

## History of Physics for Physics Education: Challenges, Opportunities and Research Directions

Matteo Leone - Dipartimento di Filosofia e Scienze dell'Educazione, Università di Torino - matteo.leone@unito.it

*Abstract:* A number of arguments have been put forward over the past decades to support the use of history of physics into the teaching of physics among students and pre-service teachers. For example, it has been written that history of physics makes physics more attractive to many students, can enhance reasoning and critical thinking skills and can improve teacher education. Also, history of physics can assist teachers appreciate the learning difficulties of students and may offer substantial benefits in enabling people to develop scientific literacy and an understanding and appreciation both *in* science and *about* science. Finally, history of physics and the wider domain of the history of material culture, as represented by the collections of old scientific instruments in schools and universities, may prove to be useful both at the cognitive and the meta-cognitive level. Notwithstanding this awareness, this approach is not implemented in many ministries of education policies and remains largely un-adopted by many physics teachers. Here, we will address the main challenges posed by the use of history of physics into the physics education through some intriguing historiographical case-studies (as the so-called “Rutherford’s experiment” on alpha particles scattering) and through a survey of physics teachers as to the feasibility of the historical method. We will also address the opportunities of such an approach for students and teachers, and, finally, the most promising research directions in this domain through an analysis of the various ways in which the interplay between history of physics and physics education can be conveyed.

*Keywords:* History of physics, Physics education, Nature of science.

### 1. Introduzione

Nessun insegnante di Fisica dovrebbe fare a meno di una adeguata conoscenza dello sviluppo storico di questa scienza. Anche se egli non utilizzerà direttamente questa conoscenza nelle sue lezioni (ciò che sarebbe desiderabile, ma è reso difficile dalla mancanza di tempo) non vi è dubbio che essa gli gioverà per porre i fatti nella giusta prospettiva, per rispondere a eventuali domande e, talvolta, per rendersi conto di certi aspetti strani e anacronistici dell’insegnamento della Fisica che sopravvivono in molti libri di testo (Persico 1962).

Così scriveva sul *Giornale di Fisica*, quasi cinquant'anni fa, uno dei grandi fisici teorici italiani del Novecento, Enrico Persico (1900-1969). Determinante per la diffusione in Italia delle nuove idee della meccanica quantistica e per la formazione di una nuova generazione di ricercatori in fisica, negli ultimi anni della sua vita (a Roma) Persico dedicò sempre maggiore attenzione a problemi di didattica della fisica e di diffusione della cultura scientifica. E tra le questioni da lui toccate vi fu, per l'appunto, quella del ruolo della storia della fisica nella formazione degli insegnanti.

Da quell'epoca, molte cose sono cambiate. Le potenzialità didattiche della storia della fisica, e più in generale della storia della scienza, sono diventate nel frattempo un rispettato oggetto di studio all'interno della comunità di ricerca nella *science education*, caratterizzato da una rivista espressamente orientata a questa nicchia di ricerca (*Science & Education*), da una società scientifica (*l'International History, Philosophy, and Science Teaching Group*) e da manualistica e volumi collettanei (es. Bevilacqua et al. 2001; Bruneau et al. 2012; Matthews 2014, 2015).

Numerosi sono i benefici che la HPS (History and Philosophy of Science) può apportare all'apprendimento degli studenti e alla formazione dei docenti (Matthews 2015):

- Umanizzare le scienze e connetterle a questioni etiche, culturali e politiche, rendendo i programmi didattici più attraenti per molti studenti, e in particolare per le ragazze;
- Rendere le lezioni più sfidanti, favorendo abilità di ragionamento e di pensiero critico (ad esempio attraverso esercizi di logica di base e domande quali “questa conclusione segue dalle premesse?”);
- Favorire una più piena comprensione degli aspetti disciplinari (evitando litanie di formule ed equazioni recitate senza la comprensione del loro significato);
- Migliorare la formazione dei docenti, aiutandoli a sviluppare una comprensione della scienza più ricca ed autentica e della sua portata intellettuale e sociale (vi è infatti evidenza del fatto che l'epistemologia dei docenti, ovvero il modo in cui essi vedono la *Nature of Science*, influisca sul modo in cui essi insegnano, sul messaggio che essi trasferiscono agli studenti e, in ultima analisi, sull'epistemologia degli studenti);
- Aiutare i docenti a cogliere le difficoltà di apprendimento degli studenti, allertandoli sulle difficoltà che si sono manifestate nella storia del pensiero scientifico e nella realizzazione di alcuni cambiamenti concettuali (attraverso alcuni casi di studio tratti dalla storia, gli insegnanti possono scoprire difficoltà intellettuali e concettuali che si sono manifestate alle origini delle discipline scientifiche, traendone così indicazioni utili per l'organizzazione delle lezioni).

Nonostante la crescente consapevolezza tra i ricercatori della validità dell'approccio storico nell'insegnamento delle scienze, tale approccio non è fatto proprio dai Ministeri dell'Istruzione e resta largamente trascurato da parte della maggioranza degli insegnanti

di fisica (es. Höttecke and Silva 2011). Nel prossimo paragrafo ci concentreremo, quindi, sulle sfide poste dall'utilizzo in chiave didattica della storia della fisica.

## 2. Sfide

Per il Ministero dell'Istruzione italiano, la conoscenza della storia della fisica è un traguardo di apprendimento nella scuola secondaria di secondo grado. Tale traguardo, tuttavia, è innestato in un curriculum di impostazione tradizionale, all'interno del quale la storia non svolge alcun ruolo significativo, men che meno metodologico.

A titolo di esempio, nelle “linee generali e competenze”, per quanto riguarda la disciplina “Fisica” all'interno del curriculum del Liceo scientifico, il Ministero dell'Istruzione si limita ad esplicitare che “al termine del percorso liceale lo studente avrà appreso i concetti fondamentali della fisica, le leggi e le teorie che li esplicitano, *acquisendo consapevolezza del valore conoscitivo della disciplina e del nesso tra lo sviluppo della conoscenza fisica ed il contesto storico e filosofico in cui essa si è sviluppata.*” In quale modo tale consapevolezza dovrebbe essere raggiunta è lasciato all'autonomia del docente... Altrettanto lapidarie le espressioni per quanto riguarda il Liceo classico: “Al termine del percorso liceale lo studente avrà appreso i concetti fondamentali della fisica, *acquisendo consapevolezza del valore culturale della disciplina e della sua evoluzione storica ed epistemologica*” (Miur 2010).

Estremamente succinte sono anche le indicazioni ministeriali per quanto riguarda la formazione docenti all'interno dei cosiddetti “24 cfu”. Tra i contenuti di “Metodologie e tecnologie didattiche” della classe di concorso A-27 (Matematica e Fisica) compaiono, in relazione alla disciplina “Fisica”, “*Principali strumenti e metodologie per l'insegnamento sviluppati nella ricerca in didattica della fisica e in storia della fisica, anche in riferimento allo specifico ruolo dell'insegnante, ai nodi concettuali, epistemologici, linguistici e didattici nell'insegnamento e apprendimento della fisica*” (Miur 2017).

Data una tale cornice istituzionale, insegnare fisica attraverso la storia rappresenta una sfida niente affatto banale. Sfida che, la ricerca didattica ci insegna, presenta criticità a più livelli (Höttecke and Silva 2011).

Una prima criticità è relativa al *modo tradizionale di insegnare fisica*. La fisica è infatti insegnata come una collezione di fatti e di leggi, laddove in un approccio HPS la fisica dovrebbe essere presentata come impresa storicamente determinata, influenzata dal contesto culturale e sociale. I contenuti tradizionali non sono materia di negoziazione, mentre storicamente ricerca empirica, argomentazione e negoziazione hanno prodotto una conoscenza fisica che è cambiata nel passato, e che può, in certa misura, cambiare anche nel futuro. Tradizionalmente, l'insegnante fornisce agli studenti il contenuto scientifico secondo un approccio trasmissivo, mentre nell'approccio HPS al centro di tutto dovrebbe esservi una riflessione critica dei processi di acquisizione della conoscenza nella scienza e nell'apprendimento scientifico. Diversamente dall'approccio tradizionale, infine, gli studenti dovrebbero essere incoraggiati ad esprimere le loro idee.

Una seconda criticità attiene invece alla figura dell'*insegnante di fisica* che, nella tradizione, non ha la *Nature of Science* tra gli obiettivi espliciti del proprio insegnamento, non cerca di ripensare in chiave didattica la natura della scienza e non invita gli studenti a riflettere esplicitamente su di essa. Nell'approccio tradizionale, inoltre, l'insegnante non presta molta attenzione alle idee degli studenti e alle loro epistemologie, all'uso del *Pedagogical Content Knowledge* per moderare le discussioni tra gli studenti e al sostegno della costruzione di significato da parte degli studenti. Anche laddove l'insegnante tradizionale presta attenzione alla storia della scienza, il focus è solo sull'apprendimento del contesto e non sull'insegnamento scientifico come processo. Infine, nella formazione degli insegnanti solitamente non vi è l'approccio HPS, l'uso di storie a sfondo scientifico, e le strategie per gestire discussioni aperte e giochi di ruolo.

Una criticità non secondaria, poi, è rappresentata dai *curricula*. Anche laddove la storia sia presente tra gli obiettivi (e, come abbiamo visto, la cosa è valida solo molto marginalmente nel contesto istituzionale italiano), i traguardi di competenza risultano slegati dall'approccio storico. I programmi, solitamente, sono caratterizzati da elenchi di contenuti che raramente includono l'insegnamento HPS e che, anzi, di fatto contengono il messaggio nascosto di ignorare la storia.

In ultimo, i *libri di testo*. Anche laddove questi contengano narrazioni a carattere storico, solitamente queste sono costruite in modo tale da rafforzare una visione induttivista ingenua della scienza, nella quale non sono presenti influenze sociali e culturali. Le informazioni storiche si riducono solitamente a date, a nomi e a linee del tempo. Spesso il contenuto storico è isolato in box del tutto superflui ai fini dell'apprendimento dei contenuti scientifici e nozioni sulla natura della scienza sono trasmesse solo implicitamente. Infine, non a caso, gli storici e i filosofi della scienza e della fisica solitamente non sono coinvolti nella stesura dei libri di testo.

### 3. Opportunità

Le ricerche in letteratura evidenziano, quindi, significative sfide poste dall'approccio storico alla didattica della fisica (cap. 2). Tali sfide non dovrebbero, tuttavia, essere viste come ostacoli insormontabili poiché si accompagnano alle altrettanto significative potenzialità didattiche di tale approccio (cap. 1). Senza contare che la recente ricerca sembra suggerire che l'atteggiamento di uno degli attori principali del dialogo didattico, il docente, è tutt'altro che ostile nei confronti dell'approccio storico.

Al fine di indagare le motivazioni che inducono (o scoraggiano) la scelta di usare l'approccio storico nella didattica della fisica, tra il 2017 e il 2019 è stato sistematicamente somministrato un questionario in scala di Likert ai docenti che partecipano ai seminari di formazione in didattica della fisica organizzati dall'Università di Torino. Attraverso questo questionario anonimo, carta e matita, sono state indagate le idee dei docenti in tre aree: utilità dell'approccio storico; significato di tale approccio e autovalutazione del docente sulle proprie competenze. In un follow-up di questa ricerca è stato inoltre esplorato l'effettivo uso della storia della fisica attraverso un ulteriore questionario somministrato attraverso Google Form. La dimensione del campione è stata di 156

docenti, oltre 100 dei quali erano insegnanti di fisica della scuola secondaria delle province di Torino e Cuneo, una percentuale significativa, quindi, dell'universo dei docenti di fisica in tali province (Leone and Rinaudo 2020). Tale ricerca ha fatto emergere risultati interessanti, che autorizzano un certo grado di ottimismo in merito ai benefici di un più ampio ricorso alla storia della fisica in un contesto di *physics education*. Ad esempio, la maggioranza degli insegnanti interpellati ritiene che questioni quali la complessità della storia, la mancanza di competenze in metodologia della ricerca storica o la scarsità di tempo a disposizione del docente non cancellino i benefici dell'approccio storico. Inoltre, per gli insegnanti l'approccio storico ha più a che fare con l'evoluzione dei concetti e con il contesto storico che non i medaglioni biografici tipici di molti libri di testo. Sicuramente, quello della formazione del docente (*pre-service* e *in-service*) è un tema molto sentito dagli insegnanti. La gran parte di essi ritiene infatti di non aver ricevuto una preparazione adeguata in storia della fisica durante il corso di laurea e durante i corsi di specializzazione post-laurea. Il risultato di ciò è che solo una piccola percentuale degli insegnanti fornisce agli studenti documenti storici o realizza attività di laboratorio ispirate alle collezioni scolastiche di antichi strumenti scientifici.

#### **4. Linee di ricerca**

Quest'ultimo risultato, ovvero lo scarso uso da parte dei docenti di fonti storiche primarie (simboliche o materiali che siano), a fronte di una loro grande disponibilità a ricorrere al metodo storico, suggerisce di prestare particolare attenzione alle ricerche in letteratura che si concentrano sull'analisi di casi storiografici particolarmente pertinenti per la didattica della fisica (es. Matthews 2014, in particolare la Parte 1), sull'uso delle collezioni storico-scientifiche di scuole e università (es. Amoroso et al. 2019, Pantano and Talas 2010, Rinaudo et al. 2019), sui Musei della scienza come luoghi per favorire l'apprendimento informale (es. Falomo et al. 2014, Filippoupoliti and Koliopoulos 2014, Heering 2017), sull'uso dello storytelling (es. Hansson et al. 2020) e delle vignette storiche interattive (es. Wandersee and Roach 2005).

In particolare, il ricorso a casi storiografici “paradigmatici” risulta particolarmente utile sia per favorire l'apprendimento di contenuti che lo sviluppo di competenze (quali la capacità di difendere una tesi o un argomento). Case-studies storiografici possono anche servire per veicolare sinteticamente tratti distintivi della *Nature of Science* e per agire su aspetti motivazionali dell'apprendimento. Il *Rutherford experiment* si presta molto bene ad agire contemporaneamente su tutti gli aspetti sopra citati e rappresenta, quindi, un esempio di case-study particolarmente proficuo ed economico in chiave didattica (Leone, Robotti and Verna 2018).

#### **5. Il Rutherford experiment**

Il cosiddetto “esperimento di Rutherford” è spesso presentato nei manuali, nei libri di testo e sul web come origine dell'idea di nucleo atomico. Tuttavia, come vedremo, non fu

un singolo esperimento, non fu effettuato da Rutherford e non fu all'origine dell'idea di nucleo atomico! Inoltre, lo schema dell'apparato solitamente riprodotto nei libri di testo non trova riscontro nei resoconti sperimentali dell'epoca (si veda Fig. 1 in Leone, Robotti and Verna 2018). È per lo studente quindi possibile scoprire qualcosa sul *contenuto* della scienza e qualcosa sulla *natura* della scienza, attraverso il ricorso a ben specifiche fonti primarie relative a un momento cruciale nello sviluppo della fisica moderna.

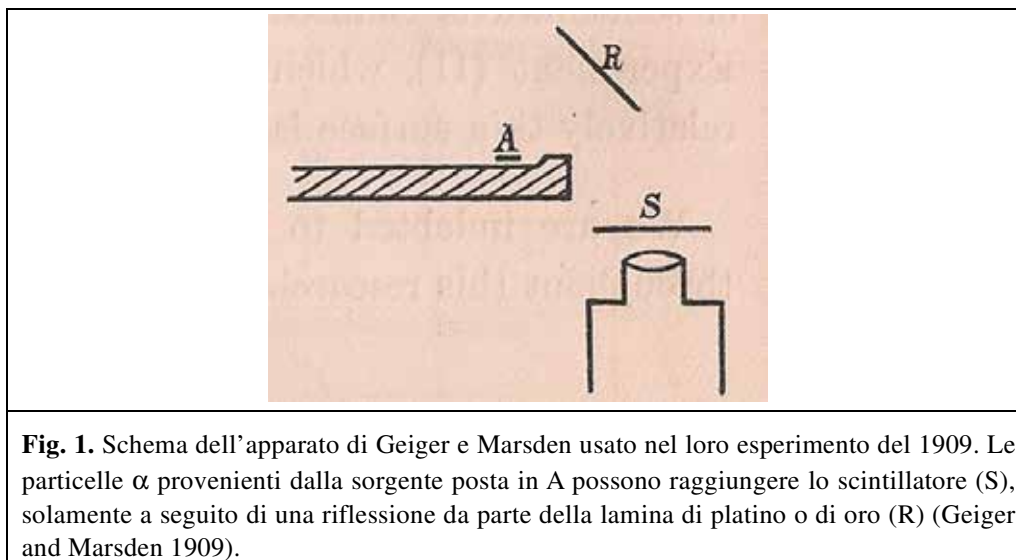
Il contesto dell'esperimento (o pseudo-tale) di Rutherford è quello della ricerca sulle interazioni tra le particelle  $\alpha$  e la materia. Nel 1906, dopo aver studiato diverse proprietà della radioattività naturale,<sup>1</sup> Rutherford orientò il suo programma di ricerca verso lo studio dell'interazione tra particelle  $\alpha$  e materia attraverso un metodo fotografico, scoprendo così – in quello che correttamente potremmo definire il “vero” esperimento di Rutherford – che quando le particelle  $\alpha$  attraversano la materia, alcune di esse sono deflesse dalla loro direzione di moto originale e subiscono un processo di *scattering*. Attraverso un apparato nel quale era possibile produrre il vuoto, e nel quale erano presenti una sorgente  $\alpha$ , una fenditura per collimare il fascio e un sensore costituito da una lastra fotografica, Rutherford scoprì che l'immagine della fenditura era «definita» se l'esperimento veniva realizzato nel vuoto, mentre era «sfumata» se l'esperimento era condotto in aria. Per Rutherford, «il maggiore spessore e la mancanza di definizione [dell'immagine] in aria, evidenziano l'indubbio *scattering* dei raggi [ $\alpha$ ] nel loro passaggio attraverso l'aria». Dopo questo esperimento, che per la prima volta provava l'esistenza dello *scattering* delle particelle  $\alpha$ , Rutherford non lavorò più sperimentalmente in prima persona a questo tema, continuando, tuttavia, a occuparsi della natura e delle proprietà delle particelle  $\alpha$ .

Due anni dopo, nel 1908, Hans Geiger, collaboratore di Rutherford, misurò l'ampiezza di tale fenomeno di *scattering* attraverso un diverso metodo, assai più preciso, quello della *scintillazione*. Tale metodo si basava sull'effetto, scoperto nel 1903 da Crookes e da Elster e Geitel, in base al quale l'esposizione ai raggi  $\alpha$  di un piccolo cristallo di solfuro di zinco (ZnS) provocava la momentanea produzione di piccole scintillazioni luminose, sulla superficie del cristallo, osservabili con una lente d'ingrandimento o un microscopio. Il conteggio di tali scintillazioni dava una diretta, e piuttosto precisa, informazione sul numero di particelle  $\alpha$  incidenti sul cristallo. Nell'esperimento del 1908, dove le particelle  $\alpha$  erano prodotte da una sorgente di *emanazione di radio* (ovvero, gas radon), Geiger misurava la distribuzione delle scintillazioni sullo schermo di ZnS, ovvero il numero di scintillazioni al minuto in funzione della distanza dal centro dello schermo, posto frontalmente rispetto a una fenditura collocata tra sorgente e schermo, a 54 cm da quest'ultimo. Geiger condusse l'esperimento sia nel vuoto, sia introducendo una o due lamine d'oro davanti alla fenditura e, così fa-

---

<sup>1</sup> Nel 1898, Rutherford aveva scoperto che la radiazione emessa dall'Uranio è costituita da «almeno due tipi distinti di radiazione»: «una che è assorbita molto facilmente, che per convenienza denomineremo radiazione  $\alpha$ , e l'altra di carattere più penetrante, che chiameremo radiazione  $\beta$ ». L'anno successivo Rutherford dimostrò che la radiazione  $\beta$  è costituita da elettroni. Per quanto riguarda la radiazione  $\alpha$ , nel 1903-1904 egli scoprì che le particelle  $\alpha$  sono particelle cariche positivamente, molto veloci (circa  $2,5 \cdot 10^9$  cm/s) e molto pesanti (il rapporto carica/massa fu stimato essere di  $6 \cdot 10^3$  u.e.m., ovvero quasi la metà del rapporto carica/massa di  $H^+$ ).

cendo, trovò «evidenza diretta del fatto che vi è uno *scattering* molto marcato dei raggi  $\alpha$  nel loro passaggio attraverso la materia», che talvolta si manifestava sotto forma di «deflessione di angolo molto apprezzabile». Tale angolo di deflessione, che aumentava all'aumentare del numero di lamine d'oro interposte, era comunque relativamente piccolo, corrispondendo a uno spostamento laterale di pochi mm rispetto a una distanza schermo-fenditura di 54 cm.



Un risultato «sorprendente» veniva ottenuto l'anno successivo, nel 1909, dallo stesso Geiger in collaborazione con Ernest Marsden, giovane laureando di Rutherford. Geiger e Marsden si ponevano una domanda apparentemente controintuitiva, alla luce dei comunque limitati angoli di *scattering* rilevati l'anno precedente: le particelle  $\alpha$  potrebbero riemergere dallo stesso lato della lamina (ad esempio d'oro) su cui collidono? Per quanto sorprendente, la domanda traeva ispirazione da un effetto simile da poco osservato sperimentalmente nel caso delle particelle  $\beta$ . Naturalmente, trattandosi in questo caso di particelle leggere di natura elettronica, l'effetto osservato poteva essere in qualche misura comprensibile. Ciò, tuttavia, non scoraggiò Geiger e Marsden dal loro tentativo di osservare un effetto simile con le, assai più pesanti, particelle  $\alpha$ . La loro audacia fu premiata dal momento che Geiger e Marsden trovarono «evidenza conclusiva dell'esistenza di una diffusa riflessione delle particelle  $\alpha$ ». L'esperimento del 1909 era costruito in modo tale da consentire l'arrivo sullo schermo di ZnS esclusivamente di particelle  $\alpha$  eventualmente retro-diffuse da una lamina di platino o di oro, opportunamente orientata (Fig. 1). Scrivevano Geiger e Marsden:

Di tutte le particelle  $\alpha$  incidenti, circa una su 8000 veniva riflessa [...]. Se si considerano le elevate velocità e massa delle particelle  $\alpha$ , è sorprendente che alcune di tali particelle, come mostra l'esperimento, possano essere deviate di  $90^\circ$  o anche più da uno strato di appena  $6 \cdot 10^{-5}$  cm d'oro (Geiger and Marsden 1909).

Molti anni dopo, nel 1936, Rutherford commenterà a questo proposito, in una conferenza a Cambridge:

Era l'evento più incredibile che sia mai capitato nella mia vita. Era quasi incredibile come sparare un pezzo d'artiglieria da 15 pollici su un foglio di carta velina e scoprire che questo proiettile rimbalzava indietro e ti colpiva (Rutherford 1938).

L'incredibilità del risultato ottenuto da Geiger e Marsden fu quantificata l'anno dopo (1910), a seguito di un nuovo esperimento di Geiger, finalizzato alla misura dell'angolo di *scattering* più probabile attraverso l'utilizzo di una sorgente  $\alpha$  più omogenea delle precedenti (invece dell'emanazione di radio si utilizzò il «Radio-C», come all'epoca veniva denominato un prodotto di decadimento del radon) e avente lo scopo di interpretare il risultato di Geiger e Marsden, ovvero la retro-diffusione di una particella  $\alpha$  su 8000 da parte di una lamina d'oro di spessore equivalente a 5 mm d'aria. Geiger trovava che *l'angolo di deflessione più probabile per uno spessore di 5 mm d'aria era pari a 1° circa* e che per piccoli spessori l'angolo di *scattering* è proporzionale alla radice quadrata dello spessore. Se questo esperimento corroborava per i piccoli angoli l'ipotesi standard dello *scattering* multiplo (ovvero l'idea che lo *scattering* di un fascio di particelle attraverso una lamina metallica sottile sia dovuto a molti piccoli *scattering* dovuti a ciascuno degli atomi attraversati), tuttavia dimostrava che *lo scattering multiplo è incompatibile col risultato ottenuto da Geiger e Marsden*: la probabilità che una particella  $\alpha$  su 8000 sia deflessa di un angolo maggiore di  $90^\circ$  è «incredibilmente piccola» ( $8 \cdot 10^{-40}$ ). Un differente meccanismo di *scattering* si rendeva necessario ma, scrivevano Geiger e Marsden, «al momento non sembra opportuno discutere l'ipotesi che potrebbe essere fatta per spiegare questa differenza».

Sarà solo nel 1911 che i pezzi andranno al loro posto grazie alla teoria di Rutherford del nucleo atomico. Scriveva Rutherford:

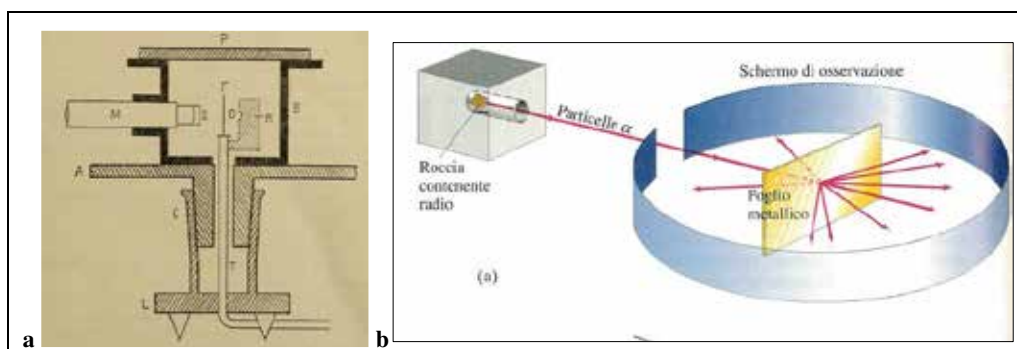
Sembra ragionevole supporre che la deflessione a grande angolo sia dovuta a un singolo incontro atomico, poiché la probabilità che un secondo incontro di un tipo tale da produrre una grande deflessione deve essere, nella maggior parte dei casi, estremamente piccola. Un semplice calcolo mostra che l'atomo deve essere sede di un intenso campo elettrico per produrre una deflessione così ampia a seguito di un singolo incontro (Rutherford 1911).

Rutherford propone quindi il suo ben noto modello di atomo con carica positiva concentrata in un nucleo centrale di piccolissime dimensioni (dell'ordine di  $10^{-12}$  cm) e arriva a prevedere teoricamente che il numero delle particelle  $\alpha$  diffuse di un angolo  $\Phi$  rispetto alla direzione originale sia proporzionale a  $\text{cosec}^4(\Phi/2)$ .

La conferma sperimentale della bontà della teoria di Rutherford ha luogo tra il 1911 e il 1913 attraverso i test sperimentali condotti da Geiger e da Geiger e Marsden, mediante un apparato (Fig. 2a) per certi versi simile a quello dei manuali (Fig. 2b). Tuttavia, le differenze tra l'apparato di Geiger e Marsden e quello dell'«esperimento di Rutherford» dei manuali sono macroscopiche e a più livelli. In particolare, l'esperimento di Rutherford dei manuali *fonde*, come visto, i risultati di esperimenti



precedenti in un unico esperimento cruciale mai avvenuto; *confonde* la scoperta della retro-diffusione (Geiger and Marsden 1909), con la corroborazione sperimentale della legge  $\cos^4(\Phi/2)$  (Geiger and Marsden, 1911-1913); e, infine, *inventa* un apparato storicamente inesistente costituito da un sensore circolare fisso (Fig. 2b) invece che da una piattaforma rotante A attorno alla lamina F (Fig. 2a).



**Fig. 2a** Schema dell'apparato usato da Geiger e Marsden nel 1913 per verificare sperimentalmente la teoria di Rutherford (Geiger and Marsden 1913).

**Fig. 2b.** Uno degli innumerevoli schemi riportati nei manuali e sul web relativi al presunto «esperimento di Rutherford» (Leone, Robotti and Verna 2018, Fig. 1).

In conclusione, la consueta pratica, tipica dei manuali, di ridurre la storia sopra brevemente riassunta, a un presunto «esperimento di Rutherford» presenta tutta una serie di implicazioni negative. In primo luogo, estraendo un esperimento dal contesto e trascurando le sue origini, questo approccio non contribuisce a una comprensione più completa della fisica. In realtà, questa pratica cancella sette anni di storia intorno a una svolta epocale della fisica, quella che portò all'ipotesi di un nucleo atomico. In secondo luogo, questa pratica banalizza il rapporto tra teoria ed esperimento, dando così un'immagine distorta della *Nature of Science*. Infine, attraverso un ritratto caricaturale, come quello dell'esperimento di Rutherford (e come altri presenti nella fisica dei manuali e del web), la didattica della fisica perde una buona occasione per mostrare agli studenti che il percorso della fisica non è sempre semplice e lineare.

## Bibliografia

- Amoroso A., Leone M, Marocchi D., Rinaudo M. (2019). *The dust catcher: discovering the educational value of the historical-scientific heritage*, in McLoughlin E., van Kampen P. (eds), *Concepts, Strategies and Models to Enhance Physics Teaching and Learning*. Cham: Springer, pp. 229-238.
- Bevilacqua F., Giannetto E., Matthews M.R. (eds.) (2001). *Science Education and Culture. The Contribution of History and Philosophy of Science*. Dordrecht: Springer.

- Bruneau O., Heering P., Grapí P., Laubé S., Massa-Esteve M.R., de Vittori T. (eds.) (2012). *Innovative Methods for Science Education: History of Science, ICT and Inquiry Based Science Teaching*. Berlin: Frank & Timme.
- Falomo Bernarduzzi L., Albanesi G., Bevilacqua F. (2014). "Museum Heroes All: The Pavia Approach to School-Science Museum Interaction". *Science & Education*, 23, 762.
- Filippopoliti A, Koliopoulos D. (2014). "Informal and Non-formal Education: An Outline of History of Science in Museums". *Science & Education*, 23, 781.
- Geiger H. and Marsden E. (1913). "The laws of deflexion of  $\alpha$  particles through large angles". *Phil. Mag.*, 25, 604.
- Geiger H., Marsden E. (1909). "On a diffuse reflection of the  $\alpha$ -particles". *Proc. R. Soc.*, A 82, 495.
- Hansson L., Arvidsson Å., Heering P., Pendrill A.M. (2019). "Rutherford visits middle school: a case study on how teachers direct attention to the nature of science through a storytelling approach". *Physics Education*, 54(4), 045002.
- Heering P. (2017). "Science Museums and Science Education". *Isis* 108, 399.
- Höttecke D., Silva C. (2011). "Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: An analysis of obstacles". *Science & Education* 20, 293.
- Leone M., Rinaudo M. (2020). "Should the history of physics be rated X? A survey of physics teachers' expectations". *Physics Education*, 55(3), 035013.
- Leone M., Robotti N., Verna G. (2018). "'Rutherford's experiment' on alpha particles scattering: the experiment that never was". *Physics Education*, 53(3), 035003.
- Matthews M.R. (2015). *Science Teaching: The Contribution of History and Philosophy of Science*. 2nd edn. New York: Routledge.
- Matthews M.R. (ed.) (2014). *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht: Springer.
- Miur (2010). DM 7 ottobre 2010, n. 211. Allegato F. GU Serie Generale n.291 del 14-12-2010 - Suppl. Ordinario n. 275.
- Miur (2017). Allegato al DM 10 agosto 2017 n. 616.
- Pantano O., Talas S. (2010). "Physics thematic paths: laboratorial activities and historical scientific instruments". *Physics Education*, 45, 140.
- Persico E. (1962). "Storia della Fisica". *Giornale di Fisica*, 3, 85.
- Rinaudo M., Leone M., Marocchi D., Amoroso A. (2019). "The educational role of a scientific museum: a case study". *Journal of Physics: Conf. Series*, 1287, 012050.
- Rutherford E. (1911). "The scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  particles and the structure of the atom". *Phil. Mag.*, 21, 669.
- Rutherford E. (1938). *The development of the theory of atomic structure*, in Needham J, Pagel W. (eds), *Background to modern science. The Lectures at Cambridge arranged by the History of Science Committee 1936*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 68.
- Wandersee J.H., Roach L.M. (2005). *Interactive historical vignettes*, in Mintzes J.J., Wandersee J.H., Novak J.D. (eds), *Teaching science for understanding*. Burlington, MA: Elsevier, pp. 281-306.