

LA GIOIA DELLA FISICA QUANTISTICA

E L'ANGOSCIA DELLA SUA PRESENTAZIONE A SCUOLA

Marco Giliberti

Dipartimento di Fisica

Università degli Studi di Milano

Perché insegnare fisica a scuola?
Perché insegnare fisica moderna?

Per quali scopi?

Con quali
contenuti?

Con quale
approccio?

Quali possono essere i rapporti con le indicazioni ministeriali?
Con i manuali scolastici?
Tra la ricerca in didattica della fisica e la prassi scolastica?

ORGANIZZAZIONE DEL POMERIGGIO

Questo incontro è un prologo

Perché studiare
fisica

Come insegniamo
fisica classica

Come insegniamo
fisica moderna

**ESEMPI CONCRETI DI COSA FACCIAMO
E DI CHE COSA POTREMMO FARE**

Indicazioni sperimentali



leggi ricavate per induzione dai fenomeni

IL MONDO È FATTO DA PUNTI MATERIALI DOTATI DI MASSA

+

PRINCIPI DELLA DINAMICA

Abbiamo una teoria quadro che *si ipotizza* valga per descrivere ogni fenomeno

I **concetti** che andiamo a costruire (per esempio quello di forza) sono **coerenti con i principi** assunti

- Le forze non permangono nei corpi
- Vale $F=ma$
- Le forze vanno sempre a coppie (III principio)

Le altre interpretazioni storiche (vortici di Cartesio, teoria dell'impetus ecc.), se presentate, **sono viste come concezioni da superare e sono di fatto superate nell'insegnamento**

Indicazioni sperimentali

→

leggi ricavate per induzione dai fenomeni

IL MONDO È FATTO DA SISTEMI ESTESI

+

PRINCIPI DELLA TERMODINAMICA

- Abbiamo una teoria che riguarda le trasformazioni di lavoro in calore e viceversa
- Con la termodinamica statistica pensiamo di poter ricondurre tutto alla meccanica
- È una teoria universale in quanto calore e lavoro sono onnipresenti

I **concetti** che andiamo a costruire (per esempio quello di calore) sono **coerenti con i principi** assunti.

- Il calore non è un fluido
- Vale il I principio
- Vale il secondo principio

Le altre interpretazioni storiche (per esempio quelle basate sul calorico) **se presentate, sono viste come concezioni da superare e sono di fatto superate nell'insegnamento**

Indicazioni sperimentali



leggi ricavate per induzione dai fenomeni

LE CARICHE ELETTRICHE E LE CORRENTI INTERAGISCONO TRAMITE FORZE RICONDUCIBILI A
CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI
+
EQUAZIONI DI MAXWELL

Abbiamo una teoria che riguarda le forze elettriche e magnetiche

I **concetti** che andiamo a costruire (per esempio quello di campo magnetico) sono **coerenti con i principi** assunti.

- Valgono le 4 equazioni di Maxwell

Le altre interpretazioni storiche (per esempio quelle di Ampère sulle forze magnetiche di tipo «newtoniano») **non sono di solito presentate**

ALLO STESSO MODO INSEGNAMO

fluidodinamica

acustica

ottica

ecc...

Indicazioni sperimentali → **modelli specifici** per spiegare singoli fenomeni

IL MONDO È FATTO DA QUANTI

+

DUALISMO ONDA CORPUSCOLO / PRINCIPIO DI INDETERMINAZIONE

NON Abbiamo una teoria quadro, ma soltanto idee che tentiamo di connettere o diversificare da quelle della fisica classica

I concetti che andiamo a costruire NON sono coerenti con i principi assunti.

Le interpretazioni storiche (spettro di corpo nero, effetto fotoelettrico, effetto Compton, atomo di Thomson, atomo di Bohr, atomo di De Broglie) **sono presentate e mai di fatto superate nell'insegnamento**

Si insiste sugli aspetti paradossali e non si costruiscono leggi

In questa maniera NON si può capire. NON si costruisce coerenza

Es. In assenza di leggi della dinamica, che cosa aveva capito Cartesio delle maree?

Per una buona didattica bisognerebbe:

1. AVER SISTEMATO GLI ASPETTI CONCETTUALI
2. OPERARE UNA RICOSTRUZIONE DIDATTICA DEI CONCETTI MANTENUTI
3. UTILIZZARE UNA EFFICACE METODOLOGIA DIDATTICA «CERTIFICATA» DALLA RICERCA

Peggio ancora:

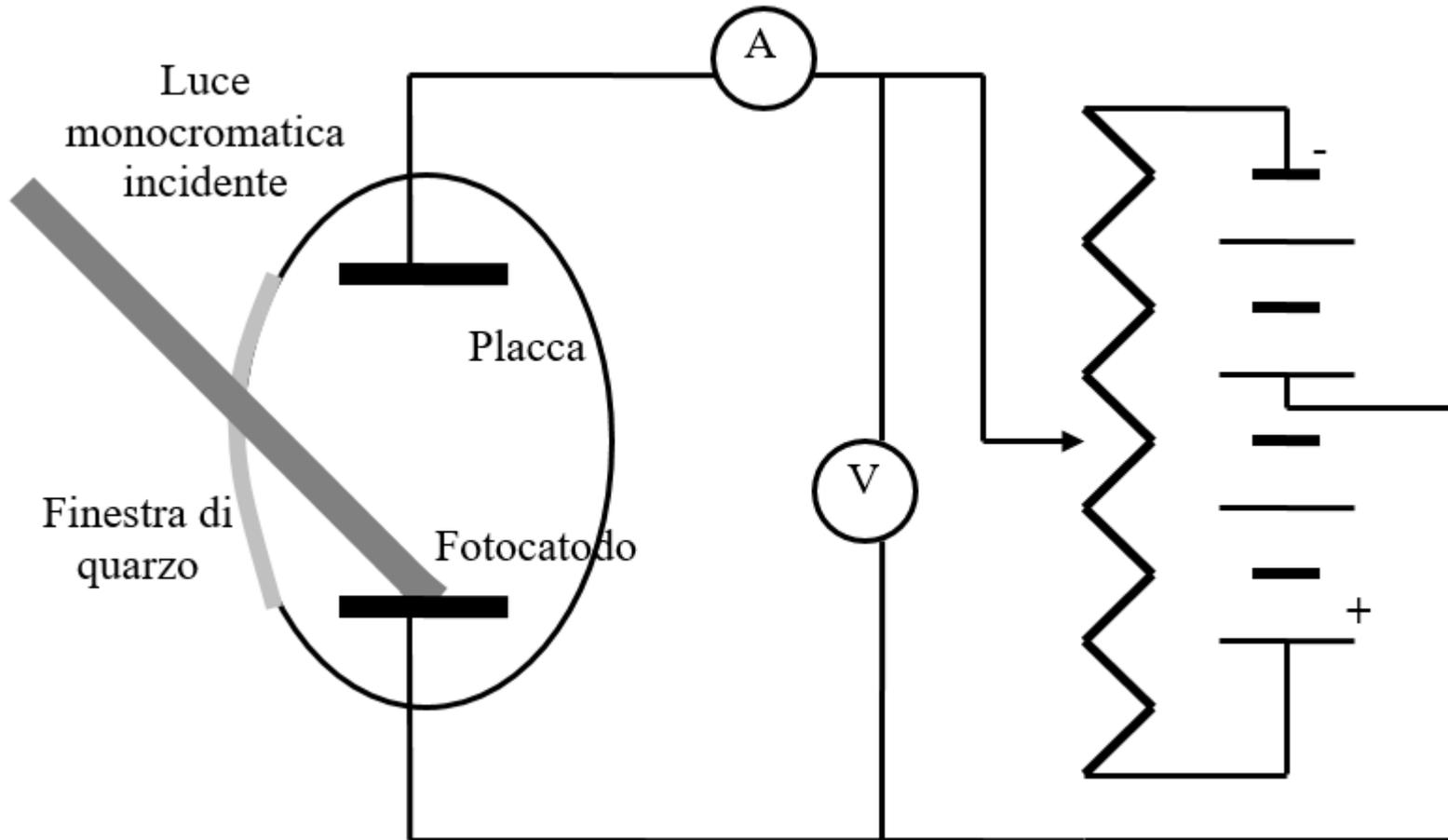
- NON FACCIAMO NIENTE DI CARTESIANO OGGETTO SOPRA
- SIAMO INCOERENTI E CONTRADDITTORI NELLA PRESENTAZIONE DEI MODELLI.

È COME SE:

- IN MECCANICA parliamo solo della teoria dell'impetus e dei vortici di Cartesio
- IN TERMODINAMICA discutessimo solo del calorico
- Lo faremo in un modo contraddittorio

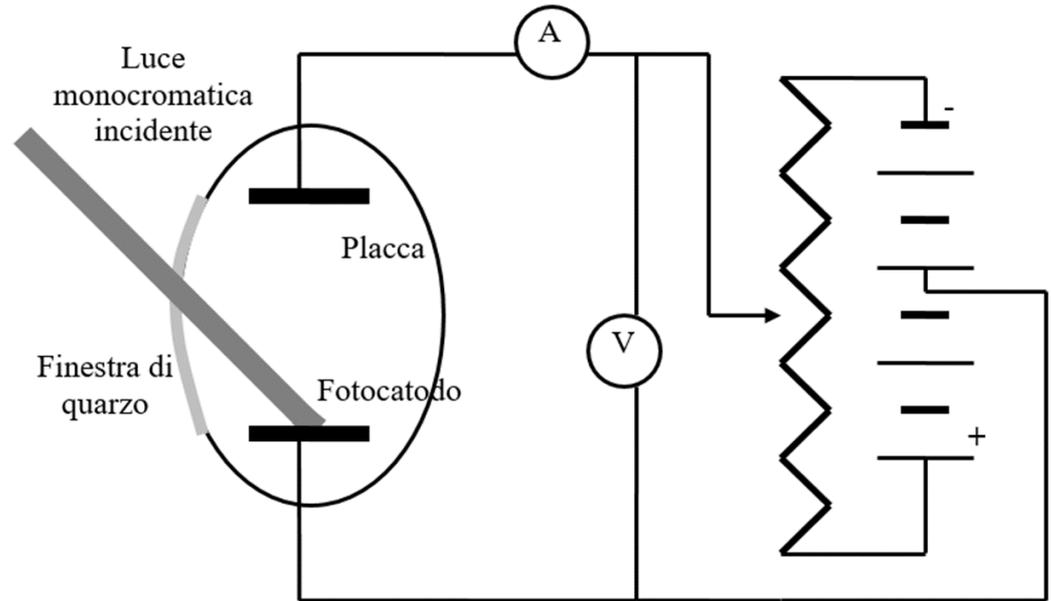
E NON CE NE ACCORGIAMO NEPPURE!

UN PROBLEMA DI COERENZA: EFFETTO FOTOELETTRICO



1) Per ogni metallo esiste una frequenza caratteristica ν_0 detta frequenza di soglia, tale che, qualunque sia l'intensità luminosa I , se la radiazione incidente ha frequenza $\nu < \nu_0$ l'emissione fotoelettrica non avviene.

2) Esiste una differenza di potenziale frenante V_a negativa, detta potenziale di arresto, tale che per differenze di potenziale $\Delta V < V_a$ non si misura alcuna corrente nell'amperometro, mentre per differenze di potenziale $\Delta V > V_a$ si misura una corrente di placca che aumenta fino a raggiungere un valore costante che risulta indipendente da V .



3) L'intensità di corrente i è proporzionale all'intensità luminosa I

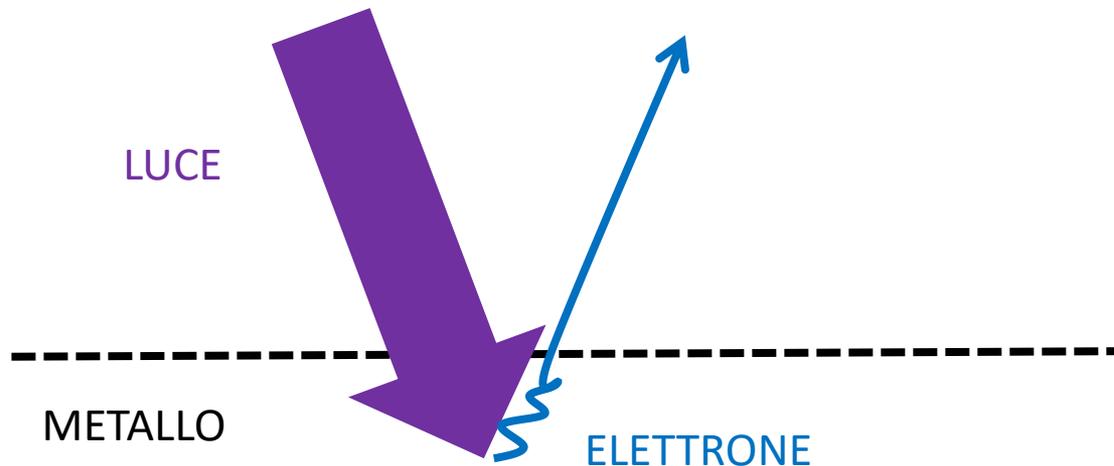
4) L'emissione di elettroni è praticamente immediata qualunque sia l'intensità della luce incidente (il tempo di emissione è $\approx 10^{-9}$ s anche per I molto basse).

Se ci si rifà all'idea che la luce scambi quanti di energia di intensità $h\nu$ con quanti della materia elettronica, è possibile spiegare l'emissione fotoelettrica nel seguente modo. I quanti di energia [chiamiamoli fotoni] vengono ceduti agli elettroni. La situazione più semplice si ha se un quanto di luce cede tutta la sua energia a un singolo elettrone; supporremo proprio questo, senza peraltro escludere che certi elettroni assorbano solo in parte l'energia dei quanti di luce. L'energia di un elettrone sarà, quindi la somma dell'energia di legame $-W_0$, che lo confina nel metallo e dell'energia fornitagli da un fotone.

L'energia cinetica massima di ciascuno dei quanti della materia elettronica che fuoriescono dal metallo sarà, quindi:

$$E_{c,max} = h\nu - W_0$$

A. Einstein (o quasi...)



PROBLEMA DI COERENZA CON LE LEGGI DELL'URTO STUDIATE PRECEDENTEMENTE

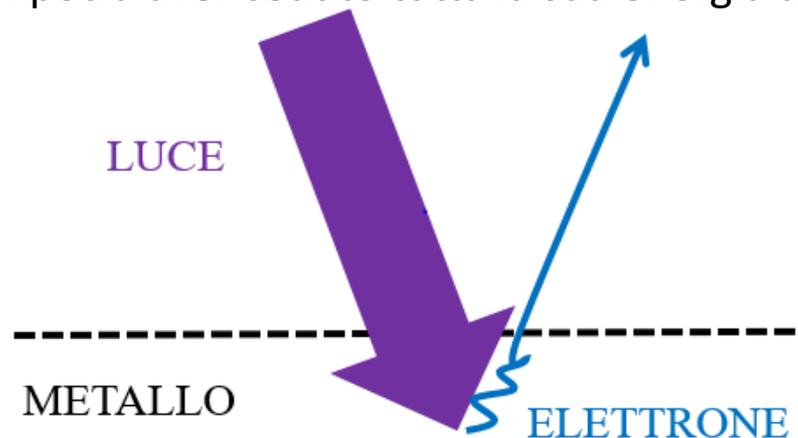
Nell'urto elettrone-fotone, l'energia si conserva, ma la quantità di moto?

Nell'ipotesi che l'elettrone abbia inizialmente energia cinetica zero, per semplicità e in riferimento alla figura, possiamo supporre che la quantità di moto iniziale sia verso il basso.

Quella finale (cioè quella dopo che l'elettrone ha mangiato il fotone) è verso l'alto. Chi trasporterà quantità di moto sufficiente verso il basso, in maniera che essa si conservi?

Beh: la lastra metallica!

Ma se la lastra metallica si muove in maniera da conservare la quantità di moto allora dovrà avere energia cinetica, e questa energia sarà presa da quella dal fotone incidente che, perciò non potrà aver ceduto tutta la sua energia all'elettrone...



RIPRISTINIAMO LA COERENZA

Il problema si risolve pensando a quanto più grande sia la massa della lastra rispetto a quella dell'elettrone. Infatti,

supponiamo che il fotone inizialmente abbia quantità di moto verso il basso.

Essa varrà $p = h\nu/c$

Se l'elettrone assorbe tutta l'energia del fotone uscirà con un'energia cinetica che, al massimo, varrà $h\nu$ e, quindi con una quantità di moto massima (diretta però verso l'alto)

$$p_e = \sqrt{2m h\nu}$$

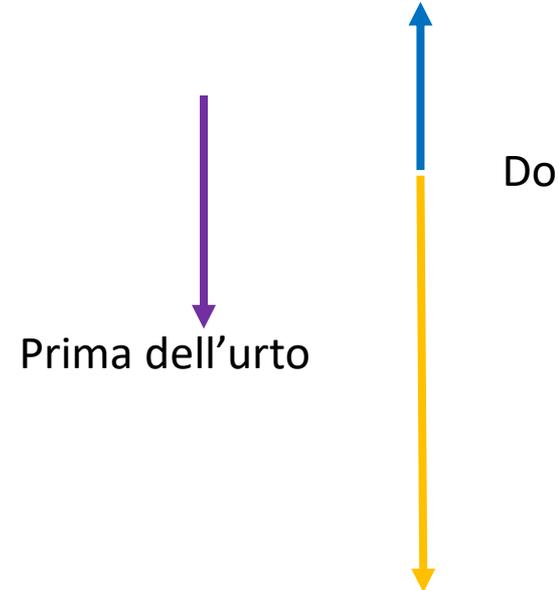
La lastra dovrà allora «portarsi via» una quantità di moto

$$p_{lastra} = p + p_e$$

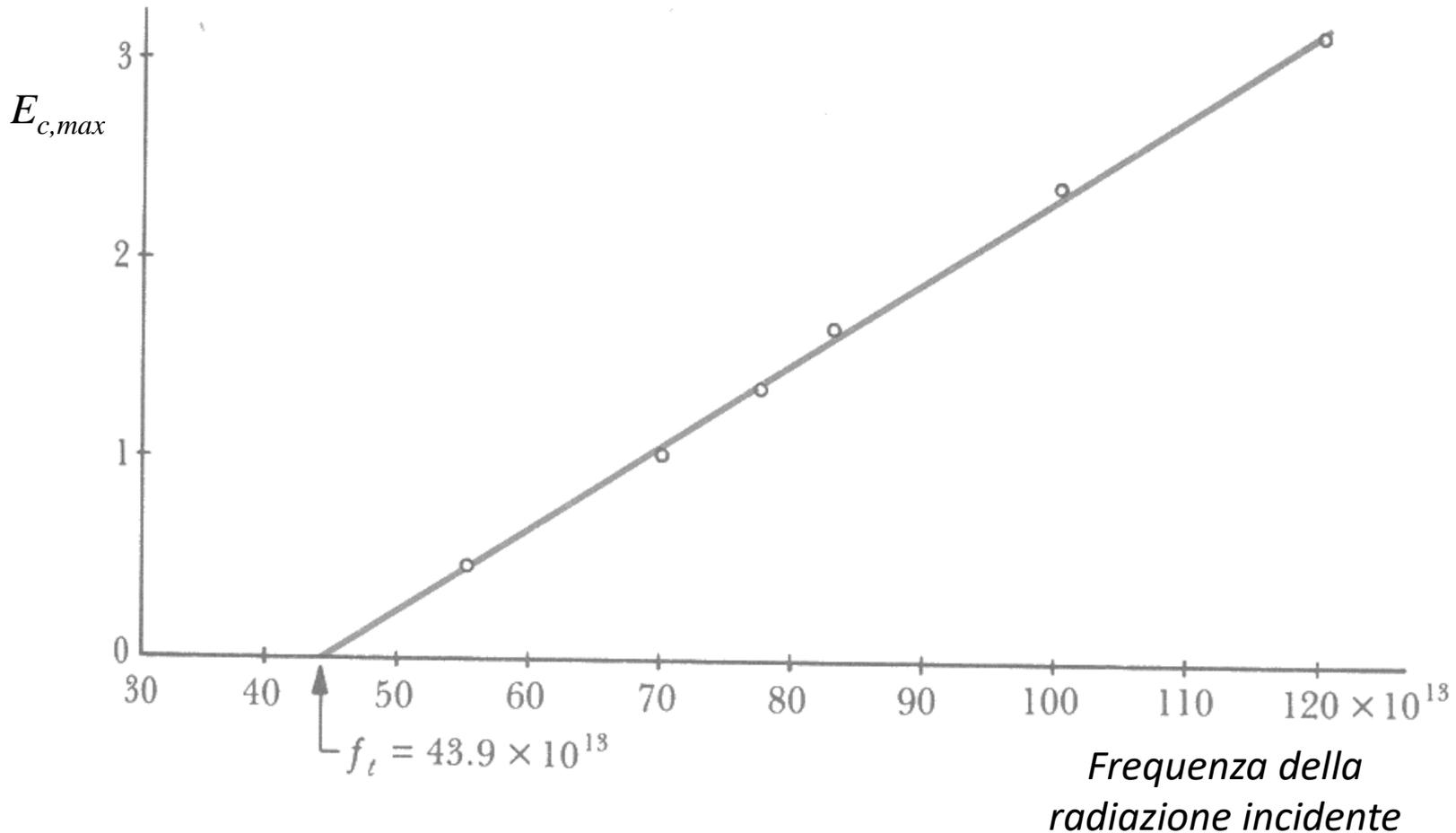
e avrà, quindi, una energia

$$E = 1/2 p_{lastra} v_{lastra}$$

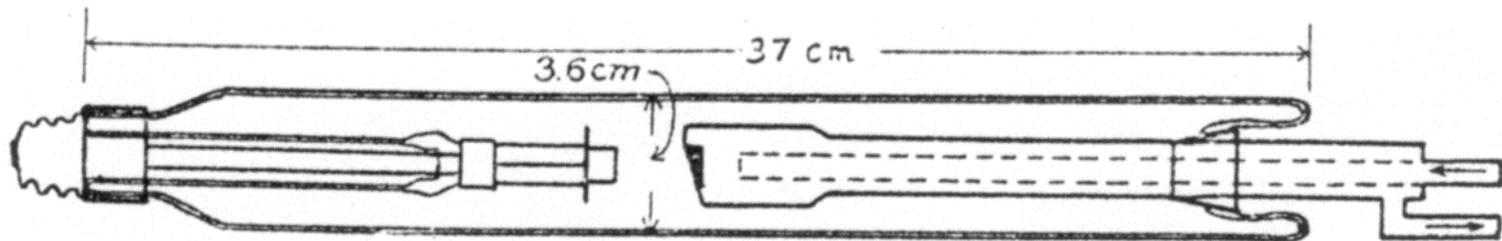
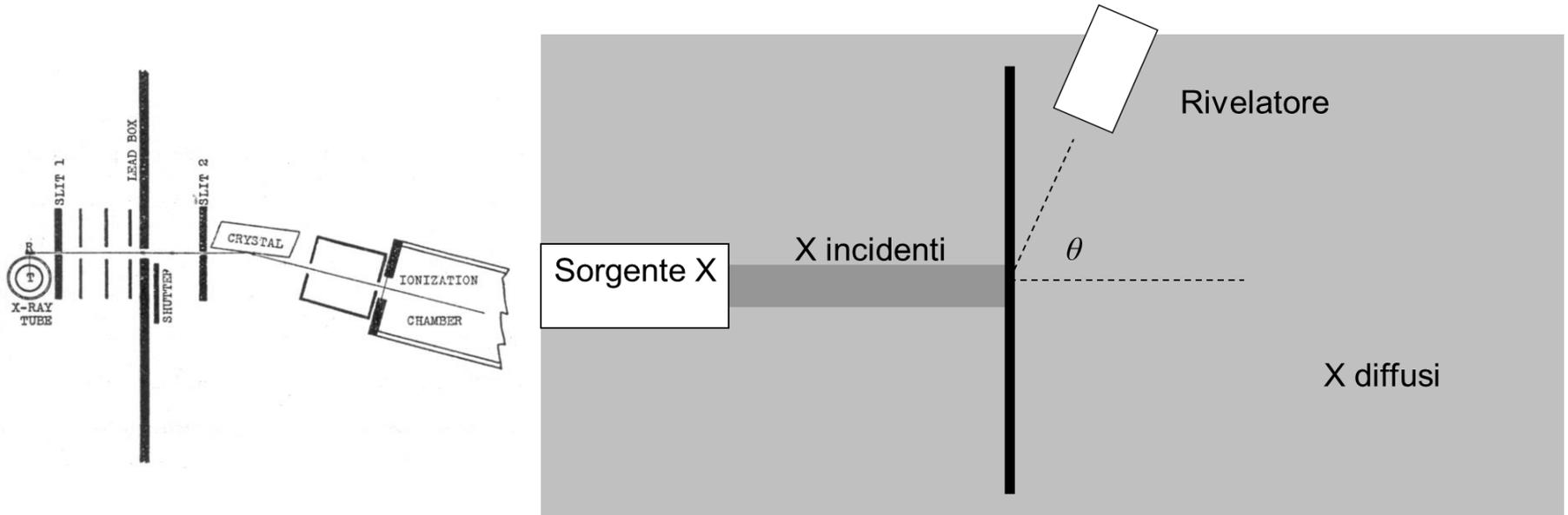
Si capisce allora che, essendo p_{lastra} una quantità finita, perché E sia zero (o infinitesima) basta che $v_{lastra} = p_{lastra}/m_{lastra}$ sia zero, e ciò accadrà se la massa della lastrina di metallo si potrà considerare molto grande (diciamo \gg si quella dell'elettrone), cosa che in pratica risulta vera.

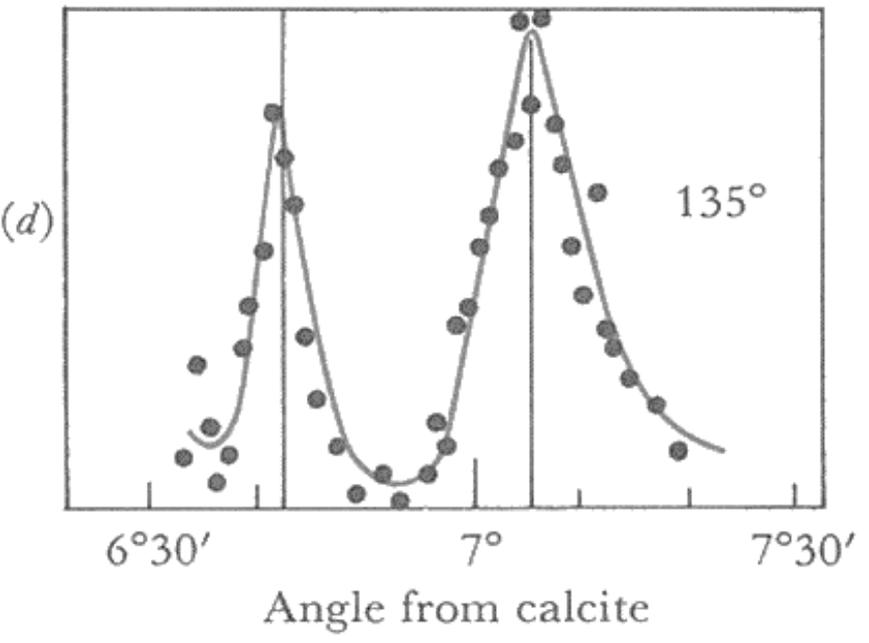
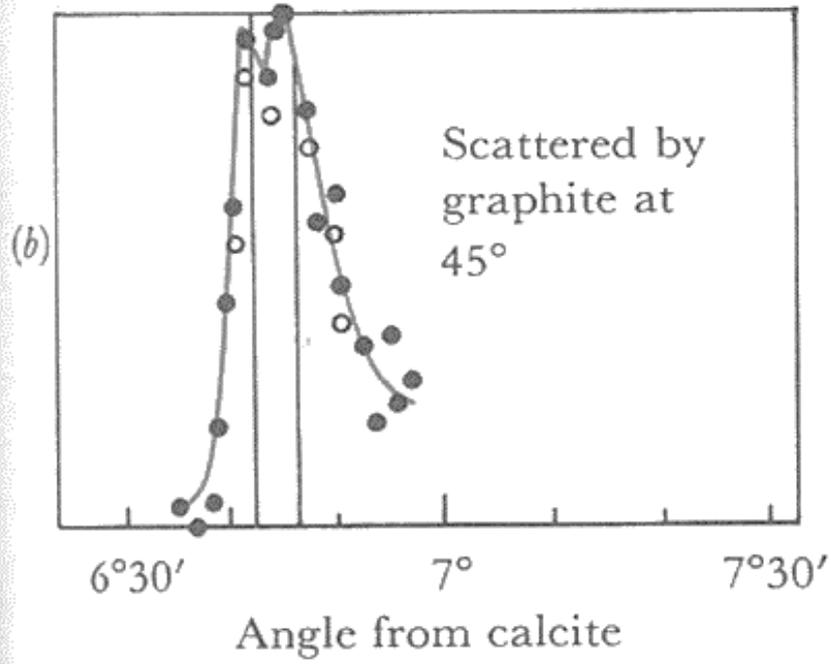
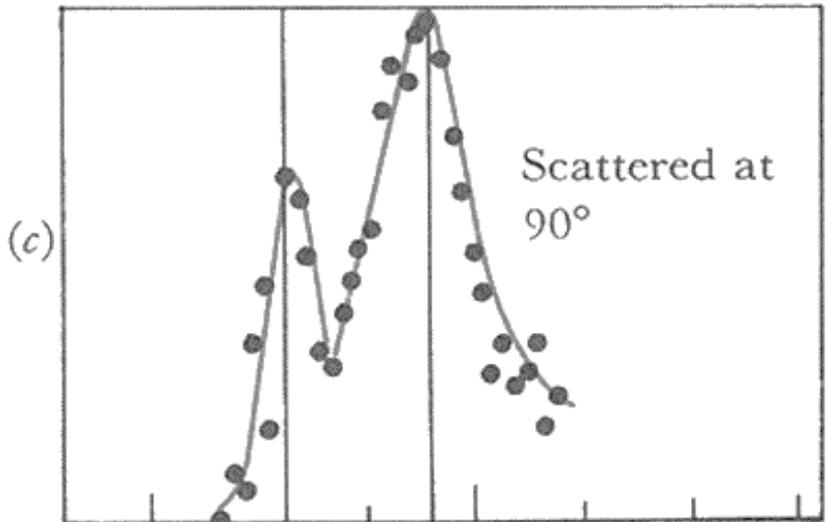
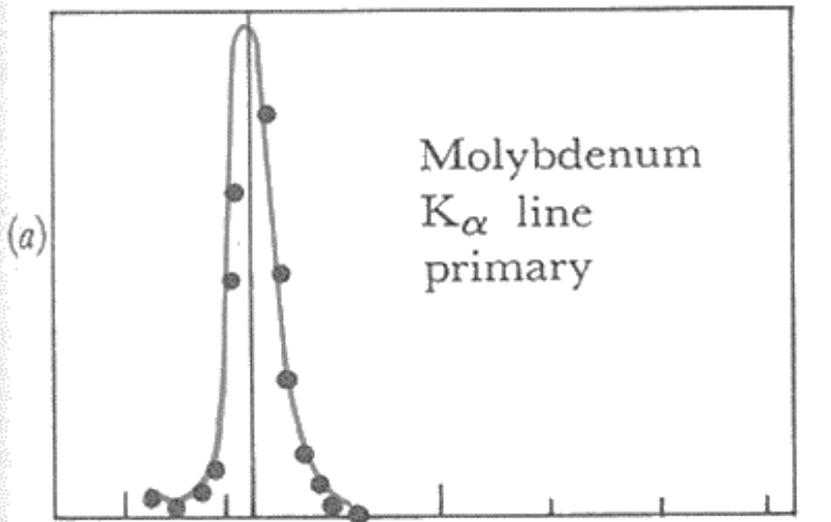


IL RISULTATO SPERIMENTALE (MILLIKAN) PREVISIONE DI EINSTEIN CONFERMATA



UN ALTRO PROBLEMA DI COERENZA: EFFETTO COMPTON





L'usuale presentazione scolastica dell'effetto Compton è sostanzialmente identica a quella dell'effetto fotoelettrico: della radiazione elettromagnetica incide su una lastrina (per esempio di carbonio).

Ma allora la domanda è: **perché non accade come nell'effetto fotoelettrico che un elettrone «si mangia» un fotone con il rinculo della lastra?**

Il motivo sta proprio nel fatto che nell'effetto Compton la radiazione è formata da raggi X, i cui fotoni hanno energie $> 10^4$ eV (cioè circa 10^4 volte l'energia dei fotoni della radiazione visibile).

Nell'urto con fotoni a energia così elevate, gli elettroni della lastrina si possono considerare praticamente liberi, come se non fossero legati. E i principi di conservazione dell'energia e della quantità di moto impediscono che un elettrone libero acquisti interamente l'energia del fotone.

La dimostrazione di questo fatto (non la riporto in questa sede) è semplicissima, si può fare sia utilizzando la meccanica classica o quella relativistica, a piacere dell'insegnante, e può senz'altro essere fatto in una quinta superiore.

Ecco perché il fotone viene diffuso. Il resto è ben noto...

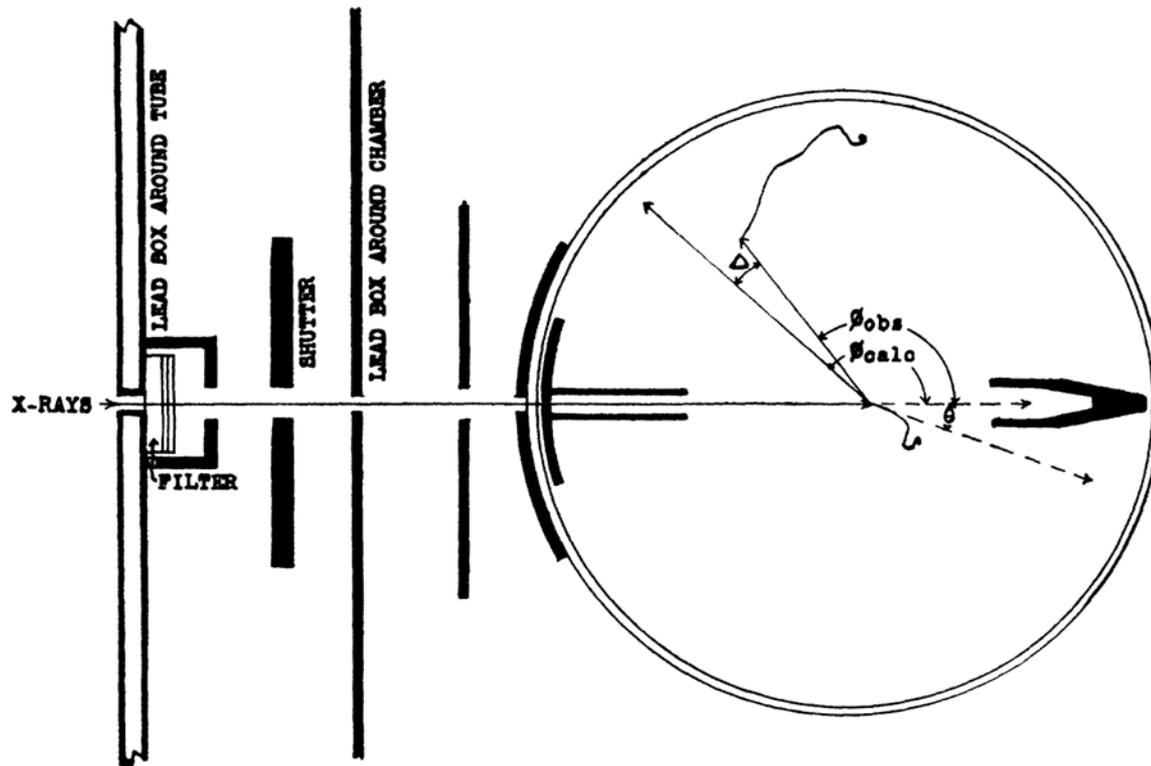


Fig. 1. Diagram of apparatus. On the hypothesis of radiation quanta, if a recoil electron is ejected at an angle θ , the scattered quantum must proceed in a definite direction ϕ_{calc} . In support of this view, many secondary β -ray tracks are found at angles ϕ_{obs} for which Δ is small.

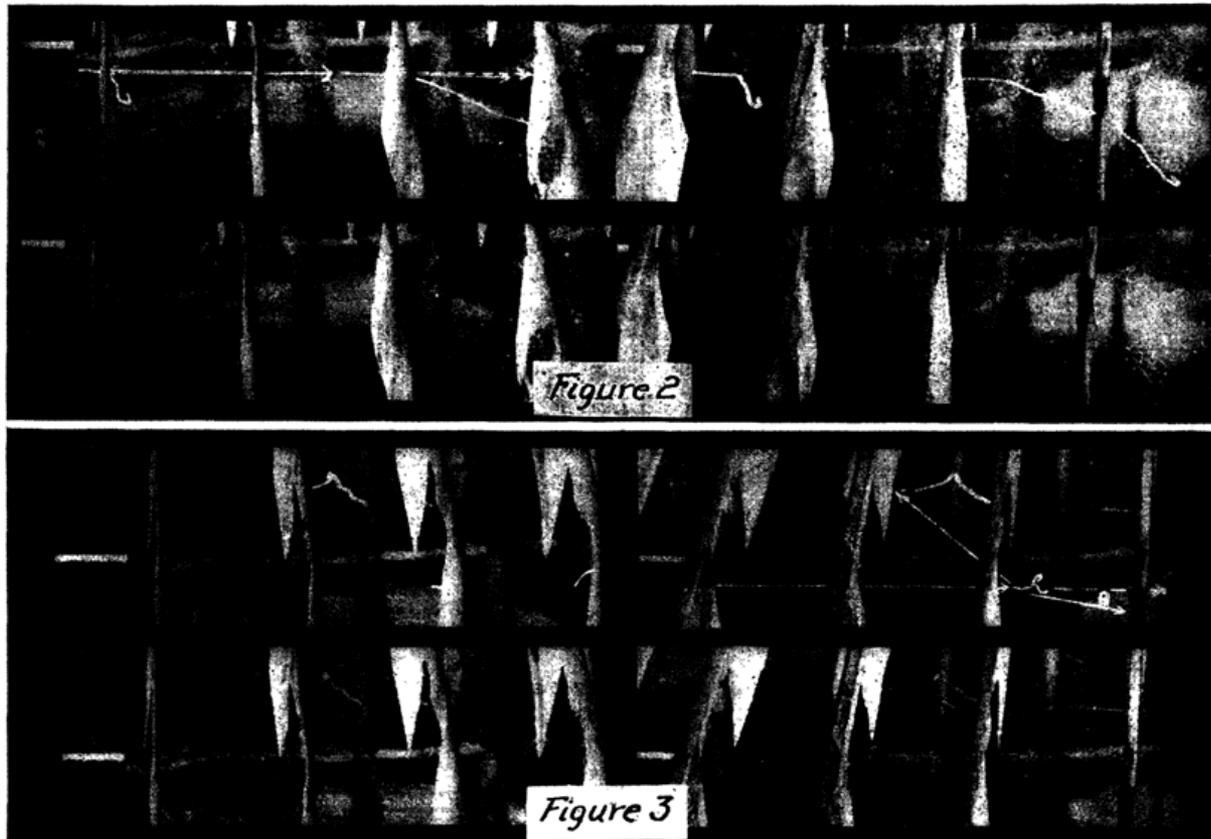
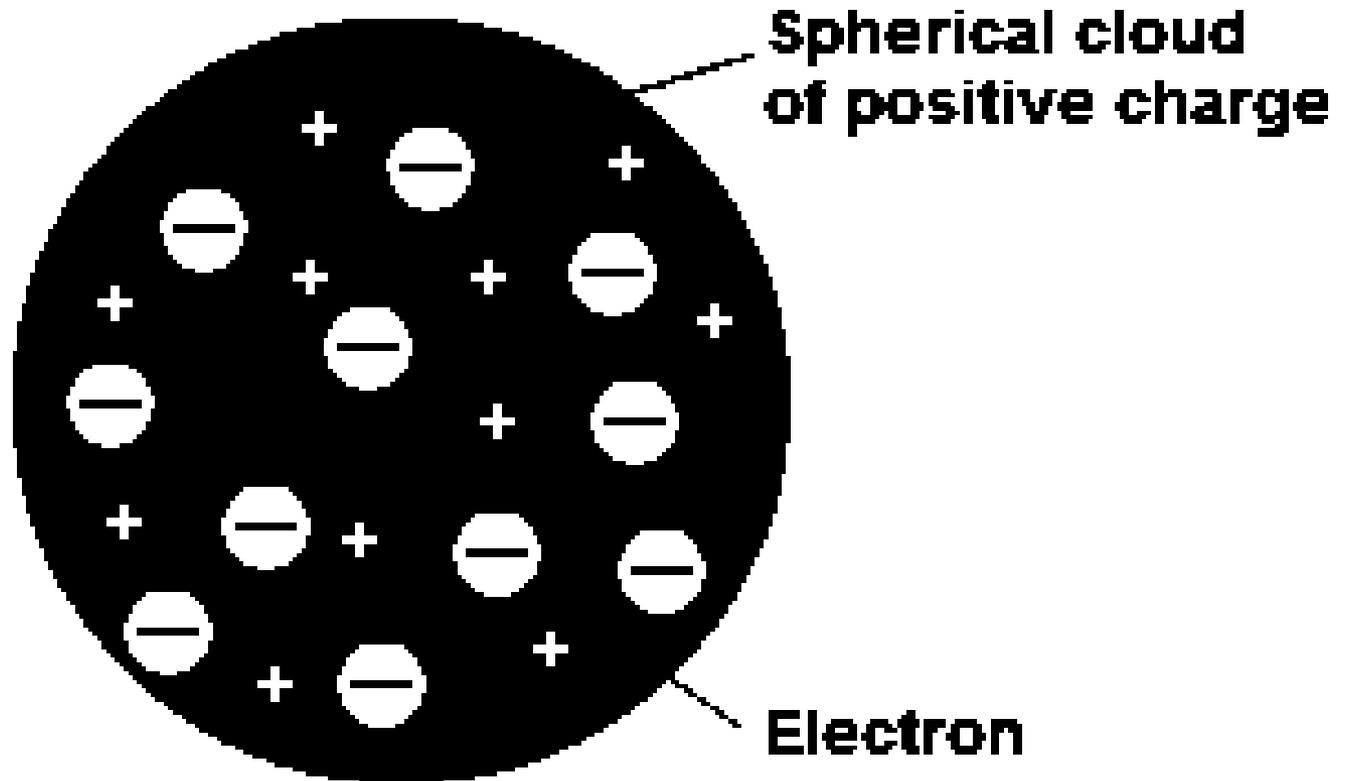


Fig. 2. A square hit. Plate 597. 1 recoil track, 1 secondary. $\theta = -2^\circ$; $\phi_{calc} = +175^\circ$; $\phi_{obs} = +177^\circ$; $\Delta = 2^\circ$.

Fig. 3. Plate 560. 2 recoil tracks, 1 secondary. $\theta = -25^\circ$; $\phi_{calc} = +120^\circ$; $\phi_{obs} = +120^\circ$, $\Delta = 0^\circ$. Recoil track (2) lies in wrong plane to be associated with secondary track.

L'ATOMO DI THOMSON

Per tutti il modello «a panettone con l'uvetta»



Thomson's Plum pudding model

Ma non abbiamo spiegato in elettrostatica che all'interno di una sfera uniformemente carica il campo elettrico è radiale?

Ma allora come fa l'atomo a essere stabile, gli elettroni, se fossero messi a caso, non dovrebbero facilmente muoversi verso il centro?

Il modello di Thomson non è così semplice: gli elettroni sono disposti ai vertici di poligoni concentrici ruotanti con velocità angolare tale da garantire una certa stabilità ed emettere radiazione nel visibile. Il modello è molto complicato.

Dal punto di vista didattico, il problema non sta nel dover spiegare il modello, ma nel fatto che si fa credere agli studenti che un modello di atomo un po' a «caso» possa essere pubblicato da un premio Nobel per la fisica e accettato dagli altri scienziati!

Ma ve lo vedete l'editor di una rivista che pubblica un articolo in cui l'atomo è fatto nel modo in cui di solito è raccontato!?

GRAZIE

PER L'ATTENZIONE

LA COMPETENZA

E LA SIMPATIA