

I fisici ci prendono sempre?

Francesco Vissani

INFN, Laboratori Nazionali del Gran Sasso
vissani@lngs.infn.it

1 Introduzione

Il titolo di questo saggio include un punto di domanda per ottemperare ad una buffa norma di retorica spesso adottata dagli scienziati che recita come segue:

ogni volta che il titolo di un saggio pone una domanda, a cui è lecito rispondere semplicemente “sì o no”, la risposta è sempre NO.

E così, una volta enunciata la tesi, a scapito della *suspense* - ma a vantaggio della chiarezza - posso passare all'introduzione vera e propria:

Una diffusa opinione è che gli scienziati e i fisici in particolare abbiano trovato un modo per *prenderci sempre*. Curiosamente, si tende a dar credito ad opinioni del genere proprio in quei casi in cui non si capisce assolutamente di cosa si stia parlando - quando non servirebbero riflessioni elaborate per capire che questo atteggiamento è poco ragionevole. Che la scienza (e la fisica in particolare) abbia inciso profondamente nel mondo moderno, spesso per mezzo di strumenti intellettuali nuovi e a volte complessi, non serve ribadirlo: è sotto gli occhi di tutti. Ma questo non significa che si debba rinunciare a capire di cosa si parla, specie prima di aver provato a farlo; né tanto meno che tutto quello che passa sotto il nome di “scienza” (specie sui media) abbia un valore comparabile alle idee che attribuiamo a Archimede, Galileo, Newton, Faraday, Riemann, Maxwell, Darwin, Einstein, Majorana, Pauli, ecc.

In gran parte di questo saggio ci limitiamo a raccontare alcune storie recenti. In tutte esse, vedremo come certe opinioni di scienziati, che pure hanno provocato consenso o diffuso interesse, si rivelano alla fine tutt'altro che corrette. Trarrò gli esempi da un campo della fisica in cui mi è capitato di lavorare: la fisica teorica delle particelle. Mentre in questo modo ci troveremo a dover esaminare alcuni aspetti specifici, ne incontreremo altrettanti di natura sufficientemente generale da meritare una discussione. Esamineremo alcune ipotesi sul diffuso atteggiamento di minorità intellettuale sopra descritto, evidenziando quanto sia distante da quell'altro atteggiamento mentale alla base della scienza detto *pensiero critico*.

2 Acceleratori di particelle e buchi neri

I timori della fine del mondo non sono una prerogativa dei nostri tempi: se ne trova traccia sin dagli scritti più antichi e ricorrono costantemente nella storia dell'uomo. In tempi recenti, questi timori si incarnano nell'idea che l'umanità, a seguito di un incidente di natura tecnologica, possa esserne la causa. Purtroppo, la minaccia delle armi atomiche ci ricorda che esistono davvero pericoli di questo genere; ma questo non significa certo che dobbiamo essere confusi o preda del terrore, quanto piuttosto vigili e consapevoli. Per dirla con le parole dello scrittore Isaac Asimov,

Qualsiasi progresso tecnologico può essere pericoloso. Il fuoco era pericoloso fin dall'inizio, e altrettanto (e ancora di più) lo è la parola - entrambi sono pericolosi ancor oggi - ma gli esseri umani non sarebbero tali senza di loro.

Naturalmente, tanto la tecnologia quanto la ricerca scientifica devono essere soggette ai massimi standard di sicurezza. Vorrei iniziare però questa chiacchierata ricordando una vicenda in cui si creò allarme, *nonostante non ci fosse alcun pericolo*.

2.1 La storia

La storia è presto raccontata e magari c'è qualcuno che se la ricorda ancora. Nel 2008, poco prima che iniziasse a funzionare il più grande acceleratore di particelle mai costruito, il large hadron collider (LHC) del CERN di Ginevra, un cittadino spagnolo

ed un cittadino americano intentarono causa nei tribunali dei rispettivi paesi per pretendere che l'LHC non fosse acceso. Il timore era che l'LHC potesse produrre buchi neri, che poi avrebbero ingoiato il pianeta.

Cosa c'entra questo con i fisici? A prima vista, potrebbe sembrare che il problema sia solo che i due cittadini avevano idee molto confuse: tutti sanno che i buchi neri sono resti di stelle defunte, che pesano più del sole, e quindi è impossibile disporre di sufficiente energia per produrli sulla terra, come è ovvio dalla celebre relazione di Einstein tra massa a riposo m ed energia E , e cioè, $E = mc^2$. In effetti, entrambi i cittadini persero le cause. Inoltre il cittadino americano, è ricordato oggi nella *Encyclopedia of American Loons* (dove *loon* suona come il nostro "scemotto"). Ma vale la pena di guardare più a fondo.

2.2 Cosa c'entrano gli scienziati?

A questo punto della discussione, è assolutamente doveroso ricordare che una delle più rinomate riviste di fisica, *Physical Review Letters*, aveva ospitato nel 2001 un lavoro dal titolo *Buchi neri all'LHC*. In questo lavoro, due noti fisici, Savas Dimopoulos e Greg Landsberg, suggerivano la possibilità che il grande acceleratore di Ginevra potesse produrre buchi neri molto più piccoli, con massa circa 1000 volte quella dei protoni – sulla cui esistenza, va detto immediatamente, non abbiamo nessunissima informazione certa. Il riassunto del lavoro scritto dagli autori¹ è riportato qua sotto:

Se la scala della gravità quantistica è vicina a 1 TeV, l'LHC produrrà un buco nero circa ogni secondo. Il decadimento del buco nero in fotoni di alta energia e leptoni carichi ne costituirebbe la prova. La caratteristica assenza di energia mancante consente la ricostruzione della massa del buco nero. La correlazione tra la massa del buco nero e la sua temperatura, dedotta dallo spettro energetico dei prodotti di decadimento, può verificare sperimentalmente la legge di evaporazione di Hawking e può anche determinare il numero di nuove grandi dimensioni e la scala della gravità quantistica.

La rilevanza di questo lavoro per la nostra discussione è evidente sin dal titolo. Quello che a un profano potrebbe suonare misterioso sono i riferimenti finali a *nuove*

¹Qui e nel seguito, non riporto i testi originali - peraltro pubblici e facilmente reperibili - ma solo le traduzioni in italiano, tutte a cura del sottoscritto.

grandi dimensioni e alla *scala della gravità quantistica*, che potrebbero far sospettare l'esistenza di basi di discussione.

Ci si riferisce però a precedenti lavori ancora più speculativi, tra i quali va rammentato l'articolo *Il problema della gerarchia e nuove dimensioni con scala del millimetro* del 1998 di Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos e Gia Dvali.² In altre parole, la base della speculazione era un'altra speculazione, per di più di uno degli stessi autori.

2.3 Una valutazione complessiva

Possiamo dire per certo che 1) le successive ricerche sperimentali hanno dimostrato che non esistono nuove dimensioni con scale del millimetro 2) i 'piccoli' buchi neri non sono prodotti in alcun modo all'LHC; quindi, in questo caso, abbiamo un primo esempio di fisici che hanno fatto dei bei buchi nell'acqua - e a dispetto delle loro teorie, non erano neanche neri. Farei un passetto oltre, sottolineando che

- I due lavori sono notissimi: il primo è stato citato in 1000 lavori scientifici di altri colleghi, il secondo in circa 6000 di loro, qualificandosi per questo come il 23° di fisica più citato di tutti i tempi - su circa un milione!³
- Entrambi i lavori hanno avuto una influenza sulla vicenda in oggetto, specie quello sui buchi neri all'LHC.

Mi sia permesso di chiarire le intenzioni di questa discussione. Non penso si debba togliere a nessun collega il diritto di scegliere liberamente l'argomento su cui vuole lavorare, o tanto meno di parlare nel modo in cui crede sia meglio fare; né credo nel modo più assoluto che vada posto in discussione il diritto dei giornali scientifici di pubblicare tutto quello che scelgono di pubblicare.

Ma sarebbe bene rendersi conto che lavori scientifici del genere nascono da congerie di idee estremamente vaghe, sia nei principi di fondo che negli aspetti quantitativi.

²Notiamo incidentalmente che nel titolo di questo lavoro si parla del "problema della gerarchia": ci torneremo nel seguito, e siccome è un argomento ricorrente in questa discussione, proveremo a spiegarlo.

³Stando ai dati di maggio 2018.

Idee di cui si pretendeva di cercare, quasi forzatamente, un qualche riscontro nella realtà. Troverei doveroso riflettere su quali responsabilità hanno gli scienziati verso i colleghi e verso il mondo, magari ricordando l'efficace formulazione che viene data nella massima: "le parole sono pietre", appartenente alla tradizione ebraica. Mi chiederei come si forma il consenso nelle comunità scientifiche e suggerirei di ragionare sui modi per cui si privilegiano certe linee scientifiche a danno di altre.⁴

Ma siamo andati ben oltre la descrizione della storia e delle sue cause; per questo passerei senza ulteriori indugi a raccontare la prossima.

3 I neutrini più veloci della luce

In questo caso, la vicenda è nota all'universo mondo. A me è capitato di sentirne parlare infinite volte, una volta persino in una università della Patagonia (sic!): in una pausa caffè due colleghi stavano convenendo che sarebbe stato opportuno presentare con cautela i loro nuovi risultati, *per non trovarsi a finire come quelli dei neutrini più veloci della luce*.

In ogni modo, prima di esaminare antefatti e conseguenze, conviene richiamare il fatto per somme linee.

3.1 La misura del 2011

Tutto nasce nel 2011 con una tesi di dottorato, preparata da una studentessa dell'università di Bologna. Costei aveva accettato l'incarico di misurare la velocità dei neutrini. Questi ultimi venivano prodotti al CERN e da lì inviati ai laboratori del Gran Sasso, dove alcuni di essi venivano catturati dall'esperimento OPERA, un po' come avvenne con le prime onde radio nell'esperimento di Marconi.

A parte le difficoltà tecniche nel catturare i neutrini, l'idea di fondo era semplice. Come ci insegnano a scuola, la velocità è 'spazio fratto tempo' ovvero, quanto spazio

⁴Detto più in concreto, non significa solo dare spazio nel pubblico dibattito alle opinioni di certe persone e non a quelle di altre, ma anche decidere di assumere certe persone a fare il lavoro di scienziati, mandando nello stesso tempo altri a spasso.

viene percorso in un dato tempo di transito. Se si effettua la misura si può confrontare il risultato con quello che predice la fisica nota, e cioè: i neutrini viaggiano in ottima approssimazione alla velocità della luce.⁵

Bene, il risultato sconvolgente era che i neutrini prodotti al CERN arrivavano in anticipo. I due *advisors*, cioè i due professori che si erano incaricati di consigliare la studentessa nella preparazione della tesi, immediatamente la affiancarono e si misero sotto a ricontrollare la misura, ma non trovarono ragioni per ritenere che le stime fossero troppo inaccurate: detto in soldoni, si convinsero anche loro che i neutrini viaggiavano un po' più veloci della luce.

A questo punto, il risultato fu comunicato all'intero gruppo di lavoro dell'esperimento OPERA, consistente in poco più di un centinaio di persone, e al momento nessuno fu in grado di mettere in luce problemi significativi. La collaborazione decise allora di descrivere questa misura in un documento preliminare, chiamato *preprint* e rilasciato nel settembre 2011 con il titolo *Misura della velocità del neutrino con il rivelatore OPERA nel fascio dal CERN al Gran Sasso*. Nella prima versione di questo preprint leggiamo infatti le seguenti parole,

Abbiamo misurato un arrivo prematuro dei neutrini nell'esperimento dal CERN al Gran Sasso di 60.7 ± 6.9 (errore statistico) ± 7.4 (errore sistematico) nanosecondi, rispetto a quello calcolato assumendo la velocità della luce. Tale anomalia corrisponde ad una differenza tra la velocità dei neutrini v e quella della luce c di $(v-c)/c = (2.48 \pm 0.28$ (errore statistico) ± 0.30 (errore sistematico)) $\times 10^{-5}$

dove la cosa più importante è la stima quantitativa degli errori della misura, che essendo piccoli, indicano una deviazione molto significativa dalle aspettative.

Un 'preprint' rende di pubblico dominio dei risultati prima che questi siano messi agli atti, e cioè prima che essi vengano vagliati, accolti ed infine stampati da una rivista scientifica terza, ad uso di tutta la comunità scientifica. Rilasciare un preprint è una cosa piuttosto normale da molti anni a questa parte, specialmente da quando

⁵I neutrini viaggiano in un tratto di lunghezza noto di circa 730 km, chiamiamolo S ; si conosce il tempo in cui vengono prodotti (a pacchetti) e si misura quello in cui essi arrivano, chiamiamo T la differenza tra questi due tempi; infine si prende il rapporto S/T ed ecco la velocità. (Se i neutrini viaggiano esattamente alla velocità della luce $c \approx 300$ mila km/sec, abbiamo $T = S/c = 2.4$ msec.) Se gli errori di misura su S e su T sono abbastanza piccoli, si può mettere alla prova la predizione che 'i neutrini viaggiano alla velocità della luce'.

è apparsa la rete di comunicazione globale *internet*. Questa procedura permette alla comunità scientifica di esprimere commenti o anche critiche sui nuovi risultati, che mano mano appaiono; ma, allo stesso tempo, essa accorcia i tempi per la riflessione, può condurre a polarizzazioni nella discussione, o qualche volta causa effetti mediatici. Nella vicenda in esame avvenne proprio questo: il preprint suscitò un enorme clamore - che fu cercato ed assecondato da alcuni colleghi, da responsabili di centri di ricerca, personaggi pubblici, giornalisti, ecc. Per avere un'idea più precisa, basterà ricordare che, pochi mesi dopo, la celebre rivista inglese di scienza e società, *Nature*, incluse uno dei due professori in cima alla lista delle 10 persone più influenti del pianeta per l'anno 2011 appena trascorso.⁶

Fatto sta, la misura dei tempi di arrivo non era giusta. Un cavo tra i tantissimi presenti nell'esperimento era mal collegato e aveva indotto in errore i membri di OPERA. Curiosamente fu di nuovo un collega dell'università di Bologna (che preferì restare nell'ombra) ad accorgersene. Vennero fatte delle verifiche incrociate che confermarono la presenza dell'errore. I risultati e i ragionamenti vennero riesaminati, il preprint venne revisionato, ed in effetti la versione definitiva di questo lavoro scientifico - quella apparsa in stampa ed andata agli atti - descrive una misura della velocità dei neutrini che va d'accordo con la velocità della luce.

Se si volesse restare al livello formale, potremmo paragonare questa storia ad un processo iniziato con una accusa ingiusta ma fortunatamente finito secondo giustizia; se invece diamo rilievo alla prima versione del preprint oppure alle 'intenzioni' dei suoi autori, la possiamo a buon diritto parlare di fisici che non ci hanno proprio preso. Il capo dell'esperimento OPERA accettò di accollarsi la responsabilità dell'errore e diede le dimissioni dal suo ruolo. Peraltro, è molto interessante notare che alcuni membri della collaborazione OPERA - ne ho contati una cinquantina - non accettarono di firmare il preprint, e una buona parte di loro addirittura non firmò neanche la versione finale, quella corretta e pubblicata su rivista scientifica. Dietro queste scelte ci sono state delle valutazioni che non ci è dato di conoscere⁷; in ogni modo, è facile immaginare il conflitto in ogni singolo scienziato o quelli con i colleghi vicini e le difficili situazioni tra membri dello stesso esperimento. La vicenda meriterebbe forse un film e ci sarebbero tanti ruoli interessanti.

⁶Si veda <https://www.nature.com/news/365-days-nature-s-10-1.9678>.

⁷Credo ci fosse chi riteneva di non avere contribuito a quel risultato, chi non era certo della accuratezza del lavoro fatto, chi dubitava dell'interpretazione data, chi non voleva saperne niente, ecc.

Io però vorrei passare oltre, ad esaminare il ruolo giocato dal resto della comunità scientifica, ed in particolare, quello giocato dai ‘fisici teorici’ - dei quali faccio parte.

3.2 Il ruolo dei fisici teorici

Nel secolo scorso si affermò, specie nei rami della fisica coinvolti in grandi imprese, la consuetudine di suddividere i fisici in due ampie classi: quelli più attivamente impegnati negli esperimenti—detti ‘sperimentali’—e quelli invece che si adoperano per capire, prevedere o analizzare le osservazioni e gli esperimenti e organizzarle in (nuovi) sistemi di pensiero—detti ‘teorici’.⁸ Non c’è alcun dubbio che la storia appena descritta coinvolse in primo luogo dei fisici sperimentali, mentre quella dei buchi neri al CERN, per contrasto, coinvolse principalmente dei fisici teorici. Ciononostante, ritengo che l’esame della vicenda dei neutrini ‘superluminali’ risulterebbe parziale se non si esaminasse almeno a grandi linee il ruolo svolto dai fisici teorici, sia in fase di impostazione della discussione che nel successivo e acceso dibattito.

Anzi, personalmente ritengo che sia importante parlare di cose del genere, molto più di quanto si potrebbe superficialmente credere. Difatti, le idee e gli esperimenti vivono in simbiosi, le discussioni e le valutazioni che seguono nuovi fatti sperimentali sono assolutamente essenziali per proseguire, e sono proprio le teorie che motivano ad intraprendere nuove imprese sperimentali. Per esempio, se anche ci limitiamo ad esaminare qualcuno degli esperimenti ospitati presso il laboratorio del Gran Sasso, constatiamo che Borexino nasce per osservare il centro del sole (dove secondo le teorie di Bethe, Fowler, Bahcall e altri teorici sono prodotti neutrini) LVD per riuscire a seguire le ultimi fasi della vita delle stelle di grande massa (come argomentato dai modelli di Colgate, White e Arnett), e lo stesso esperimento OPERA aveva come scopo la prova del fenomeno delle trasformazioni dei neutrini (previsto dalle teorie di Pontecorvo). In effetti, prima di intraprendere la misura della velocità dei neutrini, che pure non era l’obiettivo principale dell’esperimento, ci fu *anche* una fase di valutazione teorica.

⁸Nei secoli precedenti, accanto a quella del fisico sperimentale esisteva solo la figura del ‘fisico matematico’. Essa esaltava il legame tra fisica e matematica, cosa che aveva effetti vivificanti su entrambe le discipline. La nuova qualifica risponde a presunte esigenze di specializzazione ma indebolisce questi effetti benefici e come regola riduce gli ambiti di azione. Per una interessantissima disamina di questi aspetti, rimando al libro di Lucio Russo citato alla fine di queste note.

Sulle ‘radici teoriche’ alla base della vicenda di cui stiamo parlando ce ne sarebbero davvero tante da raccontare; a noi basterà ricordare un lavoro di Sidney Coleman e Sheldon Lee Glashow, *Verifiche ad alta energia dell’invarianza di Lorentz*, pubblicato nel 1999. Esso suggeriva la possibilità che ogni particella abbia una velocità limite un po’ diversa. Quindi, stando a queste speculazioni, la velocità della luce diventerebbe una proprietà caratteristica solo dei quanti di luce – i fotoni.

(Va sottolineato che questo tipo di idee si discosta radicalmente dallo schema di pensiero alla base della teoria della relatività; per Einstein, la costante c non andrebbe pensata strettamente come una proprietà *della luce*, ma piuttosto come una proprietà *dello spazio-tempo* – in altre parole, una cosa molto più fondamentale.)

Una ragione per sottoporre all’attenzione di chi legge queste note proprio il lavoro appena citato è il fatto che esso era ed è ancora notissimo nella comunità scientifica. Esso ha raccolto più di 1000 citazioni da parte di colleghi (per esempio, sono più del doppio di quelle raccolte dal lavoro di OPERA sopra discusso) ed è stato scritto da due tra i più rispettati fisici teorici dei tempi moderni. Esso rimarca in esplicito la possibilità che ci siano effetti sui neutrini e anche sui raggi cosmici⁹.

Nel lasso di tempo dal 1999 al 2011, la speculazione non venne considerata meritevole di enormi attenzioni, ma fu comunque studiata da un numero importante di colleghi e venne elaborata in varie successive investigazioni; per esempio, è eloquente il titolo del lavoro scritto nel 2006 *Scorciatoie nelle dimensioni extra e fisica del neutrino* di Päs, Pakvasa e Weiler. Ci fu anche una misura della velocità dei neutrini da parte di un esperimento americano, MINOS, che non destò soverchio interesse, in quanto non trovò nessuna anomalia.

Invece, fu proprio il preprint di OPERA ad aprire il vaso di Pandora, o più precisamente, a tirare fuori di tutto e di più dalla comunità dei fisici teorici. Tra di essi ci fu chi si affrettò a spiegare che i risultati di OPERA potevano essere spiegati all’interno di qualche speculativo schema di ragionamento, contribuendo ad arricchire di teorici il gruppo di fisici che l’hanno sparata grossa. Però, ad onor del vero, la maggior parte dei commenti evidenziarono dubbi e problemi di interpretazione, più o meno gravi / più o meno diretti, che contribuirono a rendere la comunità diffidente

⁹È curioso notare che ipotetici effetti sui raggi cosmici erano stati precedentemente suggeriti in un lavoro di Gonzalez-Mestres, che non venne citato dai due celebri autori. Va ricordato che i dati all’epoca disponibili sembravano supportare simili speculazioni ma non era che un abbaglio. Qui di seguito, preferisco raccontare la storia dei neutrini, che si collega alla vicenda di OPERA in modi davvero inaspettati, invece che ripetermi: ho raccontato quella dei raggi cosmici altrove.

verso l'idea che i neutrini viaggiassero davvero ad una velocità superiore a quella della luce.

Una posizione buffissima è quella di Sheldon Glashow, che scrisse assieme al collega Andrew Cohen il lavoro *Vincoli dalla creazione di coppie alla propagazione superluminale dei neutrini*; in altre parole, la stessa persona che aveva contribuito a orientare l'interesse della comunità scientifica verso la possibilità che esistessero particelle più veloci della luce fu anche tra coloro che fecero notare come, nel caso di OPERA, l'interpretazione non stava funzionando bene. Niente da ridire sulla tesi specifica, ma non mi sento di unirmi a quelli che, nel 2011, elessero frettolosamente Sheldon Glashow a salvatore della patria - o meglio, della relatività di Einstein. Infatti, tenendo a mente il ruolo complessivo nella discussione giocato dall'autorevole e notissimo collega¹⁰ ritengo che le speculazioni avanzate nel 1999 l'abbiano reso protagonista di una tipica *eterogenesi dei fini*, o in altre parole, l'abbiano visto partire da incendiario per finire a comportarsi da pompiere.

Concludo con due ulteriori annotazioni curiose.

- La prima persona che intuì l'esistenza dei neutrini, Wolfgang Pauli, scrisse che essi *non viaggiano alla velocità della luce*, ma solo per riferirsi a quello che sostiene la teoria della relatività, che predice che le deviazioni sono quantificate dal rapporto tra la massa dei neutrini e la loro energia cinetica, elevato alla seconda potenza, che nel caso di OPERA è un numero piccolissimo.¹¹
- Ricordo che i neutrini osservati nel febbraio del 1987, provenienti da una supernova esplosa in quella galassia nota come Nube di Magellano, erano arrivati viaggiando in ottima approssimazione alla velocità della luce; se tuttavia OPERA avesse avuto ragione, ci saremmo dovuto aspettare che arrivassero con un anticipo di ben quattro anni.

Quale fu la posizione dei teorici verso questo ultimo e interessante fatto, che accese parecchi campanelli di allarme? Alcuni fecero notare il problema; altri contrapposero

¹⁰Si ricordi che è vincitore di un meritatissimo premio Nobel e che (a detta di molti) ha ispirato il nome *Sheldon Cooper* del principale protagonista di una ben nota serie televisiva americana, "The Big Bang Theory".

¹¹Oggi sappiamo che tali effetti sono assai difficili da vedere - e in effetti non sono stati a tutt'oggi visti. In effetti, lo stesso fenomeno di trasformazione dei neutrini previsto da Pontecorvo e ricordato poco sopra è solo una evidenza indiretta delle masse dei neutrini ed è stato osservato sperimentalmente con relativa sicurezza solo 20 anni fa.

al fatto l'ipotesi (altamente speculativa) che magari il ritardo era completamente diverso, siccome i neutrini di OPERA avevano energie mille volte più grandi di quelli della supernova; e ci fu addirittura chi, come Stanley J. Brodsky e Susan Gardner, pretese di sostenere che la supernova *aveva aspettato esattamente quattro anni* prima di emettere i neutrini, e questo ci aveva tratto in inganno. Le parole precise erano

[...] le osservazioni della SN 1987A mostrano che potrebbe essere un evento per molti versi atipico. I neutrini potrebbero non provenire dall'iniziale collasso gravitazionale; essi possono essere emessi in uno stadio successivo dal bordo del disco di accrescimento attorno al buco nero in formazione.

Da quanto ne so io questo lavoro rimase solo un preprint e (per fortuna!) non fu mai pubblicato. Ma credo che Brodsky, stimatissimo per i suoi lavori riguardanti la fisica dei quarks, grazie a questa vicenda si sia guadagnato a buon diritto una speciale menzione tra quelli che l'hanno fatta fuori dal vaso.

4 La caccia alle super particelle

Nel passato, è capitato più di una volta che una teoria formulata in base ad un principio o per risolvere un dubbio ci permettesse di prevedere l'esistenza di certe particelle. Un'occasione del genere, nota a molti, riguarda la scoperta della particella di Higgs. Non per niente, il premio Nobel del 2013 ha riconosciuto l'importanza epocale della sua osservazione, ottenuta al CERN, che ha coronato la gloriosa costruzione intellettuale nota come *modello standard delle particelle e delle interazioni*.¹²

¹²Per capirci, stiamo parlando di quel modello che individua come costituenti ultimi della materia i quarks e i leptoni (tra cui gli elettroni ed i neutrini) e comprende 3 forze fondamentali: quella elettromagnetica (ben nota) quella forte (che tiene legati i nuclei) e quella debole (che permette ad es. alle stelle di funzionare). Era noto da almeno mezzo secolo che la particella di Higgs, proposta nel mio anno di nascita (1964) ne fosse l'architrave: il modello standard, che si è dimostrato tanto valido alla prova dei fatti, si sarebbe rivelato essere solo un fragile castello di carte senza di essa. Posso aggiungere a testimonianza personale che queste cose sono insegnate all'università, dove le ho imparate 30 anni fa e più recentemente le ho anche insegnate.

4.1 L'ipotesi della supersimmetria

D'altro canto, non tutte le teorie (o meglio i modelli) che sono state proposte e che hanno attratto vasti consensi hanno avuto successo. Un esempio eclatante è quello della cosiddetta 'supersimmetria alla scala del modello standard' spesso detta per brevità *supersimmetria*.

Ci sono innumerevoli lavori scientifici e addirittura interi libri che includono nel titolo la parola supersimmetria; pertanto, sembra ragionevole chiedersi, quali sono le prove di cui disponiamo a favore della sua esistenza? La lista è presto fatta, siccome non ce ne è nessuna. Chiedo venia al lettore per questa concessione alla lepidizza, ma forse a questo punto è giusto spiegare che l'argomento della mia tesi di laurea (discussa nel 1990) riguardava proprio la supersimmetria; e in quegli anni e poi dopo ancora ci ho pensato tanto sopra, assieme a tanti altri colleghi ed amici. Da allora si son sentiti tanti proclami a riguardo, enormi sforzi sono stati fatti dai colleghi sperimentali per cercare le prove, ma non c'è stato ancora nessun progresso significativo nella discussione.

Mettendo da parte per un attimo le valutazioni e i sentimenti, vorrei provare a descrivere queste idee e ad esaminarne le motivazioni. Forse il modo più diretto per parlarne è quello di notare che tutte le particelle fondamentali conosciute cadono in due grandi classi: le **particelle di materia**, che hanno spin¹³ semi-intero e sono dette *fermioni*; le **particelle che descrivono le forze**, che hanno spin intero e sono dette *bosoni*. Considerando la supersimmetria da un punto di vista formale, risulta possibile inglobare fermioni e bosoni all'interno di un unico concetto matematico; essi diventano due facce della stessa medaglia, o in altre parole, l'esistenza degli uni resta legata inestricabilmente a quella degli altri. Sembra un ottimo punto di partenza per capire la materia a partire dalle forze e viceversa.

Purtroppo però, la richiesta di coerenza con le idee alla base del modello standard impedisce di unificare davvero materia e forze, e difatti ci si ritrova a ragionare di un modello in cui il numero delle particelle note viene almeno raddoppiato: si parla di 'particelle supersimmetriche' o qualche volta anche di 'supermondo'; noi parleremo

¹³Ricordo che lo spin è il momento angolare intrinseco della particella, associato al numero di possibili stati della particella stessa: per esempio un elettrone (che è un fermione) ha due possibili stati, spin su oppure spin giù. A rigore, le considerazioni sono un po' diverse per le particelle che non hanno massa, ma non avremo bisogno di arrivare a tanto rigore concettuale per gli scopi di questo discorso.

per semplicità di super particelle. Peccato che di super particelle, al momento, non ne vediamo ancora nessuna; ma dobbiamo ancora finire di descrivere la proposta dei fisici teorici.

Si concluda ben presto che, per evitare di cadere in contraddizione con le osservazioni disponibili, si deve supporre che tutte le super particelle abbiano una massa diversa e ben più grande di quella delle particelle note.

Si noti che questa posizione non si propone tanto di descrivere delle osservazioni, quanto piuttosto di mettersi al riparo da esse. Il problema più grave di questo tipo di posizioni teoriche è che non offrono appigli validi per predire con sufficiente certezza quale dovrebbe essere la massa delle super particelle. In condizioni tanto avverse per l'indagine, è difficile procedere nella ricerca sperimentale, e ci si dovrebbe secondo me chiedere quale prezzo bisogna pagare per portare avanti le speculazioni.

4.2 L'argomento di 'naturalzza'

Un tentativo di stabilire un limite superiore alla massa delle super particelle nasce dall'invocare il "problema di naturalzza" o anche il "problema di gerarchia" che avevamo incontrato precedentemente, e del quale avevo promesso di parlare. Prima di farlo, mi si lasci premettere che ho fatto tanti sforzi per capire fino in fondo cosa si intende con gli enunciati di questi problemi, ma non mi sono mai sentito davvero convinto del loro effettivo significato; quindi, che si prendano le mie successive parole con beneficio di inventario.¹⁴

Procederei evidenziando i seguenti tre aspetti:

- a) In ogni teoria di fisica delle particelle esistono dei parametri e, tra questi, le masse delle particelle stesse sono parametri particolarmente importanti. Il modello standard ha una sola scala di massa esplicita, per esempio la massa della particella di Higgs, e tutte le altre (come la massa dell'elettrone) sono fissate da essa. Però ci sono alcune ragioni per credere che esistano nuove particelle oltre a quelle incluse nel modello standard, le cui masse non hanno

¹⁴Esistono delle voci a proposito anche su Wikipedia anche se non le trovo più convincenti del resto di quello che ho letto in passato e su cui ho pensato.

niente a che fare con quella della particella di Higgs e che plausibilmente sono molto più pesanti.

- b) Ora, la struttura formale di *quasi tutte* le teorie delle particelle note è tale che - come regola - i parametri di massa, che dobbiamo introdurre per formularle, si trovano ad essere in stretta comunicazione tra di loro, cosa che in pratica significa che è faticoso costruire delle teorie con scale di massa molto diverse. Detto in altre parole, le teorie convenzionali “tendono” ad avere una sola scala di massa: quella più grande.
- c) A questo punto del ragionamento ci si domanda: come fa la particella di Higgs a non diventare super-pesante? Oppure, parlando in gergo, come si evita il problema della gerarchia? Esiste mica un contesto in cui la teoria predice “naturalmente” - qualsiasi cosa significhi questa parola - una particella di Higgs come quella misurata, anche se contiene scale di massa molto più grandi?

Ripeto che non sono certo che queste domande siano ben poste e non sono solo in questo. Per esempio Martinus Veltman - vincitore di Nobel e critico verso questa impostazione del dibattito - ha più volte sottolineato che a) le masse che si usano nella formulazione teorica non sono le stesse che vengono poi misurate b) la coerenza formale del modello standard fornisce indicazioni utili (*e a posteriori* anche corrette) sul valore della massa della particella di Higgs. In altre parole, non ha senso cercare il pelo nell'uovo specie a fronte del fatto che il modello funziona bene.

Però non ho problemi ad ammettere che, ammesso che la teoria venga estesa basandosi sui principi della supersimmetria, la precedente lista di domande riceverebbe una risposta rassicurante, siccome - in quel caso - scale di massa diverse risultano essere segregate una dall'altra.¹⁵

(Ma, se mi è permesso aggiungere un paio di incisi rivolti principalmente ai colleghi, mi sembra che tali domande siano state poste dopo che la risposta fosse nota e non prima; in altre parole, le possiamo qualificare in buona misura come *domande interessate*. Inoltre, vorrei ricordare che esiste un altro problema di gerarchia altrettanto grave, che riguarda la cosiddetta costante cosmologica, e che queste teorie supersimmetriche sono impotenti ad affrontare.)

¹⁵Questo vale per ragioni tecniche che richiederebbero altra discussione per essere spiegate; ma lo scopo di questa esposizione non è quello di introdurre formalmente la supersimmetria ma semplicemente di descrivere come si confronta con i fatti—cioè, con gli esperimenti e con le osservazioni.

Il punto di vista di massima di chi accetta questi argomenti è il seguente: se ammettiamo che le masse delle super particelle sono vicine alla massa della particella di Higgs, avremmo uno schema in cui non ci sono problemi di naturalezza o di gerarchia; a questo punto potremmo dirci soddisfatti, perché si può ragionare su scale di nuova fisica, grandi quanto vogliamo, e senza patemi d'animo.

4.3 Dove siamo oggi

Come spiegato sopra, ci sono alcune ragioni speculative per considerare con qualche interesse l'ipotesi che esistano le cosiddette super particelle, ma non c'è alcuna evidenza dall'esperienza che esse esistano davvero.

Non saprei per certo cosa si possa concludere in un caso del genere, e allora preferisco lasciare la parola al fisico teorico Peter Nilles, che nel 1984 scrisse sulla supersimmetria un celeberrimo lavoro - in effetti ha raccolto le sue brave 5000 citazioni. In questo lavoro di rassegna, intitolato *Supersimmetria, supergravità e fisica delle particelle*, leggiamo le parole

Gli esperimenti entro i prossimi cinque-dieci anni ci permetteranno di decidere se la supersimmetria come soluzione del problema di naturalezza alla scala di interazione debole è un mito o una realtà.

Siccome di anni da allora ne sono passati 34 e non si è visto niente, possiamo dire che queste parole sanciscono il fatto che parecchi fisici erano fuori strada.

E una volta riconosciuto al fisico teorico Nilles di avere ragionato bene, senza alcun rischio di avvitarci nell'ennesima versione del paradosso del mentitore, sarebbe utile arrivare a chiedersi: Cosa abbiamo imparato? Una volta che abbiamo preso atto del fallimento, cosa facciamo?

4.4 Un episodio a margine della storia principale

Allo scopo di alleggerire un po' la tensione creata dalla precedenti domande, propongo un'ultima storia curiosa.

Nel 2017 è circolato in Italia un film “*Il senso della bellezza - Arte e scienza al CERN*” il cui titolo indica con una certa chiarezza intenzioni e contenuto. Mentre questo film veniva girato, erano in molti a nutrire la speranza di vedere qualche super particella e c’era anche qualcosa di eccitante nell’aria. Infatti, i colleghi impegnati negli esperimenti si erano imbattuti in una possibile anomalia che riguardava i loro dati. A seguito di questa anomalia, molti fisici teorici avevano sperato che questa fosse una indicazione di una nuova ed inattesa particella, che pesasse 800 volte di più di un protone – magari proprio una super particella. Ne avevano ampiamente parlato e scritto, ci sono parecchie tracce di queste discussioni nel film. Ma a dispetto dei loro desideri o speranze, nel finale si dice chiaro e tondo che l’anomalia è scomparsa nei dati definitivi, e questo implica che la particella ipotizzata non esiste.¹⁶ A questo punto, la voce narrante del film commenta che

forse le teorie proposte non erano abbastanza belle.

Può darsi: però personalmente ritengo che non ci sarebbe stato niente di male se si fosse parlato un po’ più diffusamente di teorie importanti per la scienza del CERN, come quelle di Einstein e di Higgs - che sono menzionati solo *en passant* nel film. Tra l’altro si sarebbe potuto offrire agli spettatori un’occasione di apprezzare quanto sono belle quelle teorie oltre che valide.

5 Sulle relazioni tra scienziati e società

Le tre storie sopra raccontate sono molto diverse; ma tutte mettono in discussione la relazione tra scienziati–o più precisamente, tra certi scienziati–e il mondo di cui fanno parte. Mondo che include cittadini (più o meno attenti alla scienza) televisioni e giornali (che fanno circolare le informazioni). Allo stesso tempo, tutte e tre le storie raccontate fanno riferimento a piccoli gruppi sociali, che potremmo chiamare i mondi degli scienziati, quelli nei quali si forma il consenso scientifico. Possiamo riferirci a questi due ambiti sociali, nei quali gli scienziati si devono muovere e si muovono, come l’ambito esterno (la società, i media, ecc) e quello interno (i colleghi e i gruppi dove gli scienziati lavorano, si confrontano, fanno carriera). Abbiamo visto che in entrambi gli ambiti, si possono creare situazioni poco onorevoli. Non c’è

¹⁶Mi si perdoni lo spoiler, ma in fondo stiamo parlando di un documentario.

modo di evitare in modo assoluto i problemi, ma forse è bene provare a evidenziare alcune circostanze che hanno contribuito a provarli o assecondarli (ribadendo che in questo saggio metto in enfasi gli aspetti che conosco meglio, quelli attinenti alla fisica teorica):

- La gran parte delle storie sopra raccontate nasce da un'eccessiva indulgenza verso idee speculative, che non sono motivate da osservazioni, ma forse dalla necessità di pubblicare o dal desiderio di suggerire alla comunità qualcosa di nuovo e sorprendente. Danno troppo spesso l'impressione di essere incoraggiate dalle eccessive aspettative della società verso i fisici (che dovrebbero un giorno andare più veloci della luce, l'altro produrre la macchina del tempo, il terzo permettere la bilocazione dei corpi, ecc).
- I grandi progetti tipici di certo tipo di ricerche (dette *Big Science*) creano una serie di situazioni caratteristiche; piramidi sociali, divisioni artificiali del lavoro, meccanismi (non-scientifici) di relazione con l'esterno, ecc. Si rischia per questo di dare credito a chi non lo merita; di mescolare i meriti scientifici di certi scienziati con i meriti amministrativi del cosiddetto *management*; si incoraggia la specializzazione eccessiva; si separano gli scienziati dal mondo in cui vivono, a vantaggio di 'comunicatori professionali' (che di solito sono più bravi a gestire le relazioni con il grande pubblico, ma evidentemente non hanno l'esperienza diretta della ricerca scientifica).
- Un rischio specifico e grave è quello di creare fenomeni di consenso sociale non legati alle logiche strettamente scientifiche (fenomeni di *group-thinking*, ovvero, 'risonanze'); questo rende anche più facile istaurare mode o come si dice inglese, *mainstream theories*, ovvero, teorie che seguono la corrente principale.¹⁷
- Un ulteriore pericolo, secondo me ancora più grave, è quello di mescolare propaganda e veri risultati. Mi riferisco a quello che viene chiamato 'scienza-spettacolo', che magari nasce con buone intenzioni, ma i cui effetti sono alla lunga nefasti. Riprendendo un punto precedente, credo che l'idea che si debba fare una rivoluzione ad ogni pie' sospinto, e poi se ne debba parlare in pubblico con toni trionfalistici, va evidentemente a detrimento del riuscire a parlare dei risultati reali, magari quelli poco vistosi ma che hanno poi effetti profondi e duraturi.

¹⁷Un proverbio che amo recita 'solo un pesce vivo è capace di nuotare controcorrente'.

Ci sono molte contromisure possibili, non esclusive tra di loro. Per esempio, ritengo che sarebbe bene,

1. evitare di separare senza ragione o, peggio ancora, forzosamente teoria ed esperimento: la fisica è unica.
2. restare aperti; non cercare la specializzazione a tutti i costi.
3. confrontarsi con tutti, dai campi di ricerca più vicini, agli intellettuali di altre discipline, ai docenti delle scuole, a tutti i cittadini interessati.
4. lasciare parlare i giovani, ascoltarli, aiutarli a crescere, dare spazio al rinnovamento o meglio ancora, favorirlo.
5. incoraggiare in tutti modi il pensiero critico e i dibattiti.
6. fare in modo che gli spazi concessi alla scienza restino pubblici, anziché lasciarli monopolizzare a poche persone.
7. curarsi che il ruolo degli scienziati nella società sia quello di chi aiuta i cittadini o indica agli altri possibili modi di migliorare, e che rimane aperto al mondo; invece che quello di chi si impegna per fare vedere quanto è bravo, o peggio di fare sentire gli altri inferiori.
8. guardare alle esperienze di successo in altri paesi/in altre epoche storiche e perseguire il bene della scienza.

La gran parte di queste iniziative dovrebbero essere intraprese dagli scienziati stessi, ma voglio sperare che sia evidente quanto sarebbe utile coinvolgere in modo attivo singoli politici e istituzioni, gli insegnanti ed il mondo della scuola, le società scientifiche, gli operatori culturali (per esempio i giornalisti) ecc.¹⁸

Naturalmente però, per potere intervenire su un problema, è essenziale per prima cosa riconoscerne la presenza.

¹⁸In Inghilterra si parla di *public engagement*, e a voler cercare la coloritura politica, si potrebbero riconoscere le convergenze con l'idea di 'democrazia'.

6 Epilogo

Vorrei lasciar concludere il premio Nobel Richard Feynman, noto tra le altre cose come autore di bellissimi libri (che invito chi non li conosce a leggere) e per avere lavorato con grande efficacia nella commissione presidenziale sul disastro del *Challenger*, a dispetto della malattia che di lì a due anni l'avrebbe portato via.

Feynman, ampiamente inascoltato, lanciò a più riprese grida d'allarme, rivolte ai suoi colleghi fisici teorici, al pubblico, ai media - e a tutti quanti infatti.¹⁹ L'obiettivo dei suoi strali era uno dei modelli più studiati negli ultimi 40 anni, ancorchè fosse e sia pura speculazione. Leggiamo insieme le sue parole in uno degli ultimi interventi di questo tipo:

Sento fortemente che questa è una scemenza! ... Quindi forse potrei far divertire i futuri storici dicendo che penso che tutta questa roba delle superstringhe sia pazzesca e vada nella direzione sbagliata ... Non mi piace che non stiano calcolando nulla. ... perché le masse delle varie particelle, per esempio i quark, sono quelle che sono? Tutti questi numeri ... in queste teorie delle stringhe non hanno nessuna spiegazione - assolutamente nessuna! ... Non mi piace che non controllino le loro idee. Non mi piace che, ogni volta che c'è qualcosa che non va d'accordo con gli esperimenti, hanno pronta una spiegazione - una pezza, del tipo "Potrebbe essere vero così o cosà". Per esempio, la teoria richiede dieci dimensioni. Beh, magari c'è un modo per *arrotondare* sei dimensioni. - D'accordo, è matematicamente possibile, ma perché non sette? Quando scrivono la loro equazione, dovrebbe essere proprio l'equazione a decidere quante di queste cose vengono messe a tacere, non il desiderio di trovarsi d'accordo con l'esperimento. In altre parole, non c'è alcuna ragione nella teoria delle superstringhe che non siano otto su dieci le dimensioni che vengono "arrotondate" e che il risultato sia solo due dimensioni, il che sarebbe completamente in disaccordo con l'esperienza. Quindi il fatto che potrebbe non essere d'accordo con l'esperienza è molto tenue, non produce nulla.

Intervista pubblicata nel libro *Superstringhe: Una Teoria del Tutto?* Di Paul C. W. Davies e Julian R. Brown, p. 193-194 ISBN 0521354625 (1988).

¹⁹Possiamo considerare queste parole come un ultimo tentativo di stimolare un confronto o di intavolare una reale discussione, specie se notiamo che sono dette nell'anno della sua scomparsa.

7 Ringraziamenti, note e riferimenti

Questo saggio nasce da una conversazione con il professor Guido Visconti che mi palesò quanto fastidio provava verso l'atteggiamento nei confronti della scienza descritto nella introduzione e riassunto nel titolo di questo saggio. Ispirato dal grande rispetto che ho verso di lui e da profonda consonanza intellettuale, gli proposi l'idea di raccontare alcune vicende delle quali ho avuto esperienza diretta o perlomeno 'ravvicinata'; il resto lo sapete. Grazie Guido, e un grazie anche al professor Lucio Russo per una lettura accurata di queste note e preziosi suggerimenti.

Alcuni siti per approfondire la discussione

Una allocuzione di Feynman agli insegnanti su *Cos'è la scienza*:

<https://www.linkedin.com/pulse/cosè-la-scienza-di-richard-feynman-francesco-vissani/>

Un bel libro sulle radici della scienza: Lucio Russo *La rivoluzione dimenticata*, Feltrinelli (1996).

Un interessante saggio di sociologia: Massimiano Bucchi *Scienza e società*, Raffaello Cortina Editore (2010).

Un intervento su DECKARD che esamina alcuni aspetti relativi ai neutrini superluminali:

<https://www.rickdeckard.net/2014/02/10/chi-vuole-che-i-neutrini-vadano-più-veloci-della-luce/>

Un articolo scientifico, di carattere critico, riguardante la fisica dei neutrini

<https://arxiv.org/pdf/1206.1466.pdf>

Nota linguistica

Discostandomi dall'uso comune, ho fatto uno sforzo per *non usare* la parola "teoria" in riferimento diretto a certi sistemi di idee speculativi e ho parlato invece di schema o di modello. Ritengo che la parola "teoria" dovrebbe essere riservata a sistemi di pensiero consolidati ed affidabili; per quanto attiene il campo toccato dalla discussione qua sopra, che so, le idee di Newton sulla gravitazione, l'elettromagnetismo, la relatività speciale e generale, la meccanica quantistica, la teoria dei campi quantizzati, ecc. Personalmente, provo un po' di disagio a chiamare semplicemente 'modello standard' uno schema che descrive tanto bene il mondo delle particelle elementari, quando potrebbe o

dovrebbe essere chiamato 'teoria'; ma si sa, la modestia raramente guasta e, per questo, mi sono conformato di buon grado all'uso comune. Quanto all'uso delle parole 'teoria' o peggio 'teorema' nel linguaggio italiano, specie in quello giornalistico o politico, penso che non si possa dire meglio di come ha fatto Lucio Russo nel libro qua sopra citato, al quale rimando gli interessati.