



Carlo
Bernardini

Università
"La Sapienza", Roma

Bruno Touschek: pensare fisica in grande*

ABSTRACT

A homage to Bruno Touschek, to his personal conception of physics as a creative enterprise and to his most important contribution: ADA, the small ingenious prototype of the great colliders of today.

Bruno Touschek nacque a Vienna il 3 febbraio 1921. Sua madre era ebrea, il che ebbe conseguenze immaginabili, per un "non ariano", nell'Austria dell'Anschluss: nel 1940, Bruno dovette abbandonare gli studi e trovò però modo di impiegarsi come tecnico elettronico presso privati, prima ad Amburgo e poi a Berlino. La sua occultazione durò poco: nel 1943 le SS lo identificarono ad Amburgo e finì internato. Riuscì a fuggire nel 1945, durante un trasferimento, in condizioni estremamente rocambolesche e rischiando seriamente la pelle. Avendo incontrato, già nel 1943, l'ingegnere norvegese Rolf Wideroe, appassionato ideatore di acceleratori di particelle, si appassionò anche lui al problema dei betatroni e su questo tema finì con il laurearsi poco dopo la cessazione del conflitto mondiale. Dopo una breve permanenza a Gottinga, si trasferì in Inghilterra, a Londra e poi a Glasgow, dove si dedicò alla fisica teorica e all'elettrodinamica quantistica. Nel 1943 aveva incominciato a "rimuginare" (come nelle conversazioni con Wideroe) sulla possibilità di realizzare praticamente collisioni tra fasci di particelle cariche contrapposte, nel centro di massa, in modo da ottimizzare l'energia disponibile per la produzione di stati finali pregiati inaccessibili agli acceleratori tradizionali che operano su bersagli fermi (lo spreco avviene nella conservazione dell'energia del centro di massa). Questo programma sarà la più importante realizzazione di Touschek nel resto della sua breve vita: Bruno morì a soli 57 anni, a Innsbruck, il 25 maggio 1978. Ma il suo modo di rappresentarsi la realtà microscopica resta, per chi lo ha conosciuto, uno dei punti più alti dell'immaginazione umana guidata da una profonda cultura scientifica.

Tenterò di dare un'idea pallida e alla buona del modo di pensare di questo mio maestro: lo avevo incontrato negli anni '50 quando già lavoravo con Enrico Persico (altro mio indimenticabile maestro) alla realizzazione del sincrotrone per elettroni da 1000 MeV. Bruno, indubbiamente, pensava "relativistico", così, *naturaliter*. Difficile dire in poche parole di che cosa si tratta: certo, il senso comune sembra essere stato completamente sovvertito nella prima metà del '900. Quando si è capito che il mondo accessibile direttamente ai sensi, detto "macroscopico", è una fetta modesta della realtà e non mostra gli oggetti elementari e gli ingredienti invisibili necessari per ricostruirne il funzionamento: gli atomi e la loro meccanica, i campi e la loro impercettibile pervasività, la relatività dello spazio e del tempo e la fisica quantistica. La comprensione della realtà nel suo insieme può sembrare dunque una capacità astratta difficilissima da acquisire; perciò, bisognerebbe essere capaci di generalizzare con cautela a partire da ciò che si osserva nella realtà, giudicando con cura ciò che è importante e ciò che non lo è. Ma è proprio la falsa impressione che qualche aspetto del reale non sia importante o addirittura troppo scontato a far perdere spesso il quadro. Galilei, per esempio, ebbe il suo bel daffare a convincere i suoi contemporanei del fatto che una "velocità assoluta" in un riferimento ("spazio") universale non avesse senso perché non identificabile con effetti percepibili o misurabili: sicché con il tempo l'idea si trasformò in quell'embrione di relatività che va sotto il nome di "relatività ga-

lileiana". Insomma, una questione di filosofia, di "economia del pensiero", di senso della conoscenza. La realtà naturale è l'insieme dei fenomeni che avvengono nello spazio e si succedono nel tempo; a ben guardare, come ho detto, di fenomeni ce ne sono almeno di due tipi: quelli che riguardano ciò che accade ai corpi materiali e quelli, che coinvolgono sì corpi materiali, ma distanti tra loro, che tuttavia si influenzano a vicenda. Questo secondo tipo lo chiameremo "propagazione di segnali", per esempio segnali luminosi o, più in generale, interazioni (sollecitazioni o azioni reciproche) tra corpi a distanza. Ebbene, una buona domanda è: come viaggiano i corpi nello spazio? E come viaggiano invece i segnali che non trasportano materia? Dapprima, Isaac Newton (1642-1727) suggerì di semplificare assegnando allo spazio e al tempo ruoli di contenitori assoluti, infinitamente estesi, nei quali i corpi si muovessero con ogni possibile velocità rispetto a riferimenti convenzionali (particolarmente le "stelle fisse"), quindi con ogni possibile velocità relativa, gli uni rispetto agli altri. Il tempo assoluto sarebbe stato quello scandito da un orologio universale, identificabile nelle successioni periodiche degli eventi astronomici, riconoscibili come cicli sempre sullo sfondo del cielo delle stelle fisse. Per i segnali, per le azioni a distanza, la congettura più economica era che fossero infinitamente veloci, che i corpi si influenzassero a vicenda all'istante. Poi, però, il danese Ole Rømer (1644-1710) e i suoi epigoni misurarono una velocità finita della luce dalle eclissi di un satellite di Giove; velocità enorme, ma finita. E la fantasia dei fisici si perse lì per lì, per ostinato rifiuto aristotelico del "vuoto", in una invenzione che avrebbe dovuto riempire lo spazio assoluto come materia immobile a cui riferire ogni moto, di corpi e di segnali: *l'etere cosmico*, materia assurda, a un tempo rigidissima e trasparente, incapace di resistenza viscosa, ma capace di vibrare sotto l'azione di forze, per esempio elettromagnetiche. Una vera stranezza del pensiero umano. Albert Einstein (1879-1955), nel 1905 [ma anche Henry Poincaré (1854-1912) ci era praticamente arrivato, contemporaneamente], fece piazza pulita di questo armamentario. Si poteva fare di meglio intaccando la fisica newtoniana che, peraltro, ne avrebbe risentito solo in fenomeni estremi ed eccezionali (oggi indubbiamente più accessibili di allora). Si trattava di buttare via, con l'etere, il carattere assoluto dello spazio e del tempo e di relativizzare i movimenti dei corpi con un unico principio che trattasse insieme spazio e tempo come nozioni ancorate all'osservatore piuttosto che a un fantomatico sistema assoluto universale. Galileo Galilei (1564-1642) aveva già fatto un passo in questa direzione, stabilendo che le leggi del moto non potevano identificare velocità rispetto a riferimenti assoluti; Einstein fece un passo decisivo proponendo che, per quanto riguarda i segnali, la loro velocità di propagazione nello spazio vuoto fosse la stessa per qualunque osservatore e fosse inoltre una velocità "limite", invalicabile, per i corpi materiali. Non è facilissimo pensare che questo postulato sulla velocità dei segnali cambierà profondamente le vecchie nozioni di spazio e di tempo. L'oggetto principale delle rappresentazioni mentali di Bruno Touschek erano però proprio un nuovo tipo di "oggetti matematici", rappresentativi dello spazio e del tempo visti da ciascun osservatore e mutevoli sotto ogni trasformazione che passasse dallo spazio-tempo di un osservatore a quello di un altro (spazio-tempo è la proposizione che sancisce l'unificazione). Euclide (~300 a.C.) si era già occupato dello spazio e, nella rappresentazione suggerita da Renato Cartesio (1596-1650), un punto dello spazio "ordina-

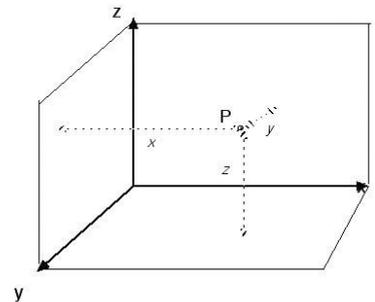


Figura 1.

rio tridimensionale” era inteso come un punto, contrassegnato, per esempio, da una lettera, P , che aveva come posizione quella riferita a un “sistema di tre assi” (fig. 1; ecco gli “assi cartesiani” e i “piani coordinati”) scelti a piacere dal geometra al lavoro. Gli spigoli di una stanza, con pavimento e due pareti ortogonali come piani coordinati, da ciascuno dei quali si misurava la distanza di P lungo la perpendicolare al piano: x , y , z nella tradizione (dette le tre “componenti del vettore posizione”, appunto, un tri-vettore). Per distinguere due punti P_1 e P_2 : (x_1, y_1, z_1) e (x_2, y_2, z_2) rispettivamente. La distanza tra P_1 e P_2 , chiamiamola $D_{1,2}$, era determinata dal celebre “teorema di Pitagora (~ IV sec. a.C.)” per i triangoli rettangoli con la formula caratterizzante delle geometrie dette allora e per sempre *euclidee*, in onore del fondatore che aveva fatto tutto ciò che si poteva per capire lo spazio ordinario percepito:

$$(D_{1,2})^2 = (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2.$$

Di questa espressione della distanza mediante le coordinate si sottovalutavano, originariamente, due proprietà caratteristiche degli spazi euclidei, che lì per lì appaiono ovvie: la distanza $D_{1,2}$ è zero se e solo se P_1 e P_2 coincidono, sono lo stesso punto. Inoltre, la distanza è indipendente (“invariante”: sarà una parola chiave, in fisica e in geometria, per indicare ciò che non cambia facendo una trasformazione nelle scelte convenzionali) da come scegliamo gli assi cartesiani (eccezion fatta dell’unità di misura delle lunghezze, che deve essere necessariamente standardizzata).

Ebbene, la grande rivoluzione relativistica consiste soprattutto nel sostituire ai punti P dello spazio ordinario gli “eventi” E dello spazio-tempo, che sono caratterizzati dalle coordinate che corrispondono a un punto P combinate con l’istante “ t ” in cui P è osservato: $E \rightarrow (P, t) \rightarrow (x, y, z, t)$. Siccome le “coordinate” necessarie a identificare E sono ora 4 e non più solo 3 come per P , si dice che E corrisponde a un quadri-vettore dello spazio-tempo, mentre P corrispondeva a un tri-vettore dello spazio ordinario. I cosiddetti “quadrivettori” sono già noti ai matematici perché caratteristici di una geometria introdotta già nell’800 da Hermann Minkowski (1864-1909), seguendo le tracce di János Bolyai (1802-1860), Nikolai Lobachevski (1792-1856) e Bernhard Riemann (1826-1866), quando il primato euclideo stava già facendo posto ad altre possibilità.

Tutto ciò sarebbe pura nomenclatura convenzionale se non fosse che...

Quella che è invariante (non cambia) per certe trasformazioni di coordinate che soppiantano le più intuitive ma approssimate trasformazioni di Galilei da quelle di un osservatore a quelle di un altro in moto relativo al primo, trasformazioni dette di “Lorentz” (in onore di Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) che per primo se ne rese conto a partire da fenomeni fisici e non da astrazioni geometriche, alla fine dell’800) è una nuova “distanza” tra due eventi nello spazio-tempo, detta pseudo-euclidea perché non nasce dal teorema di Pitagora ma dalla pretesa avanzata da Albert Einstein nel 1905 che la velocità della luce sia indipendente dal moto delle sue sorgenti e/o ricevitori. La velocità della luce è una costante universale, battezzata c una volta per tutte; c ’è chi la sceglie come unità di misura delle velocità (per enorme che sia: ma è lecito!); ma per ora non lo farò. Dunque, la nuova distanza tra E_1 ed E_2 proposta dalla richiesta di invarianza per trasformazioni di Lorentz è:

$$(S_{1,2})^2 = (D_{1,2})^2 - c^2(t_1 - t_2)^2.$$

Quel segno “meno” tra la parte spaziale (del tipo *spazio*, cioè) e quella temporale (del tipo *tempo*) fa una differenza sconvolgente: intanto, non c’è bisogno che i due eventi coincidano perché S sia nulla. $S = 0$ per tutti gli eventi che stanno viaggiando nello spazio alla velocità c della luce! Rinunciando per semplicità gra-

fica a una delle dimensioni spaziali a piacere, per esempio z , si può raffigurare la situazione come nella figura 2; contravvenendo alle abitudini dei “diagrammi orari” newtoniani, che disegnavano gli assi spaziali come ordinate e un asse temporale come ascissa, in relatività si usa l’ordinata per il tempo e le ascisse per lo spazio. Il fatto che il tempo sia rappresentato da un apposito asse “spaziale” non è poi così strano: non più di quanto lo sia la posizione indicata da una lancetta d’orologio: sarà il modo in cui si intrecciano la misura dello spazio e quella del tempo nelle formule che contano per la fisica ad apparire assolutamente nuovo. Eccone

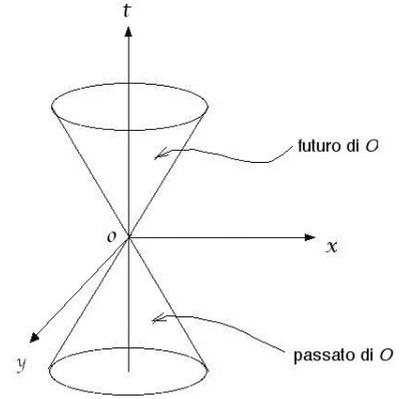


Figura 2.

un esempio: siccome nell’idea avanzata da Einstein la velocità della luce, velocità dei segnali “immateriali” (per esempio, elettromagnetici) è una velocità limite caratteristica dello spazio-tempo vuoto, solo i punti *interni* al doppio cono infinito (detto “cono luce”, benché ci sia una dimensione spaziale qui omessa) sono accessibili nel senso che un evento E può cadere sotto l’osservazione dell’osservatore O , in quanto tra i due possono essere scambiati segnali che trasportano informazione. Il cono infinito nel semipiano superiore contiene gli eventi nel futuro di O , quelli nel semipiano inferiore sono invece gli eventi del passato. Evidentemente, passato e futuro appartengono alle regioni in cui $S^2 < 0$, cioè ha il segno corrispondente al termine temporale. La comunicazione tra eventi per i quali $S^2 > 0$ invece non è possibile. Lo spazio-tempo sarebbe dunque accessibile solo in parte, a ciascun osservatore: entro un “cono luce” che raccorda in un unico punto, il “presente” (convenzionalmente la posizione di O a $t = 0$) e due coni rovesciati del “futuro ($t > 0$)” e del “passato ($t < 0$)” accessibili a *quell’osservatore*. Una bella differenza dai vecchi spazio e tempo assoluti di Isaac Newton, in cui, non essendoci limiti alla velocità dei segnali, il presente era la superficie (detta “iperpiano” $t = 0$) che divideva tutto lo spazio nei due spazi tridimensionali (iperspazi piani = iperpiani), come generalizzazioni tridimensionali di passato e futuro. Essendo la nostra attitudine mentale determinata dalla consuetudine euclidea, occorre un po’ di astrazione per ragionare spontaneamente in modo relativistico come faceva Tauschek: in realtà, e per strano che possa sembrare, siccome la velocità della luce è enorme ci viene spontaneo ragionare come se c fosse infinita, cioè nel “limite $c = \infty$ ”. Ma la più sconvolgente conseguenza di queste idee è che le velocità non si compongono come volevano Galilei e Newton, ma con una nuova legge di composizione che, come mostrò l’olandese Willem De Sitter (1872-1934), è molto meno paradossale di quella classica quando si ha a che fare con fenomeni estremi¹.

Ma c’è di più. Il quadrivettore che caratterizza l’evento $E = (P, t)$ non è il solo importante in fisica. Einstein capì che, adattando la dinamica di Newton allo spazio-tempo, spuntava naturalmente un nuovo quadrivettore, nel quale l’energia E di un sistema fisico in moto rispetto a un osservatore assumeva un ruolo simile a quello del tempo e la quantità di moto (“impulso”) di quel sistema, p (in realtà un vettore in tre dimensioni di componenti p_x, p_y, p_z) a quello dello spazio, a patto che in E fosse inclusa la massa M del sistema stesso nella particolare forma: $E = (\text{energia cinetica}) + Mc^2$. Cambiando osservatore con una trasformazione di Lorentz, il sistema cambiava le componenti (p, E) del quadrivettore “energia, impulso”, ma la quantità

$$E^2 - p^2c^2 = (Mc^2)^2$$

restava invariante. L'invariante assumeva così il significato di "massa a riposo $\times c^2$ " del sistema perché era il valore che esso assumeva esattamente quando il sistema era fermo rispetto all'osservatore. Questa è l'essenza della più celebre formula della relatività speciale, che sbalordì lo stesso Einstein: $E = Mc^2$, la relazione d'equivalenza massa-energia, che sancisce la possibilità di trasformare l'energia in massa e viceversa. Cioè, energia in particelle e viceversa; naturalmente, a patto che nella trasformazione non vadano distrutte o create altre quantità conservate rigorosamente (come la carica elettrica totale o il momento angolare totale) del sistema che si trasforma.

Ed ecco come si completa il modo di rappresentarsi la realtà subatomica di Bruno Touschek. Un grande scienziato, nostro (di Touschek e dei Laboratori di Frascati, appena nati nel 1958) buon amico e interlocutore, Robert Hofstadter (1915-1990) di Stanford, Cal. USA, ha, a quel tempo, appena portato a buon fine la misura delle dimensioni dei nuclei, sino al protone e al neutrone. Questo piace molto a Touschek che sostiene che per capire il mondo subatomico bisogna saper fare due cose: 1) misurare la dimensione degli oggetti elementari, nuclei, protoni, neutroni, elettroni, ecc.; 2) "eccitare" il vuoto, depositando in esso un pacchetto di energia densa e concentrata e guardando come si trasforma in particelle. Per misurare le dimensioni, bisogna disporre di onde di lunghezza d'onda confrontabile o inferiore alle dimensioni delle particelle da misurare, sulla quale queste onde verranno inviate per essere diffratte; questo processo di diffrazione è lo sviluppo ad alte energie (cioè a particelle cariche accelerate sino a energie alle quali la loro velocità è confrontabile con quella della luce) della microscopia elettronica, che permette di vedere gli atomi con elettroni di qualche migliaio di volt soltanto. Perché la lunghezza d'onda delle onde necessarie a vedere "oggetti" centomila volte più piccoli di un atomo, secondo la celebre relazione di Louis de Broglie (1892-1987) che presiede alla costruzione della meccanica ondulatoria di Erwin Schroedinger (1887-1961) del 1925, corrisponde a elettroni accelerati da qualche centinaio di milioni di volt (MeV = Milioni di elettronvolt, nella nomenclatura corrente). Ecco che entrano in gioco gli acceleratori, la risorsa principe della fisica del secondo '900; e Hofstadter dispone di un acceleratore lineare, un cannone per elettroni che fanno il "surf" su onde elettromagnetiche viaggianti in una successione di cavità allineate. Ma come si fa per eccitare il vuoto? Per eccitare qualcosa bisogna farla vibrare e scoprire quali sono le frequenze che assorbe o emette più facilmente, su cui "risuona". Possiamo scoprire come è fatto un oggetto analizzandone la forma con onde opportune che esso diffrange nello spazio; ma possiamo anche eccitarlo con onde della frequenza adatta perché la sua struttura le assorba e le riemetta modificandole. La frequenza, come mostrò Einstein con l'effetto fotoelettrico, è legata all'energia: è il legame frequenza-energia analogo al legame impulso lunghezza d'onda di De Broglie, fondamentale per la meccanica quantistica. L'analogia ha un'origine appropriata alla relatività e ai quadrivettori di Minkowski: l'energia è la parte "temporale" del quadrivettore di cui l'impulso è la parte spaziale.

La relatività, ma anche la meccanica quantistica, sconvolgono il linguaggio comune. I "significati" di alcune parole assumono un carattere molto più profondo di quello che avevano in origine; la nozione di "invarianza per trasformazioni di Lorentz" conferisce significati, per così dire, "assoluti" a certe quantità che si liberano dalla scelta umana di un osservatore e del suo sistema di riferimento. Chi ha assorbito lo spirito della relatività del 1905, lavora nella sua stessa testa con invarianti; è quello che faceva Touschek. In particolare, per superare la inconciliabilità del cosiddetto principio di azione e reazione con l'esistenza di una ve-

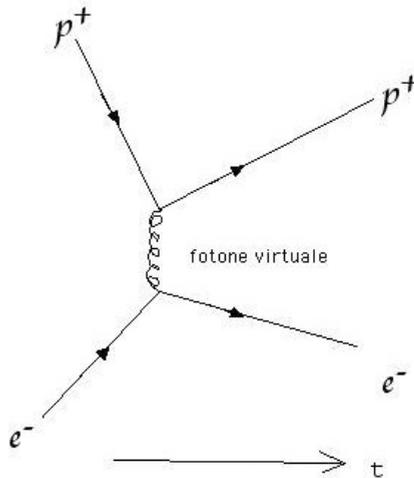


Figura 3.

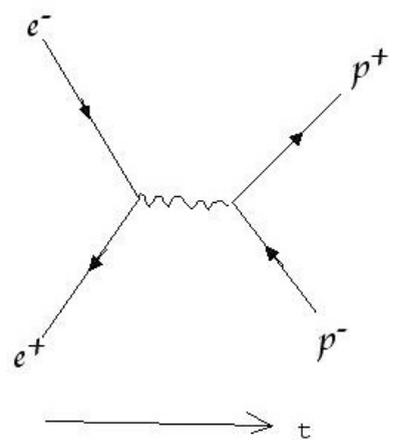


Figura 4.

locità limite come quella, c , della luce, la fisica quantistica aveva già fatto ricorso a una descrizione delle forze nelle quali l'azione di una particella su un'altra era rappresentata dallo "scambio" di una (o più) particella mediatrice. In una potentissima e ormai diffusissima rappresentazione grafica di quest'idea, una delle trovate più espressive della fisica moderna, dovuta a Richard Feynman (1918-1988), i cosiddetti "diagrammi di Feynman", il processo di diffrazione elettromagnetica di un elettrone su un protone è descritto come in figura 3. Qui, la particella scambiata è un "fotone virtuale", il mediatore delle forze elettromagnetiche. Si può immaginare che l'elettrone che arriva da sinistra ("entrante") spara il fotone indicato dalla linea ondulata che viene riassorbito dal protone che entra in scena anch'esso da sinistra: non ha importanza chi spara e chi assorbe; la parola "scambio" include le due possibilità. Ma perché "virtuale"? Quel fotone ha vita breve, a differenza dell'elettrone e del protone che arrivano dall'infinito e all'infinito ritornano. Il fotone virtuale è stato creato a un certo istante e di lì a pochissimo scompare riassorbito: la sua funzione è solo quella di trasferire energia e impulso dall'elettrone al protone in modo che le due particelle rispettino "asintoticamente" (cioè quando si trovano in stati ben separati nello spazio e nel tempo) la conservazione dell'energia e dell'impulso. Che il fotone virtuale abbia un valore dell'invariante di Lorentz dell'energia-impulso diverso da quello che compete a un fotone reale (che è strettamente zero) non è incompatibile con il principio di indeterminazione, se esso "vive" un breve tempo (anzi, brevissimo, rispetto alle nostre abitudini macroscopiche). La rappresentazione salva capra e cavoli: un mirabile e poco conosciuto articolo di rassegna di van Dam, Houtappel e Wigner² mostra come relatività e meccanica quantistica rendano tutto ciò semplicemente naturale e funzionale. Touschek osservò che la diffrazione di elettroni su protoni corrispondeva al diagramma di Feynman in fig. 3, in cui il quadrivettore energia-impulso del fotone era uguale alla differenza tra quello dell'elettrone entrante e quello dell'elettrone uscente. Questo quadrivettore è generalmente indicato con la lettera q e chiamato "quadrimpulso trasferito" (per ovvii motivi). Il "carattere" di q è inequivocabilmente di tipo "spazio" (*space-like*, nell'uso corrente), perché l'invariante relativistico q^2 è > 0 . Ma allora, si chiedeva Touschek, come si fa a "eccitare il vuoto", cioè a pescare quelle frequenze alle quali "risponde"? Bisogna depositare in esso energia e osservare come si rimaterializza. E qui viene la magica idea di mettersi a lavorare con fotoni virtuali di tipo "tempo"

(*time-like*), cioè con $q^2 < 0$. Diceva, Touschek, che l'operazione somigliava un po' a un micro-BigBang, alla creazione di un microuniverso depositando un'energia di spaventosa densità in qualche punto dello spazio. E ora, guardate la figura 4: in che cosa differisce dalla 3? Solo dal fatto che una sequenza temporale elettrone + protone \rightarrow elettrone' + protone' con l'intervento di un fotone intermediario diventa una sequenza spaziale in cui 2 elettroni sembrano andare in due protoni il che non sarebbe possibile perché la carica elettrica iniziale sarebbe diversa da quella finale. Ma... Succede questo: le equazioni, di Paul M.A. Dirac (1902-1984), di un elettrone relativistico mostrano che un elettrone di carica $-e$ che va indietro nel tempo è fisicamente equivalente a un elettrone di carica $+e$ che va verso il nostro futuro! È la predizione dei "positroni", scoperti nel 1932 nei raggi cosmici. Lo stesso accade ai protoni, di carica $+e$ a cui si abbinano gli antiprotoni di carica $-e$ come protoni che vanno indietro nel tempo. Allora, il diagramma diventa un diagramma di annichilazione elettrone-positrone (entranti) che si trasformano in un fotone virtuale che si rimaterializza in protone-antiprotone: o in qualsiasi altro sistema di carica complessiva nulla in cui può materializzarsi perché stavolta, non essendo noi a scegliere il bersaglio (il protone entrante), il vuoto eccitato fa quello che vuole. Il momento trasferito dal fotone virtuale è finalmente di tipo "tempo"! Questo è il quadro del programma di Touschek che, dal 1960 in poi, ha sconvolto la fisica sperimentale delle particelle elementari con il piccolo prototipo detto AdA (Anello di Accumulazione) realizzato a Frascati e adottato in tutto il mondo in versioni sempre più gigantesche. Il problema tecnico superato avrebbe bisogno di una storia a sé³: un fascio di elettroni che incontra un fascio di positroni che viaggia all'inverso sullo stesso binario non è uno scherzo; i positroni non esistono in natura! Ma qui ho voluto dare un resoconto non reticente del modo di pensare che ha guidato Touschek e alcuni di noi verso questo obiettivo così lontano dal senso comune quotidiano ma, allo stesso tempo, così fondamentale come chiave interpretativa dell'universo microscopico e relativistico.

Bruno è stato e rimane un indimenticabile esempio di lucidità nella comprensione della fisica. Io ho avuto la fortuna di lavorare con lui e ora ho la fortuna di essergli grato di tutto ciò che mi ha dato.

* Il 10 settembre scorso è stato attivato a Ginevra l'acceleratore LHC, di cui AdA può considerarsi il "progenitore". Ringraziamo Carlo Bernardini a cui abbiamo chiesto un ricordo, a trent'anni dalla morte, di Bruno Touschek, che nella progettazione e messa a punto di AdA svolse un ruolo essenziale. Un monumento, consistente nel magnete di AdA, ne ricorda il contributo presso i Laboratori Nazionali di Frascati.
Si veda anche: E. Amaldi, "L'eredità di Bruno Touschek", *Quaderni del Giornale di Fisica*, n. 7, Volume V, 1982.

- Note**
- ¹ C. BERNARDINI, S. TAMBURINI, *Le idee geniali*, Dedalo 2005.
 - ² H. VAN DAM, R.M.F. HOUTAPPEL, E.P. WIGNER, "The Conceptual Basis and Use of the Geometric Invariance Principles", *Review of Modern Physics*, 1965, 595.
 - ³ C. BERNARDINI, *Fisica vissuta*, Codice, 2006.

Una vasta cultura è una farmacia ben fornita: ma non c'è modo di avere la sicurezza che non ci venga portato del cianuro per curare un raffreddore.

Come è governato il mondo e come cominciano le guerre? I diplomatici raccontano bugie ai giornalisti e poi credono a ciò che leggono.

Karl Kraus, *Detti e contraddetti*, traduzione di Roberto Calasso, Bompiani, Milano 1987; Adelphi, Milano 1992