



With best compliments  
to Yukawa and  
thanks for the reprint!  
P. Ehrenfest

RAYONS COSMIQUES. — Perte d'énergie du rayonnement cosmique pénétrant  
dans un écran de  $9^{\text{cm}}$  d'or. Note <sup>(1)</sup> de M. PAUL EHRENFEST jr.

Les expériences commencées l'année dernière dans le grand électro-aimant de l'Académie des Sciences sur la perte d'énergie des particules cosmiques pénétrantes <sup>(2)</sup> ont été poursuivies. Cette année-ci la double chambre de Wilson (légèrement modifiée) n'était commandée que par deux compteurs en coïncidence placés directement au-dessous et au-dessus de la partie utile de la première chambre. Tous les effets produits par le rayonnement mou incident étaient préalablement arrêtés par un écran de  $16^{\text{cm}}$  de plomb (6 tonnes) posé directement sur le bâti de l'électro-aimant. Dans une partie des expériences un morceau d'or de  $9^{\text{cm}}$  d'épaisseur était utilisé comme écran d'absorption entre les chambres. L'ensemble, introduit dans l'entrefer du grand électro-aimant de Bellevue, donnait la possibilité de déterminer l'énergie des corpuscules chargées,  $E_1$ , avant et  $E_2$ , après l'écran, avec une erreur probable d'environ  $(10^{10} \text{ eV})^{-1}$  pour les grandes énergies. *Aucune correction n'a été appliquée sur les courbes mesurées.* Les énergies en eV sont ici calculées par la formule  $E = 300 H \rho$  en gauss-cm. Ces valeurs ne sont pas tout à fait exactes pour les faibles énergies, si les particules en question ont une masse au repos d'environ  $200m_0$ .

La figure donne les valeurs du rapport

$$R = \frac{(E_1 - E_2 - tE_i)}{t \frac{1}{2}(E_1 + E_2)}$$

en fonction de  $\bar{E} = 1/2(E_1 + E_2)$ , énergie, moyenne pour les trajectoires ayant traversé l'or et étant dans de bonnes conditions de mesure (longueur visible et verticalité de la trajectoire initiale).

$t$  étant l'épaisseur en centimètres de Pb équivalent, de l'écran d'or,  $t = 15,5$  dans notre cas,  $E_i$  est la perte d'énergie par centimètre Pb équi-

<sup>(1)</sup> Séance du 26 septembre 1938.

<sup>(2)</sup> PAUL EHRENFEST jr., *Comptes rendus*, 206, 1938, p. 428.

( 2 )

valent due à l'ionisation, et en supposant que  $E_i = 16 \cdot 10^6 \text{ eV/cmPb}$ , donc  $E_i t = 250 \cdot 10^6 \text{ eV}$  pour  $9^{\text{cm}}$  d'or, valeur en bon accord avec nos mesures.

Les lignes divergentes en pointillé indiquent les erreurs probables des mesures individuelles correspondant à un pouvoir de résolution de  $(10^{10} \text{ eV})^{-1}$ . Les cercles pleins indiquent les valeurs déduites des particules de charge négative; les ronds, des particules positives, en faisant l'hypothèse que les particules sont en mouvement de haut en bas. Cette hypothèse est vérifiée pour  $\bar{E} < 0.8 \cdot 10^6 \text{ eV}$  comme toutes les pertes d'énergie observée sont positives (correspondant à l'ionisation). L'hyper-



bole inférieure correspond à une perte d'énergie nulle ( $E_1 = E_2$ ). L'hyperbole supérieure au cas limite de l'arrêt total d'une particule dans les  $9^{\text{cm}}$  d'or ( $E_2 = 0$ ). Le diagramme n'étant complet que pour les valeurs de  $\bar{E} < 2 \cdot 10^6 \text{ eV}$ , aucune conclusion sur le spectre d'énergie ne peut être tirée de ces données partielles.

Le point de plus faible  $\bar{E}$  est déduit d'un cliché où l'on voit dans la chambre supérieure une particule d'un  $H_C = 1,05 \cdot 10^6$  gauss-cm et où l'on ne trouve dans la chambre inférieure qu'un électron d'un  $H_C = 0,12 \cdot 10^6$  gauss-cm. L'absence d'autres particules d'un  $\bar{E} < 250 \cdot 10^6 \text{ eV}$  traversant l'or est explicable par la déviation des particules de faible énergie par le champ de fuite, et par la géométrie défavorable impliquée par l'écran épais. Les particules d'un  $\bar{E} < 350 \cdot 10^6 \text{ eV}$  ont un  $E_2 < 225 \cdot 10^6 \text{ eV}$  et montrent des pertes d'énergie normales ( $\sim 250 \cdot 10^6 \text{ eV}$ ).

Sur un nombre de clichés appréciable on ne trouve un rayon que dans la chambre supérieure. La plupart de ces cas sont dus au fait que l'angle

solide défini par les compteurs est plus grand que celui couvert par la deuxième chambre. Quelques cas sont probablement dus aux grandes déviations multiples (pas nécessairement associées avec de grandes pertes d'énergie, comme l'on voit sur quelques clichés) et quelques-unes aussi à des électrons secondaires de grande énergie traversant les compteurs, mais étant arrêtés par l'or. En tout cas l'absence des pertes d'énergie moyenne ( $0,07 < R < 0,12$ ) indique l'existence d'un groupe de particules bien définies ne perdant que peu d'énergie. Ce groupe doit être identique avec le groupe dur (particules D) décrit par Pierre Auger (\*).

En comparant ces résultats avec les mesures de Blackett et Wilson (†) faites avec un écran de 1<sup>cm</sup> de plomb, on trouve un désaccord explicable seulement en partie par l'introduction de quelques électrons dans leur moyenne. Une explication qui supposerait de grandes pertes d'énergie très rares pour les rayons durs (avec une transformation d'électrons lourds en électrons, par exemple) ne semble pas compatible avec nos résultats. Pour trouver des pertes d'énergie moyennes  $R = 0,15$  dans 1<sup>cm</sup> Pb, on devrait supposer qu'au moins 15 pour 100 des rayons subissent une catastrophe en donnant un  $R = 1,0$  (les auteurs n'observent pas des  $R > 1$  pour  $\bar{E} > 8 \cdot 10^8$  eV). Cela devrait donner dans 15<sup>cm</sup>, 5 Pb équivalent, 90 pour 100 de rayons ayant subi une catastrophe et étant donc arrêtés dans cet écran, ce qui est une proportion bien plus grande que celle que nous avons observée.

(\*) *Comptes rendus*, 200, 1935, p. 739, et *J. de Phys.*, 7<sup>e</sup> série, 6, 1935, p. 226.

(†) *Proc. Roy. Soc.*, A, 160, 1937, p. 304, et A, 166, 1938, p. 482.

(Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. 207, p. 573, séance du 3 octobre 1938.)



FACULTÉ DES SCIENCES  
INSTITUT HENRI POINCARÉ

41, Rue Pierre-Curie (V<sup>e</sup>)

Tél. : ODIÉON 42-10

UNIVERSITÉ DE PARIS

Paris, le 15 novembre 1938

Dear Prof. Yukawa,

Many thanks for the reprint of your very interesting article on the interaction of elementary particles. I just read it after receiving and will study more closely later on. I was most impressed by your treatment of the  $\beta$  reintegration problem and the queer impossibility to satisfy at the same time the asymmetry in the  $\beta$  ray distribution and the cosmic ray results, - as well as by your suggestion pertaining to the creation of heavy quanta (or as we now say in Europe of "mesotons").

Yesterday just when I received your paper I happened to be with Ehrenfest, and I think you shall be interested by some brand new result, about mesoton-reintegration, which he had just obtained as well in Paris as in the Alps, at Jungfrauoch.

Ehrenfest and Fréon have made measurements of spontaneous disintegration of cosmic mesotrons, which are interesting in many ways. Firstly their measurements are independent of the rate of production. They took (for the vertical only), a  $9 = 40$  cm ... 100 cm at high altitude (1800) and 5 cm ... 65 cm at sea level and found for

$$\frac{(740 - 100) \text{ counts}}{15 - 165 \text{ sec level}} = 1.8 \pm 0.5$$

They found the spectrum ~~is~~ working on a very definite range of 3,4 km, and, - which is most important, - for a limited band of energy therefore not for energies going to the infinity where one cannot say what happens. You will see the details in their publication to appear soon. Anyway they deduced from their figures that

$$\text{for energies of } 10^9 \text{ eV the mean life is } (4, \pm 2) \cdot 10^{-5} \text{ sec}$$

which is smaller than your figure for Fermi interaction. I showed to him your result but could not give further details as I had not read your paper at the time. He wanted to know how much you stress the results obtained and what was the permissible approximation.

I thought you should be interested by these notes. I send you a paper by Ehrenfest. The next one will follow.

Yours truly  
Adrona