

La scoperta del Protone

Nel 1915, in un secondo lavoro, (Phil Mag. XXX, p. 240) Marsden, assieme a uno studente W.C. Lantsberry, iniziava una serie di misure quantitative sul numero e sulla distribuzione delle «particelle H» quando un fascio parallelo di alfa passava attraverso uno spessore fissato di H.

Poichè già nelle prime misure gli effetti visti erano molto più grandi di quanto era previsto dalla teoria di Darwin, prendevano in considerazione l'eventualità che la stessa sorgente di alfa desse origine a «particelle H»

Per verificare questa possibilità mettevano il tubo a raggi α a una distanza dallo schermo di sulfuro di Zinco di 8cm (cioè molto maggiore del range delle α) e applicavano un campo magnetico nello spazio tra sorgente e schermo in modo da eliminare i β .

Così facendo vedevano scintillazioni che erano uguali a quelle prodotte dalle particelle H.

(Allontanando lo schermo dalla sorgente, il numero di particelle H diminuiva nello stesso modo che ci si aspettava che le particelle H fossero assorbite. Inoltre interponendo tra la sorgente e lo schermo fogli di Al la curva di assorbimento era la stessa, entro gli errori sperimentali di quella in precedenza ottenuta per le «particelle H»)

Analoghi risultati venivano ottenuti usando un tubo α atto di quarzo, invece che di vetro e anche con una lastra di nikel ricoperta di radio C.

Poichè il numero di «scintillazioni H» in ogni caso studiato sembrava troppo grande per essere spiegato con la possibile presenza di H nel materiale che componeva l'involucro della sorgente, Marsden e Lantsberry giungevano alla conclusione che le **«particelle H» venivano emesse dallo stesso materiale radioattivo .**

Non solo, poichè usando come sorgente α una lastra di nikel ricoperta di radio C, il numero di scintillazioni H era molto più grande di quello che si aveva con un tubo a raggi alfa contenente una quantità equivalente (misurata in raggi gamma) di emanazione, veniva avanzata l'ipotesi che le particelle H provenissero proprio dal Radio C

Questi esperimenti, interrotti da Marsden nel **1915** per la sua partenza per la Nuova Zelanda, come professore di Fisica presso il Wictoria University College di Wellington, venivano subito **ripresi da Rutherford** (sono i suoi secondi esperimenti di scattering delle alfa) e portati avanti «a intervalli irregolari» (a causa della guerra) fino al 1919.

L'interesse di Rutherford alla prosecuzione di questi esperimenti derivavava dalla consapevolezza che essi potevano dare informazioni sulla distanza minima di avvicinamento delle α al nucleo di H, sulle forze che intervenivano nel loro urto e quindi sulle dimensioni dei loro nuclei. Come aveva già osservato nel 1914, quando aveva spinto Marsden a occuparsi di questi temi, «Questi incontri tra α e nuclei di H sono molto importanti in vista di una stima delle loro dimensioni».

Inoltre un'altra questione che stava a cuore a Rutherford era verificare l'Hp. di Marsden secondo cui la materia radioattiva dava origine a veloci «particelle H» (fino ad allora non era mai stata osservata la presenza nelle trasformazioni radioattive di elementi leggeri, a eccezione dell'He)

1919: poco prima di trasferirsi al Cavendish Lab. di Cambridge, Rutherford manda alle stampe lavoro in 4 parti.

Nella 4° parte si annunciava la scoperta di un effetto anomalo derivante dal bombardamento dell'azoto con α

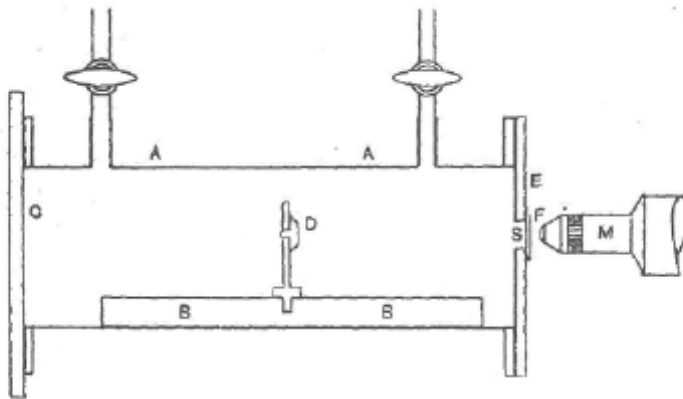


LIV. *Collision of α Particles with Light Atoms. IV. An Anomalous Effect in Nitrogen.* By Professor Sir E. RUTHERFORD, F.R.S.*

→ **SCOPERTA
DEL PROTONE**

Phil. Mag. **37** (1919), 581

Utilizza, a differenza di Marsden, una sorgente α monoenergetica : Ra C (^{214}Po)



D = sorgente α su supporto mobile (B)
F = schermo di ZnS
S = assorbitore di Al

- Sorgente posta a $d > 3$ cm da S e apparato immerso in intenso campo magnetico per deviare i β , che altrimenti produrrebbero luminosità nello schermo di Solf. Zn
- S= schermo per assorbire le α al termine del percorso («Poichè il numero di H atomi osservati in condizioni ordinarie è meno di centomila volte il numero delle α , gli atomi H proiettati nella direzione delle α , possono essere osservati solo quando le α vegono fermate»).

Risultati sperimentali:

- 1.** Il **range delle particelle H** è risultato in accordo con le previsioni teoriche per collisioni frontali con $\alpha \Rightarrow 28$ cm (equivalente in aria), cioè **ca. 4 volte il range delle α .**
- 2.** Analisi dello **spettro energetico delle particelle H.** usando α di range = 7 cm, il num. di particelle H resta costante al variare dell'assorbimento da 9 a 19 cm (equivalente in aria). Oltre 19 cm, il loro num. scende repentinamente, e non si osserva alcuna scintillazione oltre i 28 cm di assorbimento in aria.

Nel primo lavoro affronta anche la questione sollevata da Marsden e cioè che la sorgente radioattiva emette le particelle H

.

Rifà in pratica un esperimento molto simile a quello di Marsden (sorgente in aria, schermo di solfuro di Zn posto a oltre 2cm il range delle α e campo magnetico).

Conferma il risultato di Marsden:

«Come osservato da Marsden, atomi di H vengono emessi dalla sorgente radioattiva. Il numero osservato è piccolo ed è difficile decidere se questi «atomi H» provengono dalle trasformazioni radioattive o dall'H occluso nella sorgente»

IV Parte: **si concentra su questo problema .**

4° Parte: Effetto anomalo nell'Azoto

LIV. *Collision of α Particles with Light Atoms. IV. An Anomalous Effect in Nitrogen.* By Professor Sir E. RUTHERFORD, F.R.S.*

IT has been shown in paper I. that a metal source, coated with a deposit of radium C, always gives rise to a number of scintillations on a zinc sulphide screen far beyond the range of the α particles. The swift atoms causing these scintillations carry a positive charge and are deflected by a magnetic field, and have about the same range and energy as the swift H atoms produced by the passage of α particles through hydrogen. These "natural" scintillations are believed to be due mainly to swift H atoms from the radioactive source, but it is difficult to decide whether they are expelled from the radioactive source itself or are due to the action of α particles on occluded hydrogen.

Usa lo stesso apparato con cui aveva studiato lo scattering delle α con l'H

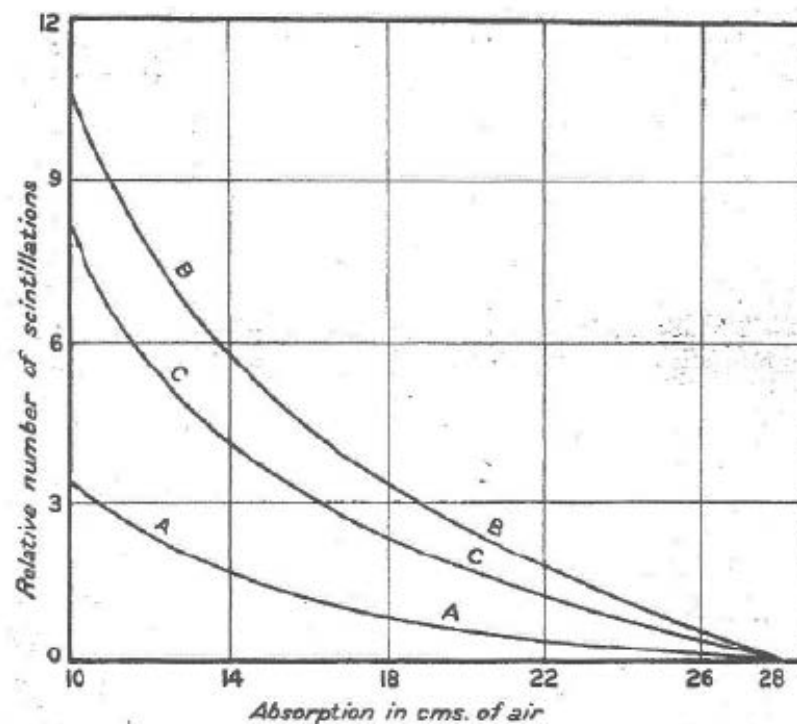
La sorgente (RaC) era posta a circa 3 cm dal fondo dell'apparato dentro a una scatola metallica, in cui era praticata un'apertura, che era stata coperta con una lastra d'argento di potere assorbente pari a 6 cm d'aria (in modo da fermare le α).

Lo schermo di solfuro di Zn veniva montato all'esterno, distante circa 1mm dalla lastra di argento, in modo da introdurre nello spazio tra la lastra d'Argento e lo schermo fogli assorbenti (Al).

Apparato posto in campo magnetico per deflettere i β .

In queste condizioni erano visibili sullo schermo di solfuro di Zn scintillazioni «naturali tipo particelle H»

Primo esperimento fatto togliendo dall'apparato l'aria (con il vuoto):
misura la variazione del numero di queste «scintillazioni H naturali» con il variare degli
spessori (espressi in termini di cm d'aria) interposti tra lastra Ag e Schermo di Solfuro di Zn.



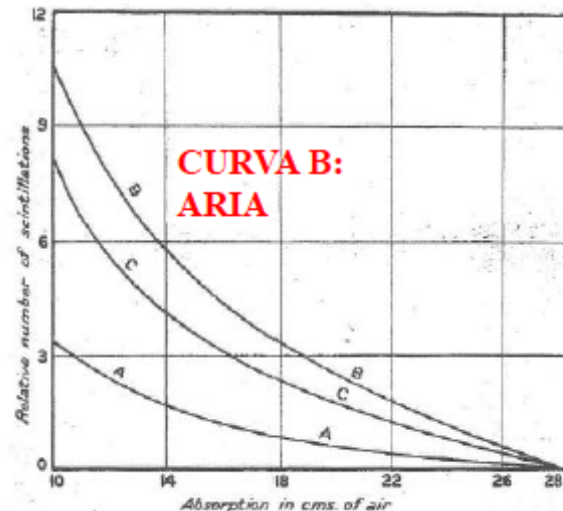
(CURVA A)

Quando veniva introdotto nell'apparato **ossigeno secco** o **biossido di carbonio**, il numero di scintillazioni **DIMINUITA**, rispetto al caso in cui era stato praticato il vuoto, di una quantità circa uguale a quanto ci si aspettava in base al potere assorbente della colonna del gas attraversato.

PERO' quando veniva introdotta **l'ARIA SECCA** veniva osservato un «**EFFETTO SORPRENDENTE**» .

Il numero di scintillazioni, invece di diminuire, **AUMENTAVA: CURVA B**

Per un assorbimento corrispondente a circa 19 cm di aria il numero delle scintillazioni osservato con l'aria era circa il doppio di quello osservato senza aria.



Era chiaro da questo esperimento che le α , **nel passaggio attraverso l'aria**, avevano dato origine a «scintillazioni di lungo range», che apparivano all'occhio circa uguali in brillantezza alle «scintillazioni H».

A questo punto Rutherford inizia una serie di osservazioni sistematiche per spiegare l'**origine** di queste scintillazioni presenti nell'ARIA.

(L'aria secca al suolo è composta all'incirca per il 78,09% di **Azoto** (N_2), per il 20,9% di **Ossigeno** (O_2), per lo 0,93% di **Argon** (Ar) e per lo 0,04% di **Anidride Carbonica** (CO_2), più altri componenti in quantità minori, tra cui anche particelle solide in sospensione (il così detto **pulviscolo atmosferico**)

In primo luogo mostrava che le α passando in **Azoto** e in **Ossigeno** producevano scintillazioni di range circa 9 cm in aria. Queste scintillazioni avevano un range dell'ordine che uno si aspettava se erano atomi veloci di Azoto o di Ossigeno. Quindi gli esperimenti venivano fatti con un **assorbitore maggiore di 9cm d'aria**, in modo che questi atomi erano completamente fermati, e non potevano raggiungere lo schermo di sulfuro di Zn. Quindi se c'erano scintillazioni in aria queste **NON erano dovute agli atomi di Azoto o di Ossigeno**

Veniva subito escluso che queste scintillazioni a lungo range fossero dovute alla presenza di vapor d'acqua nell'aria (il loro numero variava pochissimo asciugando completamente l'aria).

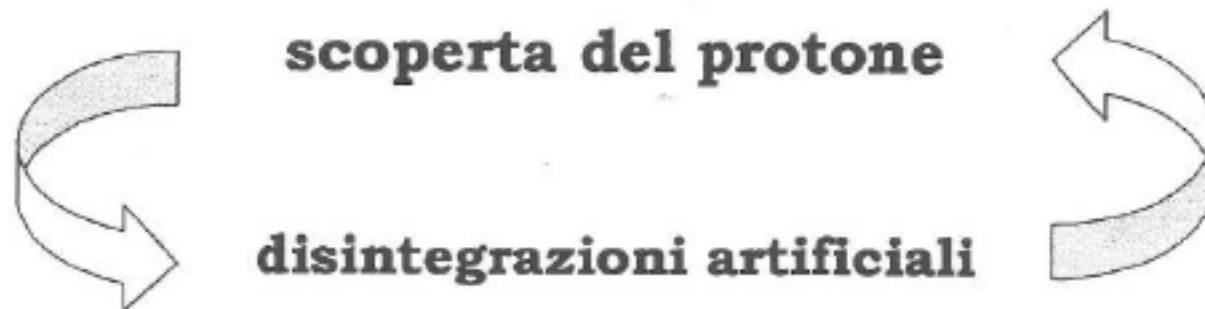
Veniva anche escluso che provenissero dal pulviscolo atmosferico (nessuna variazione filtrando l'aria)

Poichè l'effetto anomalo era osservabile **solo in aria** e **non in Ossigeno o in Anidride Carbonica** esso poteva essere dovuto all'**Azoto** oppure **agli altri gas presenti nell'aria**.

Quest'ultima possibilità veniva esclusa paragonando gli effetti prodotti in aria con quelli prodotti in Azoto. Con **Azoto puro**, completamente asciugato, il numero di scintillazioni di lungo range **era molto più grande** che in aria.

QUINDI queste scintillazioni a lungo range **ottenute nell'aria** dovevano essere attribuite all'**AZOTO**, cioè erano prodotte dalla collisione delle α con gli atomi dell'azoto attraverso il volume del gas, **MA NON POTEVANO ESSERE IDENTIFICATE CON ATOMI D'AZOTO**

⇒ <<It is difficult to avoid the conclusion that the long-range atoms arising from collision of α particles with nitrogen are not nitrogen atoms but probably atoms of hydrogen, or atoms of mass 2. **If this be the case, we must conclude that the nitrogen atom is disintegrated under the intense forces developed in a close collision with a swift α particle, and that the hydrogen atom which is liberated formed a constituent part of the nitrogen nucleus>>.**



Successivi esperimenti di **Rutherford, assieme a Chadwick** (1922, 1924) confermarono che le particelle α erano in grado di espellere, tramite collisioni, i protoni dai nuclei di molti elementi leggeri.

In particolare i protoni dal Boro, Azoto, Fluoro, sodio, Alluminio e Fosforo avevano grandi range ed erano emessi in tutte le direzioni rispetto alla direzione della velocità delle particelle alfa urtanti.

Il metodo della scintillazione usato in questi esperimenti non era però in grado di dare informazioni dirette sul moto, dopo la collisione, del nucleo residuo e della stessa particella alfa.

Il «**metodo dell'espansione di C.T.R. Wilson**», invece avrebbe potuto consentire l'osservazione del moto di queste due particelle.

⇒ RUTHERFORD, 1920: BAKERIAN LECTURE
“NUCLEAR CONSTITUTION OF ATOMS”

→ possibilità che studio delle tracce in camera di Wilson possa fornire informazioni aggiuntive, rispetto a tecnica di scintillazione, su meccanismo di urto e disintegrazioni nucleari



“In our ignorance of the constitution of the nuclei and the nature of the forces in their immediate neighbourhood, it is not desirable to enter into speculations as to the mechanism of the collision at this stage, but it may be possible to obtain further information by a study of the trails of α -particles through oxygen or nitrogen by the well-known expansion method of C. T. R. Wilson”

(Rutherford, *Bakerian Lecture*, Proc. Roy. Soc. 97 (1920), 374)



⇒ T. SHIMIZU, 1921: VARIANTE DELLA CAMERA DI WILSON: "RECIPROCATING EXPANSION APPARATUS"

→ espansione prodotta periodicamente diverse volte al secondo: possibilità di osservare significativo numero di tracce in un tempo ragionevole (Cavendish Lab.) ←

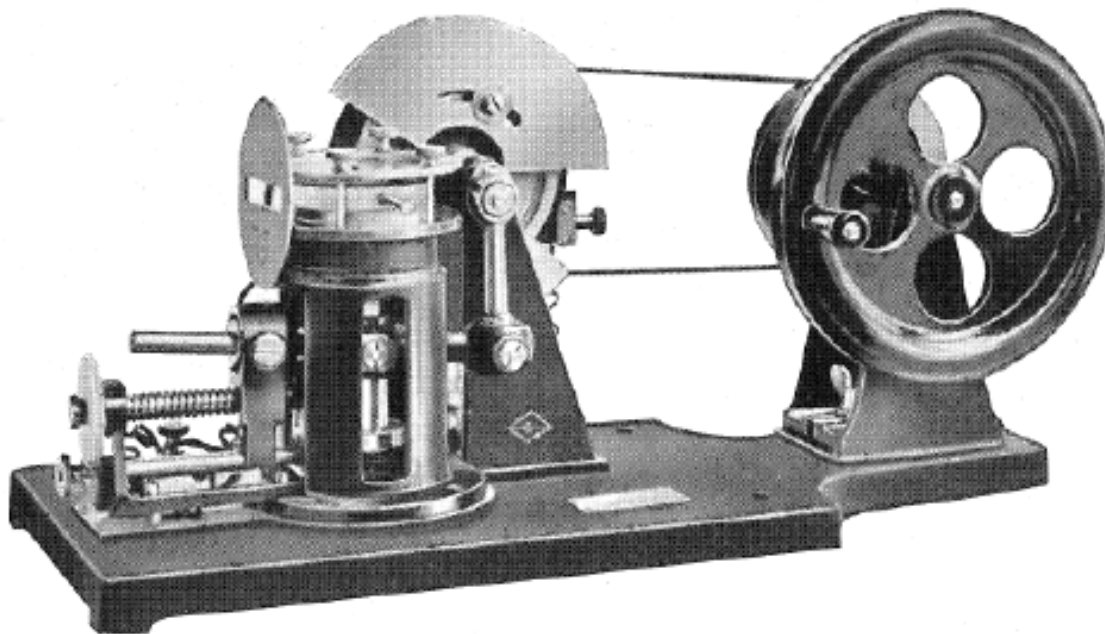


FIG. 8. Wilson-Shimizu ray track apparatus, by the Cambridge Instrument Company Ltd. (1921).

→ “According to Prof. Sir E. Rutherford, if about one hundred thousand α -rays from radium C pass through the air, on the average there will be one close nuclear collision, which produces a swiftly moving atom. Thus if we take a great number of photographs of α -ray tracks compatible with the above order of magnitude, we might expect to find some evidence to indicate the disruption of atoms by the α -particles”

(T. Shimizu, Proc. Roy. Soc. 99 (1921), 432)



exp preliminari con fotografia di 3000 tracce α

→ **nessuna osservazione di disintegrazioni nucleari**

Blackett 1924 : Cavendish Laboratory

The Ejection of Protons from Nitrogen Nuclei, Photographed by the Wilson Method.

By P. M. S. BLACKETT, Moseley Research Student of the Royal Society
and Fellow of King's College, Cambridge.

(Communicated by Prof. Sir E. Rutherford, F.R.S.—Received December 17, 1924,

[PLATES 6 AND 7.]

1. Introduction.

The original experiments of Rutherford* and later those of Rutherford and Chadwick† have shown that fast alpha-particles are able by close collisions to eject protons from the nuclei of many light elements. In particular the protons from boron, nitrogen, fluorine, sodium, aluminium and phosphorus have great ranges, and are emitted in all directions relative to the velocity of the bombarding alpha-particles. The scintillation method used in these experiments can give no direct information about the motion after the collision of the residual nucleus and of the alpha-particle itself. The proton alone has sufficient range to make detection by the scintillation method possible. The Wilson Condensation Method provides the obvious and perhaps the only certain way of observing the motion of these two particles. Of the "active" elements mentioned, nitrogen can at once be selected as the most suitable for a first investigation.

* Rutherford, 'Phil Mag.', vol. 37, p. 581 (1919).

† Rutherford and Chadwick, 'Phil Mag.', vol. 43, p. 809 (1921); vol. 44, p. 418 (1922); 'Nature,' March, 1924; 'Proc. Phys. Soc., London,' vol. 36, p. 417 (1924).

According to Rutherford and Chadwick the maximum forward and backward ranges* of the protons ejected by 7 cm. alpha-particles from nitrogen are 40 and 18 cms. The total number emitted in all directions by a million 8.6 cm. alpha-particles can be estimated, from their data, to be about 20. This number decreases rapidly with the range of the alpha-particles.

In order to photograph a large number of tracks, a modified and automatic form of Wilson's apparatus was constructed, which made one expansion and took one photograph every ten or fifteen seconds. The condensation chamber itself had a floating ebonite piston similar to that described recently by Kapitza.† No mercury rings were used however and the rubber tube employed to change the volume was replaced by a corrugated metal diaphragm. A detailed description of the apparatus, which is an improved form of that previously used by the writer,‡ will be given elsewhere. The camera, designed originally by Shimizu,§ takes two photographs at right angles on standard cinematograph film.||

About 23,000 photographs have been taken of the tracks of alpha-particles in nitrogen. From 5 to 20 per cent. of oxygen was added to the nitrogen to improve the sharpness of the tracks. The source used was a deposit of Thorium B + C, which gives a complex beam of 8.6 and 5.0 cm. particles, the numbers being known to be in the ratio of 65 to 35. The average number of tracks on each photograph was 18; the tracks of about 270,000 alpha-particles of 8.6 cm. range and 145,000 of 5.0 cm. range have therefore been photographed.

Modifica una sua precedente macchina di Wilson.

Studia le α emesse da sorgente (Torio B + C) in Azoto

Scatta **circa 23.000 fotografie**

Fotografate tracce di:

270.000 α di range 8.6 cm

145.000 α di range 5.0 cm

2. General Results.

Amongst these tracks a large number of forks were found corresponding to the elastic collisions made by alpha-particles with nitrogen (and oxygen) atoms. Reproductions of a few such tracks are given on Plate 6 (photographs 4 to 10). A description of each photograph will be found at the end of the paper.

If a particle of mass M and initial velocity V collides with another of mass m , initially at rest, and the two have velocities after collision making angles ϕ and θ with V , then the assumption that both energy and momentum are conserved leads to the relation

$$m/M = \sin \phi / \sin (2\theta + \phi). \quad (1)$$

The values of m/M calculated from the observed values of ϕ and θ are found

* Throughout the paper all ranges will refer to air at N.T.P., unless otherwise mentioned.

† Kapitza, 'Proc. Roy. Soc.,' A, vol. 106, p. 602 (1924).

‡ Blackett, 'Proc. Roy. Soc.,' A, vol. 102, p. 294 (1922); vol. 103, p. 62 (1923).

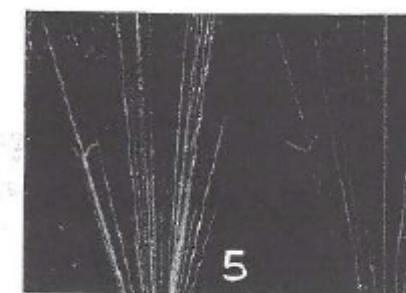
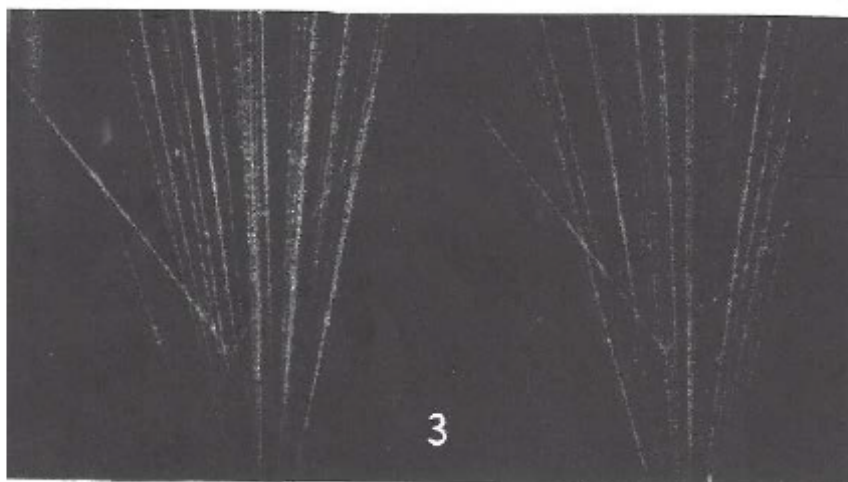
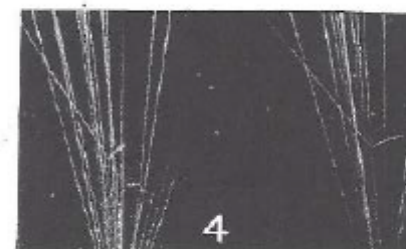
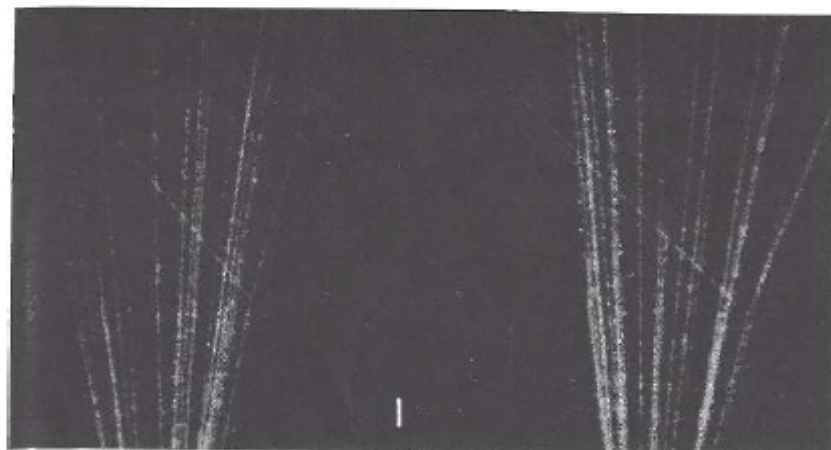
§ Shimizu, 'Proc. Roy. Soc.,' A, vol. 99, p. 432 (1921).

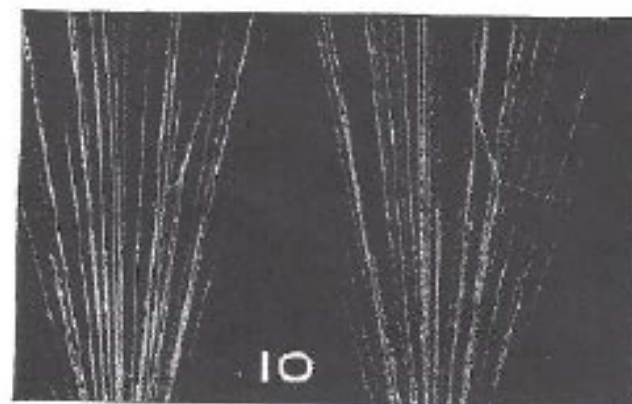
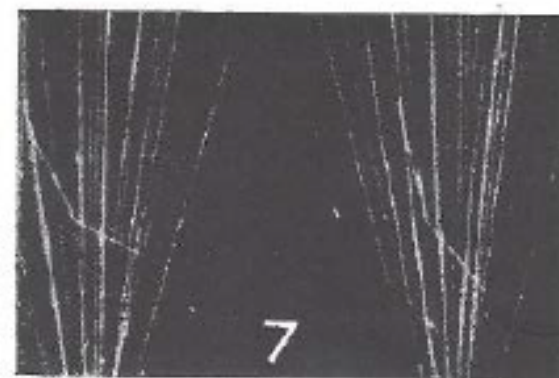
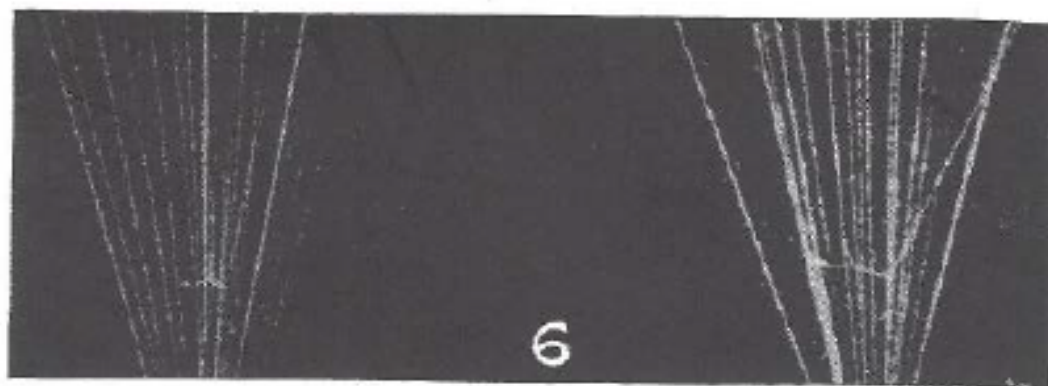
|| The film was supplied and developed by Kodak, Ltd., Kingsway, London.

Tra queste tracce fu trovato un grande numero di forcelle (forks) corrispondenti a collisioni elastiche tra α e atomi di Azoto (e Ossigeno)

Blackett.

Roy. Soc. Proc., A, vol. 107, Pl. 6.





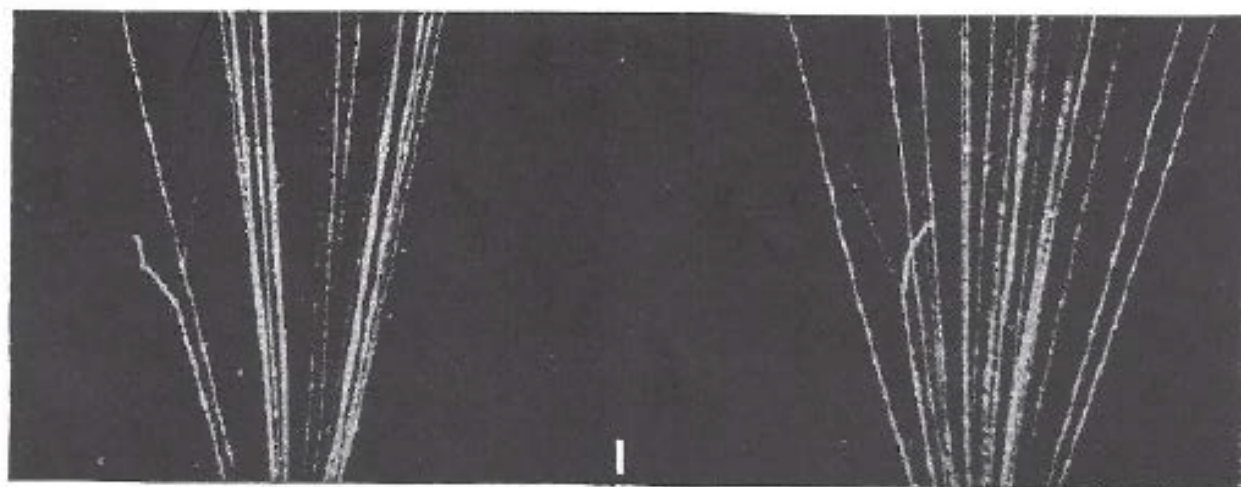
Elastic Collisions between Alpha-Particles and H, He, and N Atoms.

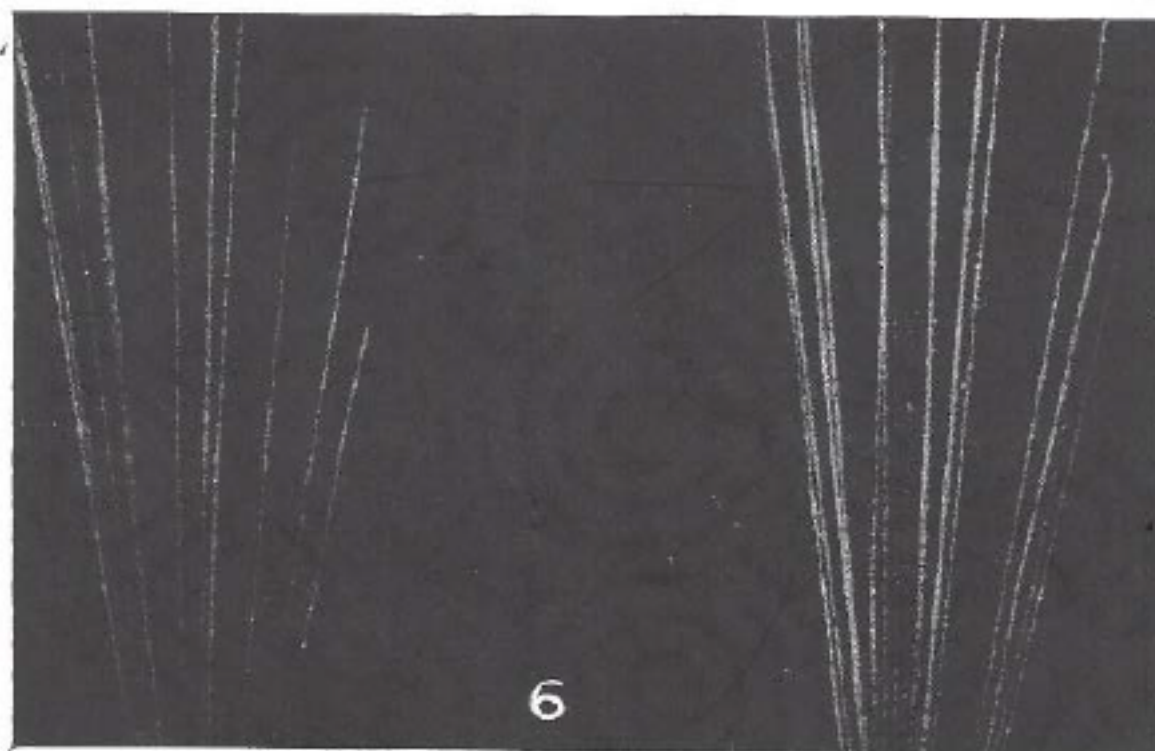
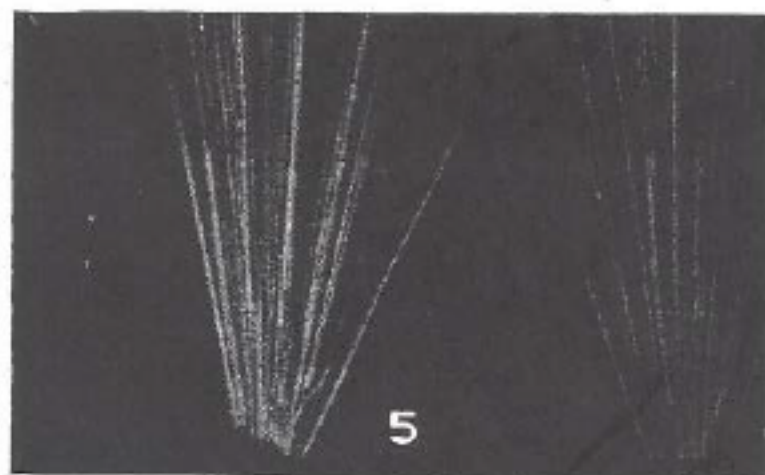
[Facing p. 360.]

But amongst these normal forks due to elastic collisions, eight have been found of a strikingly different type. Six of them are reproduced on Plate 7. These eight tracks undoubtedly represent the ejection of a proton from a nitrogen nucleus. It was to be expected that a photograph of such an event would show an alpha-ray track branching into three. The ejected proton, the residual nucleus from which it has been ejected, and the alpha-particle itself, might each have been expected to produce a track. These eight forks however branch only into two. The path of the first of the three bodies, the ejected proton, is obvious in each photograph. It consists of a fine straight track, along which the ionisation is clearly less than along an alpha-ray track, and must therefore be due to a particle of small charge and great velocity. The second of the two arms of the fork is a short track similar in appearance to the track of the nitrogen nucleus in a normal fork. Of a third arm to correspond to the track of the alpha-particle itself after the collision there is no sign. On the generally accepted view due to the small mass of the proton,

Blackett.

Roy. Soc. Proc., A, vol. 107, Pl. 7.





Ejection of Protons from N Nuclei by fast Alpha-Particles.

no sign. On the generally accepted view, due to the work of Rutherford, the nucleus of an atom is so small, and thus the potential at its surface so large, that a positively charged particle that has once penetrated its structure (and almost certainly an alpha-particle that ejects a proton must do so) cannot escape without acquiring kinetic energy amply sufficient to produce a visible track. As no such track exists the alpha-particle cannot escape. In ejecting a proton from a nitrogen nucleus the alpha-particle is therefore itself bound to the nitrogen nucleus. The resulting new nucleus must have a mass 17, and, provided no electrons are gained or lost in the process,* an atomic number 8. The possibility of such a capture has already been suggested by Rutherford and Chadwick in a recent paper.

Così, sempre al Cavendish Laboratory, e sempre sotto l'indicazione e sotto la supervisione di Rutherford, e grazie alla camera a nebbia di Wilson, (non a caso definita da Rutherford «la macchina più intelligente nella storia della Fisica») nata proprio al Cavendish Laboratory nel 1910, non solo veniva provata la **possibilità di disintegrare gli atomi** con le particelle α , ma veniva indicato anche il modo in cui queste disintegrazioni erano avvenute:

nel caso specifico studiato da Blackett di α contro Azoto, urtando un nucleo, la α veniva assorbita, veniva espulso un protone (p) e si formava un nuovo nucleo, di specie chimica diversa da quello originario, ovvero avveniva una reazione di tipo (α , p) realizzando in questo modo il vecchio sogno degli alchimisti!!