

Publicazioni
dell'Istituto Nazionale di Geofisica del Consiglio Nazionale delle Ricerche
diretto dal prof. Antonino Lo Surdo

N. 27

GILBERTO BERNARDINI, BERNARDO NESTORE CACCIAPUOTI,
BRUNO FERRETTI, ORESTE PICCIONI e GIANCARLO WICK

Sulle condizioni di equilibrio delle componenti
elettronica e mesotronica in mezzi diversi ed
a varie altezze sul livello del mare.

ROMA
ANNO MCMXXXIX - XVIII

ESTRATTO DA "LA RICERCA SCIENTIFICA"
ANNO X - N. 11 - (NOVEMBRE 1939-XVIII), pag. 1010

Riassunto: Si espongono i risultati di una serie di esperienze realizzate dalla spedizione organizzata dall'Istituto nazionale di geofisica del C. N. R. a Cervinia, dirette ad investigare le condizioni di equilibrio fra componente elettronica e mesotronica in mezzi diversi. Dai risultati sembra lecito poter concludere, contrariamente a quanto è generalmente ammesso, che la radiazione elettronica che giunge al livello del mare è, in considerevole misura, costituita dal residuo della componente elettronica primaria. La parte di essa dovuta alla disintegrazione spontanea del mesotrone sembra invece notevolmente minore di quanto comunemente si ritiene.

1. - La componente molle (elettronica) della radiazione penetrante si può pensare costituita da due parti: una prima che chiameremo molle residua e che indicheremo con la lettera *R*, proveniente direttamente, attraverso gli ordinari processi moltiplicativi, dalla componente elettronica primaria; una seconda, che indicheremo con la lettera *S*, generata come secondaria direttamente o indirettamente dalla componente dura. La prima parte è di gran lunga prevalente a grandi altezze mentre si può pensare con certezza ridotta a zero qualche metro d'acqua al disotto del livello del mare.

La questione se la radiazione molle osservata precisamente al livello del mare sia interamente costituita dalla secondaria della dura non è decisa con altrettanta sicurezza, sebbene una tale opinione sia stata espressa più volte (1). Come vedremo in seguito, le misure descritte in questo lavoro danno alcune informazioni su questo punto.

La radiazione secondaria può a sua volta venir generata mediante processi diversi. Questi possono essere: *a*) la produzione di secondari per interazione del mesotrone con la materia attraversata (Bhabha) (2), *b*) la disintegrazione spontanea del mesotrone, p. es. in un elettrone e in un neutrino (3). Quando la radiazione penetrante ha attraversato uno strato di materia omogenea di spessore sufficiente le percentuali della componente molle dovute a questi vari processi raggiungono dei valori di equilibrio caratteristici del mezzo attraversato, e dipendenti principalmente dalla sua densità e dal numero atomico.

La determinazione di queste percentuali, se fatta con sufficiente esattezza, può permettere un diretto confronto fra i dati sperimentali e valutazioni teoriche e fornire così delle informazioni sull'attendibilità di queste ultime. Esperienze in proposito sono già state descritte in alcune note preli-

minari (4). Scopo della presente pubblicazione è di esporre i risultati di nuove misure per poi farne una discussione completa in relazione a quelle che furono già pubblicate.

2. DISPOSITIVO SPERIMENTALE E RISULTATI. - Le esperienze di assorbimento a Cervinia (4) (2050 m s. l. m.) effettuate al disotto di uno strato di materiale (terra e cemento) equivalente a 170 g/cm^2 sono state proseguite onde raggiungere una maggiore precisione. Esse sono state alternate con delle misure analoghe, effettuate ancora a Cervinia, con dispositivo sperimentale identico sotto un tetto in legno coperto di ardesia equivalente a circa 7 g/cm^2 . Il dispositivo sperimentale impiegato era quello descritto nella nota precedente. Tre coppie di contatori disposte come nella fig. 1 erano collegate con una registrazione (potere risolutivo circa 10^{-4} sec.) a mezzo della quale erano registrabili simultaneamente le coincidenze triple e quelle doppie fra le coppie estreme. In questo modo venivano via via controllate le coincidenze casuali fra le coppie stesse, coincidenze che costituivano una parte della differenza esistente fra quelle doppie e quelle triple (una parte di questa differenza era anche dovuta al fatto che le sezioni efficaci dei due contatori di una coppia non erano direttamente a contatto). Era questo uno dei controlli che venivano effettuati per constatare il regolare andamento delle misure. Altri, come quello degli impulsi dei singoli contatori, delle tensioni, ecc. venivano effettuati di ora in ora, ossia ogni volta che una osservazione aveva luogo.

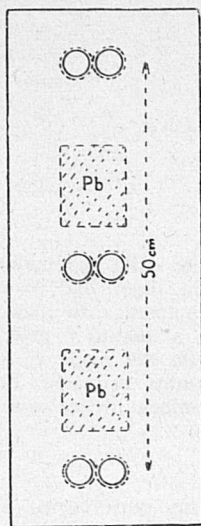


Fig. 1 - Disposizione dei contatori (in scala).

Sia al disotto dello strato di 170 g/cm^2 (la distanza fra il sistema dei contatori e lo strato stesso era circa 4 m, cioè tale da garantire l'incoerenza delle radiazioni secondarie) come nelle altre condizioni le misure consistevano nel ricavare la curva di assorbimento della radiazione cosmica fra 0 e 20 cm di *Pb*. Questo spessore di *Pb* era tale da permettere la separazione delle due componenti (elettronica e mesotronica) della radiazione stessa. Gli schermi assorbenti di 0, 5, 10, 20 cm di *Pb* venivano alternativamente posti fra i contatori come in fig. 1. Le alternanze, come abbiamo accennato, erano quasi sempre di ora in ora, ma talvolta anche più frequenti.

I risultati delle misure, in quattro serie sono riportati nella tabella seguente e globalmente rappresentati nella fig. 2. Nella fig. la curva I è quella

TABELLA I.

cm di piombo	1° serie sotto lo strato di 170 g/cm^2	1° serie sotto lo strato di 7 g/cm^2	2° serie sotto lo strato di 170 g/cm^2	2° serie sotto lo strato di 7 g/cm^2
0	283 / ora $\pm 6,8$	405 / ora $\pm 7,9$	295 / ora $\pm 7,5$	383 / ora $\pm 13,8$
5	240 / ora $\pm 4,8$	286 / ora $\pm 7,5$		279 / ora $\pm 7,9$
10	210 / ora $\pm 4,8$	252 / ora $\pm 5,2$	227 / ora $\pm 5,3$	247 / ora $\pm 8,9$
20	206 / ora $\pm 5,6$	240 / ora $\pm 5,8$	210 / ora $\pm 5,4$	244 / ora $\pm 8,4$

ottenuta al disotto di 7 g/cm la II è la curva ottenuta al disotto di 170 g/cm. Per ulteriore confronto una curva analoga è stata ottenuta, sempre con lo stesso dispositivo, a Roma (50 m s. l. m.). Il sistema dei contatori è stato posto entro una cassa di alluminio (spess. 0,5 mm). Per questa curva si può quindi ritenere che il sistema dei contatori non fosse, rispetto alla radiazione presente nell'atmosfera, sovrastato da alcun strato assorbente. I risultati di questa nuova serie di misure sono rappresentati graficamente nella fig. 3 (curva III) insieme alle curve della fig. 2 ridotte in modo da fare collimare i punti corrispondenti a 10 cm di Pb. Gli errori statistici medi per punto sono circa il 2 %.

Per ogni curva l'intensità M della componente mesotronica, corrispondente a 0 cm di Pb è stata ottenuta prolungando in una retta il segmento che raccorda i punti corrispondenti a 10 e a 20 cm di Pb (*). Si è ottenuta così la percentuale dell'intensità E della componente elettronica riferita all'intensità della radiazione totale $T = M + E$. Queste percentuali che danno la composizione della radiazione cosmica nelle varie condizioni sono:

A Cervinia, sotto uno strato di 170 g/cm ²	20 ± 3 %
» » » » » » 7 g/cm ²	35 ± 2,5 %
» Roma senza strato assorbente	20 ± 3 %

dove gli errori indicati sono errori quadratici medi.

Per confermare le esperienze di cui sopra e raccogliere ulteriori informazioni sulla natura della componente elettronica abbiamo realizzato un'altra esperienza diretta a investigare la natura degli sciame che vengono generati dalla componente elettronica stessa quando, a considerevoli spessori d'aria, si sostituiscono degli strati equivalenti in g/cm² di materia avente densità paragonabile a quella dell'acqua. Anche di queste misure abbiamo dato un resoconto preliminare (4). Esse sono state ora completate con delle misure analoghe eseguite a Roma allo scopo di poter fare un diretto confronto.

L'apparecchio usato era costituito da un sistema di contatori disposti a triangolo come è indicato nella fig. 4. I contatori avevano una lunghezza utile di 27 cm. Strati di piombo di diverso spessore erano collocati alternativamente al disopra dei contatori come lo indica la detta figura.

Con tale dispositivo la curva degli sciame è stata determinata: a) a Cervinia (2050 m s. l. m.) al disotto di uno strato di materiale (cemento e mattoni) di 175 gr/cm; b) a Roma (50 m s. l. m.) ponendo il sistema di contatori all'aperto entro una cassa di alluminio di mezzo mm di spessore; c) a Roma sotto uno strato di cemento di circa 35 gr/cm².

(*) Questa estrapolazione, atteso il piccolo coefficiente di assorbimento della componente M , sembra ragionevole. Essa è peraltro giustificata dalle misure (in corso di pubblicazione) effettuate da B. N. Cacciapuoti.

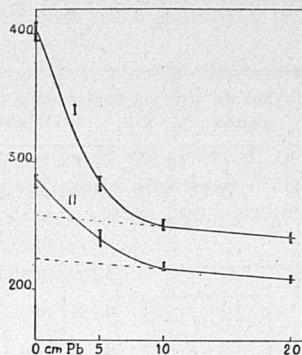


Fig. 2 - Curve d'assorbimento della radiazione cosmica a 2000 m sul livello del mare: I, sotto uno strato di 7 g/cm²; II, sotto uno strato di 175 g/cm².

I risultati delle varie esperienze sono riportati nella seguente tabella e rappresentati nella fig. 5. La curva I è quella a Roma all'aria libera, la II quella a Roma sotto 35 g/cm², la III quella a Cervinia sotto 175 g/cm².

TABELLA II.

mm di piombo	a 2000 m sotto uno strato di 175 g/cm ²	al livello del mare sotto uno strato di 30 g/cm ²	al livello del mare e senza strato assorbente
0	23 / ora ± 1,4	20,6 / ora ± 1,1	17,6 / ora ± 0,8
		38 / ora ± 2,3	51,6 / ora ± 1,6
8	42,7 / ora ± 2,7	45,6 / ora ± 1,7	66,6 / ora ± 1,6
12	41,8 / ora ± 2	46,5 / ora ± 1,6	72,8 / ora ± 1,6
16	41,4 / ora ± 2,2	48,2 / ora ± 2,6	71,3 / ora ± 2,2
28	36,1 / ora ± 2	29,3 / ora ± 1,6	51,8 / ora ± 1,8
			37,9 / ora ± 1,9
100	25,8 / ora ± 1,5	24,8 / ora ± 1,5	24,7 / ora ± 1,6

Da esse appare evidente che la curva degli sciami sotto uno strato di 175 g/cm² di materia avente una densità paragonabile a quella dell'acqua presenta ancora, dopo il massimo, un accentuato decremento. L'energia media degli elettroni nell'aria sembra essere sensibilmente maggiore di quella degli elettroni presenti sotto lo strato di 175 g/cm², ma ciò appare naturale quando si tenga presente che si viene così a confrontare l'effetto di due strati di materia circa equivalenti in g/cm², ma di numero atomico sensibilmente diverso.

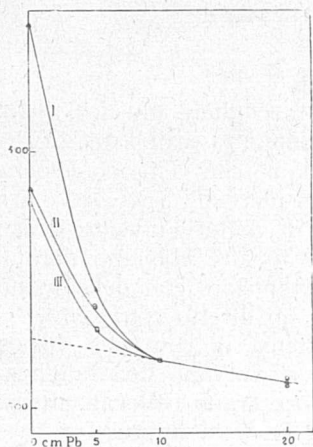


Fig. 3 - Curve d'assorbimento della radiazione cosmica: I, a 2000 m sul livello del mare sotto uno strato di 7 g/cm²; II, a 2000 m sul livello del mare sotto uno strato di 175 g/cm²; III, al livello del mare senza strato assorbente.

Prima di procedere alla discussione delle misure sopra riportate sarà bene osservare che esse sono coerenti con i risultati comunicati al congresso di Londra 1934 (5) da Auger e Leprince-Ringuet almeno per quanto riguarda il rapporto fra componente molle e componente dura. Il fatto che l'accordo non sussista per quanto si riferisce agli sciami può essere spiegato osservando che Auger e Leprince-Ringuet nelle loro misure non hanno ricavato una vera e propria curva degli sciami ma solo due punti di essa.

Le misure da noi riportate non si possono forse confrontare con quelle di Nielsen e Morgan (6) dato che tali misure sono state effettuate sotto uno strato di materia di grande spessore (circa 70 m di acqua eq.).

3. DISCUSSIONE. - Come abbiamo già detto nell'introduzione, per analizzare in modo

generale la componente S (secondaria della dura) conviene suddividerla a sua volta in due parti e cioè in quella, che indicheremo con la lettera I , costituita dagli elettroni generati dall'interazione dei mesotroni (qualunque essa sia) con la materia e in quella, che indicheremo con D , generata per effetto di una disintegrazione spontanea del mesotrone (3).

Dai dati sperimentali si può dedurre che indipendentemente dalla sua particolare natura, tale processo deve avvenire con una vita media di circa 3.10^{-6} sec.

L'ipotesi più semplice forse che si può fare riguardo al processo di decadimento spontaneo del mesotrone e che oggi è generalmente ammessa è che il mesotrone si disintegri in un elettrone e in un neutrino. Come conseguenza di tale ipotesi si può dedurre che nei mezzi di densità paragonabile a quella dell'acqua la componente D in equilibrio con la radiazione dura (M) è trascurabile.

Questo fatto dipende dal valore relativamente elevato della vita media del mesotrone, per il quale, considerata anche la brevità dei percorsi del mesotrone nella materia densa, il processo di disintegrazione avviene con una probabilità sensibilmente uguale a 1 solo quando il mesotrone ha perso tutta la propria energia cinetica. L'elettrone secondario generato allora dal decadimento del mesotrone avrà quindi un'energia uguale circa alla metà dell'energia di riposo del mesotrone e perciò non superiore a una cinquantina di M. E.V.

Si comprende quindi come, data la bassa energia dei secondari elettronici che nei mezzi densi fanno parte della componente D , sia trascurabile, in questi mezzi, la componente D medesima ($< 2\%$).

D'altra parte si può osservare che questa conclusione è anche essa indipendente dalle particolari ipotesi sulla natura della disintegrazione cui va soggetto il mesotrone. Infatti nei mezzi densi tale disintegrazione avverrà in ogni caso a fine percorso e quindi per la conservazione dell'energia e dell'impulso l'energia dei secondari elettronici sarà sempre minore o tutt'al più uguale a metà circa dell'energia di riposo del mesotrone.

Ciò posto si può vedere immediatamente che nell'esperienza fatta sotto la basilica di Massenzio (circa 500 g/cm^2) (4) la componente elettronica si può considerare costituita solamente dagli elettroni generati dalla interazione dei mesotroni con la materia (componente I). Dato che lo spettro energetico dei mesotroni non dovrebbe variare sensibilmente da Cervinia sotto lo strato di 170 g/cm^2 , alla basilica di Massenzio (considerata anche la pratica identità dei mezzi attraversati nei due casi), si può ammettere che il rapporto I/M sia lo stesso a Cervinia, sotto 170 g/cm^2 e a Roma, sotto 500 g/cm^2 . Quindi anche a Cervinia sotto 170 g/cm^2 la componente I sarà circa il 5% della componente M . Poichè in questo caso il nostro dispositivo registrava circa 230 mesotroni all'ora, il numero di elettroni S , secondari della M (la D come si è detto è trascurabile) si può valutare sui 10 all'ora. D'altra parte nelle medesime condizioni il numero totale degli elettroni registrati era di circa 60 all'ora; il che ci lascia circa 50 elettroni all'ora da interpretarsi come residuo R proveniente mediante processi moltiplicativi dalla componente molle presenti nell'aria libera a Cervinia.

Ora, poichè lo strato di terra e cemento di 170 g/cm^2 a Cervinia è gros-

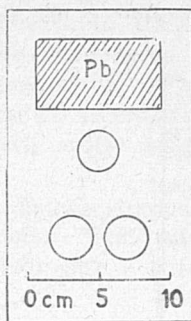


Fig. 4 - Disposizione dei contatori (in scala).

solanamente equivalente, agli effetti dell'assorbimento della componente elettronica, allo strato d'aria che esiste fra Cervinia e il livello del mare, si può pensare che anche degli elettroni registrati al livello del mare circa 50 all'ora dovranno considerarsi come residuo del processo a cascata. Ora sperimentalmente si registrano appunto circa 50 elettroni all'ora. Tenuto conto che di questi 4 o 5 dovrebbero costituire la componente I , non resterebbe alcun posto per la componente D dovuta alla disintegrazione.

Questa conclusione sembra, almeno qualitativamente, confermata dalle esperienze eseguite sulla curva degli sciami. Infatti il confronto fra la curva ottenuta a Cervinia sotto 175 g/cm^2 e quella ottenuta da Drigo (7) sotto 270 g/cm^2 (al livello del mare) mostra come a Cervinia, sotto 172 g/cm^2 , il residuo R sia ancora una parte considerevole della componente elettronica totale E . Ripetendo il ragionamento fatto prima se ne potrebbe quindi concludere che anche al livello del mare la componente E è costituita in gran parte da elettroni R .

Al fine di apprezzare nel loro giusto valore le conclusioni precedenti è necessario discutere più precisamente da una parte l'entità degli errori sperimentali e dall'altra gli errori che possono nascondersi nel confronto che abbiamo istituito fra diversi mezzi assorbenti.

Riguardo a quest'ultimo punto si potrebbe a prima vista pensare che lo strato assorbente di terra e cemento che si aveva nell'esperienza a Cervinia non sia da considerarsi senz'altro equivalente allo strato d'aria che esiste fra Cervinia e il livello del mare per la diversità dei numeri atomici dei mezzi confrontati. Precisamente si potrebbe pensare che il numero relativamente elevato di elettroni che si trovano sotto la terra a Cervinia sia dovuto a un effetto di transizione. Questo sospetto potrebbe essere rafforzato da un confronto tra la curva degli

sciami a Cervinia (sotto 175 g/cm^2) e la curva degli sciami al livello del mare. Questo confronto infatti fa vedere, come abbiamo già osservato, che l'energia media degli elettroni nel primo caso è notevolmente minore che nel secondo.

Ora come mostrano le curve di Schindler (8) l'effetto di transizione fra due materiali di numero atomico diverso, quando si passa da quello a numero atomico minore a quello a numero atomico più elevato, consiste, riferendosi a spessori equivalenti dei due materiali, in un aumento del numero degli elettroni. Però questo aumento si manifesta solo entro un intervallo che è di uno o due cammini di Bhabha e Heitler. Per spessori superiori invece, dalle curve di Schindler si rileva l'effetto contrario.

A dire il vero non si possono dalle curve di Schindler ricavare conseguenze quantitative, perchè le curve di transizione dipendono evidentemente dallo spettro energetico della mole che può essere molto diverso nel caso nostro e in quello di Schindler. Dato però che lo strato assorbente di terra e cemento, nell'esperienza a Cervinia era di circa 9 cammini di Bhabha e Hei-

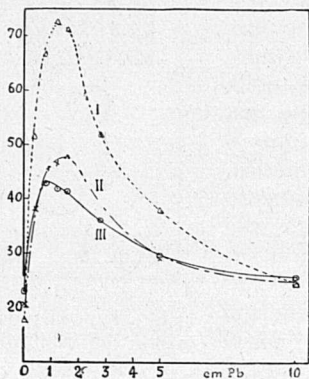


Fig. 5 - Curve degli sciami: I, al livello del mare senza strato assorbente; II, al livello del mare sotto uno strato di 35 g/cm^2 ; III, a 2000 m sul livello del mare, sotto uno strato di 175 g/cm^2 .

tlar, si può senz'altro escludere che il numero di elettroni trovati sotto detto strato possa trarre in errore.

Anzi le curve di Schindler suggeriscono decisamente, almeno da un punto di vista qualitativo, che tale numero sia minore di quello che si sarebbe trovato sotto uno strato equivalente in g/cm^2 di un mezzo denso a numero atomico uguale a quello dell'aria (per es. ghiaccio come nelle misure di Auger) (5). Questa considerazione riduce l'importanza di un effetto degli errori sperimentali sulle nostre conclusioni: infatti per quanto sopra, anche ammettendo che la componente D sia inesistente nell'aria, la componente molle registrata al livello del mare risulta se mai minore di quanto ci si sarebbe dovuto attendere in base alle esperienze di Cervinia.

D'altra parte l'errore quadratico medio relativo nel confronto fra la componente molle al livello del mare e la componente molle sotto terra e cemento a Cervinia è di circa il 20 %, ossia il 4 % della componente M al livello del mare. Appare quindi improbabile che la componente D , secondaria dovuta alla disintegrazione del mesotrone, sia anche nell'aria, molto maggiore del 5 % della componente dura.

Ma la D si può calcolare nell'ipotesi che il mesotrone si disintegri spontaneamente in un elettrone e in un neutrino assumendo un valore della vita media del mesotrone di $3 \cdot 10^{-6}$ sec, quale abbastanza precisamente è dato dall'esperienza (*).

Questo calcolo si può fare tanto più sicuramente in quanto si trova che la componente D , nella detta ipotesi, dipende assai poco dalla forma dello spettro energetico dei mesotroni. Si trova così che la componente D dovrebbe essere almeno il 12 % della componente dura. Questo dato sembra in contrasto coi risultati delle nostre esperienze.

Quest'ultime sembrano quindi suggerire che il processo di disintegrazione del mesotrone sia diverso da quello generalmente supposto.

A prescindere da questa conclusione noi crediamo poi lecito poter affermare che la componente elettronica E presente nell'aria al livello del mare, diversamente da quanto si ammette in generale, è costituita in gran parte dal residuo R della componente elettronica primaria.

Ciò rende ragione fra l'altro, delle esperienze di Cacciapuoti (1) e dei valori trovati da Auger (9) nelle sue misure effettuate al livello del mare sotto uno spessore di materia equivalente a 1,5 m di acqua.

Le esperienze esposte in questa nota sono nella massima parte state eseguite dalla spedizione organizzata dall'Istituto nazionale di geofisica del Consiglio nazionale delle ricerche a Cervinia. Tale spedizione fu possibile per un generoso contributo che il Consiglio stesso fornì espressamente a questo scopo in seguito a proposta del Comitato nazionale per la geofisica e la meteorologia.

Noi teniamo pertanto a ringraziare vivamente il Consiglio e il Comitato per l'aiuto concessoci.

Esprimiamo inoltre la nostra gratitudine al Direttore dell'Istituto di

(*) Anche in esperienze accurate eseguite a Pian Rosà (3500 m s. l. m.) gli A. hanno trovato questo valore.

geofisica del C. N. R., S. E. il prof. Antonino Lo Surdo, per la benevolenza con cui venne incontro alle nostre necessità durante tutto il periodo di organizzazione e di esecuzione della spedizione.

Roma, 6 novembre 1939-XVIII.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Cfr. B. N. CACCIAPUOTI « La ric. scient. », 1939, anno X, 680.
- (2) H. J. BHABHA « Proc. Roy. Soc. » 1938, 164, 25.
- (3) H. EULER e W. HEISENBERG « Erg. der Exnat » 1938, 17, I e B. FERRETTI « N. Cim. » 1938, VI, 421.
- (4) G. BERNARDINI, B. N. CACCIAPUOTI e B. FERRETTI « La ric. scient. » 1939, anno X, 731; B. N. CACCIAPUOTI l. c.; G. BERNARDINI, B. N. CACCIAPUOTI e O. PICCIONI, « La ric. scient. », 1939, anno X; C. BERNARDINI e B. N. CACCIAPUOTI, « La ric. scient. », 1939, anno X.
- (5) P. AUGER e L. LEPRINCE-RINGUET, « Les Rayons Cosmiques, Actualités scient. et ind. » 340, Hermann, Paris, pag. 21.
- (6) W. M. NIELSEN e K. Z. MORGAN « Phys. Rev. » 1938, 54, 246.
- (7) A. DRIGO « La ric. scient. » 1935, anno VI, pag. 527.
- (8) H. SCHINDLER « Zeit. f. Phys. » 1931, 72, 625.
- (9) P. AUGER « Kernphysik », Berlin I. Springer, 1936.