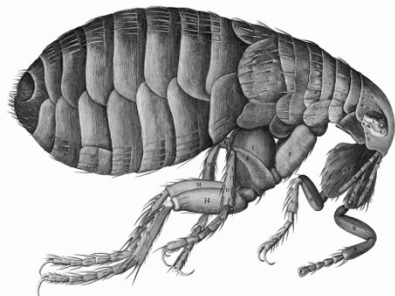
H: Sì, grazie alle mie doti di artigiano riuscii ad entrare in contatto con il circolo degli scienziati dell'epoca, che si riunivano intorno alla figura di John Wilkins. Lui mi introdusse allo studio della botanica, della navigazione, della linguistica. Studiai i termometri, i magneti, il moto perpetuo, i sottomarini, le macchine volanti, l'anatomia e mille altre cose. In quel circolo c'era anche Robert Boyle, che alla fine mi assunse come assistente di laboratorio: dovevo assisterlo negli esperimenti sui gas ed in quelli alchemici.

I: Esperimenti alchemici? Boyle?

H: A quei tempi molti scienziati coltivavano passioni assolutamente non-scientifiche, come del resto fece anche Newton. Io ero assolutamente contrario a questo approccio quasi magico, nella mia mente, l'alchimia, l'astrologia, la pietra filosofale ed altri residui di superstizione erano mali che dovevano essere combattuti. Pensai di andarmene via, ma per fortuna nel 1660 tornò Carlo II e nello stesso anno fu fondata la Royal Society, poi riconosciuta dal re nel 1661. Boyle riuscì a farmi entrare nella società come curatore degli esperimenti. Ero felicissimo, ma non sapevo quale enorme mole di lavoro mi aspettava. Ero costretto ad assecondare le richieste dei membri della società, oltre a quelli di Boyle.

I: Ci parli della Royal Society.

H: Il motto della società era “Nullius in Verba”, ossia “sulla parola di nessuno”, che stava a sottolineare la determinazione dei fondatori di stabilire i fatti secondo il metodo sperimentale, ossia alla maniera Galileo. Tra i compiti previsti dal contratto, vi era quello di ideare e preparare, per ogni riunione settimanale, tre o quattro nuovi esperimenti su cui attrarre l’attenzione dei soci.



Disegno di una pulce di Hooke.⁷⁰

I: Ma la Royal Society era una società pubblica o privata?

H: Privata! Quale differenza, ahimè, dalla ricca Académie Royale des Sciences francese che stava nascendo a Parigi per volere di Luigi XIV! Mentre la Royal Society era un organismo privato ed autonomo, che decideva in proprio l’elezione dei nuovi membri e la nomina alle cariche interne e comprendeva sia dilettanti che professionisti, l’Académie era un’istituzione di Stato, riccamente finanziata, i cui membri, tutti scienziati professionisti di nomina statale, avrebbero avuto assegnati eleganti alloggi e ricevuto lauti stipendi. Ma naturalmente sarebbero stati costretti ad elaborare tutti i progetti richiesti dal governo, per lo più destinati ad applicazioni pratiche. Noi invece eravamo liberi di studiare quello che volevamo, per lo più sciocchezze.

Tanto per darle una idea, ecco un elenco di argomenti trattati in una tipica seduta:

- *Un aggiornamento sulla produzione di lenti per ottica.*
- *Una macchia nelle cinture di Giove.*
- *Una storia sperimentale del freddo.*
- *Osservazioni ed esperimenti sulla rugiada.*
- *Pesca di balene alle isole Bermuda.*
- *Il successo degli orologi a pendolo per misurare la longitudine in mare.*

⁷⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Hooke

- *Il giudizio di Monsieur Azout sull'apertura degli obiettivi rispetto alla lunghezza dei telescopi.*
- *Una relazione su persone uccise da vapori sotterranei.*
- *Osservazioni di una testa mostruosa.*
- *Osservazioni anatomiche su del latte trovato nelle vene invece del sangue e su erba trovata nei polmoni di alcuni animali.*
- *La descrizione di un vitello davvero mostruoso.*
- *Una relazione su alcune straordinarie maree nelle isole occidentali della Scozia, comunicata dal Sig. Robert Moray.*
- *Un metodo per uccidere i serpenti a sonagli.*

Alcuni degli esperimenti che dovevo fare per la Royal Society erano bizzarri e crudeli. Dovetti aprire il torace di un cane per vedere quanto poteva sopravvivere pompando aria nei polmoni, Altri esperimenti a cui mi rifiutai di prendere parte riguardarono l'iniezione di sangue di pecora e di vitello in dei pazienti volontari per vedere cosa sarebbe accaduto. Purtroppo, la vita frenetica a cui ero costretto non mi permetteva quasi mai di portare a compimento le mie invenzioni, per cui molte delle mie scoperte sono state poi attribuite ad altri.

I: E lei fece da assistente di laboratorio per tutta la vita?

H: No, nel 1665 ero finalmente diventato professore di Geometria presso il Gresham College, a 50 sterline l'anno, e poco prima pubblicai il mio primo libro, *Micrografia*, dove descrivevo le mie esperienze al microscopio, corredandole con straordinari disegni d'insetti e d'altri oggetti di minute dimensioni. Lo avevo scritto in uno stile semplice, alla maniera di Galileo, accessibile anche a chi non avesse basi scientifiche, ma fosse in grado di leggere Shakespeare o la Bibbia.

I: Un testo notevole, penso.

H: Un vero successo editoriale. In *Micrografia* avevo riportato l'osservazione di frange colorate nei vetrini utilizzati per i miei studi. A questo proposito ricordo di aver scritto: «I colori appaiono in forma di anelli circolari, più o meno regolari, disposti nell'ordine in cui essi appaiono nell'arcobaleno, vale a dire, andando dal cerchio più interno a quello più esterno, blu, violetto, rosso, giallo, verde» ed avevo supposto che la luce fosse un fenomeno ondulatorio. Mai avrei immaginato che questi sarebbero passate alla storia come "anelli di Newton", che inoltre mi avrebbe

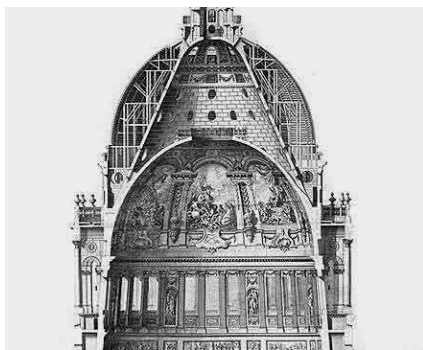
severamente contraddetto circa la mia interpretazione ondulatoria del fenomeno luminoso.

E naturalmente non potei mai venire a conoscenza del fatto che i posterì avrebbero battezzato “pendolo di Newton” la notissima serie di biglie d'acciaio appese a fili con cui IO avevo studiato le modalità degli urti elastici tra corpi solidi.

I: Lei è conosciuto anche come architetto.

H: Gli anni 1665-1666 sono stati fondamentali per me. Nel 1665 scoppiò la peste a Londra e quindi potei avere un po' di riposo dato che tutti i membri se n'erano scappati in campagna. L'anno seguente fu quello del terribile incendio di Londra. La capitale inglese era una città di costruzioni di legno impermeabilizzate con il catrame. Era da domandarsi perché non fosse bruciata prima. La luce delle fiamme fu vista fino a cinquanta chilometri di distanza. La fine dell'incendio si rese possibile solo quando gli ultimi edifici, che dopo una momentanea estinzione avevano ripreso ad ardere, furono fatti esplodere con la polvere da sparo, per diretto ordine di Re Carlo II.

Sebbene l'ottanta per cento della città fosse andato distrutto e non meno di centomila abitanti fossero rimasti senza casa, quasi miracolosamente soltanto sedici persone avevano perso la vita, almeno secondo le stime ufficiali. In realtà pare che i morti fossero stati centinaia, se non migliaia. Andarono bruciati circa tredicimila edifici abitativi, ben novanta chiese, quattro ponti sul Tamigi ed una grande quantità di costruzioni pubbliche. L'antica cattedrale di St. Paul, quella dalla cui sommità io aveva fatto esperimenti sul peso dei gravi, venne completamente distrutta.



Schema della cupola della cattedrale di St. Paul.⁷¹

⁷¹ <https://markslondonrambles.wordpress.com/2012/08/29/robert-hooke-our-own-leonardo-da-vinci/>

La pianificazione della ricostruzione di Londra fu affidata da Carlo II a Christopher Wren ed a me. Tra i grandi palazzi, io rimisi in piedi quello di Lady Burlington, la Montagu House ed il Reale Collegio di Medicina.

Per la cattedrale di St. Paul il mio principale contributo fu la soluzione adottata per la cupola, costituita da tre volte coassiali, tenute a distanza da un traliccio di barre metalliche: la volta più elevata e più snella aveva lo scopo di impressionare la visione dall'esterno; la falsa cupola intermedia non era visibile ed aveva una funzione strutturale: era fatta infatti come una catenaria, mentre le altre erano sferiche; la volta inferiore è quella che si vede stando all'interno della chiesa ed assolve quindi a funzioni decorative.



The Monument, 1671-76, incisione di Sutton Nicholis del 1753.⁷²

I: E qual è l'edificio di cui va più fiero?

H: Sicuramente "the Monument", una colonna dorica cava di quasi cinque metri di diametro ed alta una settantina, eretta per commemorare il grande incendio. Nelle mie intenzioni la colonna doveva prestarsi ad esperimenti scientifici ed ospitare un telescopio zenitale atto a mostrare in pieno giorno le stelle sulla verticale del sito. La colonna avrebbe fatto le veci di un profondo pozzo, in cui l'osservatore, collocato sul fondo, guardava il cerchio di cielo alla bocca, con un'enorme attenuazione della luce solare proveniente dalla volta celeste.

I: Di Newton si sa che era un misogino, che non ebbe mai amori né maschili né femminili. E lei?

H: Al contrario, io amavo la compagnia, frequentavo le coffee house insieme ai miei amici, primi fra tutti Christopher Wren ed il più giovane

⁷² <http://rsnr.royalsocietypublishing.org/content/65/2/121>

Edmond Halley, ed avevo ottimi rapporti con le donne, in particolare ne intrattenni regolarmente con le mie domestiche e poi con mia nipote Grace con la quale vissi more uxorio per anni, fino alla prematura morte di lei nel 1684. Studiavo il sesso, come tutto il resto, in maniera scientifica. Nei miei appunti si leggono dettagliate e colorite descrizioni dei miei incontri sessuali e dei miei orgasmi, che nel diario segnavo espressamente con il simbolo astrologico dei pesci, associato a Venere e Cupido.

I: Insomma andava tutto bene.

H: Purtroppo la sorte invidiosa era in agguato. Una sera di maggio del 1676, fui invitato da alcuni amici ad assistere al Dorset Garden Theatre ad una rappresentazione dal titolo *The Virtuoso*, nuova opera di Thomas Shadwell. Nella commedia veniva messo in burla uno scienziato, una specie di sintesi di vari ricercatori della Royal Society, ma i cui tratti principali erano esattamente corrispondenti alla mia figura, con tutti i difetti che mi venivano a ragione o a torto ascritti. Non mancavano anche riferimenti alla mia vita privata. Ne sortiva un quadro della Royal Society come di un gruppo di perditempo, emeriti spacconi, incapaci di produrre qualcosa di utile per la comunità. La commedia prendeva di mira le trasfusioni di sangue nei cani e tra specie diverse, come uomini e pecore. Ne uscii distrutto. E poi arrivò Newton.

I: Il suo acerrimo nemico.

H: A dire la verità per un certo periodo sembrava che potessimo andare d'accordo. Certo, Newton era saccente e vendicativo e non voleva riconoscere che in molti casi io avevo dato l'idea di base, anche senza svilupparla fino in fondo. Avevo per esempio detto che le orbite dei pianeti erano date dal bilanciamento tra attrazione gravitazionale e forza centrifuga e che probabilmente la gravità decresceva con il quadrato della distanza. Avevo anche provato a fare delle misure nella cattedrale di St. Paulo, come ho detto, ma gli errori di misura erano troppo grandi. Io non mi facevo mai scrupolo di parlare delle mie scoperte a tutti gli altri membri della società, mentre Newton teneva tutto nascosto e pubblicava solo i risultati definitivi. Comunque, potevamo anche andare d'accordo se non fosse stato che ad un certo punto Newton, istigato senz'altro da quelli che mi odiavano nella società, esplose e cominciò a infangarmi a più non posso. Quando morii, nel 1703, Newton diventò segretario della Società e fece di tutto per rimuovere il ricordo ogni mio contributo e per farmi passare come un azzecagarbugli disonesto.

I: Però adesso la sua figura viene almeno in parte riabilitata ed il suo merito riconosciuto.

H: Ho dovuto aspettare trecento anni! E chissà quanto dovrò aspettare perché mi venga riconosciuto il giusto merito di aver inventato la teoria della gravitazione, l'ottica, la microscopia, la teoria dei gas, l'invenzione del cronografo, del cannocchiale e tante altre cose...

I: Sì, certo... Arrivederci, signor Hooke.

H: Arrivederci... Ho esagerato, al solito?

Albert Einstein



RadioMoka S8E20 17 marzo 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/128Bs4YduBg>

I: Buongiorno Professor Einstein.

E: Buongiorno. Sono lieto di partecipare a questa trasmissione, dopo così tanti fisici famosi.

I: Lei è molto modesto, data la sua fama.

E: Una fama veramente inattesa, mi lasci dire. Ma ci ho giocato sopra un bel po' e mi ha permesso di girare in sandali e camicione, senza dovermi impiccare con quelle maledette cravatte.

I: Può riassumere la sua vita e la sua carriera?

E: Cercherò di essere sintetico, ma non garantisco nulla. Anche perché la mia vita è strettamente intrecciata alle mie ricerche, alla fisica stessa, diciamo così.

I: Lei è nato nel giorno di pi greco, anche se ancora non si chiama così.

E: Sì, sono nato il 14 marzo 1879, 3/14 secondo la notazione anglosassone.

I: È vero che lei da bambino non era granché a scuola?

E: Certo non ero un genio precoce, ma non andavo così male. Quello che veramente non sopportavo era il sistema educativo prussiano, leticai



Albert Einstein nel 1895, quando viveva in Italia.⁷³

⁷³ <https://www.dailymail.co.uk/news/article-5687445/Never-seen-photos-Albert-Einstein-child-emerge-sale-250-000.html>



Marcel Grossmann (sinistra), Albert Einstein (centro) e Michele Besso (destra) al tempo in cui studiavano al politecnico di Zurigo, 1898.⁷⁴

più volte con i miei professori anche alle medie ed ovviamente questo non era concepibile per loro. Comunque, avevo buoni voti in matematica e latino. Per fortuna i miei si trasferirono in Italia, così mi detti malato e fuggii. Cercai quindi di entrare al politecnico di Zurigo, ma non avevo la licenza media ed inoltre andai male nelle materie letterarie, pur brillando in matematica e fisica. E poi non avevo neppure l'età minima ammessa. Insomma, andai a cercarmela, pensando di essere chissacché. Andai quindi per un anno in un *gymnasium* e l'anno seguente riuscii ad entrare al politecnico. Avevo 18 anni e l'anno prima avevo rinunciato alla cittadinanza tedesca perché non sopportavo più quell'ambiente.

I: E quindi rimase apolide?

E: Sì, per cinque anni, finché non presi la cittadinanza svizzera.

I: Una curiosità: lei parlava l'italiano?

E: Certo, ho vissuto in Italia con la mia famiglia, ho avuto un carissimo amico italiano di Trieste, Michele Besso, che lavorava con me all'ufficio brevetti di Berna ed ho tenuto per anni una notevole corrispondenza con un vostro matematico, Tullio Levi Civita. Ho anche scritto una lettera, in italiano, al signor Alfredo Rocco, ministro nel governo Mussolini, pregandolo di spendersi per far annullare richiesta di giuramento di fedeltà al

⁷⁴ <https://www.nature.com/news/history-einstein-was-no-lone-genius-1.18793>

regime per i professori universitari, inutilmente. Solo in 12 si rifiutarono, tutti prontamente licenziati. Ma sto anticipando gli eventi.

I: Eravamo rimasti al politecnico.

E: Alla fine degli studi, mi diplomai quarto su cinque e fui l'unico a cui non venne offerto in posto come assistente. Ansai ad insegnare in una scuola e poi all'ufficio brevetti, come ho detto. In quel periodo mi innamorai di Mileva Maric, l'unica donna ammessa al politecnico.



Mileva Marić e Albert Einstein, 1912.⁷⁵

I: Si innamorò per la sua intelligenza? Per la sua bellezza?

E: Credo, soprattutto perché era l'unica donna che frequentava il gruppo di noi studenti, oltre ovviamente al fatto che ci potevo discutere di fisica. A me sono sempre piaciute le donne, ma sono sempre stato pigro, preferivo "approfittare" di quello che c'era sottomano.

I: Infatti dopo Milena sposò sua cugina Elsa...

E: Sì, ma accadde un po' dopo. Milena rimase incinta ed avemmo una figlia, Liesert, che fu affidata ai nonni paterni e poi morì di scarlattina. I miei non erano molto d'accordo che frequentassi quella ragazza serba. Comunque, l'anno dopo ci sposammo e Mileva ebbe altri due figli, Hans Albert, che diventò un ingegnere idraulico, e Eduard, che però poi impazzì.

I: Siamo arrivati all'anno mirabilis...

E: Sì, il 1905. In quell'anno pubblicai sei lavori, oltre a prendere il dottorato...

⁷⁵ https://it.wikipedia.org/wiki/Mileva_Marić

I: Non doveva lavorare troppo all'ufficio brevetti...

E: Erano quasi tutti brevetti che riguardavano il moto perpetuo, non ci voleva molto a scartarli.

I: Ci racconti i suoi lavori del 1905.

E: In realtà si tratta di lavori molto semplici, come tutti quelli che ho scritto prima di inoltrarmi nella geometria della relatività generale. Il primo, pubblicato il 17 marzo, riguardava l'effetto fotoelettrico e fu il lavoro per cui 16 anni dopo mi dettero il premio Nobel.



Albert Einstein nel 1924.⁷⁶

I: Di che si trattava?

E: L'effetto fotoelettrico era un vero mistero, a quei tempi. Come lei sa, secondo l'elettromagnetismo classico, una radiazione è caratterizzata dalla sua intensità e dalla frequenza. Posso avere una luce rossa intensa, o blu debole, ovvero colore ed intensità sono quantità indipendenti. Però, se lei illumina un metallo alcalino, vedrà che se usa luce blu, gli elettroni del metallo tendono ad uscire e possono essere raccolti con un campo elettrico, mentre se usa luce rossa gli elettroni restano nel metallo.

I: Indipendentemente dall'intensità?

E: Sì e no, nel senso che la luce rossa, anche se molto intensa, non riesce a far saltare gli elettroni, mentre se uso una luce blu il numero di elettroni che saltano via è proporzionale all'intensità della luce usata.

I: E lei che fece?

E: Avevo appena letto il lavoro di Planck sul corpo nero del 1900, ne avete parlato anche qui, e pensai che in fondo l'idea che l'energia della radiazione luminosa fosse quantizzata, invece di essere, come pensava Planck, un artificio matematico poteva essere una vera legge fisica. Se la

⁷⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein

radiazione è quantizzata, l'intensità è proporzionale al numero di fotoni, ma l'energia di ogni singolo fotone dipende, come aveva detto Planck, solo dalla sua frequenza. Ora, gli elettroni nel metallo sono come palline in una bacinella, non possono saltare via perché non hanno abbastanza energia. Posso comunicare loro l'energia scaldandoli, il che è come agitare la bacinella, e questo è l'effetto termoelettrico, oppure lanciandoci dentro delle altre palle, i fotoni. Gli elettroni, come le palline nella bacinella, non possono accumulare energia per esempio prendendola dai fotoni rossi, la dissipano subito negli urti. Quindi, per saltare via devono assorbire un unico fotone abbastanza energetico, un fotone blu.

I: Geniale! È l'inizio della fisica quantistica!

E: Già, una fisica che non mi è mai piaciuta. Ma andiamo avanti. Il 30 aprile presentai la mia tesi di dottorato, che poi l'11 maggio diventò l'articolo sul moto browniano, due dei lavori più citati al mondo. La tesi si intitolava "*Nuova determinazione delle dimensioni molecolari*".

I: Il moto browniano non è il moto irregolare di granelli di polvere in acqua?

E: Sì. Io ci vidi subito l'evidenza del fatto che l'acqua era composta da molecole.

I: Non era già conosciuto?

E: Non si ricorda cosa le ha detto Boltzmann? Dato che le molecole non si potevano vedere, ma solo ipotizzare e quindi desumere per via indiretta, la corrente filosofica dell'empiriocriticismo ed in particolare Ernst Mach vi si opponevano violentemente. Tra l'altro, io stimavo moltissimo Mach e dividevo molte delle sue idee, ma qui si sbagliava.

E: E quindi?

I: Affrontai il problema in maniera semplice. Supposi che gli urti fossero tra loro scorrelati e che quindi il moto browniano fosse equivalente ad un moto casuale, quello di un camminatore ubriaco. Ovviamente non ha senso studiare una singola traiettoria, bisogna cercare di ottenere delle quantità medie. La posizione media è ovviamente zero, il camminatore un po' va a destra, un po' a sinistra, ma ripassa spesso dalla posizione iniziale, almeno su una strada monodimensionale. Ma se guardiamo la varianza, ovvero lo spostamento quadratico medio, vediamo che questo aumenta con il tempo. Questa è proprio la legge della diffusione ed io

potei ottenere l'espressione della costante di diffusione in termini di quantità microscopiche: la viscosità, la temperatura, il raggio delle particelle, il numero di Avogadro. Anzi, Perrin prese il Nobel nel 1926 proprio determinando il numero di Avogadro a partire dalla mia teoria.

I: Ma la viscosità non è una quantità microscopica, è un coefficiente di trasporto che si ottiene trattando il fluido come continuo!

E: In effetti, io ho sempre amato sfruttare qualsiasi parte della fisica servisse ai miei scopi. In principio la viscosità, per un gas perfetto, dipende dal cammino libero medio, ovvero il cammino che in media una molecola fa prima di sbattere contro un'altra, dalla velocità media delle molecole e dalla loro densità, ma io preferii usare la teoria di Stokes, che in effetti si riferisce ad un mezzo continuo. Fatto sta che la mia formula "fece vedere" che le molecole esistevano veramente.

I: E poi?

E: Due articoli, uno di giugno ed uno di settembre, sulla teoria della relatività ristretta ed un altro a dicembre sul moto browniano.

I: E dice nulla? Ce lo dovrà raccontare la prossima volta, il tempo purtroppo è volato via!

E: Nessun problema, torno volentieri. Arrivederci per ora.

I: Arrivederci.



RadioMoka S8E21 24 marzo 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/oDDaX-DsAu4>

I: Rieccola qui, di nuovo un caldo benvenuto, caro Prof. Einstein!

E: Che accoglienza calorosa, sono proprio contento di essere tornato. Dove eravamo rimasti?

I: Ai suoi articoli del 1905, ci stava parlando della teoria della relatività.

E: Ah, già, la relatività ristretta, detta anche relatività speciale. Il primo articolo si intitolava “*Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento*” e permetteva di risolvere il contrasto tra meccanica ed elettromagnetismo. Il secondo era intitolato “*L'inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto di energia?*”, e contiene la famosa formula $E = mc^2$.

I: Ce li può illustrare in cinque minuti?

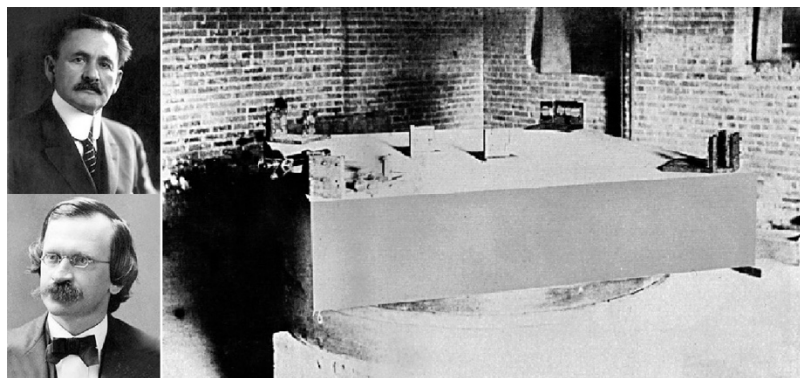
E: Mi chiede uno sforzo non da poco. Vediamo di farcela. Lei sa che la meccanica newtoniana obbedisce alle leggi di trasformazione di Galileo, ovvero che se lancio un oggetto stando su un mezzo in movimento, per esempio un sasso da un'automobile, la velocità del sasso, per un osservatore fermo, è data dalla somma della velocità che gli imprimo io, più la velocità del mezzo su cui sono.

I: Certo! È ovvio. E se io invece corro alla stessa velocità del sasso, lo vedo fermo.



Einstein ed Elsa nel 1921.⁷⁷

⁷⁷ https://it.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein



Michelson (in alto) e Morley (in basso) ed il loro esperimento.⁷⁸

E: Però le equazioni di Maxwell, che valgono per le onde elettromagnetiche, non si comportano così. La velocità della luce è la stessa in ogni sistema di riferimento ed è la stessa se emessa da un corpo fermo o da un corpo in moto. I poveri Michelson e Morley fecero esperimenti accuratissimi per vedere se la velocità della luce era influenzata dalla velocità della Terra, ma nulla.

I: Un mistero!

E: Io mi ero sforzato di immaginare come sarebbe apparso un campo elettromagnetico ad un osservatore che fosse viaggiato alla velocità della luce, ma non riuscivo a pensare a null'altro che ad un campo elettrostatico. Ma se il campo era statico, non poteva generare il campo magnetico e quindi l'onda stessa non sarebbe potuta esistere. L'unica soluzione era che la velocità della luce fosse costante per tutti gli osservatori.

I: E come fa?

E: Bisogna riformulare la meccanica. Di solito si pensa che la velocità sia una grandezza derivata dallo spazio e dal tempo. Invece, nella mia teoria, è la velocità, in particolare quella della luce, ad essere una grandezza fondamentale, mentre lo spazio ed il tempo sono concetti relativi al moto dell'osservatore. Se contiamo il tempo usando un raggio di luce che rimbalza tra due specchi, vediamo subito che, se gli specchi sono in movimento in direzione trasversale al raggio luminoso, questo deve fare

⁷⁸ http://www.liquidgravity.nz/vertical_michelson_morley_experiment.html

più strada. Quindi, dato che la luce viaggia sempre alla stessa velocità, il tempo deve rallentare nei sistemi in moto rispetto a quelli fermi. E se il tempo rallenta, lo spazio deve contrarsi, in modo che il loro rapporto sia costante.

I: E c'erano delle prove di questo comportamento?

E: Beh, fondamentalmente mostravo che l'etere non esisteva, oltre a riconciliare l'elettromagnetismo con la meccanica, ma ai miei tempi non c'erano dei veri effetti fisici che si potevano spiegare con la mia teoria. Poi, nel 1936 si scoprirono i muoni e che questi venivano generati dall'urto dei raggi cosmici con l'alta atmosfera, a 15 km di altezza. Queste particelle a riposo hanno una vita media di circa 2,2 microsecondi, ovvero 2,2 per 10 alla meno 6 secondi, e dato che viaggiano a quasi alla velocità della luce, 2,998 per 10 alla 8 metri al secondo, dovrebbero viaggiare solo per circa 600 m, invece arrivano fino a terra! la spiegazione è che a quelle velocità il loro tempo è per noi dilatato, per cui in realtà vivono 25 volte di più, giusto quanto basta per arrivare fino a noi! E poi c'era l'equivalenza tra massa ed energia, ma anche quella non verificabile sperimentalmente, prima della fisica nucleare, anche se io nell'articolo sull'inerzia dei corpi in movimento dissi esplicitamente di cercare una conferma nella variazione di massa del radio, l'elemento più radioattivo che esisteva a quei tempi. Per fortuna il mio suggerimento non venne accolto e potemmo rimandare di qualche decennio la costruzione delle bombe nucleari, che comunque avrebbero avuto bisogno delle scoperte di Fermi, di Lise Meitner e di Otto Hahn. Ma la spiegazione di veri effetti fisici ha dovuto aspettare la relatività generale e gli esperimenti di Eddington del 1919, quando divenni famoso.

I: Ma la teoria della relatività ristretta quindi non serve a nulla?

E: Beh, oggi è molto importante, vista la grande precisione delle vostre misure di tempo. In particolare, bisogna conoscere la relatività per usare il GPS.

I: Io lo uso tutti i giorni e non mi ricordo nulla della relatività!

E: Intendevo dire: per capire come funziona la localizzazione GPS. Praticamente, per far sì che il suo cellulare sappia dove si trova nello spazio o sulla superficie della Terra, deve misurare la distanza tra almeno quattro satelliti. Per fare questo, misura il tempo che il segnale ci mette per arrivare, un tempo dell'ordine dei microsecondi dato che i satelliti stanno a

20.000 km e la luce viaggia a 300.000 km/s. Ma se per esempio di fa un errore dell'ordine di 1 nanosecondo, abbiamo una incertezza dell'ordine dei 30 cm. Quindi la precisione dev'essere elevata.

I: Bisognerà fare degli orologi molto precisi!

E: Non basta: dato che il satellite è in movimento rispetto alla superficie della Terra, bisogna anche correggere per il fatto che i loro orologi rallentano rispetto a quelli sulla Terra, secondo quello che dice la mia teoria. Se non si tenesse conto di questa correzione gli orologi rallenterebbero di circa 7 microsecondi al giorno, un errore di ben 2,2 km!

I: Ho capito! E scommetto che c'è un'altra correzione a causa del campo gravitazionale...

E: Proprio così, ma quella è dovuta alla relatività generale. In questa teoria....

I: Mi dispiace, ma il tempo è finito di nuovo. Vorrà dire che dovrà tornare anche la settimana prossima.

E: E vabbè, tornerò. Però è l'ultima, poi ho da fare. Ho incontrato una ragazza molto interessante, l'altro giorno...



RadioMoka S8E22 7 aprile 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

https://youtu.be/TgWkWxW9u_s

I: Bentornato Prof. Einstein, che piacere averla di nuovo qui con noi!

E: Salve a tutti. Ma quanta gente avete intervistato? Non faccio altro che incontrare dei colleghi che sono stati ospiti qui da voi...

I: E noi abbiamo ricevuto moltissime email e post che la riguardano...

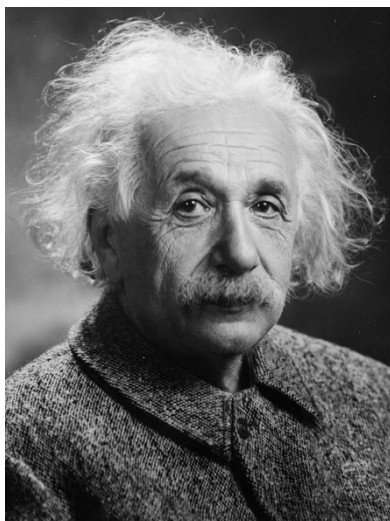
E: Moltissime cosa?

I: Lettere, volevo dire lettere, professore. Ma andiamo avanti. Abbiamo parlato dei suoi lavori del 1905. Che successe poi?

E: Beh, nel 1906 pubblicai un lavoro sulla capacità termica dei solidi, approssimandoli ad un insieme di oscillatori quantistici, un modello che ora si chiama "solido di Einstein", e nel 1907 ebbi l'illuminazione che considero più importante nella mia carriera, il principio di equivalenza.

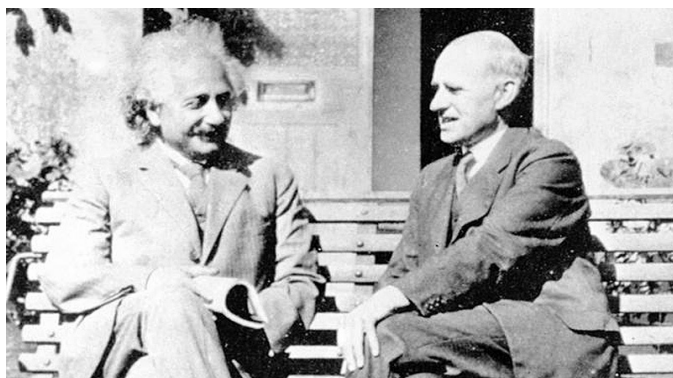
I: Ce lo può illustrare in due parole?

E: È molto semplice. Ho semplicemente esplorato le conseguenze di una evidenza sperimentale. Come il fatto che la costanza della velocità della luce, presa come principio, porta alla relatività ristretta, così l'evidenza che tutti i corpi cadono con la stessa accelerazione porta alla relatività generale.



Albert Einstein nel 1947.⁷⁹

⁷⁹ https://it.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein



Einstein ed Eddington nel 1930.⁸⁰

I: Forse c'è bisogno di qualche parola in più.

E: Vediamo se mi posso spiegare in maniera migliore. I corpi si “attraggono” gravitazionalmente in maniera simile a come le cariche di segno opposto si attraggono elettricamente. L'equivalente della carica elettrica è la massa gravitazionale. Se adesso lascio libero i due corpi carichi elettricamente, questi accelerano l'uno verso l'altro. La loro accelerazione è proporzionale alla forza, ovvero alla loro carica, ed inversamente proporzionale alla loro massa inerziale. Può succedere che un corpo di grande massa abbia una piccola carica, o viceversa che un corpo di piccola massa abbia grande carica...

I: E quindi i corpi carichi non accelerano tutti con la stessa accelerazione.

E: Esatto! l'uguaglianza delle accelerazioni si ha solo se la “carica” è proporzionale alla massa inerziale e, dato che la “carica” gravitazionale è la massa gravitazionale, ecco che l'uguaglianza delle accelerazioni porta all'uguaglianza delle masse.

I: Chiaro. E poi?

E: Questa uguaglianza è sempre stata considerata una coincidenza. Ma, mi domandai, se fosse invece un principio della natura? Che conseguenze potrebbe avere?

⁸⁰ https://i2.wp.com/www.evalosapeva.com/wp-content/uploads/2016/02/einstein_eddington_1930.jpg?fit=799%2C467

I: E che conseguenze ha?

E: Che non è possibile distinguere, attraverso esperienze locali, tra gli effetti di una forza gravitazionale e quelli di una forza inerziale. Faccio degli esempi?

I: Sì, forse è meglio.

E: Per prima cosa facciamo l'esperimento mentale dell'ascensore, anche se oggi penso che sia meglio farlo con un razzo. Abbiamo due razzi: uno che sta accelerando nello spazio ed uno fermo sulla superficie di un pianeta. Facciamo in modo che l'accelerazione del primo sia uguale all'accelerazione di gravità del secondo. Un raggio di luce entra da una piccola apertura. Che cosa succede?

I: Boh!

E: La luce viaggia a velocità costante, ma la velocità del razzo che sta accelerando cambia. Quindi il raggio di luce viene visto curvare verso il basso dagli astronauti. Ma per il principio di equivalenza lo stesso accade nel razzo fermo. Conclusione: il campo gravitazionale devia anche la luce anche se questa non ha massa.

I: Bello! e poi?

E: Immaginiamoci di essere su una giostra in rapida rotazione. Sentiamo una forza centrifuga. Inoltre, dato che stiamo viaggiando a grande velocità, le nostre dimensioni diminuiscono (nella direzione del moto) per un osservatore esterno ed i tempi rallentano. Dato che però non posso distinguere tra forze di inerzia e forze

LIGHTS ALL ASKEW IN THE HEAVENS

Men of Science More or Less
Agog Over Results of Eclipse
Observations.

EINSTEIN THEORY TRIUMPHS

Stars Not Where They Seemed
or Were Calculated to be,
but Nobody Need Worry.

A BOOK FOR 12 WISE MEN

No More in All the World Could
Comprehend It, Said Einstein When
His Daring Publishers Accepted It.

Special Cable to THE NEW YORK TIMES.
LONDON, Nov. 9.—Efforts made to
put in words intelligible to the non-
scientific public the Einstein theory of
light proved by the eclipse expedition
so far have not been very successful. The
new theory was discussed at a recent
meeting of the Royal Society and Royal
Astronomical Society, Sir Joseph Thom-
son, President of the Royal Society, de-
clares it is not possible to put Einstein's
theory into really intelligible words, yet
at the same time Thomson adds:
"The results of the eclipse expedition
demonstrating that the rays of light
from the stars are bent or deflected
from their normal course by other aerial
bodies acting upon them and con-
sequently the inference that light has
weight form a most important con-
tribution to the laws of gravity given us
since Newton laid down his principles."

*Titolo del New York Times del
10/11/1919.⁸¹*

⁸¹ https://www.pitt.edu/~jdnorton/teaching/HPS_0410/chapters/general_relativity_massive/

gravitazionali, lo stesso deve accadere anche a causa della gravità: i campi gravitazionali rallentano gli orologi.

I: Ecco perché per capire il GPS ci voleva la relatività generale!

E: Già. E quando Eddington, nel 1919 riuscì a vedere sperimentalmente la deviazione della luce ad opera della gravità del sole, diventai improvvisamente famoso. I giornali riportavano scritte tipo “*luci distorte nel cielo*” ed io diventai una star, a causa della deviazione della luce ad opera di una stella. Che battutona, eh?

I: Lei ha veramente innovato la fisica del '900! Ma so che non era soddisfatto...

E: Già. Non ho mai digerito la fisica quantistica, con la sua indeterminazione di fondo. Ho sempre pensato che l'approccio probabilistico dovesse riflettere una ignoranza risolvibile in qualche maniera, ma sembra che la fisica quantistica sia intrinsecamente inconoscibile. Speravo di aver trovato l'errore di fondo quando con Podolski e Rosen pubblicai un articolo che mostrava che, secondo la fisica quantistica, due oggetti “*entangled*” potevano in qualche maniera comunicarsi istantaneamente il loro stato indipendentemente dalla loro distanza, in barba alla teoria della relatività.

I: E chi vinse?

E: La fisica quantistica. Sembra che questa fisica sia intrinsecamente non locale, anche se questo non vuol dire che si può costruire un teletrasportatore tipo Star Trek. E poi la fisica quantistica ha permesso la costruzione delle bombe atomiche.

I: Ma è lei uno degli scopritori della fisica quantistica!

E: Ma io non mi considero il padre dell'energia atomica. La mia parte in questo campo è stata molto indiretta. Non ho previsto, infatti, che si potesse arrivare a produrre l'energia atomica entro il corso della mia vita. La trasformazione di materia in energia diventò un fatto pratico grazie alla scoperta accidentale della reazione a catena e questo non è un fatto che io avrei potuto prevedere. Come vi hanno già detto, la fissione fu scoperta da Otto Hahn a Berlino ed egli stesso non comprese subito esattamente ciò che aveva scoperto. Fu Lise Meitner colei che fornì la corretta interpretazione e fuggì dalla Germania per affidare l'informazione nelle mani di Niels Bohr.

I: Lei scrisse una lettera a Roosevelt mettendolo in guardia sulle potenzialità delle armi atomiche e la possibilità che i nazisti riuscissero a costruirne una. E nella lettera spronava gli stati uniti a costruire per primi una bomba atomica.

E: Hitler non avrebbe avuto nessun scrupolo ad usare una bomba atomica, ma anche gli americani ne hanno sganciate due sul Giappone, quando era praticamente già sconfitto. Io sono sempre stato antimilitarista ed antifascista. Penso che la peggiore fra le creazioni umane sia quella delle masse armate, del regime militare voglio dire, che odio con tutto il cuore. Disprezzo profondamente chi è felice di marciare in ranghi e nelle formazioni al seguito di una musica; costui ha ricevuto solo per errore il cervello: un midollo spinale gli sarebbe più che sufficiente. Bisogna sopprimere questa vergogna della civiltà il più rapidamente possibile. L'eroismo comandato, gli stupidi corpo a corpo, il nefasto spirito nazionalista, come odio tutto questo!

I: Allora arriverdoci professore. Posso sperare di averla ancora tra noi?

E: Grazie, ma sono vecchio e stanco. Intervistate qualche giovane brillante, piuttosto, per esempio questo Stephen Hawking di cui si dice un gran bene...

John von Neumann



RadioMoka S8E23 14 aprile 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/zLjNcnH4sHw>

I: Buongiorno professor von Neumann, benvenuto a RadioMoka.

N: Buongiorno a voi.

I: Lei è stato considerato sia un genio che una persona ridicolmente iper-reazionaria. Si dice che la figura del Dr. Stranamore del film di Stanley Kubrick sia stata modellizzata sulla sua persona.

N: Ero un genio, d'accordo. Sono stato definito anche un alieno, o un fenomeno da baraccone, almeno a 6 anni, perché già sapevo fare divisioni ad otto cifre, ad otto anni conoscevo l'analisi e potevo imparare a memoria le pagine dell'elenco telefonico solo guardandole. A 10 anni sapevo conversare in greco antico, oltre ad altre quattro lingue. Quando andavo in bagno mi portavo sempre due libri, per paura di finire di leggerne uno prima di aver terminato di fare quello che dovevo fare...

I: Effettivamente impressionante. Lei è nato nel 1903 a Budapest giusto? Ma perché ha un nome da nobile tedesco?

N: La mia era una famiglia di ricchi banchieri ebrei e Budapest allora faceva parte dell'impero Austro-Ungarico. Nel 1913 venimmo elevati al



Von Neumann nel 1940.⁸²

⁸² https://en.wikipedia.org/wiki/John_von_Neumann#/media/File:JohnvonNeumann-LoSAlamos.gif

rango dei nobili, per i servizi resi all'impero, e quando dovemmo lasciare l'Ungheria adottammo la dizione tedesca del nostro titolo.

I: Ci racconta un po' la sua vita?

N: Frequentai una scuola luterana, ed a 18 anni scrissi il mio primo lavoro, poi pubblicato nel 1922 sulla rivista dell'Unione dei matematici tedeschi. Fui nominato miglior studente di matematica dell'Ungheria. Volevo studiare matematica ma mio padre non voleva e mi obbligò a iscrivermi a chimica, ma io non rinunciai ai miei progetti.

I: E quindi si laureò in matematica?

N: Mi laurea e dottorai ANCHE in matematica, a Budapest, oltre che in ingegneria chimica presso il Politecnico di Zurigo, dopo aver seguito i corsi di Fritz Haber e di Albert Einstein a Berlino. Avevo 23 anni.

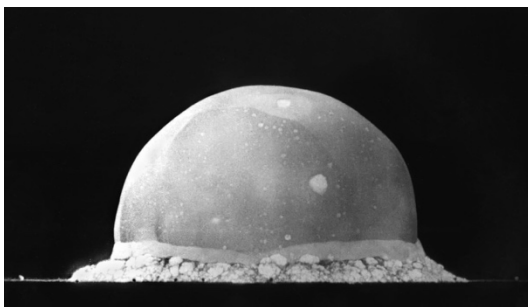
I: Si raccontano tanti aneddoti sulla sua velocità nel fare i calcoli.

N: Sì, una volta Max Born mi chiese di risolvere il problema della mosca.

I: Com'è?

N: Una persona vuole schiacciare una mosca tra le mani, ma la mosca vola al doppio della velocità delle mani. Quando incontra la seconda mano che avanza con velocità opposta, cambia istantaneamente verso e comincia a volare verso la prima mano. Se all'inizio le due mani erano distanti 50 cm, quanto spazio percorre la mosca prima di essere schiacciata?

I: Sembra un problema che richiede molti conti...



La palla di fuoco del Trinity Test, 16 ms dopo la detonazione.⁸³

⁸³ [https://en.wikipedia.org/wiki/Trinity_\(nuclear_test\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Trinity_(nuclear_test))

N: In realtà c'è un trucco che permette la risoluzione in due passi. Le due mani si incontrano dopo un tempo pari alla distanza iniziale diviso per 2 volte la velocità delle mani. Dato che la mosca vola sempre al doppio di questa velocità, in questo tempo percorre una distanza pari alla distanza iniziale tra le mani. Quando detti istantaneamente la risposta, Born pensò che conoscessi il trucco.

I: E invece?

N: Avevo sommato la serie infinita dei vari intervallini.

I: A mente?

N: Certo! Ricordo che più tardi facevamo sempre le gare, Fermi, Feynman ed io per i calcoli più difficili. Fermi usava carta e penna, Feynman il regolo calcolatore ed io la mia mente.

I: Fermi era piuttosto morigerato e Feynman amava spassarsela, ma era astemio. Lei come era?

N: Io amavo bere, mangiare e le belle donne, ed anche la confusione. Ho sfasciato parecchie macchine perché leggevo un libro mentre guidavo, per non perdere tempo, e mi piaceva lavorare nel soggiorno, con la televisione accesa. A Princeton Albert Einstein si lamentava sempre che tenevo il grammofoño a tutto volume. Mi piacevano le battute Yiddish. La sa quella dei francobolli di Hitler che non si attaccavano?

I: No.

N: Faccio la versione corta. Goebbels tutto afflitto va dal Fuhrer e gli dice che devono ritirare la serie dei francobolli con la sua effigie perché non si attaccano alla busta. "Cambiate la colla!" urla Hitler. "Inutile", dice Goebbels, "i tedeschi leccano la parte sbagliata, dove c'è la sua immagine". "Ma almeno gli ebrei riusciranno ad attaccarla, non mi dica che anche loro leccano la mia immagine!" risponde Hitler. "No, loro ci sputano sopra ai francobolli, ma sempre dalla parte sbagliata!".

I: Ah Ah!

N: Aspetti, gliene racconto un'altra. Ci sono due ebrei al bar che leggono il giornale. A un certo punto uno di loro si accorge che l'altro sta leggendo un giornale nazista e gli dice: "Ma sei rincoglionito? Cosa leggi a fare questo mucchio di fandonie?". Al che l'altro gli risponde: "È che i nostri

giornali sono così deprimenti: un pogrom qui, un campo di sterminio di là... Almeno qui c'è scritto che stiamo dominando il mondo..."

I: Molto divertente. Ma quali sono stati i suoi contributi alla scienza?

N: Molti, in vari campi. Ho lavorato sul teorema di incompletezza di Gödel, sull'assiomatizzazione della meccanica quantistica, sulla teoria dei giochi. Poi ho inventato l'architettura dei calcolatori che porta il mio nome e che ancora adesso serve come base per i computer che usate ogni giorno. Ho anche inventato una teoria di calcolo completamente parallelo detta "automi cellulari", che ho usato per dimostrare le basi dell'autoriproduzione di una qualsiasi struttura e della necessità di una codifica delle istruzioni per farlo, in pratica ho dimostrato molto prima di Watson e Crick che per la riproduzione degli esseri viventi c'era la necessità matematica di qualcosa simile al DNA, mentre ai miei tempi tutti pensavano che la riproduzione avvenisse per copiatura diretta delle strutture.

I: Sarà stato un ottimo professore!

N: Per nulla, i miei studenti mi odiavano. Ovviamente perché erano incapaci. Pensi che si arrabbiavano perché erano costretti a seguire i calcoli su una piccola porzione di lavagna, che io cancellavo poi velocemente per impedire che copiassero le equazioni. Non volevo toglier loro il piacere di ricavarle poi da soli.

I: Molto simpatico da parte sua! Ma passiamo ad altro. La meccanica quantistica e la teoria dei giochi hanno avuto parecchie applicazioni belliche...

N: Sì, mi diletta a progettare come usare le armi atomiche per causare la maggiore distruzione possibile sfruttando anche le mie conoscenze di



Il dottor Stranamore (Peter Sellers).⁸⁴

⁸⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=8v5bRhrWiD0>

idrodinamica. Scoprii che le grandi esplosioni sono più devastanti se scoppiano prima di toccare il suolo, a causa dell'effetto addizionale delle onde di detonazione, anche se poi questa scoperta venne banalizzata dai media che sostennero più semplicemente che avevo scoperto che è meglio mancare il bersaglio che colpirlo. L'applicazione più soddisfacente di questo risultato teorico si ebbe il 6 e 9 agosto del 1945, quando le bombe su Hiroshima e Nagasaki furono fatte esplodere all'altezza calcolata da me, 600 metri, affinché producessero il maggior danno aggiuntivo. Inoltre, così c'era minor fall-out radioattivo e quindi minor pericolo per le truppe di invasione.

I: Non sembra che lei abbia mai considerato seriamente il pericolo della radioattività.

N: Effettivamente sbagliai in questo caso. Volli assistere di persona all'esplosione delle prime bombe H ed evidentemente qualcosa andò storto perché poi sono morto a soli 53 anni di un tumore alle ossa.

I: E la teoria dei giochi?

N: Anche questo è un risultato di cui vado fiero. Con il mio teorema minimax, si poteva minimizzare la massima perdita possibile in un conflitto. E avrei voluto applicarlo ad un caso pratico. Gli americani si cullavano nell'illusione che la loro superiorità aerea, con i bombardieri strategici, gli avrebbero permesso di bombardare quando volevano l'Unione Sovietica. Ma io sapevo, attraverso colleghi infiltrati nella CIA, che a loro volta avevano avuto informazioni dagli scienziati tedeschi presi dai sovietici e ritornati in Germania, che i russi stavano sviluppando missili balistici che avrebbero completamente vanificato il nostro vantaggio strategico. Lo Sputnik, che tanto terrorizzò l'America, fu lanciato giusto l'anno della mia morte, il 1957. E anche il film di cui mi parlava, il dottor Stranamore, pur essendo del 1964, non prende in considerazione i razzi perché il romanzo da cui è tratto è del 1958, ancora non era stata compresa a pieno la minaccia missilistica.

I: E lei cosa proponeva?

N: Semplicemente di bombardare subito la Russia. Ma Eisenhower non mi stette a sentire, anche se io continuai fino all'ultimo, in sedia a rotelle, a partecipare alle riunioni strategiche, come nel film. Comunque, la mia teoria della Mutua Distruzione Assicurata è ben spiegata da Kubrick.

I: Basta così?

N: No, mi occupai anche di meteorologia. Sugerii di cercare di fondere le calotte polari perché riflettevano nello spazio della preziosa radiazione solare e quindi proposi di spruzzare i poli con del colorante. La temperatura globale si sarebbe alzata e la Groenlandia avrebbe goduto dello stesso clima della Florida!

I: Ma così la Florida sarebbe andata sott'acqua a causa dall'innalzamento delle acque del mare, dovuto allo scioglimento dei ghiacci del Polo Sud!

N: Una piccola distrazione. Vedo comunque con piacere che adesso state seguendo il mio consiglio di alzare la temperatura globale, anche se con mezzi più rozzi....

I: Anche la sua morte è stata curiosa...

N: Come ho detto mi ammalai di tumore, ma non potevo accettare che una mente come la mia sparisse così. Mi disperai e piansi, ma era inutile. Allora mi feci battezzare nella religione cattolica e chiamai un prete. Mi dissi: se c'è qualche vaga possibilità della dannazione eterna, meglio essere un credente, almeno poco prima della fine.

I: Almeno morì circondato dall'affetto dei suoi cari...

N: Morii circondato dai militari che temevano che rivelassi segreti di stato nel delirio causato dagli antidolorifici!

I: Mi dispiace.

N: Scusate, ma devo andare. Ho un appuntamento con i miei compatrioti, von Kármán, Wigner, Teller, Pólya, Erdős ed altri, almeno posso parlare con dei miei pari. Una volta Fermi disse: *"Se i marziani esistessero e potessero viaggiare nel cosmo, sicuramente sarebbero venuti ad esplorare la Terra. Ebbene, dove sono?"* *"Sono già tra noi. Sono gli ungheresi"*, rispose Leo Szilard, riferendosi a noi.

I: Di persone come voi il padreterno deve aver buttato via lo stampo dopo averle fatte! Però forse è meglio così. Arrivederci.

Henri Poincaré



RadioMoka S8E24 21 aprile 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/GDp8w19WGUo>

I: Buongiorno Professor Poincaré.

P: Buongiorno a voi.

I: Lei è stato definito l'ultimo universalista, perché si è occupato di tutti i campi della matematica conosciuti, ma è anche rinomato per i suoi lavori in fisica teorica o matematica. Si ritiene più fisico o matematico?

P: Beh, io in realtà mi sono sempre definito un ingegnere, ovvero né carne né pesce, un umpa-lumpa sia della fisica che della matematica. Dal punto di vista matematico, il mio metodo è sempre stato definito come troppo intuitivo e non rigoroso, come fisico non ho avuto il coraggio di proporre una rivoluzione, come invece fece Einstein.



Henri Poincaré nel 1887.⁸⁵

I: Per farci capire perché, può intanto raccontarci un po' della sua vita?

P: Volentieri. Sono nato nel 1854, a Nancy, in una famiglia, piuttosto influente, tanto che mio cugino Raymond Poincaré diventerà nel 1913 presidente della République. Da piccolo mi beccai la difterite e non potei andare alla scuola elementare, ma poi al liceo mi feci onore. Ero primo in tutte le materie e vinsi numerosi premi, tanto che oggi il liceo e l'università di Nancy prendono il mio nome. Presi la laurea triennale, il baccalaureato, nel 1871, a 17 anni, in lettere e scienze.

⁸⁵ https://it.wikipedia.org/wiki/Henri_Poincaré

Dopo la guerra Franco-Prussiana, a cui partecipai come infermiere insieme a mio padre che era medico, mi iscrissi al politecnico, nel 1873, per poi laurearmi nel 1875 e proseguire nella *Ecole des Mines*, la scuola per ingegneri delle miniere. Presi poi il dottorato nel 1878 in scienze e matematica lavorando sulle equazioni differenziali, ma continuai a lavorare come ingegnere ferroviario e delle miniere fino a quando non mi dettero la cattedra alla Sorbona, nel 1881.

I: E su cosa ha lavorato?

P: Come ha detto lei, su moltissimi problemi diversi. Io sono sempre stato un intuitivo, non procedevo per deduzioni ma per visualizzazioni, anche perché, essendo molto miope, non potevo seguire i calcoli alla lavagna quando assistevo ad un seminario e quindi mi visualizzavo il problema nella mente. E poi non mi piaceva insistere e raffinare i problemi, una volta che lo avevo risolto passavo ad altro.

I: Aveva un metodo?

P: Sì, prima di tutto pativo sempre dalla base, dai concetti semplici, non mi "*arrampicavo sulle spalle dei giganti*", per dirla alla Newton. Lavoravo un paio d'ore la mattina, altre due nel tardo pomeriggio e poi leggevo qualche articolo. Ma non facevo quasi mai calcoli con carta e penna, preferivo sviscerare e risolvere un problema a mente per poi scrivere i risultati.

I: Quali sono i problemi che più l'hanno appassionata?

P: Beh, prima di tutto la congettura che porta il mio nome, la congettura di Poincaré. È un po' difficile da spiegare, perché fa parte di quella disciplina chiamata topologia algebrica, ma vediamo se ce la faccio. Prendiamo una superficie bidimensionale, come un foglio di carta. Come sa, in topologia non contano le distanze, quindi pensi di poter deformare a volontà il foglio, senza però fare tagli.

Il suo foglio ha un bordo, pensiamo quindi a chiuderlo. Lo si può fare in varie maniere, per esempio si può ottenere una sfera o una ciambella. Come distinguere topologicamente questi due casi? Pensi a mettere sulla superficie un elastico, anche questo infinitamente estensibile o contrai-bile. bene, se può sempre deformare l'elastico, sempre a contatto con la superficie, fino a farlo diventare un punto allora siamo su una superficie topologicamente equivalente ad una sfera.

I: Sembra semplice...

P: Adesso facciamo lo stesso con superfici tridimensionali, ovvero con spazi.

I: Adesso diventa più difficile da visualizzare...

P: Perché non può più usare uno spazio a dimensione superiore, a quattro dimensioni. Comunque, per questi spazi l'equivalente dell'elastico è una membrana chiusa, che, se non ci sono "tunnel" può far condensare in un punto. La mia congettura dice che se appunto lo spazio è compatto, ovvero non ci sono tunnel, allora è equivalente ad una sfera.

I: Lei sembra a suo agio con le quattro dimensioni.

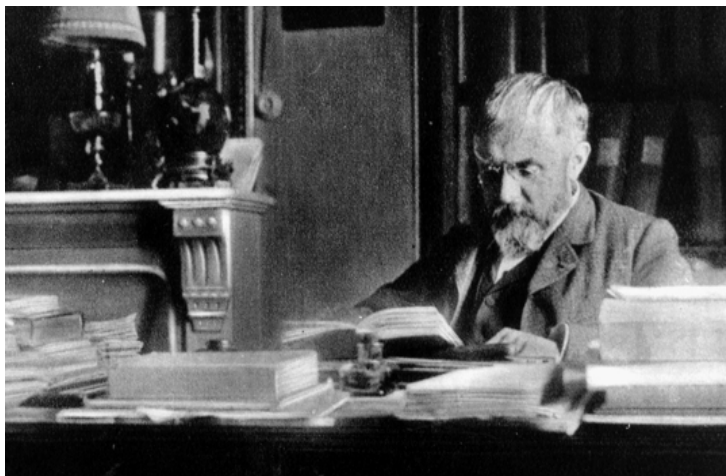
P: Infatti ho lavorato anche sul problema dello spazio-tempo, più o meno contemporaneamente ad Einstein.

I: Ci racconti...

P: Beh, come sapete, gli esperimenti di Michelson e Morley avevano dimostrato la costanza della velocità della luce ed io, come poi anche Einstein, pensavo che andasse presa come postulato. Ma bisognava conciliare questo con l'elettromagnetismo e la meccanica. Lorenz aveva fatto vedere che se si contraeva lo spazio e dilatava il tempo in un sistema in movimento, allora le equazioni di Maxwell restavano invariate, ed io gli avevo fatto notare dove aveva fatto un errore. Cominciai a lavorare su questo problema, ottenendo delle conseguenze matematiche tra cui l'adesso famosa formula $E = mc^2$, anche se limitatamente al campo elettromagnetico, e formulai il principio di relatività.

I: Ma non era stato Einstein?

P: No, sono stato io per primo a formulare tale principio, ma devo riconoscere che Einstein era un fisico molto migliore di me. Io lavoravo sempre nel quadro dell'etere ed avevo il problema che quando questo, ovvero il campo elettromagnetico, acquisiva energia e quindi massa, per esempio a causa di un oscillatore che irraggiava, non tornavano i conti sulla quantità di moto. Fu Einstein a far notare, giustamente, che la formula andava portata alle sue estreme conseguenze, ovvero che l'oscillatore, perdendo energia, perdeva anche massa. E lui ebbe anche il coraggio di eliminare l'etere e di estendere in maniera coerente il principio di relatività a tutta la fisica, io ero già passato ad altri problemi.



Henri Poincaré nel suo studio.⁸⁶

I: Lei ha anticipato anche la teoria del caos...

P: Ah, uno dei problemi che più mi ha appassionato.

I: Ce lo racconti.

P: Nel 1885 lessi che quattro anni dopo il Re di Svezia e Norvegia, Oscar II, il giorno del suo sessantesimo compleanno, avrebbe concesso un premio di 2500 corone ed una medaglia d'oro del valore di 1000 franchi a chi avesse risolto il problema dei tre corpi.

I: Che problema è?

P: Quello del sistema Sole-Terra-Luna per esempio. Il problema di due corpi che si attraggono con la forza di gravità era stato risolto da Newton, sono le famose ellissi di Keplero. Ma se aggiungiamo un terzo corpo di massa non trascurabile, il problema diventava immediatamente molto più difficile. Anche l'approccio perturbativo, ovvero quando la massa del terzo corpo era abbastanza piccola, non funzionava se non per tempi molto limitati. Sembrava che non si potesse dimostrare la stabilità non dico del sistema solare, ma neanche del nostro satellite, tanto che Newton aveva concluso che probabilmente ogni tanto era Dio che rimetteva

⁸⁶ <https://i.ytimg.com/vi/rUiBgCwiMok/maxresdefault.jpg>

a posto le orbite dei pianeti. E tenga conto che non c'erano i computer per fare delle prove numeriche.

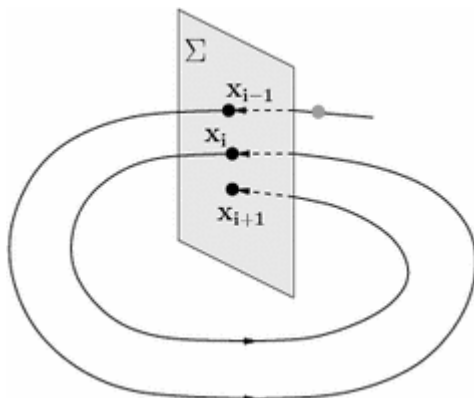
I: Ma ci sono delle osservazioni che fanno vedere l'esistenza di tale problema? In fondo i pianeti stanno lì da tempi molto più lunghi della vita umana...

P: Non ci sono solo i pianeti. Nel 1770 Lexell osservò una cometa che, in maniera simile alla cometa di Halley, sarebbe dovuta tornare a farsi vedere dopo cinque anni, ma nessuno la vide. Quello che era successo era che Giove aveva prima perturbato l'orbita della cometa, facendola passare vicino al Sole, per poi lanciarla al di là di Plutone. Una piccolissima perturbazione aveva avuto degli effetti macroscopici. Capisce che la teoria delle perturbazioni non può funzionare in questi casi?

I: L'effetto farfalla del caos?

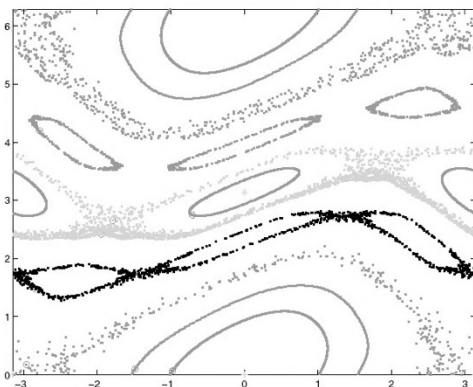
P: Sì, qualcosa del genere, ma tenga presente che quello che voi chiamate caos si applica ai sistemi dissipativi, nel caso della meccanica celeste il sistema è conservativo perché non ci sono attriti o dissipazioni, e quindi non ci possono essere attrattori come quello di Lorenz. Immaginati di tagliare lo spazio con un piano e di seguire le intersezioni dell'orbita di un pianeta con tal piano. Una traiettoria periodica avrebbe intersecato il piano in pochi punti, sempre gli stessi. Un'orbita quasiperiodica, ovvero composta da rotazioni con frequenze tra loro irrazionali, avrebbe tagliato il piano in una serie di punti disposti lungo delle linee. Questi tipi di orbita, che sono poi molto simili, erano ben conosciuti. Ma io riuscii a provare che invece le orbite tagliavano il piano in punti che formavano una zona bidimensionale densa, che poi è la "firma" del caos. Quindi una piccola perturbazione può amplificarsi in più direzioni, fino a trovare la maniera di "scappare via". Con questo lavoro vinsi il premio del re.

I: E cosa fece con i soldi? Se ne andò in vacanza?



La sezione di Poincaré.

P: Macché! Quando il lavoro era stato già stampato mi segnarono dei punti oscuri, che nel mio stile intuitivo avevo saltato. Cercando di chiarirli mi accorsi che avevo commesso un errore. In ogni caso meritavo il premio, ma non potevo lasciar distribuire le copie stampate. Dovetti a modificare la memoria e far ristampare tutto a spese mie, spendendo oltre 3500 corone, 1000 in più di quante ne avessi vinte! Ma fu così scoprii il caos.



Tori e zone caotiche in una sezione di Poincaré.

I: Non si può dire che sia stata una persona arrendevole!

P: Mi piaceva capire per bene un argomento, senza fidarmi della parola di altri ma anche senza fossilizzarsi sempre sullo stesso problema. Come dicevo sempre, dubitare di tutto, o credere a tutto, sono due soluzioni altrettanto comode, che ci dispensano entrambe dal riflettere.

I: Arrivederci allora. E si riposi.

Napoleone Bonaparte



RadioMoka S8E26 28 aprile 2018 (voci di Giovanna Pacini e Leonardo Lenzini).

<https://youtu.be/K-cjCHPzYRg>

I: Salve a tutti. Oggi per le interviste impossibili abbiamo un ospite d'eccezione. Nientepopodimeno che l'imperatore Napoleone! Buongiorno, Sua Maestà Imperiale!

N: Buongiorno. Ma non chiamatemi con questo titolo pomposo. Il mio attributo preferito è sempre stato quello di accademico, o matematico, o al limite ingegnere. Senta cosa scrissi quando mi elessero membro dell'Accademia di Francia:

"Cittadino Presidente, il suffragio degli uomini illustri dell'Istituto mi onora. Sono ben conscio che, prima di essere loro uguale, sarò a lungo il loro alunno. Se ci fosse un modo più espressivo di fargli sapere la stima che sento per loro, lo userei. Le vere conquiste, le uniche che facciamo senza nessun rammarico, sono le vittorie sull'ignoranza. L'occupazione più onorevole, come la più utile per le nazioni, è di contribuire all'ampliamento delle idee umane. La vera potenza della Repubblica Francese deve oramai consistere nel non permettere che esista un'idea nuova che non le appartenga."



Napoleone attraversa le Alpi, dipinto di Jacques-Louis David del 1801.⁸⁷

⁸⁷ https://it.wikipedia.org/wiki/Napoleone_Bonaparte

I: Che strano... tutti la conoscono come militare e condottiero, ma non come scienziato.

N: Eppure la mia passione è sempre stata quella delle scienze e della matematica. Da ragazzo eccellevo in quest'ultima materia ed infatti seguii la carriera militare come artiglieriere.



I: Scusi, che c'entra con la matematica?

La battaglia di Lodi in un'opera di Myrbach-Rheinfeld, 1906.⁸⁸

N: Lei deve cercare di immaginarsi la vita al mio tempo, fine settecento ed inizio ottocento. L'Ancien Régime era dominato dallo studio delle lettere, latino, greco e così via, come sarà per l'Italia per lungo tempo anche dopo la mia morte. Ma gli studi militari, ed in particolare l'artiglieria, richiedevano delle conoscenze tecniche e matematiche molto raffinate. I cannoni della fine del '700 erano diventati precisi e potenti e non si tirava più a caso come nel '600, ma bisognava calcolare accuratamente la traiettoria, compresa la resistenza dell'aria, la rotazione della Terra, ovvero la forza di Coriolis, ed i rimbalzi.

I: Come, i rimbalzi?

N: Certo. Il tiro preferito era il tiro radente, in cui la palla di cannone rimbalza sul terreno molte volte. In questa maniera con poco costo si possono trasformare alcune tonnellate di nobili cavalieri in armatura in tonnellate di concime. Non a caso le armature ed anche la cavalleria pesante di assalto scompaiono in quel periodo. Inoltre, un ufficiale comandava intere batterie di cannoni. Io ero molto bravo a fare questi calcoli ed in genere nella matematica. Lo sa che c'è anche un teorema matematico che prende il mio nome?

⁸⁸ [https://it.wikipedia.org/wiki/Campagna_d%27Italia_\(1796-1797\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Campagna_d%27Italia_(1796-1797))

I: Mi sembra di averne sentito parlare... di che si tratta?

N: È un teorema matematico che dice che se lei costruisce dei triangoli equilateri sui lati di un triangolo qualunque, i loro baricentri formano un triangolo equilatero.



Napoleone in Egitto.⁸⁹

I: Ma lo ha veramente scoperto e dimostrato lei?

N: Beh, non proprio, discutevamo spesso di simili teoremi, Lagrange ed io, e caso vuole che il mio nome sia rimasto attaccato ad uno di questi. Comunque, sotto la mia guida, e con l'aiuto di tanti scienziati quali Monge ed appunto Lagrange, riformammo l'educazione scientifica in Francia e nei territori occupati, fondammo le scuole normali, compresa quella di Pisa, i politecnici e dopo di me finalmente si poté valutare le capacità di un ragazzo non per la sua conoscenza delle lingue morte, ma per quanto ne sapesse di matematica.

I: E il popolo francese era contento?

N: In che senso? Io popolo lo si può manipolare a volontà. Come dissi spesso, un pastore intelligente magari è più contento di pascolare le pecore che di studiare matematica, ma la Francia trae più vantaggi a farlo studiare che a farlo pascolare.

I: Tutto per la Francia, quindi?

N: Certo. E quello che è buono per la Francia è buono per tutto il mondo, come dimostrato dal fatto che le mie conquiste hanno esportato i frutti

⁸⁹ <https://www.alamy.it/foto-immagine-napoleone-bonaparte-la-campagna-in-oriente-la-campagna-francese-in-egitto-e-siria-1798-1801-67609977.html>

della rivoluzione francese e dell'illuminismo, come per esempio il sistema metrico, in tutto il mondo, tranne nei paesi anglosassoni che sono sempre stati restii a riconoscere il primato francese. Non dimentichi l'Egitto.

I: Vuol dire la sua campagna d'Egitto? Un grande successo...



Volta illustra la sua pila a Napoleone, 1801.⁹⁰

N: Vede? In realtà da un punto di vista militare la campagna d'Egitto fu un disastro. La intraprendemmo nel 1798 e già nel 1800 fummo sconfitti dagli inglesi, che affondarono la nostra flotta. Ma di questo nessuno si ricorda, mentre rimangono saldi nell'opinione pubblica i ricordi dei grandi contributi scientifici che vennero prodotti dalla grande massa di scienziati che mi portai dietro. Fu l'inizio dell'egittologia, dello studio scientifico della flora e della fauna di paesi esotici, della stampa dei caratteri arabi e, giusto per mettere le cose in chiaro, della comprensione dei geroglifici...

I: La Stele di Rosetta?

N: Sì, quella. Fu merito nostro. Gli Inglesi si portarono via la stele e ce l'hanno ancora esposta al British Museum, ma gli studi scientifici sono stati fatti su un suo calco preso per tempo dai miei scienziati.

I: Immagino che i suoi compiti di condottiero e di imperatore l'abbiano poi distratto dalla sua passione per la matematica...

⁹⁰ <https://www.vox.com/2015/2/18/8056095/how-alessandro-volta-invented-the-battery-and-won-over-napoleon>

N: Purtroppo sì, anche se mi adoperai sempre per favorire le conoscenze scientifiche. Finalmente, dopo di me, fu riconosciuto il mestiere di scienziato, i giovani brillanti avevano una carriera assicurata. E io riconoscevo il genio anche se era straniero, non creda. Ricevetti Volta con tutti gli onori e fornii un lasciapassare e premiai con una medaglia i miei “nemici” Humphry Davy e Michael Faraday. Mentre ero impegnato nella campagna di Russia, nel 1812, ricevetti un manoscritto da parte di Laplace e risposi così:

“Signor Conte Laplace, ricevo con piacere il vostro trattato di calcolo delle probabilità. Tempo addietro l'avrei letto con interesse, oggi mi debbo limitare a testimoniare la soddisfazione che provo ogni volta che la vedo darci nuove opere che perfezionano ed estendono la prima tra le scienze. Queste contribuiscono a rendere la nazione illustre. Il progresso ed il perfezionamento della matematica sono intimamente legati alla prosperità dello stato”.

I: Beh, devo dire di avere scoperto qualcosa di nuovo e sono lieta di poterla annoverare tra gli scienziati, o almeno tra i sostenitori della scienza. Arrivederci.

N: Arrivederci e tanti saluti ai vostri ascoltatori.

Sadi Carnot



RadioMoka S8E27 5 maggio 2018 (voci di Giulia Cencetti e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/-tmBZtYHB6s>

I: Per le interviste impossibili di oggi abbiamo qui Nicolas Léonard Sadi Carnot.

C: Salve a tutti.

I: Mi scusi per averla introdotta con tutti i suoi nomi, ma era per evitare omonimie.

C: Si figuri, ci sono abituato. Di Carnot famosi in Francia ce ne sono parecchi e si chiamano tutti in maniera simile: mio Padre Lazare, mio fratello Lazare Hippolyte e mio nipote Marie François Sadi Carnot, figlio di Hyppolite che è addirittura diventato presidente della Repubblica.

I: Lei è cresciuto in un'epoca turbolenta...

C: Eh, sì, in piena epoca napoleonica. Mio padre fu un fervente repubblicano ed anche uno stratega militare di prim'ordine. Praticamente riorganizzò le forze rivoluzionarie inventando la leva di massa, promosse giovani comandanti, come Napoleone, al posto dei vecchi raccomandati, e contribuì non poco a sconfiggere le armate di Prussia, Austria e Inghilterra.

I: I suoi concittadini lo avranno acclamato!



*Nicolas Léonard Sadi Carnot
nell'uniforme scolastica
dell'École polytechnique.⁹¹*

⁹¹ https://it.wikipedia.org/wiki/Nicolas_Léonard_Sadi_Carnot

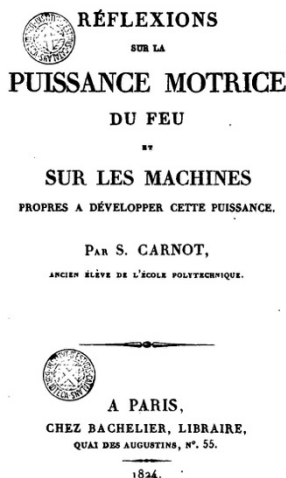
C: Figurarsi: lo accusarono di tradimento e dovette scappare in Svizzera. Fu poi richiamato da Napoleone, che gli chiese di riorganizzare l'istruzione francese, ma dopo poco se ne andò disgustato dal tradimento della repubblica da parte del novello imperatore Bonaparte. Comunque, scrisse vari trattati matematici e scientifici. Il teorema di Carnot è suo.

I: Lei è famoso per il suo lavoro sulla potenza motrice del calore, in cui introduce l'idea di massimo rendimento per una macchina termica ed in particolare introduce il ciclo che prende il suo nome, una concezione molto moderna che però lei coniuga con il concetto di calorico, come si spiega?

C: Beh, adesso per voi è naturale considerare il calore come una forma di energia, ma nella prima metà dell'ottocento non era così. Tenga conto che l'esperimento di Joule, quello dell'equivalente meccanico del calore, è del 1842. E poi, riguardando il mio lavoro, direi che non avevo poi sbagliato di molto, semplicemente avrei dovuto usare una parola differente al posto di calorico, ovvero entropia.

I: Come come come? Entropia? Ma non è quella quantità che misura il grado di disordine di un sistema?

C: Piano, piano. Per cominciare, la parola entropia venne introdotta nel 1864 da Clausius per indicare qualcosa legato all'energia interna di un corpo, ovvero la quantità di calore che passa in una trasformazione reversibile divisa per la temperatura assoluta. Quello a cui si riferisce lei, ovvero il collegamento con il disordine molecolare, è dovuto al lavoro di Boltzmann e Gibbs, all'inizio del '900. Io invece fondai il mio studio sull'analogia tra macchina termica e macchina idraulica, aiutato in ciò da mio padre, che aveva letto i lavori di Smeaton in Inghilterra.



Frontespizio del libro di Carnot.⁹²

⁹² https://fr.wikisource.org/wiki/Page:Sadi_Carnot_-_Reflexions_sur_la_puissance_motric_e_du_feu,_1824.djvu/12

I: Ma che c'entrano le ruote idrauliche con le macchine a vapore?

C: Cerco di spiegarmi. Per cominciare, le ruote idrauliche si possono usare sia come sorgenti di lavoro, facendo cadere dell'acqua, o come pompe per innalzare l'acqua, così come le macchine termiche possono funzionare anche da pompe frigorifere.

I: D'accordo.

C: Ora, quando è che una macchina è massimamente efficiente?

I: Quando produce più lavoro possibile, data una certa massa di acqua e la differenza di altezza, per le ruote idrauliche, o un certo quantitativo di combustibile per le macchine termiche.

C: Benissimo. Adesso pensi di accoppiare una ruota idraulica che funziona da motore con la stessa ruota idraulica che funziona da pompa. La ruota più efficiente non può che, al più, sollevare tanta acqua di quanta è caduta, per non violare la legge di conservazione dell'energia.

I: Vero.

C: E lo può fare solo se non ci sono "sprechi" di energia, ovvero turbolenze o moti rapidi. Le macchine più efficienti sono quindi le macchine reversibili, che lavorano in maniera quasi-statica.

I: Giusto. Ed effettivamente lo stesso ragionamento si applica alle macchine termiche.

C: Il lavoro compiuto da una ruota idraulica reversibile è dato dalla differenza di energia dell'acqua in ingresso e quella in uscita. Da cosa è data tale energia?

I: Vediamo... Si tratta di energia potenziale gravitazionale, massa dell'acqua moltiplicata per la sua altezza, per l'accelerazione di gravità che però è costante.

C: E quindi d'ora in poi la trascuriamo. Bene, che cosa si conserva in tale trasformazione?

I: Beh, la massa dell'acqua. Tanta ne entra quanta ne esce...

C: Esatto, perché non ci sono "perdite", essendo la ruota la più efficiente possibile. Consideri questo adesso: come esprimerebbe la massa di acqua in funzione dell'energia in ingresso o in uscita?

I: Facile, l'energia è massa per altezza, quindi la massa è energia diviso altezza.

C: Ci siamo quasi. Per le macchine termiche l'equivalente dell'altezza è la temperatura, quindi l'equivalente della massa cos'è?

I: Energia in ingresso o in uscita, ovvero calore, diviso per la temperatura. Ma è l'entropia!

C: Esatto. Vede adesso come potrebbe rileggere i miei lavori? Quando dico che in una macchina termica reversibile il "calorico" non viene né prodotto né consumato, in realtà va interpretato come "entropia": una macchina reversibile non crea entropia, mentre converte parte del calore in lavoro. E vede anche che è necessario "scaricare" parte del calore, ovvero l'entropia, possibilmente alla temperatura più bassa possibile, per avere una efficienza maggiore.

I: Ma è bellissimo... Però la sua analogia non regge per quanto riguarda le macchine non reversibili. Una macchina reale ha una efficienza minore di quelle reversibili e quindi crea entropia, ma una ruota idraulica non reversibile non crea massa di acqua!

C: In realtà l'analogia funziona anche in questo caso, ma bisogna chiamare in campo il vostro amico, il professor Einstein.

I: Einstein? E per cosa? Non ha mai sostenuto che si potesse creare dell'acqua.

C: Ma ha detto che l'energia è massa. Ricorda il titolo del suo lavoro del 1905 che contiene la famosa equazione $E = mc^2$?

I: A dire la verità, no.

C: Il titolo era: "L'inerzia di un corpo dipende dalla sua energia?" Quando si riferisce all'inerzia ovviamente fa riferimento alla massa. Ovvero: un corpo che contiene più energia contiene anche più massa ed il calore è energia.

I: Vuol dire che un corpo caldo pesa più dello stesso corpo freddo?

C: Certamente, ma non sono io a dirlo, è Einstein. Quindi una ruota idraulica non reversibile "spreca" parte dell'energia in ingresso che va a finire in calore per via degli attriti o delle turbolenze, aumentando così la temperatura, e quindi la massa, dell'acqua scaricata, così come una macchina

termica non reversibile spreca il calore e quindi espelle più entropia di quanta ne abbia introdotta in ingresso.

I: Voglio proprio fare la prova con una pentola d'acqua ed una bilancia.

C: Non troverebbe nulla. Il problema è quel fattore c^2 tra massa ed energia. La quantità c è la velocità della luce, che è grande, per di più al quadrato.

I: È vero... Devo dire che questa sua analogia mi ha chiarito che cos'è l'entropia, che è sempre stata una cosa misteriosa. Ma non ho mai capito cosa c'entra l'entropia come rapporto tra calore e temperatura ed entropia come disordine.

C: Beh, per spiegare questo avrei dovuto aspettare la fisica atomica, Bohr, Schrödinger e compagnia varia... oltre a Gibbs, Boltzmann ed anche Shannon, naturalmente.

I: E perché? Che c'entra la fisica atomica?

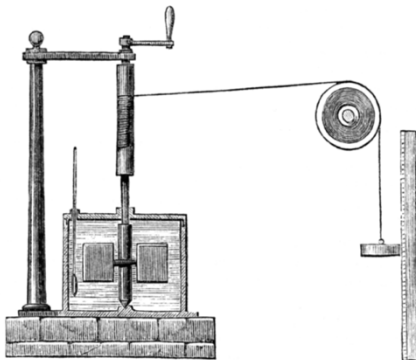
C: Lei sa che secondo la fisica atomica l'energia è data dalla disposizione delle particelle: elettroni, atomi, ecc. su certi livelli.

I: Sì.

C: Questi livelli non sono solo i livelli di energia degli atomi. Anche l'energia cinetica è quantizzata, come tutta l'energia.

I: Sì, è vero. Nell'esame di meccanica quantistica si calcolano i livelli di energia di una palla in una scatola.

C: Bene. Pensi proprio ad una scatola con i suoi livelli e tante palline su questi livelli. Ricorda da cosa dipende l'energia di un livello?



Apparato di Joule per la misura dell'equivalente meccanico del calore.⁹³

⁹³ https://it.wikipedia.org/wiki/Equivalente_meccanico_del_calore

I: Da tante cose, dalla massa della particella, dalla larghezza della scatola...

C: Dalla larghezza della scatola, ecco quello che ci serve! Più una scatola è piccola più l'energia di un determinato livello si alza.

I: Sì. E inoltre la densità dei livelli normalmente aumenta con l'energia. E allora?

C: Adesso pensi di comunicare energia alla scatola. Lo può fare in due maniere: o facendo un lavoro, comprimendola, o comunicando del calore. Nel primo caso, se lo fa piano piano, riuscirà a non spostare le palline che stanno sui vari livelli, ma riducendo la larghezza della scatola farà alzare l'energia dei livelli. È quello che si chiama lavoro adiabatico, senza passaggio di calore, e quindi senza aumento di entropia. E in effetti, non avendo spostato le palline non ha certo aumentato il disordine della disposizione.

I: Giusto.

C: Invece, se comunica energia, ovvero calore, senza cambiare la dimensione della scatola, l'unica maniera per aumentare l'energia del sistema nella scatola è quella di far saltare le palline dai livelli bassi a quelli alti. Ma lei ha detto che i livelli più alti sono più fitti, quindi le palline si disporranno in maniera più disordinata, potendo spaziare senza problemi.

I: Ho capito! L'entropia, quindi il disordine, aumenta quando comunico calore!

C: Esattamente! Ma questo non l'ho detto io, purtroppo!

I: Mi sa che se lei non fosse morto a 36 anni avrebbe dato ben altri contributi alla scienza!

C: Lei è molto gentile, ma adesso devo andare.

I: Arrivederci. E torni a trovarci quando vuole!

C: Certamente, magari porto anche mio padre. Arrivederci.

Richard Feynman



RadioMoka S8E28 12 maggio 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/qeYl6ySTOGk>

I: Buongiorno professor Feynman.

F: Buongiorno a voi.

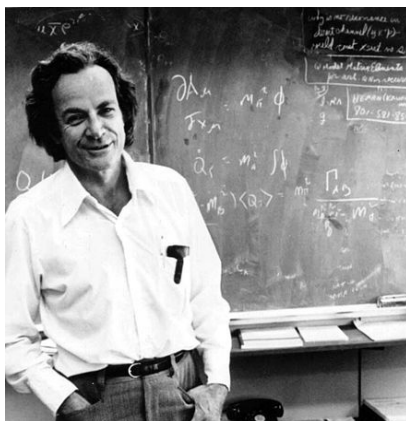
I: Lei è stata una figura molto carismatica della fisica, probabilmente uno dei fisici più conosciuti, alla stregua di Einstein o Hawking.

F: Non sono così famoso, probabilmente perché nonostante tutto mi sono sempre occupato di fisica senza filosofeggiare troppo. Ma mi è sempre piaciuto suscitare un po' di attenzione, forse troppo. Come maliziosamente ha detto il mio ruvido

amico e collega Murray Gell-Mann al mio epitaffio, se avessi dedicato alla ricerca tutto il tempo che ho dedicato a costruire la mia immagine pubblica ed i vari aneddoti che si raccontano su di me, avrei vinto non uno ma tre premi Nobel.

I: E aveva ragione?

F: Forse sì, ma se non ci si diverte che gusto c'è? Magari Murray pensava ad un Nobel che avremmo potuto vincere insieme e che per colpa mia non abbiamo vinto... Sa, lui era mio vicino di stanza al Caltech ed anche lui ha tentato di avere un'immagine pubblica, ma non ci è riuscito nonostante fosse molto più dotato di me in vari campi, fisica compresa, e



Richard Feynman insegnante all'università Cornell.⁹⁴

⁹⁴ https://it.wikipedia.org/wiki/Richard_Feynman

molto più acculturato. Aveva sempre ragione. Pensi che sapeva persino che cosa voleva dire la parola “pleonasma” ...

I: Non mi sembra una parola così difficile, ma forse perché noi parliamo una lingua neolatina con parecchie parole di origine greca...

F: E anche perché io a scuola non ho mai studiato davvero le materie come letteratura, storia, filosofia, che non avevano a che fare con la scienza. Del resto, ho sempre detto che tra mille anni, quando si parlerà degli avvenimenti fondamentali del secolo XIX, sicuramente si parlerà della scoperta delle equazioni di Maxwell, mentre la guerra civile americana apparirà come un fatto insignificante e provinciale. E poi non sapevo scrivere, ma incredibilmente venni premiato al liceo per una mia composizione. Il fatto era che avevo potuto parlare di fluidodinamica. Il tema era “*L'importanza della scienza per l'aviazione*”

I: Lei ha fatto un percorso formativo speciale?

F: Beh, andai all'università al MIT, perché alla Columbia c'erano delle quote per gli ebrei e non potei entrare. Poi andai a Princeton, ma mentre facevo il dottorato mi reclutarono per il progetto Manhattan e quindi andai a lavorare a Los Alamos alla bomba atomica.

I: Ha raccontato molti aneddoti di Los Alamos nel suo libro “Sta scherzando Mr Feynman”.

F: Non l'ho mica scritto io. È stato Ralph Leighton, un mio caro amico e compagno di percussioni.

I: Ma è vero che è stato il primo uomo a vedere un'esplosione atomica ad occhio nudo?

F: Si riferisce al Trinity Test? Io vidi da dietro il finestrino di un camion. Feci due conti e mi dissi che di pericoloso al più potevano arrivare delle radiazioni ultraviolette, per cui un vetro bastava ed avanzava. Chissà, forse feci qualche errore perché poi sono morto di due tumori piuttosto rari.

I: Lei è famoso per gli integrali ed i diagrammi che portano il suo nome. Ci può descrivere di cosa si tratta?

F: Cercavo di trovare una spiegazione comprensiva della meccanica quantistica, ma senza negarla come faceva Einstein. Credo di poter dire con sicurezza che nessuno comprende la meccanica quantistica! La

funzione d'onda non era per nulla chiara, anche perché andava accoppiata al suo collasso, secondo l'interpretazione di Copenaghen. Ma l'equazione di Schrödinger assomiglia all'equazione di diffusione, che può essere ottenuta pensando ad un insieme di camminatori casuali, come aveva fatto vedere Einstein.

I: Non è molto chiaro.

F: Il moto browniano è quello seguito da corpi piccoli, ma più grossi di una molecola, come per esempio un granello di polvere o di polline, che sono sospinti dall'agitazione termica delle molecole di acqua. Come disse Albert, si può approssimare la loro traiettoria con un moto casuale. Per semplicità, usiamo il modello del marinaio ubriaco: un marinaio con parecchio alcool in corpo esce da un bar che dà su una lunga strada rettilinea e ad ogni passo sceglie casualmente se andare a destra o a sinistra.

I: Ma così non si allontanerà mai dalla porta del bar!

F: In media no, resta lì, ma via via che passa il tempo farà delle passeggiate casuali spingendosi sempre più lontano, salvo poi tornare a ripassare davanti al bar. Supponiamo inoltre che dopo un certo tempo vomiti per strada...

I: Che schifo!

F: Solo per marcare il posto. Se preferisce lo faccio pisciare...

I: Il vomito va bene.

F: Bene. Supponiamo che ogni sera dal bar esca un solo marinaio in tale stato. Se nessuno pulisce la strada, in capo ad un anno cosa troverà?

I: Un mucchio di vomito...

F: Sì, ma distribuito come?

I: Vicino alla porta del bar.

F: Dipende dal tempo dopo cui i marinai vomitano. Tanto più lungo è questo tempo tanto più disperse sono le vomitate. Se ci pensa, è come se facesse partire insieme un esercito di ubriaconi che però non interagiscono tra loro: non si spintonano, non inciampano l'uno sull'altro. Ovvero, in linguaggio matematico, può ottenere lo stesso risultato, la distribuzione dei camminatori ad un certo tempo, sia sommando sulle loro

traiettorie casuali, o stocastiche, sia calcolando l'evoluzione dell'equazione di diffusione.

I: Mi torna.

F: Bene, per la meccanica quantistica la situazione è simile, solo che questa volta ogni marinaio ubriaco porta con sé un orologio e quando vogliamo calcolare la distribuzione, invece di sommare semplicemente il numero dei marinai in un certo posto, dobbiamo mettere in fila le lancette dei secondi dei loro orologi, mantenendo il loro orientamento.

I: Che procedura strana...

F: In meccanica quantistica invece di usare numeri reali, come appunto il numero di marinai ubriachi, dobbiamo usare dei numeri complessi, che si comportano come dei vettori e vanno sommati vettorialmente, come appunto facciamo concatenando le lancette degli orologi.

I: E a che serve?

F: In questa maniera la somma può anche annullarsi, per esempio se sommiamo una lancetta che indica 15 secondi ad una lancetta che ne indica 45. La probabilità di trovare una vomitata nel caso quantistico è data dalla distanza tra inizio e fine della catena delle lancette, elevata al quadrato.

I: Quindi le vomitate possono anche sparire? Come se un marinaio vomitasse addosso ad un altro?

F: Sì, ma possono anche amplificarsi, dato che si prende il quadrato.

I: Che procedura strana...

F: Non tanto. È quello che già si faceva per il campo elettrico, che è espresso da un numero complesso, mentre l'intensità luminosa, nel caso di onde visibili, è dato dal quadrato della somma "vettoriale" dei contributi al campo elettrico. Così si vedono gli effetti di interferenza, diffrazione, ecc.

I: Ho capito: Einstein aveva dimostrato che la radiazione elettromagnetica è data da fotoni e quindi c'era bisogno di trovare una regola che riproducesse i fenomeni classici, interferenza e diffrazione, ma usando camminatori discreti come i fotoni...

F: Molto bene. Quello che ho fatto io, ed anche altri, è stato di estendere questa idea a tutta la fisica quantistica. Ovvero: la fisica quantica si può riassumere così: per calcolare la probabilità di un evento bisogna prima calcolare la sua ampiezza di probabilità che è un numero complesso, ovvero un vettore, e quindi prenderne il modulo al quadrato. Per calcolare l'ampiezza, bisogna sommare su tutti i possibili modi di realizzare il fenomeno. Per calcolare l'ampiezza di un tale "modo" o "cammino", si fa il prodotto delle ampiezze elementari di ogni passettino. Da qui l'espressione "somma sui cammini" o *path integral*...



Il camper dei Feynman con i diagrammi.⁹⁵

Il modulo al quadrato. Per calcolare l'ampiezza, bisogna sommare su tutti i possibili modi di realizzare il fenomeno. Per calcolare l'ampiezza di un tale "modo" o "cammino", si fa il prodotto delle ampiezze elementari di ogni passettino. Da qui l'espressione "somma sui cammini" o *path integral*...

I: Quindi come la somma sui cammini dei marinai ubriachi, solo che cambierà l'ampiezza elementare per gli elettroni, i gluoni ecc...

F: L'espressione "somma sui cammini" è fuorviante, perché non si somma solo sulle traiettorie, ma anche su eventi tipo creazione di coppie particella-antiparticella, emissione e riassorbimento di un fotone e così via.

I: Come, come?

F: Anche il semplice cammino di un elettrone, può comportare l'emissione di un fotone che poi viene riassorbito, o la creazione di una coppia che poi si riannichila e cose del genere...

I: Ma allora è una somma infinita...

F: Sì, ed ho sviluppato la tecnica dei diagrammi, che avevo fatto dipingere anche sul mio *van*, per rappresentare in maniera grafica tali somme. Per fortuna, in alcuni casi come nelle interazioni elettromagnetiche e nelle interazioni deboli, la somma converge rapidamente così che bisogna

⁹⁵ <https://i.pinimg.com/originals/3c/8d/df/3c8ddffd02fc0ab67500398a94be34fe.jpg>

considerare solo i diagrammi più semplici. Nelle interazioni forti invece il problema è più complicato. Ma se le interessa il problema le consiglio di leggersi il mio libretto "QED".

I: Lo farò senz'altro. Lei è stato anche un grande insegnante...

F: Un pessimo insegnante!

I: Ma se "La fisica di Feynman" viene ancora stampato e letto in tutto il mondo!

F: Ma è un libro difficile per gli studenti, lo leggono i ricercatori. Il problema è che io sono sempre stato un autodidatta, ho imparato da solo e molto presto sia la matematica e la fisica, quindi per me è molto difficile mettermi nei panni di uno studente medio.

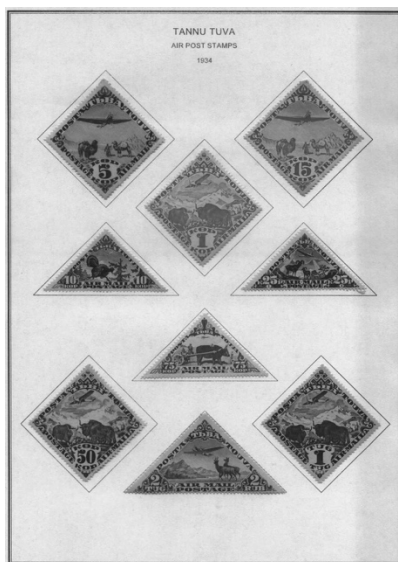
I: Vuol dire che per essere un bravo insegnante bisogna essere un mediocre ricercatore?

F: Non voglio dire questo, solo che per insegnare bisogna essere in grado di prevedere i ragionamenti possibili, anche se sbagliati, di un allievo, e se uno non ne è capace non riesce ad insegnare bene.

I: Lei ha lavorato anche in altri campi, oltre l'elettrodinamica quantistica...

F: Secondo me c'erano tanti campi interessanti, che adesso vedo che cominciano ad essere esplorati sistematicamente: la superfluidità e la superconduttività, le nanosienze, la genetica, le neuroscienze, il calcolo elettronico ed il calcolo quantistico...

I: Lei è sempre stato affascinato dall'ignoto...



Francobolli di Tuva.⁹⁶

⁹⁶ https://www.stampcommunity.org/topic.asp?TOPIC_ID=55095

F: Sì, anche nel caso della geografia. Quando viaggiavo, mi piaceva andare nei posti dove non voleva andare nessuno, anche se mi dicevano che non c'era nulla da vedere. Anche postacci, intendiamoci, non certo solo le vette inesplorate. Verso gli ultimi anni della mia vita mi ero messo in testa di visitare Tannu Tuva, che a quel tempo era una repubblica sovietica vicino alla Mongolia, assolutamente sconosciuta e per cui era difficilissimo avere il visto. *Tuva or Bust!* Era il motto in quel periodo. Leighton ci ha scritto anche un libro.

I: E lei come la conosceva?

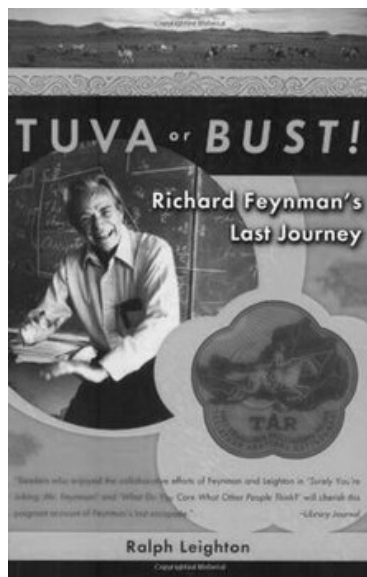
F: Attraverso i francobolli che collezionavo da piccolo. Quelli di Tuva erano francobolli particolari, con caratteri astrusi ed a volte di forma romboidale o triangolare.

I: E non riuscì ad andarci?

F: No, morii poco prima che arrivasse il visto. Anzi, arrivò un invito ufficiale da parte dell'accademia delle scienze sovietiche. Ma almeno mi sono tolto quel dente. Non sopporterei di morire due volte. È una cosa così noiosa. E poi non facevano che operarmi per togliermi dei pezzettini...

I: Mi dispiace. Ma sono molto contenta di aver potuto parlare con lei. Tanti saluti.

F: Saluti anche a voi. Sto aspettando che mi raggiunga Murray per finire una discussione che avevamo lasciato a metà, ma non si decide...



Il libro di Leighton sull'ultima avventura (mancata) di Feynman.⁹⁷

⁹⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Tuva_or_Bust!

Erwin Schrödinger



RadioMoka S8E30 26 maggio 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/GR0B2Z9LCj8>

I: Buongiorno professor Schrödinger.

S: Buongiorno a voi.

I: Lei è stato una figura fondamentale per la fisica quantistica, per quanto anche originale e fuori dal "mainstream". Ci può raccontare i fatti salienti della sua vita?

S: Sono nato a Vienna nel 1887 e morto sempre a Vienna nel 1961, non male per una persona ammalata da sempre di tubercolosi, vero? Ma devo dire che la tubercolosi è stata anche la mia fortuna, la famosa equazione che porta il mio nome l'ho scritta nel sanatorio di Arosa, sulle alpi svizzere. Ma andiamo con ordine.

*Come studente, sono sempre stato bravo. Fino a 121 anni ho studiato a casa e poi all'*Akademisches Gymnasium*, dove ho studiato latino e greco.*

I: Non matematica e fisica?

S: Ovviamente eccellevo in queste materie, ma la mia formazione è stata essenzialmente classica e non a caso mi sono sempre interessato di letteratura, filosofia, teatro, poesia ed arte. In particolare, sono



Schrödinger nel 1933.⁹⁸

⁹⁸ https://it.wikiquote.org/wiki/Erwin_Schrödinger

sempre stato affascinato da Schopenhauer. Ho anche scritto delle poesie, forse un po' troppo aride ma tecnicamente perfette.

I: Parlava molte lingue, immagino.

S: Oltre alla mia lingua madre, il tedesco, parlavo perfettamente l'inglese, grazie alla mia nonna materna, e poi ho studiato il francese e lo spagnolo.

I: Ci parli della fisica.

S: All'università volevo studiare con Boltzmann, ma si era suicidato poche settimane prima che mi iscrivessi a fisica. Comunque, sono sempre stato interessato dalla fisica statistica e quasi la metà dei miei lavori riguardano tale soggetto. Anche se ero orientato verso la fisica teorica, non mi dispiacevano le applicazioni, infatti mi dottorai con una tesi sulla conduzione elettrica alla superficie degli isolanti nell'aria umida.

I: E poi arrivò la sua famosa equazione...

S: Purtroppo sì.

I: Come purtroppo? Lei ha vinto il premio Nobel grazie a tale equazione ed è diventato famosissimo.

S: In realtà non mi piaceva la meccanica quantistica, come non piaceva ad Einstein, e mi dispiace di averla creata. Ma se volete riassumo la faccenda.

I: Sì, per piacere.

S: Allora, come hanno detto tanti prima di me in queste interviste, la situazione della fisica all'inizio del '900 era molto complicata. Gli



The Schroedingers relax. Mrs. March (centre) is wife of the professor's Austrian colleague.

Schrödinger aveva un cane e non un gatto.⁹⁹

⁹⁹ <https://twitter.com/phalpern/status/1033813370946940928>

esperimenti mostravano che il comportamento delle particelle elementari non era quello che ci si poteva aspettare dalla fisica classica e non si sapeva come andare avanti. Il modello di Bohr era chiaramente euristico e non si capiva come estenderlo. Heisenberg aveva sviluppato una matematica basata sulle matrici che permetteva di ottenere gli spettri di emissione ed assorbimento degli atomi, ma non si capiva che realtà fisica ci potesse stare dietro ed inoltre era alquanto ostica da usare. Io ero appunto nel sanatorio di Arosa, insieme alla mia amante, e quindi libero di pensare in tutte le direzioni...

I: Ma lei non si era sposato nel 1920?

S: A dire la verità per quasi tutta la mia vita ho vissuto con la moglie ed almeno una amante, cosa che ha scandalizzato più di una persona, ma per me andava bene. Ho anche fatto figli con altre donne, ma nessuna mi ha mai denunciato per maltrattamenti o abbandono. Ero sempre molto chiaro nei loro confronti. Ma stiamo divagando. Torniamo alla mia equazione. Io non potevo tollerare che un elettrone saltasse qua e là come una pulce, come veniva fuori dalla teoria di Heisenberg, e quindi mi misi a pensare come poteva accadere che un elettrone "sentisse", per esempio, la presenza di più fenditure in modo da dare i profili di interferenza osservati. Ispirato dall'idea di De Broglie, che forse ci poteva essere una "onda pilota", ovvero una perturbazione in un qualche etere che permettesse all'elettrone di "sentire" il mondo accanto a lui, sviluppai una specie di teoria della diffusione.

I: Come funziona l'onda pilota?

S: La teoria completa è stata poi sviluppata da Bohm ed altri, ma l'idea è quella di una barca che si trova a scegliere tra due ingressi al porto, nel caso di mare agitato. L'interferenza delle onde che passano dalle due aperture può far sì che la barca preferisca arrivare ad una banchina rispetto che ad un'altra, effetto che scompare quando si chiude una delle due bocche di accesso.

I: Giusto.

S: Io non ho esplicitamente parlato di onda pilota, per me poteva essere anche l'elettrone che si scomponeva, ma in ogni caso volevo

sviluppare una teoria “realista”, che parlasse di cose in principio osservabili, un po’ come le equazioni dell’elettromagnetismo. Ma sapevo che per avere l’interferenza senza au-

$$-\frac{\hbar}{2m}\nabla^2\psi(\mathbf{r}) + V(\mathbf{r})\psi(\mathbf{r}) = E\psi(\mathbf{r})$$

$$\text{Energia cinetica} + \text{Energia potenziale} = \text{Energia totale}$$

L’equazione di Schrödinger.

mentare troppo il numero delle equazioni dovevo usare dei numeri complessi, e così scrissi una specie di equazione di diffusione, con il tempo immaginario. Ecco l’equazione che porta il mio nome. E dato che ero un esperto di problemi agli autovalori, non mi fu difficile ottenere la distribuzione stazionaria per l’atomo di idrogeno e per l’oscillatore armonico.

I: Non ci può illustrare il procedimento per sommi capi?

S: L’idea è che c’è una funzione complessa, ovvero formata da un modulo e da una fase, che evolve nel tempo sparpagliandosi, guidata e trattenuta dall’energia potenziale. Per esempio, se c’è una “buca” di potenziale, questa funzione si concentrerà nella buca e diffonderà un po’ fuori, come una goccia di un colore denso che cade in una tazza d’acqua. Però, a differenza della diffusione, il fatto che la funzione sia complessa fa sì che in certi punti può fare interferenza ed annullarsi. Molti anni dopo Feynman ha riinterpretato la mia equazione proprio come sovrapposizione di camminatori che possono interferire tra loro.

I: E il problema degli autovalori?

S: Nel caso di un sistema confinato, come la tazza, o un oscillatore o anche un atomo, dopo un po’ di tempo la situazione si deve stabilizzare e non cambiare più. Quindi in tali casi la derivata temporale scompare e rimane solo la soluzione della parte “statica”, che in gergo tecnico si chiama autovettore. Per l’atomo di idrogeno abbiamo una parte angolare, che era già conosciuta in quanto è la stessa che abbiamo quando si studia un corpo attaccato ad una molla in 3 dimensioni, ed una parte radiale. Il fatto che la funzione debba essere stazionaria implica che debba essere periodica rispetto ad una rotazione

intorno all'asse dell'atomo e questo implica la quantizzazione del momento angolare. Ovvero, se si vede la mia funzione come un'onda (dato che è complessa), deve avere un numero intero di oscillazioni mentre fa un giro intorno al nucleo dell'atomo. Una volta inserita questa quantizzazione nella parte radiale si ottengono i livelli energetici, ovvero gli orbitali.

I: Come il modello di Bohr?

S: Molto meglio, perché la mia equazione in linea di principio si applica a qualsiasi sistema quantistico non relativistico, per energie non troppo alte.

I: Quindi anche con più elettroni?

S: Sì, anche se magari non si riesce a trovare la soluzione analitica, ma si può procedere per approssimazioni successive, o in maniera numerica.

I: E perché ha detto non relativistico ed energie basse?

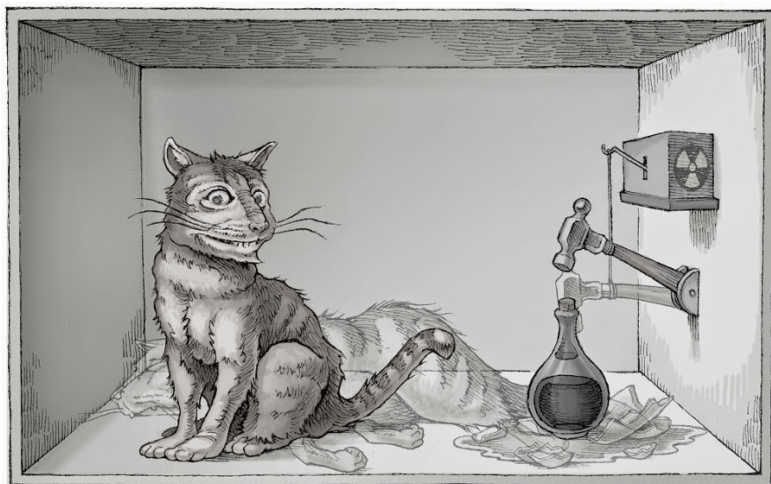
S: Perché nel caso relativistico bisogna usare un'equazione più complessa, quella di Dirac, e nel caso di alte energie bisogna includere anche processi più complicati, come la creazione di coppie di particelle ed antiparticelle.

I: E come fu accettata la sua equazione?

S: Einstein, Bohr e Sommerfeld la accolsero come la salvezza dal mondo della matematica incomprensibile di Heisenberg, mentre quest'ultimo ne fu molto disgustato. Disse: *"Quanto più penso agli aspetti fisici della teoria di Schrödinger, tanto più repellenti li trovo. Quel che Schrödinger scrive della visualizzabilità della sua teoria 'non è probabilmente del tutto esatto', in altri termini sono cretinate."* Probabilmente non aveva digerito il mio terzo articolo del 26, in cui dimostravo che la mia equazione era equivalente alla sua algebra delle matrici, solo più semplice.

I: E quindi fu il successo.

S: Non per me. Io vedevo la mia equazione come una cosa reale, ma poi arrivò Born e la interpretò come una onda di probabilità, inter-



Il gatto di Schrödinger.¹⁰⁰

pretazione che fu poi accettata da tutti. Ma che cos'è un'onda di probabilità? Io non l'ho mai capito. E infatti mi misi a lavorare anche ad altro, come l'origine della vita, la psicologia e la percezione dei colori e la teoria unificata di elettromagnetismo e gravità, come fece anche Einstein.

I: Lei è famoso anche per il suo gatto...

S: Un'ironia del destino... Nel '35 formulai il paradosso del gatto per mettere in evidenza le conseguenze dell'interpretazione di Copenhagen, quella di Born, della mia teoria.

I: Ce lo può riassumere velocemente?

S: Secondo l'interpretazione di Copenhagen, la fisica quantistica è descritta da una funzione d'onda complessa, quella che si ottiene dalla mia equazione per esempio, il cui modulo quadrato dà la probabilità di trovare un elettrone o altro oggetto quantistico in una certa posizione in un certo tempo. Però, una volta che l'oggetto è osservato, la

¹⁰⁰ <https://www.lercio.it/animalisti-contro-schrodinger-basta-esperimenti-mentali-sui-gatti/>

funzione d'onda "collassa": si trova concentrata nel punto dell'osservazione e da lì ricomincia ad evolvere. Ora, cos'è un osservatore? Dev'essere per forza umano? O può essere anche un altro elettrone? E un gatto? Mettiamo un gatto in una scatola, con una fiala di veleno comandata da un processo quantistico, per esempio un decadimento atomico. Per noi, che non interagiamo con il gatto, questo sarà in una sovrapposizione di gatto morto e gatto vivo e solo quando lo osserviamo determineremo il suo fato. Ma ovviamente il gatto sa benissimo se è vivo o morto. E guardi che il problema non è solo quello dell'ignoranza del suo stato, possiamo fare degli esperimenti in cui facciamo interagire due gatti "vivi-e-morti" ed i risultati sono diversi se i gatti sono effettivamente vivi o morti, anche se non lo sappiamo, o se sono in una sovrapposizione quantistica di stati. tali esperimenti sono stati fatti con degli elettroni e dei fotoni e l'interpretazione standard si è dimostrata corretta.

I: Ma quindi il gatto non è un osservatore alla pari con un umano?

S: Beh, la faccenda non è risolta. O usiamo l'approccio di Feynman, che dice "zitto e calcola", ovvero che la fisica quantistica è inconoscibile, possiamo solo usarla per fare delle previsioni su cose osservabili senza entrare nella metafisica, o ci affidiamo alla teoria del multiverso in cui tutte le possibilità si verificano in universi paralleli tra loro non interagenti: in uno di questi universi il gatto è vivo e nell'altro è morto.

I: Un tema affascinante!

S: Ma in cui non ci voglio entrare. Forse aveva ragione il mio maestro Schopenhauer: il mondo è la costruzione immaginaria di una mente squilibrata. Se fosse vissuto fino all'epoca della fisica quantistica sono sicuro che avrebbe trovato molte conferme della sua filosofia.

I: La salutiamo allora. Arrivederci.

S: Arrivederci, saluti anche a tutti i vostri ascoltatori.

Paul Dirac



RadioMoka S8E31 9 giugno 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/PtnNMHXSvh0>

I: Buongiorno Professor Dirac.

D: Buongiorno.

I: Siamo molto contenti di averla qui a RadioMoka.

D: (pausa) Dovrei dire qualcosa?

I: Beh, sì, di solito in una conversazione si parla in due.

D: Mi avevate detto che mi avreste intervistato, ma lei ha fatto un'affermazione, non una domanda. Mi successe lo stesso durante una conferenza. Uno del pubblico disse "non capisco l'equazione che ha scritto in alto a destra sulla lavagna". Io ovviamente restai zitto, non era mica una domanda...

I: Lei non è molto loquace, vero?

D: Non mi piace sprecare fiato. In effetti i miei colleghi di Cambridge per prendermi in giro avevano dato il mio nome all'unità di misura della loquacità. Un "dirac" corrispondeva all'emissione di una parola all'ora.

I: Molto divertente. Può raccontarci altri aneddoti?

D: Non capisco bene cosa ci sia di divertente, tutti si stupivano sempre perché non mi dilungavo mai in inutili considerazioni. Per



Paul Dirac nel 1930.¹⁰¹

¹⁰¹ https://it.wikipedia.org/wiki/Paul_Dirac

esempio, mi domandarono cosa pensassi del romanzo *“Delitto e castigo”* di Dostoevskij ed io risposi *“Niente male. Ma in un capitolo l'autore ha fatto uno sbaglio. Ha raccontato che il sole è sorto due volte nello stesso giorno”*. Non credo che si possa aggiungere altro.

I: Non le piaceva la letteratura?

D: Più che altro non capivo bene a che servisse, soprattutto la poesia. Lo scopo della scienza è spiegare cose difficili in maniera semplice, quello della poesia è dire cose semplici in maniera complicata. Sono due finalità completamente differenti.

I: Lei è stato un fisico molto importante. Ci può rapidamente ricordare qualcosa della sua vita?

D: A dire la verità mi sono sempre reputato un ingegnere. Sono nato nel 1902 a Bristol, ma la mia famiglia veniva dalla svizzera francese ed infatti il mio nome si pronuncia alla francese. Mi sono laureato in ingegneria elettrica, ma poi ho preso il dottorato in matematica applicata e fisica teorica. Dopo qualche esperienza in giro nel mondo, in particolare in America, alla fine sono diventato professore *“luccasiano”* di matematica a Cambridge, la stessa cattedra di Newton e di Hawking.

I: Lei ha preso il Nobel insieme a Schrödinger per i suoi contributi alla meccanica quantistica, in particolare per l'equazione che prende il suo nome. Ce ne può parlare in termini semplici?

D: Cercherò, anche se non è facile. Partiamo dall'equazione di Schrödinger, che è una equazione che descrive l'andamento temporale della funzione d'onda per una particella quantistica. Ricordo che la funzione d'onda è una funzione *“scalare”*, ovvero con una sola componente. È una funzione complessa, nel senso dei numeri complessi, il cui modulo quadrato dà la probabilità di trovare la particella in una certa posizione ad un certo tempo.

L'equazione di Schrödinger è un'equazione che lega la variazione temporale della funzione, ovvero la sua derivata temporale, alla diffusione spaziale della funzione stessa, tenuta insieme dal potenziale. Ovvero, se si comincia al tempo zero sapendo che un elettrone, per esempio, è di sicuro in una certa posizione, l'equazione di Schrö-

dinger ci dice che via via che passa il tempo la probabilità di trovare l'elettrone si sparpaglia, andando verso il minimo del potenziale, ma anche oscillando e facendo interferenza con sé stessa a causa del fatto che usa numeri complessi.

I: E cosa c'è di sbagliato in questa visione?

D: Il fatto che l'equazione di Schrödinger non è relativistica, quindi dà risultati sbagliati quando le particelle si muovono molto velocemente.

I: E allora cosa dobbiamo fare?

D: L'equazione di Schrödinger si può ottenere in maniera formale dall'equazione dell'energia non relativistica.

I: Sì, infatti uno si ricorda com'è fatta l'equazione dicendo che la derivata temporale della funzione d'onda è uguale, a parte qualche costante ed il fattore immaginario i , al prodotto dell'operatore energia con la funzione stessa. L'operatore si ottiene dall'espressione standard dell'energia rimpiazzando la velocità con la derivata spaziale.

D: Bene, che succede se prendiamo adesso l'espressione relativistica dell'energia, che, ricordo, dice che l'energia è data dalla radice quadrata della somma del quadrato della velocità più la massa a riposo?

I: Uhm... Non si può fare la sostituzione diretta! Non sappiamo cosa vuol dire la radice quadrata di una derivata!

D: Giusto! Una possibilità era quella di elevare al quadrato i due membri, con il che si ottiene un'equazione del secondo ordine temporale,



*Dirac con la moglie Margit Wigner
a Copenaghen nel 1963.¹⁰²*

¹⁰² https://en.wikipedia.org/wiki/Paul_Dirac

detta equazione di Klein-Gordon. Ma così facendo vengono fuori anche delle soluzioni ad energia negativa, cosa comune con la mia equazione, una difficoltà che però, come vedremo, si può superare, ma anche delle probabilità negative che non si sapevano come interpretare.

I: E allora lei che fece?

D: Usai una funzione “vettoriale”, con quattro componenti, perché la relatività ci dice che dobbiamo lavorare nello “spazio-tempo”, con tre dimensioni spaziali ed una temporale. In questa maniera si ottiene una equazione i cui coefficienti non sono numeri, ma matrici, che però si possono scegliere in maniera da avere formalmente l'espressione relativistica dell'energia.

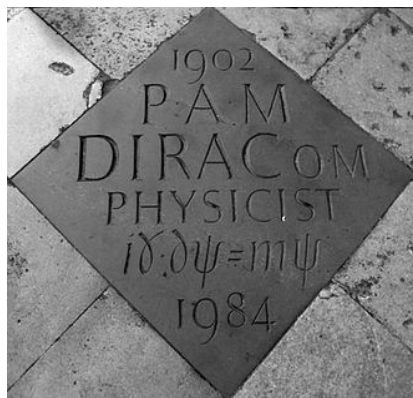
I: E così si aveva una probabilità positiva?

D: Sì, il modulo quadrato della mia “funzione” a quattro componenti è sempre positivo.

I: Ma ha detto che si avevano anche energie negative...

D: Sì, ma risolsi questo problema in maniera molto elegante. Supposi che tutti i livelli ad energie negative fossero già occupati, con il che la prima energia disponibile è positiva. Ricordiamo infatti che gli elettroni, come tutte le particelle a spin non intero, devono obbedire al principio di Pauli, ovvero un dato livello non può venir occupato da più di una particella.

Questa mia interpretazione, detta “mare di Dirac” porta ad una interessante conseguenza.



*Placca commemorativa
nell'Abbazia di Westminster con
l'equazione di Dirac.¹⁰³*

¹⁰³ https://en.wikipedia.org/wiki/Paul_Dirac

I: Quale?

D: Se dà un po' di energia ad un elettrone che sta in un livello appena negativo, questo può saltare in un livello positivo, lasciando un "buco". Dato che è un buco in un livello ad energia negativa appare come una particella ad energia positiva.

I: E che particella è?

D: Facendo i calcoli si vede che appare come una particella con la stessa massa dell'elettrone, ma carica positiva. Inoltre, quando un elettrone incontra un "buco", ci cade dentro e scompare, il che è equivalente a dire che le due particelle si annichilano emettendo fotoni.

I: Ma allora il suo buco è il positrone!

D: Esatto, avevo previsto l'esistenza dell'anti-particelle dell'elettrone. Per un po' pensai che avrebbe potuto essere il protone, ma le masse non tornavano per nulla. Poi nel 1932 Anderson scoprì il positrone, che era già stato osservato, senza rendersene conto, da Irene Curie e suo marito Frederic Joliot.

I: E si continua ad usare il suo concetto di "mare di Dirac"?

D: No, si preferisce pensare al positrone come una vera particella, simmetrica rispetto all'elettrone. In effetti si può riformulare la mia equazione in termini di operatori che "creano" o "distruggono", matematicamente, elettroni e positroni.

I: Quale è stato il principio che ha seguito nella sua esperienza come ricercatore?

D: La bellezza. Ho sempre detto che "una teoria che includa la bellezza matematica ha più probabilità di essere giusta e corretta rispetto ad una teoria sgradevole, pur confermata dai dati sperimentali". Ovviamente mi riferivo agli sviluppi dell'elettrodinamica quantistica, con tutti quegli infiniti curati a colpi di accetta.

I: Un criterio indubbiamente elegante. La ringraziamo per aver partecipato a RadioMoka.

D: Anche questa è un'affermazione, non una domanda. Comunque, saluto volentieri voi e tutti gli ascoltatori. Arrivederci.

Enrico Fermi



RadioMoka S8E32 16 giugno 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/jfn-2N1dfdk>

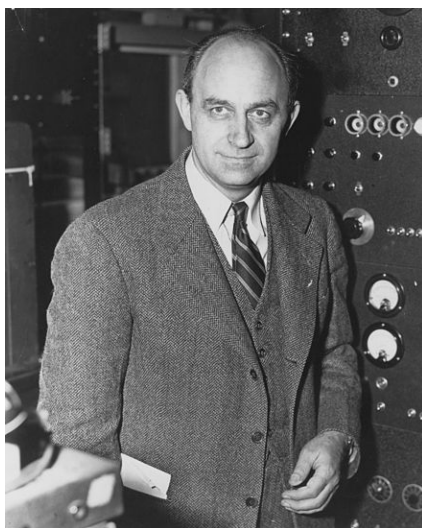
I: Buongiorno professor Fermi. Finalmente un italiano in questa rubrica!

F: Buongiorno a voi, anche se temo che ormai il mio accento sia irrimediabilmente compromesso dall'inglese.

I: Sembra più un accento vagamente germanico, ma va benissimo. Lei è stato definito l'ultimo fisico completo, grande teorico ed anche abilissimo sperimentatore. Ci può raccontare un po' le sue ricerche?

F: Sono sempre stato in gamba in matematica e poi anche in fisica. Ricordo che con il tema di ingresso alla Normale di Pisa stupii tutti i professori. La mia era l'epoca della meccanica quantistica e della nascita della fisica nucleare.

Mi sono occupati di tantissimi problemi sia classici che quantistici, perché ancora si andava avanti con le analogie classiche. Soprattutto mi è servita da guida la termodinamica e la fisica statistica, per esempio il mio famoso lavoro sulla statistica dei fermioni, le particelle a spin non intero che portano il mio nome, fu motivato dall'esigenza di spiegare la formula dell'entropia di un gas perfetto.



Enrico Fermi nel 1938.¹⁰⁴

¹⁰⁴ https://it.wikipedia.org/wiki/Enrico_Fermi

I: Potrebbe essere più chiaro?

F: Come ha detto qui anche Boltzmann, l'entropia di un gas racchiuso in una scatola o in una buca di potenziale è dato dal logaritmo del numero di configurazioni possibili. Ma se le particelle potessero stare in ogni posizione e con qualsiasi velocità, questo numero sarebbe semplicemente infinito. Per fortuna c'è il principio di indeterminazione di Heisenberg che praticamente dice che lo spazio accessibile è diviso in "cubetti", ovvero che è quantizzato, cosa che porta anche ai livelli discreti dell'energia.

Questo è alla base anche delle scoperte di Planck, anche se non se ne era reso conto, e venne generalizzato da Einstein per i fotoni, che possono stare in numero arbitrario in uno stato. C'è però da considerare che le particelle elementari, come i fotoni ma anche gli elettroni, sono indistinguibili, così che il numero di configurazioni non "esplode" quando considero tanti fotoni o elettroni: non devo considerare gli scambi tra loro, sono tutti uguali.

I: Chiaro. Ma i fotoni sono bosoni e gli elettroni fermioni...

F: E infatti bisogna disporli in maniera diversa. Come ha detto anche qui Bose, i fotoni possono accumularsi nei livelli, mentre i fermioni no, ce ne può stare al più solo uno in ogni cubetto.

I: E questo cosa comporta?

F: Che i livelli più bassi si riempiono subito, costringendo gli altri elettroni a stare in livelli più elevati.

I: Aha. Quindi nasce la tavola periodica...

F: Certo. Inoltre, quando ci sono tantissimi elettroni, non c'è più bisogno di guardare in dettaglio come sono fatti gli orbitali, basta considerare gli elettroni come un liquido. In questa maniera si può calcolare come funzionano i metalli ed i semiconduttori, ed anche gli atomi con grande numero atomico. La stessa approssimazione si usa per il nucleo atomico degli atomi più pesanti e si chiama appunto modello atomico o nucleare di Thomas-Fermi.

I: E dal punto di vista accademico che cosa fece?

F: Dopo la laurea me ne andai un po' all'estero, a Gottinga e Leida, e poi nel 1924 fui chiamato alla cattedra di fisica matematica a Firenze, su invito del sindaco e del direttore dell'istituto di fisica.

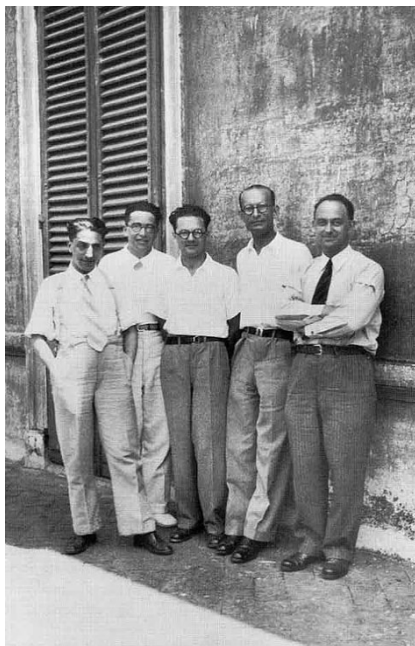
Nel '26 poi vinsi il concorso per la prima cattedra di fisica teorica in Italia, creata apposta per me dopo che mi avevano "trombato" ad altri concorsi per favorire persone meno brillanti ma più aggan- ciate con il sistema. Devo rin- graziare Corbino, fisico e poli- tico, per avermi sempre ap- poggiato e per aver spinto per creare sia la mia cattedra che il gruppo dei ragazzi di via Panisperna.

I: Corbino però non si iscrisse mai al Partito Nazionale Fa- scista, mentre lei sì, oltre ad es- sere membro alla massoneria.

F: Io non sono certo mai stato di sinistra, ma neppure convinto fasci- sta. Come dice Amaldi, in privato criticavo il fascismo ed inoltre avevo sposato un'ebrea, ma per potermi dedicare alla fisica ero pronto a qualsiasi compromesso. Però non certo a sacrificare mia moglie, co- sicché pianificai la fuga in America dopo il Nobel, nel 1938.

I: Fu uno scandalo...

F: Già. Ero già scandaloso avendo una moglie ebrea ed inoltre alla ce- rimonìa indossai il frac, invece dell'uniforme da accademico d'Italia o



I ragazzi di via Panisperna. Da sinistra: Oscar D'Agostino, Emilio Segrè, Edoardo Amaldi, Franco Rasetti ed Enrico Fermi.¹⁰⁵

¹⁰⁵ https://it.wikipedia.org/wiki/Enrico_Fermi

quella fascista, e non feci il saluto fascista limitandomi a stringere la mano al re. Tutti i giornali italiani mi attaccarono e mi resero più facile la partenza. Mi dispiacque lasciare i miei ragazzi, ma molti di loro avevano trovato la loro strada. Rasetti era andato in Canada e poi negli Stati Uniti, Pontecorvo era in Francia e Segrè a Palermo. Majorana scomparve quell'anno.

I: Lei è famoso per varie scoperte, oltre alla statistica di Fermi-Dirac, per esempio per la teoria del decadimento beta e soprattutto per gli studi sperimentali sulle trasmutazioni atomiche. Ce ne può parlare?

F: Il decadimento beta era una cosa molto misteriosa ai miei tempi. Si verifica, come scoprii, quando un neutrone si converte in un protone emettendo un elettrone ed un neutrino, che però non era rilevabile a quel tempo. Il neutrino era stato ipotizzato da Pauli che però era restio a pubblicare l'articolo. Però, se non ci fosse stato il neutrino, l'elettrone emesso avrebbe dovuto avere una energia ben precisa, dato che il neutrone ed il protone, se il processo avviene all'interno di un nucleo, sono essenzialmente immobili. Invece l'elettrone aveva delle velocità variabili, con uno spettro caratteristico. Born era convinto che il processo violasse la conservazione dell'energia, ma io preferivo pensare all'esistenza di una particella non rilevabile, che però compensasse l'energia mancante. Feci i calcoli e tornarono perfettamente con i dati sperimentali. Praticamente dimostrai che l'elettrone non era preesistente, ma che veniva creato dalla trasformazione del neutrone in protone. Proposi l'articolo a Nature, ma fu rifiutato perché "...conteneva speculazioni che erano troppo distanti dalla realtà" ... Poi lo pubblicammo in italiano ed in tedesco.

I: Lei però prese il Nobel per un lavoro essenzialmente sperimentale.

F: Sì, la scoperta delle trasmutazioni nucleari ad opera dei neutroni lenti.

I: Ci può raccontare come andò?

F: Eravamo agli inizi della fisica subatomica, ma da Rutherford in poi tutti, ed in particolare i coniugi Joliot-Curie si erano messi a bombardare i nuclei con particelle di vario tipo, in genere cariche perché

così è possibile accelerarle per via elettrostatica. Noi, invece usavamo neutroni, che non sono facili da generare.

I: E come facevate?

F: Usavamo radio. Il radio ed alcuni dei suoi figli tra cui il radon emettono particelle alfa, che impattando sul berillio possono produrre neutroni. Quindi mettevamo polvere di radio e di berillio in dei tubi di vetro sigillati, che poi usavamo per irradiare i vari materiali.

I: Non è pericoloso?

F: Penso di sì, infatti sono morto a poco più di cinquant'anni di tumore allo stomaco, ma pensi che ho anche costruito una pila atomica senza schermatura... Ma torniamo alla fisica di via Panisperna. Irraggiammo sistematicamente tutti i materiali della tavola periodica e vedemmo molte trasmutazioni, ovvero materiali che cambiavano in altri, alcuni dei quali radioattivi. Solo che l'efficienza cambiava in maniera erratica, a seconda del tavolo utilizzato...

I: Come, a seconda del tavolo?

F: Se usavamo dei tavoli di legno, il carbonio agiva da moderatore, cosa che non succedeva con i tavoli di marmo. Ma una volta c'era un tavolo di marmo sotto cui erano stati lasciati dei secchi d'acqua dalla donna delle pulizie e nell'acqua c'è l'idrogeno che è un ottimo moderatore di neutroni. Non ci capivamo niente finché non misi un blocco di paraffina davanti alla mia sorgente ed improvvisamente l'efficienza schizzò alle stelle. Avevo scoperto la moderazione neutronica,



La foto del badge di Fermi a Los Alamos.¹⁰⁶

¹⁰⁶ https://it.wikipedia.org/wiki/Enrico_Fermi

un elemento che si mostrerà decisivo per la costruzione delle centrali nucleari e della bomba atomica.

I: Però non scopri la fissione!

F: Ce l'avevamo sotto il naso e la mancammo clamorosamente! Avevamo ovviamente irraggiato l'uranio e notato la produzione di nuovi elementi, che però prendemmo per isotopi di sostanze transuraniche, a cui addirittura demmo dei nomi *fascisteggianti*: "esperio" e "ausonio", per onorare le razze italiane. Fui spinto in ciò anche da Corbino, che dette l'annuncio prima che i risultati fossero confermati, perché lui pensava sempre ad arruffianarsi con il potere per avere più soldi. Invece, come scoprirono poi Lise Meitner e Otto Hahn, quelli che avevamo visto erano i prodotti della fissione. Comunque, il mio Nobel fu determinato non dalla mia genialità quanto dalla mia velocità in laboratorio: le stesse scoperte a cui ero arrivato io presto sarebbero state fatte da qualcun altro, c'ero semplicemente arrivato prima.

I: Ma con il successo arrivarono anche i soldi, o no?

F: Macché! Le nostre sorgenti al berillio erano troppo deboli, volevamo costruire degli acceleratori come quelli che avevano a Berkeley, ma la richiesta venne rifiutata. Questa decisione segnò la fine del sogno di un ciclotrone italiano e la morte della fisica nucleare italiana, proprio alcuni mesi prima dell'assegnazione del premio Nobel per la fisica. Quindi a 37 anni me ne andai dove si studiava veramente la fisica, in America.

I: Dove lavorò alla costruzione della bomba atomica...

F: Il mio contributo maggiore fu la dimostrazione, mentre ero a Chicago, che l'uranio naturale e la grafite possono produrre una reazione a catena. Proprio ciò che i tedeschi non riuscirono mai a fare. Dato che la reazione a catena è difficile da fermare, feci una cosa che penso sia molto furba: costruimmo una pila di mattoni di uranio e grafite e facemmo cadere un pezzo di uranio nel centro: se il pezzo di uranio faceva raggiungere la massa critica si vedeva un aumento del flusso neutronico, che però subito dopo cessava dato che l'uranio necessario cadeva via. All'inizio eravamo molto al di sotto della massa critica

e non succedeva nulla. Aumentammo quindi pian piano la massa di uranio fino ad arrivare a determinare la massa critica.

I: Ma lei era favorevole o no alla guerra atomica? Lei fu favorevole al bombardamento di Hiroshima e Nagasaki, invece che ad una semplice dimostrazione!

F: Certo, pensavo che un attacco atomico su una città giapponese fosse necessario per finire la guerra. D'altronde, anche dopo Hiroshima e Nagasaki alcuni militari giapponesi cercarono di impedire che l'Imperatore si arrendesse. Dopo la guerra, mi schierai all'inizio con i falchi come Teller e Von Neumann, a favore della corsa agli armamenti e della bomba all'idrogeno. Comunque, ero d'accordo con Bethe, che era invece un pacifista, che si dovesse raffinare la bomba atomica e considerarla come un deterrente, non come un'arma: una politica che fu adottata sia dagli Stati Uniti, che dall'Unione Sovietica e portò alla pace, anche se basata sul terrore. Quanto alla bomba all'idrogeno, alla fine presi una netta posizione contro di essa nel Comitato Generale di Consulenza per la Commissione dell'Energia Atomica.

I: E poi?

F: Penso che un altro importante contributo che diedi fu di comprendere immediatamente l'importanza dei calcolatori elettronici. Anche quando ero già malato cercai di stimolare lo studio della fisica computazionale, persino qui in Italia, e grazie a me fu costruita la Calcolatrice Elettronica Pisana.

I: I livornesi non saranno stati d'accordo, immagino... Ma ci racconti del suo famoso esperimento numerico.

F: Insieme a due miei colleghi di Los Alamos, Pasta e Ulam, e grazie al fondamentale contributo della programmatrice Tsingou, scrivemmo la prima simulazione numerica di un problema teorico, usando i calcolatori che erano stati utilizzati per i calcoli sulla bomba atomica.

I: Che problema era?

F: La meccanica statistica è alla base dello studio delle proprietà della materia, ma tutti i calcoli che si riescono a fare con carta e penna

hanno alla base un paradosso: perché si possano fare, i modelli devono essere “separabili” in componenti semplici, ma se fossero veramente separabili questi componenti non potrebbero arrivare ad avere la stessa temperatura e quindi non si dovrebbe poter applicare la meccanica statistica.

I: Come si risolve il paradosso?

F: Si suppone che ci sia un'interazione molto piccola, che poi si trascura nei calcoli. Dato che avevamo a disposizione un calcolatore per la prima volta nella storia, cercammo di verificare se questo era vero. Simulammo una catena di oscillatori, essenzialmente una corda di uno strumento musicale. Se la corda fosse completamente armonica, darebbe il suono del diapason e l'energia resterebbe confinata nelle varie armoniche a seconda di come la corda viene percossa. Ma una corda reale non è completamente armonica ed infatti, indipendentemente da come viene percossa, dà sempre il suo suono caratteristico.

I: E la vostra simulazione?

F: Dette dei risultati sorprendenti ma non pubblicammo il lavoro anche perché era classificato ed io morii poco dopo. Solo dopo molto tempo fu riscoperto. Vedemmo che all'inizio l'energia si distribuisce nelle varie armoniche, come dice la meccanica statistica, salvo ritornare poco dopo in una configurazione simile a quella iniziale. Solo dopo moltissimo tempo, molto di più di quanto potevamo simulare, si ha la vera “equipartizione”. Ci sono voluti moltissimi studi per capire la causa di questo rilassamento lentissimo, ovvero il fatto che il



Mary Tsingou nel 1955.¹⁰⁷

¹⁰⁷ <https://alchetron.com/Mary-Tsingou>

nostro modello è molto “vicino” ad un modello “separabile”, che quindi non rilassa mai all’equilibrio.

I: In conclusione, è soddisfatto della sua vita?

F: Ovviamente avrei voluto poter continuare a studiare fisica più a lungo. La fisica nucleare è così bella... che m’importa dei compromessi che bisogna fare per studiarla?

I: Mi sembra una risposta molto chiara. La salutiamo professor Fermi.

F: Arrivederci.

Galileo Galilei



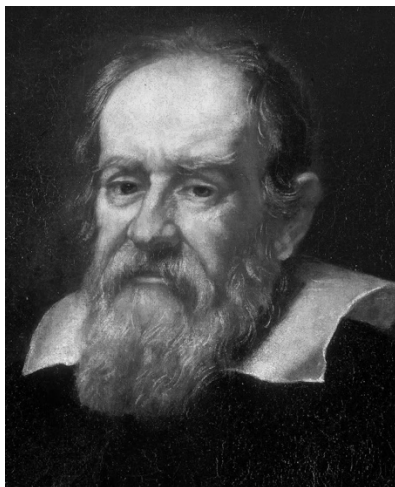
RadioMoka S9E01 13 ottobre 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/zJ36hbA8T9k>

I: Professor Galileo! Che onore intervistare il padre della fisica moderna.

G: Tanti saluti a tutti, anche se non ho ben capito che cos'è un'intervista. Qualcosa tipo il Sant'Uffizio, in cui mi interrogate per sapere se ho contraddetto le Sacre Scritture affermando che il Sole sta fermo ed è la Terra che gli gira intorno?

I: Ma no, nessuno la vuole giudicare, e poi oggi il modello eliocentrico è accettato da tutti, anche se ormai superato da una visione ancora più democratica in cui non c'è nessun centro dell'Universo.



*Ritratto di Galileo Galilei di
Justus Sustermans, 1640.¹⁰⁸*

G: Sì, ne avevo sentito parlare. Mi fa piacere che venga riconosciuta la ragione, ma ce ne hanno messo!

I: In effetti, la Chiesa ha accettato il sistema copernicano solo nel 1822, togliendo le opere dall'indice. La sua riabilitazione completa è del 1992, 359 anni dopo la sua condanna!

G: E che riabilitazione! Mica dicono che hanno sbagliato, secondo loro sarei io che non avrei fornito abbastanza prove!

¹⁰⁸ https://it.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei

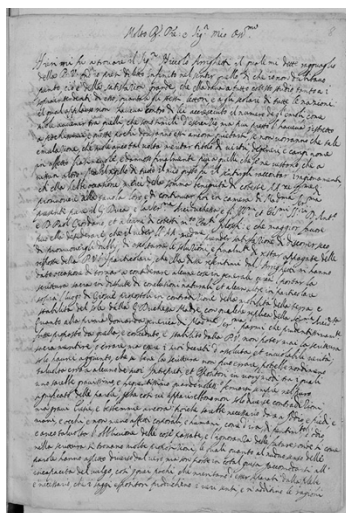
I: E dire che lei si è sempre comportato da cattolico ortodosso ed è sempre stato molto accorto nel formulare le sue critiche...

G: Beh, se devo essere sincero, a me della religione non importava nulla, ma ai miei tempi era bene andare con i piedi di piombo, Giordano Bruno fu estradato da Venezia e poi bruciato in Campo dei Fiori nel 1600, quando avevo 32 anni ed insegnavo a Padova, per aver sostenuto che ci sono infiniti mondi e che la Terra si muove! Quindi io mi facevo rilasciare un certificato ogni volta che andavo a messa lontano dalla mia parrocchia ed ovviamente ci andavo regolarmente.

I: Da poco è stata ritrovata la sua lettera del 1613 a Benedetto Castelli, che poi venne copiata in grande numero e circolò come se fosse quasi un manifesto della libertà della scienza.

G: Già! Io non sono un teologo e non mi interessava per niente il dibattito filosofico. Però non potevo sopportare che si pretendesse di ritenere le Sacre Scritture più importanti dell'evidenza sperimentale, ovviamente su questioni di fisica. Sacre o non sacre, erano state scritte da uomini migliaia di anni prima ed ovviamente non potevano contenere molto più della conoscenza di quel tempo. Però, dopo aver scritto di getto la prima versione, la limai alquanto, cercando di eliminare per quanto possibile le affermazioni tipo *"quanto detto dalle Sacre Scritture è falso"*, sostituendolo con un più diplomatico *"presentano talvolta delle proposizioni che sembrano distanti dal vero quanto al nudo senso delle parole"*. E infatti la sfangai, almeno all'inizio.

I: Lei ha sempre sostenuto il primato dell'esperimento rispetto alla tradizione...



Una copia della Lettera a
Benedetto Castelli, sec. XVII.¹⁰⁹

¹⁰⁹ <https://brunelleschi.imss.fi.it/itinerari/immagine/img34510.html>

G: Certo! Sapete, prima di me, se c'era un qualche problema, prima si andava a cercare nei testi degli antichi e poi, se proprio non si trovava nulla, ci si metteva a discutere su cosa avrebbe detto Aristotele al riguardo. Questo ovviamente per quanto riguarda la scienza per così dire accademica, perché gli artigiani e gli ingegneri avevano da tempo superato le conoscenze dei greci o anche dei romani, provando e riprovando, Leonardo da Vinci è forse l'esempio più noto ma non è certo solo. Ma anch'io ho a volte trasceso...

I: Ci racconti!

G: Nel 1619 Orazio Grassi pubblicò il trattato *"De tribus cometis anni 1618 disputatio astronomica publice habita in Collegio Romano Societatis Iesu"*, in cui discuteva sulle tre comete apparse l'anno prima. In particolare, sosteneva che la terza cometa fosse un corpo celeste privo di luce propria ed orbitante circolarmente in una traiettoria posta tra la Luna ed il Sole.

Io, incredibilmente, pensandoci ora, sostenevo la tesi che le comete fossero addensamenti di vapori terrestri illuminati dal sole e pochi mesi dopo pubblicai, sotto il nome di Mario Guidacci, il *"Discorso delle comete"*, che contraddiceva le tesi del Grassi.

Orazio replicò, con lo pseudonimo di Lotharius Sarsius Sigensanus, col trattato *"Libra astronomica ac philosophica qua Galilaei Galilaei opiniones de cometis a Mario Guiduccio in Florentina Academia expositae"*. E lì fece l'errore di non usare argomenti di logica, appellandosi invece alla saggezza degli antichi! Uno degli argomenti della polemica era se le comete si potessero scaldare per attrito con l'aria. Il Grassi/Sarsi era di



Frontespizio del *Saggiatore*
(Roma, 1623).¹¹⁰

¹¹⁰ [https://it.wikipedia.org/wiki/Il_Saggiatore_\(trattato\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Il_Saggiatore_(trattato))

questo avviso, ma per avvalorare la sua tesi raccontò un aneddoto secondo il cui a Babilonia si cuocevano le uova sode facendole girare vorticosamente con la fionda! A questo punto mi scatenai! Scrisi di getto Il Saggiatore, nel quale con bilancia squisita e giusta si ponderano le cose contenute nella Libbra, che era già nel titolo un gioco di parole irriverenti, dato che la Libbra è la bilancia del pizzicagnolo, il saggiatore quella dell'orefice. Ecco cosa scrissi:

*Se il Sarsi vuole ch'io creda [...] che i Babilonii cocesser l'uova col girarle velocemente nella fionda, io lo crederò; ma dirò bene, la cagione di tal effetto esser lontanissima da quella che gli viene attribuita, e per trovar la vera io discorrerò così: "Se a noi non succede un effetto che ad altri altra volta è riuscito, è necessario che noi nel nostro operare manchiamo di quello che fu causa della riuscita d'esso effetto, e che non mancando a noi altro che una cosa sola, questa sola cosa sia la vera causa: ora, a noi non mancano uova, né fionde, né uomini robusti che le girino, e pur non si cuocono, anzi, se fusser calde, si raffreddano più presto; e perché non ci manca altro che l'esser di Babilonia, adunque l'esser Babiloni è causa dell'indurirsi l'uova, e non l'attrizion dell'aria", ch'è quello ch'io volevo provare. È possibile che il Sarsi nel correr la posta non abbia osservato quanta freschezza gli apporti alla faccia quella continua mutazion d'aria? e se pur l'ha sentito, vorrà egli **credere più le cose di duemila anni fa, succedute in Babilonia e riferite da altri, che le presenti e ch'egli in sé stesso prova?***

Ovvero: se non si può ripetere l'esperimento non si può neppure sostenere l'esistenza del fenomeno!

I: Ma aveva ragione il Sarsi sull'effetto dell'attrito dell'aria! E anche sulle comete!

G: Già! E in effetti non provai nemmeno a fare un esperimento per verificare se l'attrito dell'aria può generare calore... Ovvero contraddissi in pieno quello che sostenevo. Ma il Sarsi mi aveva veramente fatto arrabbiare con quel suo appellarsi ai Babiloni! Sentite cosa scrissi:

Parmi, oltre a ciò, di scorgere nel Sarsi ferma credenza, che nel filosofare sia necessario appoggiarsi all'opinioni di qualche celebre autore, sì che la mente nostra, quando non si maritasse col discorso d'un altro, ne dovesse in tutto rimanere sterile ed infeconda; e forse

stima che la filosofia sia un libro ed una fantasia d'un uomo, come l'Illiade e l'Orlando furioso, libri ne' quali la meno importante cosa è che quello che vi è scritto sia vero. Signor Sarsi, la cosa non istà così. La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara ad intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, ed i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile ad intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto.

Comunque, non è stata l'unica volta che ho sbagliato clamorosamente...

I: Ci racconta anche questo episodio?

G: Questo mi brucia più di quello che vi ho appena raccontato. Come sapete, io per tutta la vita ho cercato di trovare il sistema di poter studiare quello che mi interessava, senza essere distratto dalla ricerca del salario. Sono andato via da Padova, dove pure ero più tranquillo che a Firenze, un po' perché si mangiava veramente male ma soprattutto perché là dovevo insegnare, mentre qui ero matematico del Granduca senza obbligo di insegnamento. Quando ero a Padova riuscii a "vendere" il cannocchiale, che non avevo inventato io, alle autorità della Serenissima in cambio di un buon stipendio e poi cercai di sfruttare il "business" degli orologi.

I: Ma lei non è ricordato per aver costruito orologi...

G: In effetti non avevamo costruito orologi molto sofisticati. Io avevo scoperto l'isocronismo delle piccole oscillazioni del pendolo, ovvero il fatto che, se le oscillazioni sono di piccola ampiezza, il loro periodo rimane costante. Questa è la base dell'orologio a pendolo, ma manca uno degli ingredienti fondamentali, ovvero come "rifornire" di energia il pendolo stesso. Negli anni della mia vecchiaia, c'era un nome che stava venendo fuori legato agli orologi: Huygens.

I: Lo scopritore di Titano, la luna di Saturno, poi noto per il principio che dice come avanzano i fronti d'onda?

G: Proprio lui. A quel tempo era in stretta corrispondenza con l'Accademia del Cimento ed il mio allievo Vincenzo Viviani provò a contestargli la paternità dell'orologio a pendolo.

I: Un problema di copyright?

G: Beh, ci giravano dietro dei bei soldi. Ma non è questo il punto. Lei sa perché scrissi il "Dialogo sui due massimi sistemi"?



Ritratto di Christiaan Huygens (1671).¹¹¹

I: Certo! Per provare che la Terra gira intorno al Sole e non viceversa!

G: Già, ma appunto non avevo le prove inconfutabili! Nei dialoghi io cercai di usare le maree come prova del movimento della Terra, ma, dato che mi mancavano gli elementi poi trovati da Newton, non riuscii a produrre un argomento definitivo.

I: Ma allora aveva ragione Giovanni Paolo II a dire che non aveva prodotto argomenti indiscutibili a favore dell'ipotesi Copernicana!

G: Effettivamente era così. Ma quel che è peggio, è che scrivemmo a Huygens sostenendo che eravamo in grado di costruire orologi molto precisi. Lo sa che cosa avevamo trovato?

I: No.

G: Che i pendoli, se lasciati oscillare per molto tempo con un meccanismo di ricarica, tendevano a ruotare piano piano... Per evitare tale rotazione applicammo un secondo filo!

I: Non capisco che cosa voglia dire questa rotazione!

¹¹¹ https://it.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens

G: Ma non capisce? Avevamo trovato il pendolo di Foucault 130 anni prima di lui ed avevamo la prova della rotazione della Terra sotto il naso! Ma come spesso mi è accaduto, non feci gli esperimenti che mi avrebbero indicato quali effetti sarebbero stati presenti se la Terra effettivamente avesse ruotato! Non sarebbero stati esperimenti molto complicati: bastava costruire una giostra e vedere come si sarebbe comportato un pendolo mentre girava...

I: Io credo che lei si stia torturando troppo con il rimorso. Lei ha dato il via alla scienza moderna, ha reso celebre l'ipotesi Copernicana ed il suo trattato "Su due nuove scienze" ha aperto moltissimi nuovi campi di ricerca.

G: È vero, ma mi angustia molto riconoscere che effettivamente sono stato un ottimo divulgatore, ma forse come scienziato non mi sono comportato in maniera ottimale...

I: Ma lei si dimentica i suoi contributi al metodo scientifico, senza contare le sue osservazioni della Luna, sulle macchie solari ed i satelliti Medicei!

G: Ma che dire del fatto che quando ho osservato Saturno ho preso i suoi anelli per delle lune che gli stavano attaccate?

I: Beh, con il suo cannocchiale ha fatto anche troppo! In fondo anche l'ottica era ancora lontano da essere sistemata ed essere riuscito a fare le osservazioni che ha fatto con il suo "attrezzo" è sicuramente un'opera eccezionale. Sa che ho provato a guardarci dentro al suo cannocchiale, al museo Galileo a Firenze e non sono riuscito a vedere nulla?

G: Quello era uno dei problemi! Ci voleva una bella abilità per vedere qualcosa, il campo di vista era molto ridotto e non mi stupisco che i



*Ritratto di Vincenzo Viviani,
Domenico Tempesto 1690.¹¹²*

¹¹² https://it.wikipedia.org/wiki/Vincenzo_Viviani

sapienti, invitati a dare un'occhiata, non riuscissero a vedere niente di interessante... C'era anche il prosciutto ideologico a fare da schermo, comunque.

I: E adesso cosa fa?

G: In questi giorni sto discutendo con il prof. Coriolis, giù nel limbo. Lui ha predetto un altro effetto della rotazione della terra, ovvero il fatto che un grave lasciato cadere da una torre, come feci io dalla Torre di Pisa, dovrebbe deviare verso Est.

I: E lo fa?

G: Gli effetti sono piccoli e facilmente mascherati dalla turbolenza dell'aria. Nel 1790, a Bologna, l'abate Giovanni Battista Guglielmini fece veramente questo esperimento, gettando delle sfere di piombo da 2 cm dalla torre degli Asinelli (98 m), trovando una deviazione di 17 mm, compatibile con i suoi calcoli. Purtroppo, al primo lancio l'abate centrò in pieno una persona che passeggiava lì sotto, tal Giovan Pietro Marchesi, che morì sul colpo!

I: Poveraccio!

G: Probabilmente si tratta di una leggenda urbana. Comunque, la forza di Coriolis è facilmente visibile sul moto dei proiettili ed è la causa di fenomeni atmosferici tipo tornado e trombe d'aria.

I: Non ha smesso di studiare, quindi! Che ne dice dei progressi attuali della fisica?

G: Direi che il mio motto è sempre attuale: *E pur si muove!*

I: Grazie mille, professore, e buon proseguimento.

G: Grazie anche a voi. Adesso voglio vedere se trovo Newton... Mi hanno detto che ha un caratterino...

Pierre-Louis de Maupertuis



RadioMoka S9E02 20 ottobre 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/C1ZVXTkPqsg>

I: Buongiorno Professor de Maupertuis.

M: Buongiorno. In realtà non sono professore dato che non ho mai insegnato, ma sono stato membro dell'Accademia Reale Francese delle Scienze e sono stato anche presidente dell'Accademia Prussiana delle Scienze.

I: Ma ai suoi tempi, se non sbaglio intorno al 1740, la Prussia e la Francia non erano in guerra?

M: No, lei si sbaglia, nella Guerra dei 7 anni ci fu una inedita alleanza tra Inghilterra, Prussia e Portogallo ed altri stati tedeschi contro Francia, Spagna, Regno Asburgico e Sacro Romano Impero, una specie di guerra mondiale, come disse Churchill, perché coinvolse anche le varie colonie. La guerra poi finì con la vittoria sostanziale dei Prussiani, che si presero la Slesia, e l'Inghilterra, che estromise la Francia dal Canada e dall'India e la Spagna dalla Florida. Io fui preso prigioniero dagli austriaci, ma me la cavai senza danni.



Pierre-Louis Moreau de Maupertuis. ¹¹³

¹¹³ https://it.wikipedia.org/wiki/Pierre-Louis_Moreau_de_Maupertuis

I: Lei è famoso per il suo principio di minima azione, che fomentò un furioso dibattito tra Voltaire, Koenig, Eulero ed anche il re Federico II di Prussia. Ce ne può parlare?

M: Volentieri, anche perché ultimamente, chiacchierando con altri scienziati giù nel limbo, mi sono chiarito parecchio le idee. Tutto comincia con la luce...

I: Ma il principio di minima azione non riguarda la meccanica?

M: Mi lasci parlare. Come lei sa, la luce è sempre stata molto studiata e già nell'antica Grecia si conosceva la legge di riflessione, ovvero che gli angoli di incidenza e di arrivo sono uguali. Invece non si riusciva a spiegare la legge della rifrazione, ovvero il rapporto tra gli angoli di un raggio di luce che passa tra due mezzi con densità diversa. Tutte le spiegazioni proposte, tra cui anche quella di Newton, interpretavano la legge di Snell-Cartesio, ovvero che il rapporto tra i seni degli angoli fosse uguale al rapporto del loro indice di rifrazione, come risultato della diversa velocità della luce nel mezzo.

I: Che è giusto, no?

M: No, nel senso che sia Newton, che Cartesio che anche io eravamo fermamente convinti che la luce andasse più veloce nel mezzo più denso.

I: E perché?

M: Un po' perché il suono va effettivamente più veloce, a parità di modulo di compressibilità, nei mezzi più densi e poi per analogia con una bilia, che corre più veloce su una superficie dura che su una molle.

I: Ma che c'entra con il principio di minima azione?

M: Un po' di pazienza. Fermat, all'inizio del '600, riformula il problema come problema di minimo tempo: la luce sceglierebbe il percorso che rende minimo il tempo di attraversamento. Prendiamo il classico esempio del bagnino, che stando sulla spiaggia vede una donna in difficoltà in acqua, in direzione obliqua rispetto alla linea del bagnasciuga. Dato che lui può correre sulla spiaggia molto più velocemente di quanto può nuotare, il percorso che rende minimo il tempo di salvataggio è uno per cui fa più cammino nel mezzo in cui si va più veloce. Di conseguenza l'angolo di incidenza, ovvero l'angolo tra la sua traiettoria ottimale e la linea del mare, è più grande nel mezzo in cui va più veloce, mentre tende ad essere

piccolo in quello in cui va più lento, per minimizzare il percorso da fare a nuoto.

I: Quindi il risultato opposto al suo.

M: Già! Ovviamente questo non mi andava bene ed infatti ridicolizzai Fermat. Inoltre, non mi tornava che si dovesse minimizzare il tempo e basta. Perché non lo spazio? Perché non un'altra cosa? Quindi formulai il mio principio in cui quello che si minimizzava era l'"azione", definita come prodotto tra velocità e spazio percorso, così che ottenni il risultato cercato, che è l'inverso di quello giusto. E poi riuscii ad ottenere le giuste quantità nel caso di urti elastici o inelastici tra particelle. Però, la cosa più importante era che si potesse dare un fine teleologico a quello che altrimenti, secondo Newton, era solo un moto casuale.



*Sir William Rowan Hamilton.*¹¹⁴

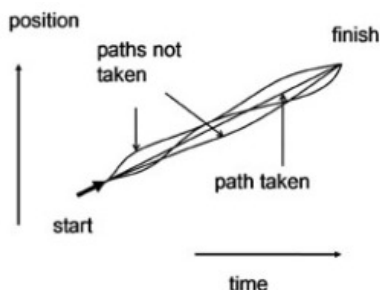
I: Scusi, può illustrare meglio questo concetto?

M: Già con Leibnitz, inizio del '600, si era cercato di dare un senso mistico e religioso alla dinamica di Newton. Badi bene, non religioso nel senso cattolico, ma bensì la ricerca di un fine ultimo, che Leibnitz vedeva come "principio di semplicità": l'essere divino che ha disegnato il mondo doveva aver scelto per le traiettorie della luce e dei corpi il percorso che emergeva dalle leggi di Newton sulla base di qualche criterio estetico, per esempio la semplicità. Perché una palla nel vuoto non segue un percorso contorto ma va dritta a velocità costante? Perché quando rimbalza elasticamente gli angoli di incidenza e di rimbalzo sono uguali? Non può essere un caso!

¹¹⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/William_Rowan_Hamilton

I: Ma non sono date dalle leggi di Newton?

M: Le leggi di Newton sono poco lungimiranti. Dicono solo che quello che accadrà un istante dopo è determinato dalle condizioni attuali, ma non permettono di fare predizioni a lunga distanza o lungo tempo, senza integrare le equazioni del moto.



Il principio di minima azione.

I: Invece il suo principio?

M: Il mio principio prende in considerazione TUTTI i possibili percorsi che partono da un determinato punto ed arrivano in un altro punto, a tra tutti questi sceglie quello seguito dalla particella o dalla luce sulla base di un principio di semplicità: il percorso che minimizza una certa funzione.

I: In effetti, visto così, il principio di minima azione sembra qualcosa di mistico!

M: Esatto! Ora, a dire la verità, io ero stato preceduto da Eulero ed anche Leibnitz aveva formulato un principio simile lo stesso anno del mio, ma Eulero curiosamente non rivendicò mai la sua priorità ed anzi mi sostenne a spada tratta quanto furono ritrovate delle copie delle lettere di Leibnitz che formulava il suo principio di minima azione. Purtroppo, io non ero abbastanza in gamba da derivare la legge completa, cosa che fece poi Lagrange e soprattutto Hamilton, all'inizio dell'800. Se lei legge il volumetto "meccanica" di Landau e Lifshitz, vedrà che comincia dicendo: "esiste una funzione lagrangiana della posizione e della velocità di una particella e la legge del moto è tale da minimizzare l'integrale di tale funzione, che si chiama azione" e procede poi, sulla base delle simmetrie del problema, a derivare la forma di tale funzione e quindi le equazioni di Newton. Quindi, il principio di minima azione può essere preso a fondamento di tutta la meccanica, invece di essere derivato dalle leggi di Newton.

I: Bello! Ma ha detto che, chiacchierando con altri scienziati, è andato oltre. Ha capito se è stato Dio a determinare tale principio?

M: Ho fatto una lunga chiacchierata con Feynman, che mi ha fatto vedere come tale principio possa essere derivato dalla sua formulazione della meccanica quantistica. Secondo Feynman ma anche Dirac, Schwinger e Tomonaga, la probabilità di un evento quantistico è data dal modulo quadrato della sua ampiezza, che è una quantità complessa. L'ampiezza a sua volta altro non è che l'esponenziale complesso della azione (calcolata come diceva Hamilton), sommata su tutti i cammini possibili.

I: E come si arriva al suo principio?

M: Il fatto è che l'azione è proporzionale alla massa della particella ed al tempo necessario a percorrere un cammino, divisi per una costante molto piccola, la costante di Planck. Per le particelle di piccola massa e per cammini poco lunghi, come quelli all'interno di atomo, bisogna effettivamente fare la somma su molti cammini. Ma se il percorso è lungo o la massa grande, l'azione varia di parecchio tra un cammino ed uno vicino. Dato che si deve sommare l'esponenziale complessa di tale quantità, che altro non è che una combinazione di seni e coseni, abbiamo che si deve sommare delle funzioni oscillanti, che si cancellano l'una con l'altra. Solo in prossimità di estremo, per esempio un minimo ma anche un massimo o un flesso, si hanno cammini che cambiano poco e si sommano in fase, quindi in pratica per particelle macroscopiche contano solo questi cammini "classici" e da qui si ottiene il principio di minima azione (o meglio, di azione estrema).

I: Ma quindi la particella esplora tutti i cammini?

M: Eh, sì. Quello che io reputavo fosse onniscienza divina, è dato dal comportamento delle particelle quantistiche, che esplorano in parallelo tutti i possibili percorsi. Questo ovviamente comporta che anche noi non siamo unici, bensì esistiamo in tante repliche, dato che anche noi siamo oggetti quantistici, ma a questo non ci voglio neppure pensare.

I: Grazie mille, sapiente Mapertuis. È stato molto interessante chiacchierare con lei.

M: Mi chiami pure professore, non mi offendo. E tanti saluti a tutti gli ascoltatori, meno che a Voltaire, che mi ha criticato in maniera così beffarda.

Andrey Kolmogorov



RadioMoka S9E03 27 ottobre 2018 (voci di Giovanna Pacini e Franco Bagnoli).

<https://youtu.be/akl3QNH2I1I>

I: Buongiorno professor Kolmogorov.

K: Buongiorno a voi.

I: Lei è stato uno dei più grandi matematici russi, ma ha dato contributi anche alla fisica, oltre che alla biologia ed all'informatica. Inoltre, è sempre stato un fedele sostenitore della rivoluzione russa, ma non ha avuto una vita facile lo stesso.

K: È vero. Sono nato nel 1903 a Tambov, una città a 500 km a sud di Mosca, da una madre single che morì durante il parto. Venni allevato da una zia, che poi mi adottò. Nel 1910 ci spostammo a Mosca, dove frequentai la scuola superiore e poi l'Università Mendeleev. Mi era sempre piaciuto leggere le varie voci dell'enciclopedia e quindi avevo una buona erudizione in molti campi. All'età di 21 anni pubblicai il mio primo lavoro importante, a proposito di una serie di Fourier di una funzione L^1 che diverge quasi dappertutto.

I: Scusi, ma non la seguo. Cos'è una serie di Fourier? Cos'è una funzione L^1 ? E perché è importante se diverge?



Andrej Nikolajewitsch Kolmogorov.¹¹⁵

¹¹⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Andrey_Kolmogorov

K: In matematica, fisica, ingegneria ecc. abbiamo spesso bisogno di approssimare una funzione attraverso la somma di infiniti termini, che si chiama appunto una serie. Una maniera di farlo è usare una serie di potenze, i cui coefficienti sono dati dalle derivate della funzione in un punto. In questa maniera, si può approssimare bene la funzione nell'intorno del punto scelto ed anche più lontano se si aggiungono abbastanza termini e la funzione è sufficientemente "liscia".

Un altro modo di approssimare una funzione, soprattutto se è periodica, è quello di considerare la somma di un numero infinito di funzioni seno e coseno, moltiplicate per opportuni coefficienti. In questa maniera, invece di approssimare la funzione nella vicinanza di un punto, la si approssima in maniera uniforme, rappresentandola sempre meglio, via via che si aggiungono termini alla serie. Questa tecnica è molto usata per esempio in elettronica, dato che in questi casi si ha spesso a che fare con oscillazioni. Diversamente dalla serie di potenze, è possibile anche approssimare funzioni discontinue, per esempio una funzione a dente di sega o un'onda quadra, anche se per queste funzioni, vicino ai punti di discontinuità, la somma parziale della serie può presentare dei "picchi" localizzati, che si discostano dalla funzione stessa.

I: E cosa sono queste "L"?

K: Il simbolo L^p denota la "misurabilità" della funzione, ovvero se l'integrale della funzione elevata alla potenza p converge o meno. Si può provare che tutte le funzioni il cui integrale converge se elevate al quadrato, ovvero le funzioni L^2 , sono rappresentabili in serie di Fourier e questo risultato può essere esteso a p maggiori di 2. Invece non era chiaro cosa succedeva alle funzioni L^1 , ovvero quelle in cui l'integrale del valore assoluto della funzione è finito. Bene, io provai che esiste almeno una funzione il cui integrale (in valore assoluto) converge e per cui invece la serie di Fourier diverge quasi ovunque, ovvero a meno di un numero finito di punti.

I: E come è fatta questa funzione?

K: Non lo so descrivere.

I: Come non lo sa? Non mi dica che lei ha dimostrato che questa funzione esiste, senza dire come si fa a costruirla...

K: Ma no, io ho dato un esempio specifico di costruzione, solo che si tratta di una funzione che è discontinua sempre, per cui i "picchi" delle somme

parziali di cui si diceva poc'anzi divergono. In realtà io sono sempre stato contrario ai teoremi di esistenza non costruttivi, come quelli per cui era famoso Hilbert, e si può dire che sia stato uno dei primi sostenitori dell'intuizionismo, per cui un oggetto matematico esiste solo se può essere "costruito" in qualche maniera.

I: Lei è famoso per i suoi lavori sulla teoria della probabilità.

K: Certo. Io ho dato la definizione assiomatica della teoria della probabilità, mostrando che questa è essenzialmente una teoria della misura su un insieme, e dando le condizioni perché una tale misura sia effettivamente una distribuzione di probabilità. Inoltre, ho studiato molto su come una distribuzione di probabilità evolve nel tempo, formulando le mie famose equazioni che dicono che la probabilità di un evento ad un certo tempo è data dalla somma, su tutti gli eventi intermedi, della probabilità di arrivare a tale evento intermedio per la probabilità di evolvere da tale evento intermedio a quello finale. Praticamente un approccio molto simile a quello che poi porta agli integrali di cammino di Feynman, ma per la probabilità. Queste equazioni sono alla base di molte applicazioni.

I: Lei si è interessato anche alla biologia...

K: Certo, ricordo che quando ero uno scolaro ero ovviamente il migliore in matematica, ma le mie vere passioni erano la biologia e la storia russa. Da adulto mi sono poi dedicato alle equazioni di Lotka-Volterra, alla genetica ed alle leggi di Mendel. Lo sa che ho anche scritto un articolo in italiano, "*Sulla teoria di Volterra della lotta per l'esistenza*", in onore di Volterra, appunto?

I: No, non lo sapevo, complimenti!

K: Ma i lavori per cui sono più conosciuto in fisica sono quelli sulla turbolenza e soprattutto il teorema Kolmogorov-Arnold-Moser, o teorema KAM.

I: Ce ne parli.

K: La turbolenza è il fenomeno per cui in un fluido fuori dall'equilibrio la dissipazione non ce la fa più a contrastare l'inerzia, per cui si formano delle strutture vorticosi che dissipano l'energia in maniera molto più cospicua di quanto lo faccia un flusso laminare. Ora, queste strutture appaiono a tutte le taglie, ma la vera dissipazione avviene sulle strutture

più piccole, dove il moto idrodinamico si converte in moto termico, quindi ci dev'essere un trasferimento di energia tra "moti" macroscopici e "moti" microscopici. I moti macroscopici sono dell'ordine di grandezza del corpo che li genera e sono sempre "orientati" in qualche direzione. Viceversa, i moti microscopici sono isotropici, un po' come il moto termico, indipendentemente da qual è la loro origine. Ipotizzai che la scala di queste strutture microscopiche fosse data dalla combinazione tra viscosità e tasso di dissipazione dell'energia, che si possono combinare tra loro per formare una quantità che ha le dimensioni di una lunghezza. Questa viene chiamata "*scala di Kolmogorov*". Riuscii infine a costruire anche una combinazione tra tasso di dissipazione dell'energia e lunghezza d'onda delle oscillazioni turbolente, che aveva la giusta dimensione per costituire uno spettro di energia e così facendo si trova come l'energia si dovrebbe distribuire nelle varie strutture.

I: E tutto questo torna con gli esperimenti?

K: Sì, anche se ovviamente ci sono delle discrepanze, la mia era solo un'analisi dimensionale. A tutt'oggi il campo della turbolenza è ancora attivamente studiato.

I: Ed il teorema KAM?

K: Questo è più complicato. Si parla di sistemi in cui l'energia si conserva, che appunto di chiamano conservativi, come fanno in prima approssimazione gli astri ed anche tutte le particelle a livello microscopico. Inoltre, si parla di sistemi classici, senza effetti quantistici. Tali sistemi sono normalmente non integrabili, se composti da più di due particelle, già Poincaré qui vi ha parlato del problema dei tre corpi. Ma occasionalmente si possono trovare dei sistemi integrabili ed in questo caso di può rappresentare il sistema come un toro multi-dimensionale.

I: Un toro? Di quelli con le corna e la coda?

K: No, no! Il toro è una figura geometrica, una ciambella.

I: Ma come si fa a ridurre un sistema qualsiasi ad una ciambella? Si strizza?

K: L'idea è che un sistema integrabile si riduce ad un insieme di moti periodici, praticamente simili ad un punto che gira lungo un cerchio. Ma ne abbiamo più di uno, di tali moti, e quindi è come se si avesse un punto che gira, intorno al primo punto che gira, ovvero un moto tipo elica. Dato

che poi il tutto dev'essere periodico, l'elica si deve chiudere su sé stessa. Come vede, è come se si muovesse sulla superficie di una ciambella.

I: Ho capito. E poi?

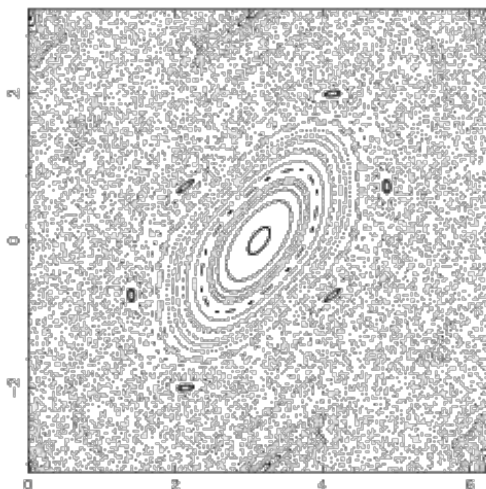
K: Come ho detto, tali sistemi integrabili sono rari, in pratica si possono ottenere tutte le volte che un sistema composto da tante parti si può dividere in tanti sistemi isolati, ognuno composto da una sola parte. Ma normalmente questa è solo la prima approssimazione, ci saranno sempre degli accoppiamenti tra queste parti. Ora, la domanda cruciale è: i tori sopravviveranno a queste perturbazioni aggiuntive, o si sfascieranno subito?

I: Non vedo l'interesse di tale domanda...

K: Invece è molto importante. Se i tori sopravvivono, vuol dire che il moto del sistema "reale" è simile a quello del sistema integrabile, quindi si avranno moti regolari anche se un po' perturbati, mentre se i tori scompaiono il moto è caotico, come aveva già intuito Poincaré. Ci sono delle belle immagini che mostrano questo fenomeno.

I: E come sono fatte?

K: Per prima cosa dobbiamo considerare un sistema tridimensionale, che è il più piccolo numero di dimensioni per avere un sistema non integrabile, come nel problema dei tre corpi. Dato che le traiettorie di tale sistema sono difficilmente visualizzabili, si usa un trucco, detto "sezione di Poincaré": marcare un punto su un piano tutte le volte che la traiettoria attraversa tale piano.

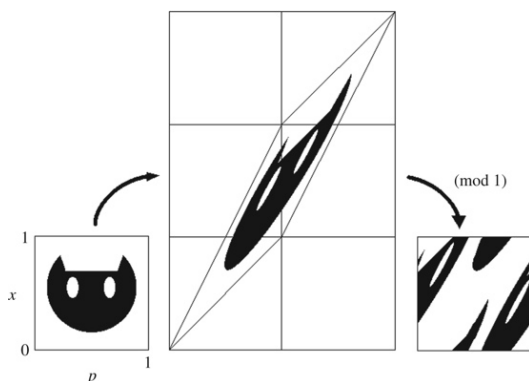


Il ritratto di fase della mappa standard con gli ultimi tori KAM.¹¹⁶

¹¹⁶ <http://mathworld.wolfram.com/StandardMap.html>

I: E cosa viene fuori?

K: Se il moto è periodico, appaiono solo alcuni punti, dato che dopo un po' la traiettoria ritorna su se stessa. Ma normalmente i moti lungo il toro non sono commensurabili, ovvero non esiste un minimo comune multiplo tra i periodi ed in questo caso la sezione del toro è un cerchio, anche se in genere è deformato.



Il gatto di Arnold.¹¹⁷

I: Quindi la sezione di Poincaré di un sistema integrabile è dato da un insieme di cerchi?

K: Esatto! Se ora aggiungiamo una perturbazione, vediamo che ci sono delle zone in cui i cerchi rimangono stabili, mentre in altre comincia ad apparire un “pulviscolo”, che è l'indicatore di un moto caotico.

Il teorema KAM, afferma che la maggior parte dei tori sopravvive a piccole perturbazioni, sotto opportune condizioni sull'ampiezza delle perturbazioni, ma soprattutto da delle condizioni sui rapporti tra le frequenze delle oscillazioni che compongono i tori. In particolare, è importante che tali rapporti non siano razionali, perché in tal caso i tori, che in questo caso specifico si dicono risonanti, vengono distrutti per perturbazioni arbitrariamente piccole.

Gli ultimi tori a sopravvivere alle perturbazioni sono quelli i cui rapporti tra le frequenze sono “più irrazionali”. In particolare, l'ultimo toro a sopravvivere è quello corrispondente al rapporto aureo. La frazione aurea, infatti, è il numero più irrazionale possibile, nel senso che è quello che più difficilmente viene approssimato da razionali.

¹¹⁷ <http://rsbm.royalsocietypublishing.org/content/roybiogmem/early/2017/11/19/rsbm.2017.0016>

I: Affascinante, sembra una corrida!

K: E non le ho detto che il mio amico Arnold aveva anche lui un gatto, come quello di Schrödinger. In questo caso il gatto non viene avvelenato, ma viene “rimescolato” da un’alternanza di estensioni e ripiegamenti, in maniera simile a quanto succede ad una macchia colorata sulla pasta di pane: il fornaio tira e ripiega e la macchia alla fine si distribuisce in tutta la pagnotta. Questo è il meccanismo base del caos nei sistemi conservativi.

I: Mi sembra che abbia spaziato su tantissimi argomenti!

K: Non è finita! Dopo la seconda guerra mondiale mi sono occupato anche di informatica, studiando la complessità di un algoritmo.

I: E cosa ha trovato?

K: Come classificare gli algoritmi ed anche altre cose. Pensi ad esempio ad una sequenza casuale lunga un milione di caratteri, formata tutta da simboli 1. Tale sequenza ha la stessa probabilità di apparire a caso come qualsiasi altra, ma la si può descrivere in maniera molto concisa.

Viceversa, una sequenza tipica di una estrazione casuale è molto difficile da descrivere dettagliatamente, ma se mi interessa solo classificarla, è di nuovo facile da descrivere, basta dire quante volte in media appare un uno o uno zero. Quindi, per me la complessità di un “motivo” è data dalla lunghezza del minimo programma al computer capace di riprodurre tale motivo, quella che oggi chiamate “*complessità algoritmica di Kolmogorov*”.

I: Notevole. Lei è stato veramente uno scienziato completo! Ma nonostante i vari premi che le sono stati attribuiti dallo stato sovietico, lei è stato anche perseguitato e si è parlato di mandarla in un gulag!

K: Sì, tutto a causa della mia omosessualità. E dire che mi sono anche sposato con una donna, Anna Dmitrievna Egorova nel '42. Ma il mio vero amore è sempre stato Pavel Aleksandrov, un altro matematico russo, con cui abitai dal '29 e con cui sono sempre andato d'accordo, per più di cinquant'anni.

Pavel fu ricattato dalle autorità sovietiche che in cambio del silenzio sulla nostra relazione ottennero che denunciassero Luzin e poi Solzhenitsyn di attività controrivoluzionarie.

I: È stata una lunga chiacchierata, sarà stanco.

K: Effettivamente sono un po' provato, ma sono stato contento di venire qui. Adesso vedo se riesco a ritrovare Volterra, una chiacchierata in italiano mi tirerà su.

I: Arrivederci.

K: Arrivederci a voi ed a tutti gli ascoltatori.

Non è la fine

Diversamente da quanto cantavano i Doors nel 1967, la storia non finisce qui, perché le interviste impossibili continuano su RadioMoka. Ecco una lista parziale di scienziati che ci assillano perché vogliono partecipare:

<i>Aristotele</i>	<i>Rosalind Franklin</i>	<i>Gibbs</i>
<i>Leonardo da Vinci</i>	<i>Mayer</i>	<i>Eulero</i>
<i>Cartesio</i>	<i>Bernoulli</i>	<i>Kirchhoff</i>
<i>Keplero</i>	<i>Boyle</i>	<i>Clapeyron</i>
<i>Leibniz</i>	<i>Watt</i>	<i>Bequerel</i>
<i>Huygens</i>	<i>Joule</i>	<i>Lorentz</i>
<i>D'Alambert</i>	<i>Helmutz</i>	<i>Joseph John Thomson</i>
<i>Coriolis</i>	<i>Clausius</i>	<i>Rutherford</i>
<i>Foucault</i>	<i>Poisson</i>	<i>Van der Waals</i>
<i>Hertz</i>	<i>Heisenberg</i>	<i>Rayleigh</i>
<i>Maxwell</i>	<i>De Broglie</i>	<i>Shannon</i>
<i>Lawrence</i>	<i>Born</i>	<i>Lorenz</i>
<i>Nernst</i>	<i>Irene Curie e Frederic Joliot</i>	<i>Michelson</i>
<i>Stefan</i>	<i>Chadwick</i>	<i>I due Bragg</i>
<i>Volta</i>	<i>Anderson</i>	<i>Yukawa</i>
<i>Lenz</i>	<i>Bothe</i>	<i>Gell-Mann</i>
<i>Ising</i>		

E quindi, se non volete aspettare, non vi resta che seguire RadioMoka o partecipare a qualche caffè-scienza.

Approfondimenti

Emilio Segrè, *Personaggi e scoperte della fisica*, Mondadori 2009 (cofanello).

Emilio Segrè, *Personaggi e scoperte della fisica (secondo volume). Da Galileo ai quark*, Mondadori 2018. ISBN 978-8804700562

Emilio Segrè, *Enrico Fermi, fisico. Una biografia scientifica*, Bologna, Zanichelli 1971.

Bettina Hoerlin e Gino Segrè, *Il papa della fisica. Enrico Fermi e la nascita dell'era atomica*, Raffaello Cortina 2017. ISBN 978-8860309488

George Gamow, *I trent'anni che sconvolsero la fisica*, Zanichelli 1996. ISBN 978-8808008244

George Gamow, *Gravità. La forza che governa l'universo*, Dedalo 2009. ISBN 978-8822002488

George Gamow, *Biografia della fisica*, Mondadori 1998. ISBN 978-8804454892

Pietro Greco, *Einstein. Vita ed opere del padre della relatività*, Alpha Test 2008. ISBN 978-8848306959

Pietro Greco, *Lise Meitner*, L'asino D'oro edizioni 2014. ISBN 9788864432700

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

Pietro Greco, *Hiroshima - La fisica conosce il peccato*, Editori Riuniti 1995. ISBN 9788835939191

Marco Ciardi, *Marie Curie, La signora dei mondi invisibili*, Hoepli 2017. ISBN 978-8820380717

Reviel Netz, William Noel, *Il codice perduto di Archimede. La storia di un libro ritrovato e dei suoi segreti matematici*, trad. it. Di C. Capararo, BUR Biblioteca Univ. Rizzoli 2008. ISBN 978-8817022262

Wayne Biddle, *Dark Side of the Moon: Wernher von Braun, the Third Reich, and the Space Race*, W. W. Norton 2009. ISBN 978-0-393-05910-6

Vincenzo Palermo, *Newton, la mela e Dio - La nascita della fisica moderna*, Hoepli 2016. ISBN 978-8820375553

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.

Susan Quinn, *Marie Curie. Una vita*, Bollati Boringhieri 2013. ISBN 978-8833924908

Dieter Hoffmann, Mark Walker (editors), *The German Physical Society in the Third Reich: Physicists between Autonomy and Accommodation*, Cambridge University Press 2011. ISBN 978-1107006843

Wyne Biddle, *Dark Side of the Moon Wernher von Braun, the Third Reich, and the Space Race*, Norton 2009. ISBN 978-0-393-05910-6

Richard Feynman e Ralph Leighton, *Sto scherzando Mr. Feynman!*, Zanichelli 2007. ISBN 978-8808066275

Richard Feynman e Ralph Leighton, *Che t'importa di ciò che dice la gente? Altre avventure di uno scienziato curioso*, Zanichelli 2007. ISBN 978-8808066374

Richard Feynman, *QED, La strana teoria della luce e della materia*, Adelphi 2010. ISBN 978-8845925344

Fabio Toscano, *Il fisico che visse due volte. I giorni straordinari di Lev Landau, genio sovietico*, Sironi 2015. ISBN 978-88-518-0096-3

Giorgio Bianciardi, *Fisica del caos: un'introduzione storica*, Scienze e Ricerche **5**, 15 (2015). <http://www.scienze-ricerche.it/?p=3186>

Thierry Dauxois, *Fermi, Pasta, Ulam, and a mysterious lady*, Physics Today. **61**, 55 (2008). <https://arxiv.org/abs/0801.1590>

Angelo Vulpiani e Roberto Livi (eds), *The Kolmogorov Legacy in Physics*, Springer 2003. <https://www.springer.com/it/book/9783540203070>

Giulio Peruzzi, *Vortici e colori. Alle origini dell'opera di James Clerk Maxwell*, Dedalo 2010. ISBN 978-8822002495

Laura Fermi (Laura Capon), *Atomi in famiglia*, Mondadori 1965.

Franco Bagnoli e Roberto Livi, *Michael Faraday: a virtuous life dedicated to science*, *Substantia* **2**, 121 (2018) <https://doi.org/10.13128/Substantia-45>. Versione italiana: Roberto Livi, *Michael Faraday: una vita virtuosa dedicata alla scienza*, conferenza per Scientificamente 2017 https://youtu.be/luMi_GEDaUQ

Piergiorgio Oddifreddi, *John von Neumann: l'apprendista stregone*. <http://www.cartesio-episteme.net/episteme/epi1/odifr1.html>

Friz Lang, *Frau im Mond*, 1929. <https://youtu.be/91e8f7uYAPo>

Alcuni spezzoni del film fatto vedere da Von Braun a Hitler possono essere visti qui: <https://youtu.be/yICYERFvnUM>

ZDF, *Werner von Braun: der Raketmann* (ricostruzione incontro von Braun-Hitler). <https://youtu.be/7VPn3V9gADo>

NOVA, *Intervista a Von Braun*, 1977. <https://youtu.be/gSlGxlAusSE>

Walt Disney, *Man in Space*, 1955. <https://youtu.be/omWRxonewL4>

Walt Disney, *Man and the Moon*, 1955. <https://youtu.be/1ZImSTxbgII>

Walt Disney, *Mars and Beyond*, 1957. <https://youtu.be/E0sbqqYo97s>

Pietro Brevi, *Von Braun, da Hitler a direttore della NASA*. <http://cronologia.leonardo.it/storia/biografie/vonbrau1.htm>

BBC, *Richard Feynman - Tuva or Bust!*, l'ultima intervista a Richard Feynman e Ralph Leighton in cui parlano degli sforzi per andare a Tuva: <https://youtu.be/scc0ZnZ4AN8>

Se riuscite a trovarle, le monografie apparse come supplementi di "Le Scienze": <http://www.castfvg.it/zzz/approfon/monogr01.htm>

... e ovviamente Wikipedia, soprattutto l'edizione inglese.