

BOLETINS DA FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS  
E LETRAS  
DA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

V

# FÍSICA N.º 1

## SUMARIO

- G. WATAGHIN e M. DAMY DE SOUZA SANTOS Sobre a tecnica das medidas referentes a contagem de particulas elementares e a radiação cosmica.
- G. OCCHIALINI Medida do effeito de latitude para showers.
- G. OCCHIALINI Diffusão dos raios gamma do Thorium C".
- G. WATAGHIN Sobre a teoria quantica e relatividade.
- G. WATAGHIN Sobre a teoria da transformação das equações de Dirac e relatividade geral.

Maio 1938



# Sobre a técnica das medidas referentes a contagem de partículas elementares e a radiação cósmica

por

*G. Wataghin e M. Damy de Souza Santos*

Departamento de Physica. Universidade de São Paulo

No Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras têm sido organizadas medidas sobre a radiação cósmica desde o início do ano de 1937.

O longo trabalho preparatório nos permitiu aperfeiçoar a técnica das medidas com coincidências múltiplas e idear o circuito das figs. 1 e 2, cuja construção foi iniciada em Junho.

Como tal circuito apresenta algumas inovações que parecem apresentar interesse a outros experimentadores, julgamos útil publicar a descrição da técnica utilizada.

O aparelhamento descrito foi posto á prova e utilizado por ocasião da expedição destinada á medida do efeito de latitude para "showers", realisada em Janeiro do corrente ano por um dos componentes do departamento Dr. G. P. S. Occhialini (1).

**CIRCUITO UTILISADO** — Foi utilizado o método de ROSSI (2) adaptado para coincidências duplas, triplas e quadruplas, aplicando o circuito de NEHER e HARPER (3) no 1.º estagio (figura 1). Como valvula de coincidências foi utilizada uma valvula 6J7, cujo potencial de grade podia ser convenientemente variado por meio de um potenciometro.

Uma vantagem na realização desse circuito é derivada do uso sistemático de valvulas metálicas e é devida á blindagem e uniformidade de características que as mesmas apresentam.

---

(1) G. P. S. OCCHIALINI, Medida do Efeito de Latitude para "Showers". Boletim do Departamento de Physica. Pg.

(2) B. ROSSI, Reud. Ac. Naz. dei Lincei, 11 (930), pg. 478.

(3) NEHER e HARPER, Phys. Rev., 49 (1936), 940.

Cada unidade de NEHER e HARPER foi montada no interior de uma caixa metálica e unida ao amplificador por meio de um cabo conector de 1,5 ms. de extensão, cujas características de construção permitiram, entre outras coisas, a alimentação do potencial para os tubos contadores.

Os fios que uniam os contadores às unidades de NEHER e HARPER e os que uniam estas ao amplificador, foram blindados com o intuito de evitar um "pick-up" dos impulsos.

Uma dificuldade encontrada no circuito de NEHER e HARPER é o ajuste crítico do potencial de grade. Um exame do circuito nos levou a utilizar como válvula do primeiro estágio uma de baixo  $\mu$  (factor de ampliação) e grande  $S_m$  (mutua conductancia).

Pudemos constatar então que, quando esse circuito se achava correctamente equilibrado, uma variação de 2 V. no potencial de grade não alterava sensivelmente o número de impulsos contados.

No circuito ampliador foi utilizado o método da "self-bias" e self-alimentação das "screens". Dessa maneira era possível manter a válvula em funcionamento sempre na mesma região da característica.

Os impulsos recebidos eram controlados por uma válvula "olho mágico" 6G5 e por oscilógrafo de raios catódicos, o qual podia ser ligado a qualquer válvula do circuito por meio de um "switch" rotatório.

Utilizou-se também como meio de controle dos impulsos recebidos um alto falante eletro-dinâmico, cujo enrolamento de "campo" foi utilizado como "choke" no retificador de baixa tensão.

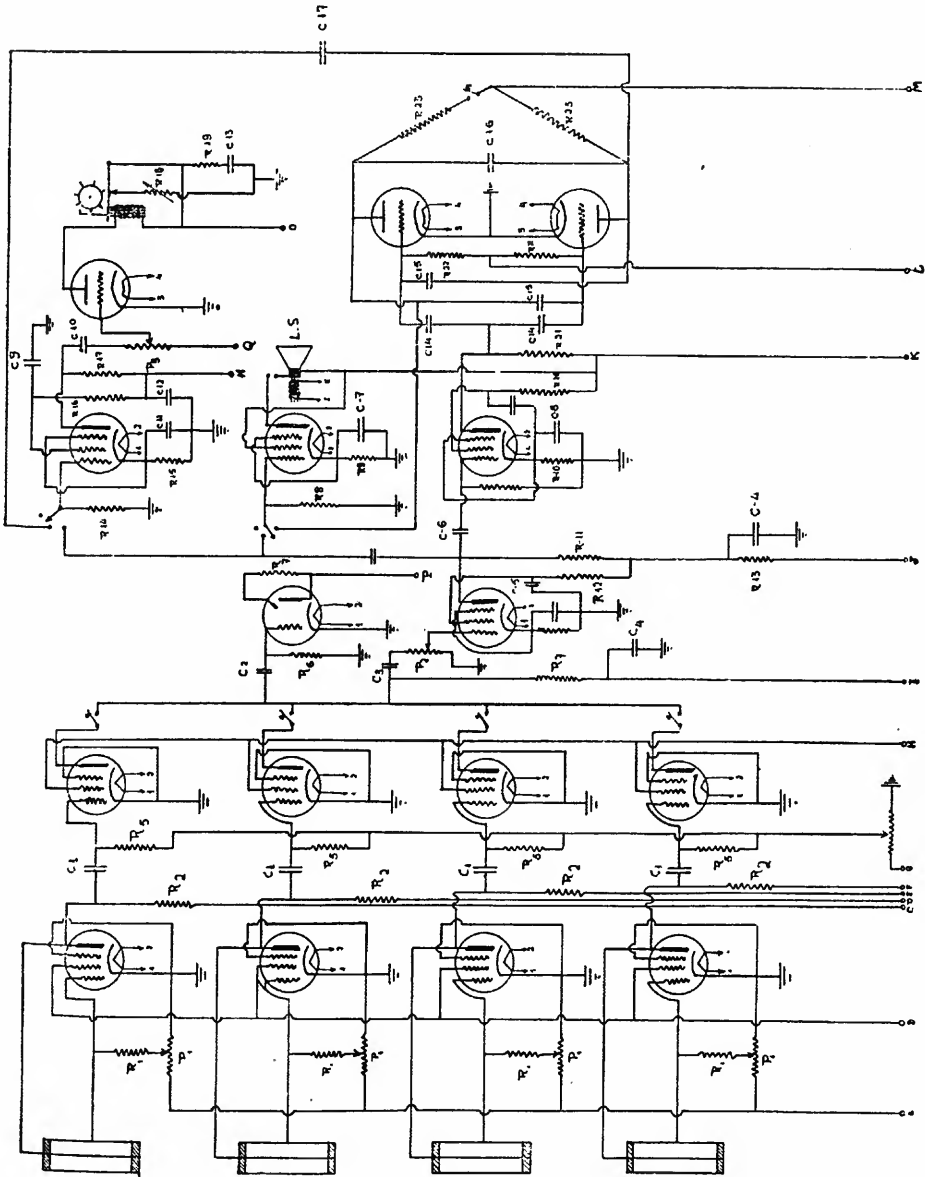
A contagem dos impulsos foi efetuada por um contador eletromagnético, capaz de registrar 30 impulsos por segundo, comandado por uma válvula thyratron 885 (fig 1). O dispositivo de contagem podia ser ligado por uma chave inversora à penúltima válvula de ampliação ou a um "Scale of Two", provido de condensadores de supressão [LEWIS (5)] e construído com válvulas RCA 885, para aumentar a eficiência da contagem.

Para evitar que perturbações originárias no circuito de amplificação se traduzam em "spurious counts", foi empregado, em seguida, a válvula de coincidências, um amplificador linear com um "gain" da ordem  $10^5$ . Um potenciômetro disposto na grade da primeira válvula ampliadora, permitia a limitação da grandeza do impulso final, registro simultâneo de coincidências de diferentes ordens de multiplicidade e provia ao aparelho um meio seguro de variar o poder separador.

---

(4) WYNN-WILLIAMS, Proc. Roy. Soc., A136, 312 (1932).

(5) LEWIS, Proc. Roy. Soc.



F'g. 1

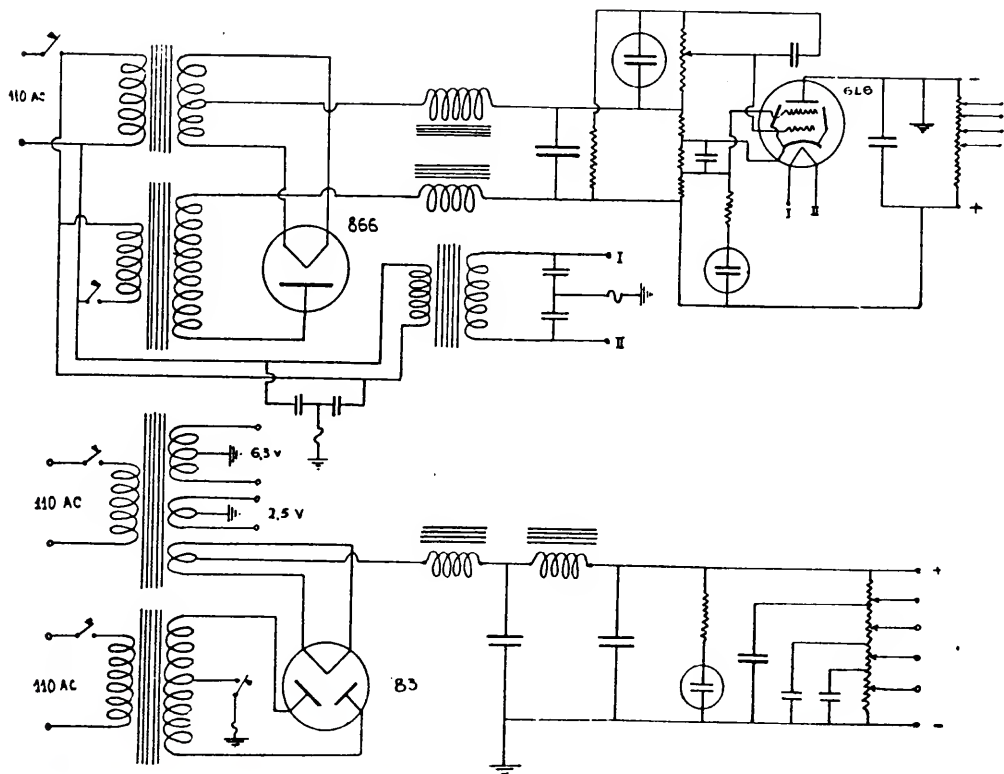


Fig. 2

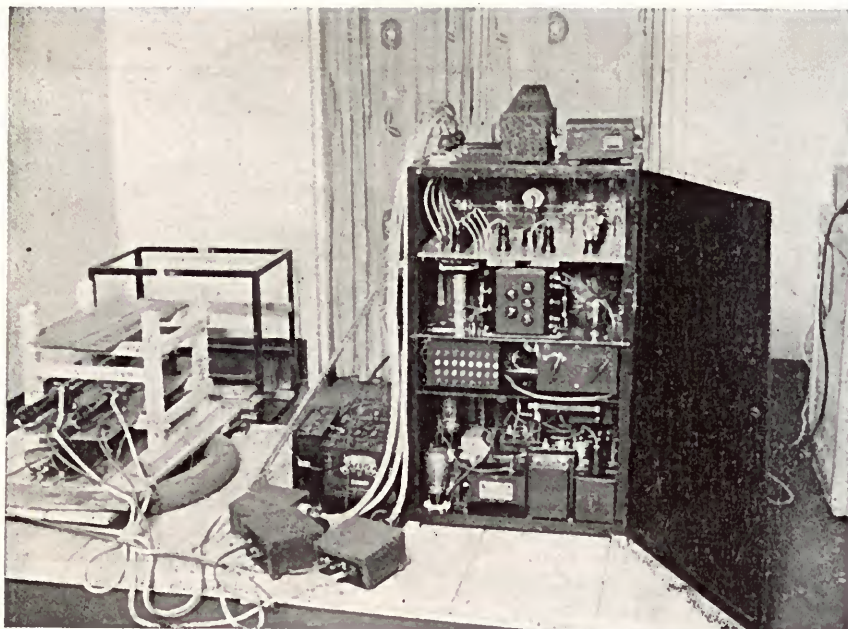


Fig. 3 -- Fotografia apanhada a bordo do "Oceania" durante os estudos sobre o effeito de Latitude.

Devido ao fato que o circuito de NEHER e HARPER requer uma corrente de cerca de 2 Ma por valvula na ocasião da contagem de um impulso, julgamos conveniente alimentar os contadores com uma corrente retificada, filtrada e estabilizada.

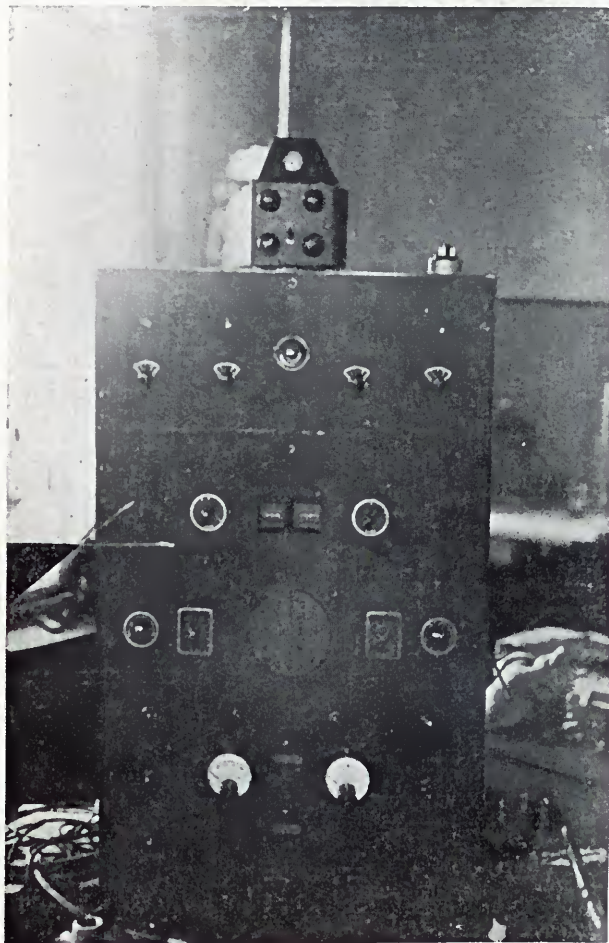


Fig. 4

O retificador construído (fig. 2) era capaz de fornecer 250 mA e 2000 V. DC. Para a estabilização desse potencial, foi utilizado o emprêgo do circuito de GINGRICH (6), ao qual foram adicionadas modificações, destinadas a diminuir o "ripple" e aumentar a estabilização.

Como valvula estabilizadora foi utilizada uma 6L6, metálica. As modificações introduzidas podem ser observadas no esquema da

fig. 2. Depois de estabelecido o equilíbrio do circuito do estabilizador, pudemos constatar que a uma variação de 30 V. no primário (110 V AC) correspondia uma variação menor do que 10 V ou seja menor de 0,75 % no circuito estabilizado.

Na alimentação de placa das valvulas ampliadoras, temos que salientar que com o uso de um sistema adequado de filtragem, reduziu-se o "ripple" a menos de 1%.

Utilizou-se também um regulador de voltagem constituído por uma lâmpada de neon adequada, ligada em série com uma resistência, segundo o circuito de GINGRICH (6).

## DISPOSITIVOS DE CONTROLE

Um voltmetro de 2 escalas ligado em conjunção com "switch" rotatório permitia uma verificação imediata dos potenciais aplicados nas valvulas do circuito, inclusive thyratrons. Desta maneira, era possível levantar a indeterminação da contagem do "scale of two" por uma simples leitura do potencial de placa.

Para o controle da tensão de alimentação dos contadores, foi incluído um voltmetro permanentemente ligado ao retificador de alta tensão.

Desejamos exprimir o nosso agradecimento ao Snr. F. Bentivoglio, técnico do Departamento de Física, pelo auxílio prestado na construção do aparelho:

---

(6) GINGRICH, R. S. I., May 1936, pg. 207, vol. 7, n.º 5.



## ABSTRACT

On the technique of measuring elementary particles  
and cosmic rays

*G. Wataghin and M. Damy de Souza Santos*

Departement of Physics. S. Paulo University

An account is given of the apparatus built for measuring cosmic rays and counting elementary particles.

An arrangement to measure 2-3-4-coincidences with ROSSI's method is provided. In the first stage the NEHER and HARPER circuit was used. The hook-up and the apparatus can be seen in Figs. 1 and 2.

The account of some useful improvements introduced form the main purpose of this paper.

The principal features of the apparatus can be summarised as:

1<sup>st</sup> — The critical grid bias of the NEHER and HARPER circuit is avoided by using the tube in a suitable working condition (low amplification factor, high mutual conductance).

2<sup>nd</sup> — Use of self bias in all amplifier tubes self screen feeding.

3<sup>rd</sup> — Use of a magic eye and a cathode ray oscillograph (wich a 913 tube) for controlling purposes.

4<sup>th</sup> — Improvements in GINGRICH's stabilizing circuit.



# Medidas do efeito de latitude para “showers”

## Parte I

*G. Occhialini*

Departamento de Physica. Universidade de São Paulo.

No ano passado foi organizada no Departamento de Physica da Faculdade de Philosophia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, pelo prof. G. Wataghin, uma série de medidas na faixa equatorial e em regiões temperadas destinadas a determinação da grandeza do efeito de latitude para “showers”. Na presente nota são citados os resultados da primeira expedição, na qual foi escolhida como faixa de observação a região compreendida entre a Baía e Trieste. Tais medidas foram realizadas a bordo da M. N. “Oceania”, entre os dias 3 e 19 de Janeiro do corrente ano.

As pesquisas sobre o efeito de latitude dos raios cosmicos tem sido dedicadas principalmente ao estudo de particulas isoladas ou a medidas de ionisação. Ultimamente tem-se acumulado a evidência de que o efeito de latitude para os grupos de particulas secundarias simultâneas (“showers”) é muito menor do que para a radiação primaria.

JOHNSON (1) achou, primeiramente a ausencia absoluta de qualquer efeito. Em seguida (%), em pesquisas sucessivas, obtiveram um efeito global de 6 % para os “showers” em relação a um efeito de 14 % para particulas primarias isoladas. Analogo resultado foi obtido por PICKERING (2).

Após ter sido realizada a primeira expedição, tivemos conhecimento de uma pesquisa semelhante realizada por NEHER e PICKERING (3). Esta pesquisa, levada a effeito quasi ao mesmo tempo

---

(1) JOHNSON, Phys. Rev. 47, 318 (1935). — JOHNSON e READ, Phys. Rev., 51, 557 (1937).

(2) NEHER e PICKERING, Phys. Rev. 53, 111 (1938).

(3) PICKERING, Phys. Rev., 49, 945 (1936).

e realizada de uma maneira mais completa do que a nossa, não torna a presente publicação desnecessária.

§ 1 — Em uma pesquisa realizada a bordo de um navio, encontram-se sempre dificuldades experimentais que julgamos útil pôr em evidência, porquanto elas não correspondem a dificuldades similares encontradas em um laboratório.

O Dr. Marcello Damy de Souza Santos collaborou nas medidas effectuadas entre Santos e Recife.

Para realização desta pesquisa foi utilizado o aparelho descrito na primeira parte do boletim do Departamento de Física (4).

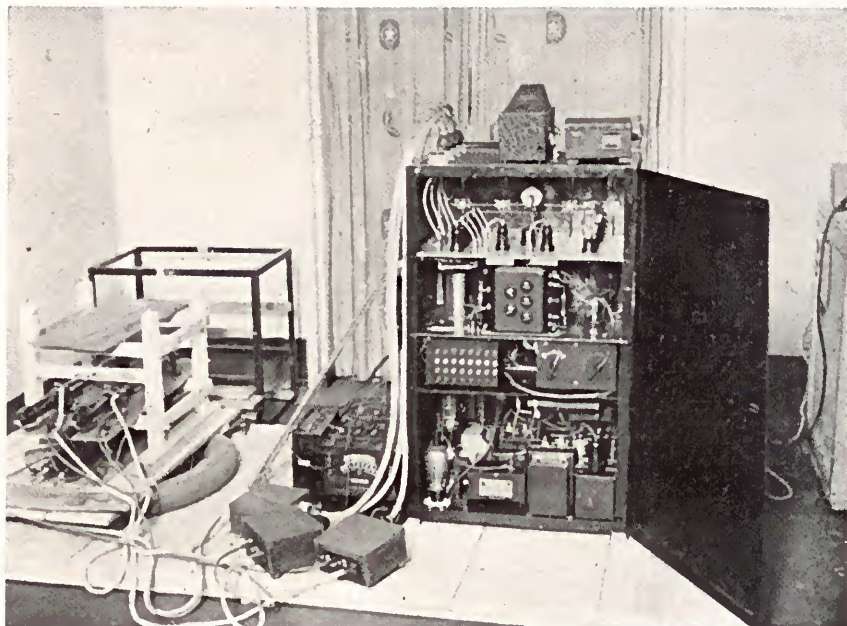


Fig. 1 — Photographia apanhada a bordo do "Ocean'a" durante a medida dos showers.

Dado o fato que a rede elétrica de alimentação do navio era de 110 volts DC, foi necessario utilizar um grupo conversor DC-AC de 110 v. e 200 watts. Nenhum metodo automático de compensação foi utilizado. As alterações da voltagem de entrada no aparelho de raios cosmicos não produziã nenhum efeito apreciavel nas alimentações de placa das valvulas e na alimentação dos contadores, devido ao fato de que o aparelho se achava provido de estabilizadores adequados destinados a suprimir os efeitos dessas variações.

(4) G. WATAGHIN e M. DAMY DE SOUZA SANTOS, Boletim do Departamento de Physica da Universidade de São Paulo, N.º 1

Relativamente às alimentações dos filamentos das valvulas, devido ao fato de ter sido introduzido no circuito adotado o metodo da "self-bias", era possível trabalhar com as valvulas sempre na mesma região da característica mesmo quando ocorria uma pequena variação da alimentação dos filamentos. Poude-se, porém, constatar que uma pequena alteração na tensão do filamento das valvulas 885, causada por uma variação da tensão no navio, traduzia numa alteração da contagem registrada. Em consequência, foi sempre necessario permanecer um observador atento às variações de tensão, as quais eram corretas manualmente com auxílio de uma resistencia em série com o motor. A falta de uma compensação automática foi, sem duvida, a característica mais desagradavel da nossa viagem.

Todavia, a nossa experiência com um sistema de alimentação de AC por intermédio de um motor gerador, nos convenceu de que, em um lugar onde se possa contar com uma fonte constante de DC, um pequeno gerador é a fonte ideal de alimentação para os contadores, pois é isenta de bruscos saltos e lentas variações não previsiveis.

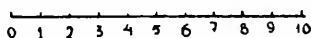
Durante a viagem, a altura da coluna barometrica permaneceu sensivelmente constante.

§ 2 — Os aparelhos contadores e registradores foram colocados na pôpa, numa sala de refeições da 2.<sup>a</sup> classe (\*). Sua posição era tal, que os mesmos se achavam sujeitos a uma oscilação contínua, que se traduzia em uma oscilação do fio interno. Um sistema simples de amortecimento que trabalhou com muita eficiência, foi obtido superpondo o sistema contante a uma câmara de ar de motocicleta. Com tal dispositivo, as vibrações foram completamente amortecidas.

Toda a montagem dos contadores foi realizada no navio devido ao fato de ser necessaria a sua instalação em um lugar onde o número das particulas difusas pelo corpo do navio e pelos objetos circunstantes não perturbasse as medidas. Os contadores utilizados, de 3 cm. x 35 cm., foram construidos, pelos Laboratorios Philips, segundo indicação dos Drs. COSYNS e GISOLF. As condições geométricas (v. fig. 2) da experiência foram escolhidas levando em consideração a presença de um efeito zero assáz notavel. Este efeito zero foi achado um pouco maior do que se deveria esperar do poder separador do aparelho (cerca de 15% a mais). Por outro lado, tal efeito additivo, que seria devido á radiação diffusa pelo corpo do navio, não foi determinado com uma muito grande precisão porque tal determinação acurada teria absorvido um grande espaço de tempo em detrimento das outras contagens.

---

(\*) Nessas condições o aparelhos tinha sobre si apenas uma coberta situada a 3m,50 de altura e correspondente a um estrato absorvente de 0m,5 de Pb.



Escala em cm.

Fig. 2

Para diminuir o efeito dessas coincidências acidentais, este fato nos levou a manter os contadores a uma certa distância.

O poder resolutivo para coincidências duplas nos três ramos da regisração foi controlado durante a viagem, aumentando o número de impulsos com auxílio da emissão radioativa de um relógio fosforescente e foi achado assáz constante ( $1,2 \cdot 10^{-4}$  seg.).

§ 3 — Na interpretação de qualquer curva obtida para o efeito de latitude, o efeito zero deve ser levado em séria consideração. De fato, todos os observadores são acordes em reconhecer que, da região equatorial á temperada, a variação da ionisação nos aparelhos é da ordem de 10 % e tal variação deve produzir uma sensível alteração no número das coincidências causais, duplas, e, porisso, quando o scontadores estão proximos um do outro, o número de coincidências acidentais deve sofrer uma variação bastante sensível com a latitude, como se depreende das variações de 0,69 a 0,75 por minuto, obtidas quando se passou da Baía a Trieste.

Sendo o nosso efeito para “showers”, no maximo da curva de Rossi, da ordem do efeito zero, não nos era possivel desprezar as

variações do início dessa curva em função da latitude. Por êsse motivo, fomos levados a determinar o ponto do início da curva de ROSSI com uma razoavel precisão, ainda que essa determinação nos forçasse a obter uma menor precisão na determinação dos outros pontos dessa curva, dado o tempo limitado de que podíamos dispôr para a realização das medidas. No maximo da curva de ROSSI, o número de coincidências registrado foi de 1,5 por minuto.

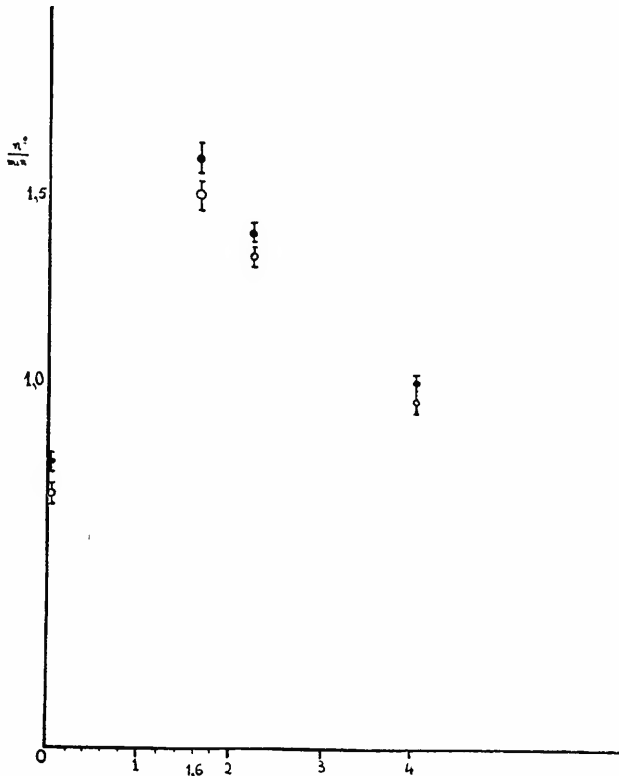


Fig. 3 Pontos pretos: zona temperada  
Pontos brancos: zona equatorial

As duas curvas (fig. 3) foram tomadas contando da Baía (13°S,40°) a (6°N,28°) e de Gibraltar (35°N,8°) a (43°N,14°E).

Esta divisão é justificada pelos resultados dos trabalhos de CLAY, E DE MILLIKAN e NEHER (efeito de longitude) bem como por uma medida direta por nós realisada, contando o número de impulsos individuais de um contador colocado sob uma longa camada absorvente de 4,5 cms. de Chumbo. (Tabela n.º 1)

<i>Impulsos por minuto</i>	<i>Posição Geografica</i>		
154 ± 1	13° S	40° O	Bahia
152 ± 2	2° S	35° O	Recife
155 ± 2	0°	30° O	
154 ± 3	6° N	28° O	
157 ± 2	14° N	24° O	Cabo Verde
164 ± 2	20° N	19° O	
163 ± 2	28° N	17° O	Canarias
162 ± 2	35° N	8° O	Gibraltar
166 ± 2	37° N	3° E	Alger
165 ± 2	41° N	14° E	Napoles
167 ± 2	43° N	14° E	Ancona

A variação total era de ordem de 10 % e pode ser considerada como medida do efeito de latitude da Baía a Trieste, por partículas isoladas. Esta medida não corresponde a uma realidade geográfica e foi somente realizada para elemento de confronto com as medidas dos "showers". Tal medida indica apenas a variação do número de partículas que são capazes de atravessar 4,5 cms. de Pb, ( $E > 150$  MEV) uma grande parte das quais não é capaz de produzir "showers".

Por outro lado, a disposição assim realizada permitia a contagem de partículas provenientes de várias direções e, por esse motivo, êsses resultados podem ser comparados com os obtidos para os "showers" em melhor aproximação de que os obtidos na contagem de "showers" sob pequeno angulo.

Fazendo essa seleção dos resultados obtidos, temos possivelmente uma variação de 2 % no número das partículas incidentes entre o início e o fim de cada uma das séries de medidas relativas às curvas.

Os pontos correspondentes aos "showers" na região geográfica intermediária, foram omitidos nas curvas.

A semelhança das duas curvas por nós obtidas parece provar que em grande parte os "showers" no nível do mar são produzidos por uma radiação que tem a mesma qualidade e a mesma intensidade na zona equatorial e na zona temperada.

§ 4 Podemos dizer que á uma variação da ordem de 9 % na intensidade da radiação incidente tem-se uma variação certamente não superior a 3 % nos "showers". Êste fato está de acôrdo com os resultados de JOHNSON e READ (1), PICKERING (2) e NEHER e PICKERING (3) não obstante que as considerações do § 3 nos levem a acreditar que o efeito encontrado destes ultimos autores deva ser considerado como um limite superior.

Não nos parece que a evidência experimental nos permita discriminar se esta propriedade é devida ao fato de serem os "sho-



wers", por nós estudados, produzidos por uma radiação que não é sensível à latitude ou porque é muito dura ou porque é de origem secundaria muito degenerada.

Na fig. 2 pode-se constatar que a disposição dos nossos contadores era tal que punha em evidência sómente "showers" de ao menos tres particulas, e "showers" com um grande "spread" angular, isto é, dispersos sob grandes angulos.

Por esse motivo somos levado a crer que o que medimos não foi o effeito equatorial dos "showers", mas antes o effeito relativo a estes "showers" selecionados.

Esta particularidade de seleção é, todavia, comum, em maneiras diversas, a todas as experiências realizadas em contadores, qualquer que seja a distancia entre os eixos. Este fato é devido ao grande comprimento do sistema contante, para o qual o angulo sólido é muito maior do que se pode avaliar pela secção normal dos desenhos da disposição dos contadores.

Esta falta de simetria central, segundo o nosso ponto de vista, é um sério obstaculo a toda tentativa de pôr em acôrdo os resultados obtidos com medidas realizadas com contadores com qualquer teoria da produção de "showers".

Este ponto de vista parece justificado pelas diferenças entre as curvas obtidas com contadores com pequenos angulos e as curvas de distribuição angular (spread) dos showers obtidas com camara de WILSON. Devemos fazer observar que as teorias de BHABHA-HEITLER e de CARLSON-OPPENHEIMER se aplicam muito bem a fenômenos tipicamente elementares e por isso todo confronto com um sistema analisador de contadores é muito difícil.

Em base a estas considerações, podemos esperar que as experiências de câmaras de WILSON, possam provar que tais teorias se adaptam perfeitamente aos fatos experimentais, mas não é demais insistirmos aqui que a câmara de WILSON dá necessariamente uma representação bi-dimensional do fenômeno, enquanto que um sistema de contadores das dimensões geralmente utilizadas é certamente mais favoravel a fenômenos complicados dispersos sob grandes angulos sólidos.

Enquanto as medidas não forem realizadas de maneira a distinguir as particulas de diferentes energias qualquer acôrdo ou desacôrdo quantitativo dos resultados com tais teorias não poderá ser estabelecido de uma maneira segura.

Uma tentativa deste tipo foi realizada pelo autor na viagem de volta, de Trieste a Santos a bordo da M N Neptunia. Todavia, um violento salto de tensão na rede de distribuição do navio ocasionou o rompimento de um condensador de filtro da alta tensão. Este fato, ocorrido em meio da viagem, nos forçou a interromper as medidas iniciadas.

Nos laboratórios do Departamento de Física desta Universidade, estão em curso pesquisas destinadas a elucidar esses pontos (5).

Para uma bibliographia mais completa v. ROSSI, B: Les rayons cosmiques (Hermann ed.) — BLACKETT, P M S: La Radiation Cosmique (Hermann ed.).

### ABSTRACT

The shower intensity between Bahia (Brasil) and Trieste (Italy) and the Rossi curves for equatorial and temperate regions have been investigated with a three particles counter arrangement.

While the corpuscular intensity is affected by the latitude change by about 9%, the *measured* shower intensity is affected in a lower degree.

The Rossi curves have about the same shape.

This can be interpreted as meaning that showers are produced from a radiation that does not appreciably change in quality and quantity from tropical to temperate regions. It is pointed out that any definite quantitative conclusion is altogether subjected to caution due to the fact that any shower detector selects generally showers of great angular spread.

---

(5) M. DAMY DE SOUZA SANTOS G. OCCHIALINI, em preparação.

# Difusão dos raios gâma do Thorium C''

por

*G. Occhialini*

Nas páginas que se seguem é descrito um conjunto de experiências realizadas com o intuito de estabelecer a natureza da radiação difundida sob grandes ângulos por elementos submetidos á irradiação dos raios gama do Thorium C'' (2,6 milhões de volts). Serão dados tão somente os resultados experimentais, juntamente com as primeiras conclusões que dos mesmos se podem inferir. O autor propõe-se efetuar posteriormente uma discussão quantitativa mais cerrada.

O aparelho acha-se representado nas figuras 1 e 2, bem como no esquema das figuras 3 e 5.

§ 1 — A fonte de Radiothorio (\*) de 30 millicuries em equilíbrio, achava-se no interior de uma couraça de Chumbo e seus raios eram filtrados através de 3 cm. de Chumbo, espessura esta escolhida por um método fotográfico (fig. 4).

Como difusores foram empregadas peças paralelepipedas de Carbono, Alumínio, Prata e Chumbo, contendo o mesmo número de electrons. As dimensões dos lados do retângulo em frente da fonte foram escolhidas por método fotográfico e também por um método direto análogo ao de STAHEL e KETELAAR (1). As dimensões reduzidas garantiam uma homogeneidade perfeita da radiação em vários pontos do difusor.

O sistema detetor compunha-se de dois contadores GEIGER-MULLER em coincidência (BOTHE e KOHLHOSTER), tendo sido fixada a incidência de modo a receber a radiação difusa a 114°. Os contadores funcionavam á pressão atmosferica com uma tensão de 4.000 volts e tinham paredes de Alumínio de 12  $\mu$  de espessura.

---

(\*) A fonte foi gentilmente emprestada pelo Instituto de Physica da R. Universidade de Roma.

(1) Journ. de Phys., 4 (1938).

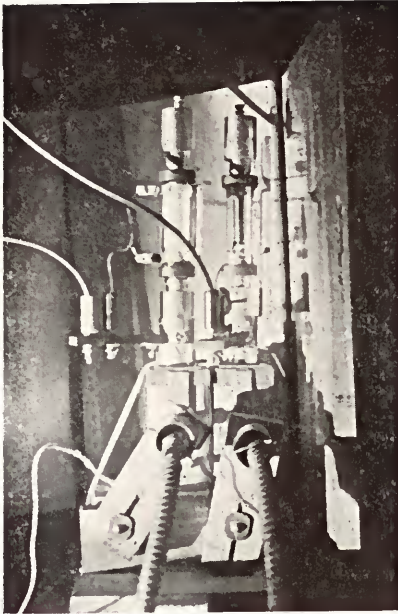


Fig. 1 — Sistema dos dois contadores



Fig. 2 — Detalhe da experiência: vê-se o difusor de Al suspenso por fios em frente à abertura da couraça. A' esquerda vê-se os contadores atrás de uma placa de madeira.

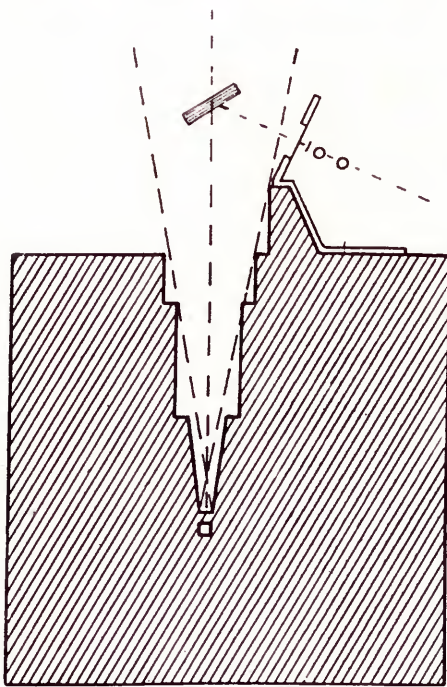
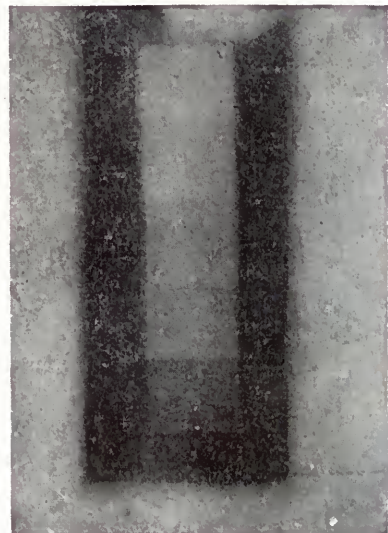


Fig. 3



3 cm Pb

2 cm Pb

1 cm Pb

0 cm Pb

2 mm Pb

Fig. 4

Nessas condições só eram postos em evidência electrons de energia superior a 70.000 volt. Em consequência, todas as curvas têm como abscissa zero a espessura acumulada das três paredes que os electrons deviam atravessar para dar uma coincidência.

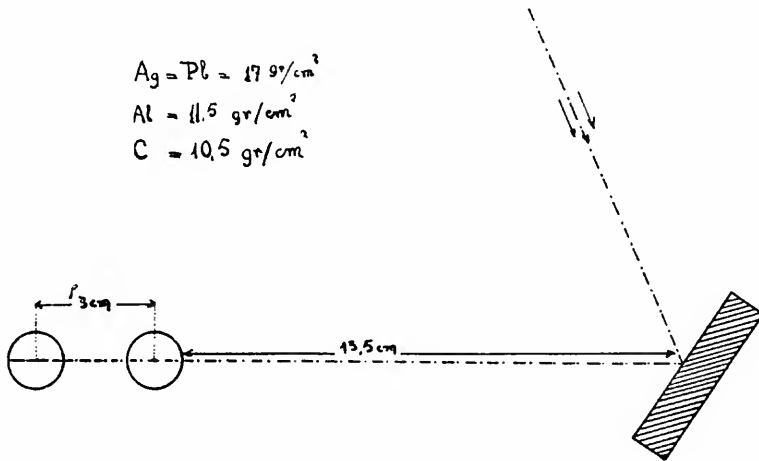


Fig. 5

Entre os dois contadores foram intercaladas espessuras variáveis de Alumínio de modo a poder traçar a curva de absorção; o feixe de laminas absorventes achava-se mais próximo do segundo contador. Junto do primeiro contador, do lado do difusor, achava-se uma lamina de Alumínio de 5 mm. de espessura na qual os raios gama difusos produziam os electrons secundários. A distância entre os eixos dos dois contadores era de 6 cms. numa das experiências e de 3 cms. noutra. Todo o sistema receptor tendia evidentemente a favorecer a observação das componentes duras. A distância entre a lamina em frente o sistema e os difusores era de 13,5 cms. o diâmetro dos contadores era de 1,5 cms. e o seu comprimento útil de 3,5 cms. Tal dispositivo foi utilizado especialmente para pôr em evidência a componente dura de MEITNER-HUPFELD (2).

A necessidade de prolongar as experiências durante vários meses levou a adotar uma resistência de fuga do tipo COSYNS (3) para os contadores. Dadas as dificuldades de obtenção das células fotoelétricas, naquela ocasião, lançou-se mão da emissão fotoelétrica do catodo de uma válvula Arturus iluminada por uma lâmpada de indandescência. Esse dispositivo, simples e econômico, funcionou durante todo decorrer das experiências, permitindo ainda super-

(2) Naturwiss, 18, 534 (1930). — Phys. Zeit., 31 (1930). — Zeit. f. Ph., 67, 147 (1931). — BOTHE e HORN, Zeit. f. Ph., 88 (1934).

(3) COSYNS, B. T I, 1937. — OCCHIALINI, J. S. I XV 3 97 (1938).

voltar de 120 volts os contadores em relação á tensão inicial (figura 6).

O registrador de coincidências, do tipo ROSSI, modificado por G. BERNARDINI possuía um poder de resolução de ca.  $0,8 \times 10^{-4}$  segundos, com uma perda de aproximadamente 12% sobre o número de coincidências.

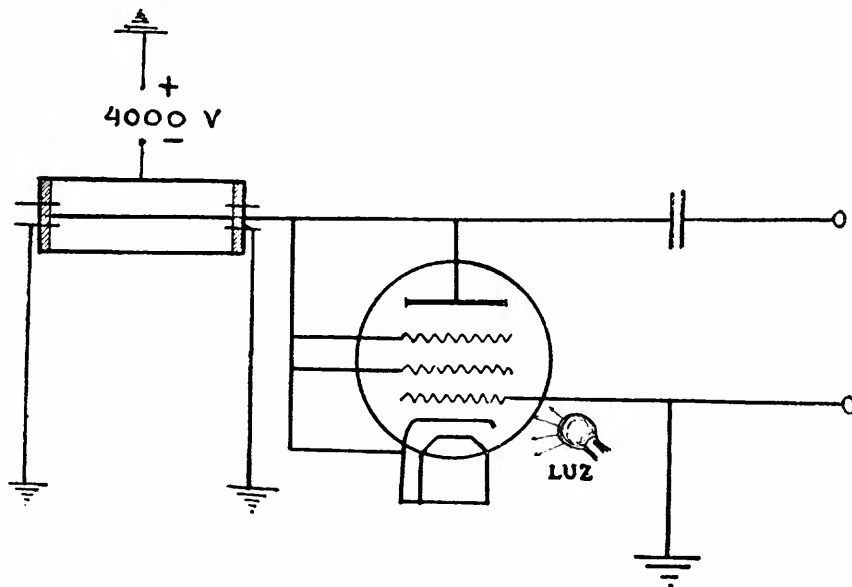


Fig. 6

§ 2 — Um sistema de contadores com paredes delgadas é muito sensível a todo tipo de radiação corpuscular difusa. Para reduzir ao mínimo o número de impulsos dos dois contadores, teve-se o maior cuidado em afastar corpos estranhos de sua vizinhança. O preparado ativo e a couraça achavam-se numa grande sala, o difusor juntamente com o sistema registrador ficavam alinhados com uma janela. A interposição duma espessura de madeira, entre o difusor e êsse sistema, permitiu reduzir de 40 % os impulsos individuais dos contadores.

Em experiências de difusão, estabelecer um valor preciso para o efeito zero é o ponto mais importante. Não se trata simplesmente de determinar uma curva na ausência do difusor e de subtrair esta curva da que se obtém com um difusor. Antes de tudo, nessas experiências, o efeito zero deve ser conhecido exatamente para todos os pontos. De fato, uma incerteza de 5 % no efeito zero para um absorvente de Alumínio de 0,4 mm. não influe de modo apreciável sobre as conclusões relativas aos elementos pesados, mas torna impossível uma conclusão segura para os elementos

leves. A mesma incerteza existe para os elementos pesados quando a espessura do corpo absorvente excede 1,4 mm.

Não seria inútil definir as regras gerais em que se baseou o autor na determinação do efeito zero. Sobre sua justeza e modo de aplicação assenta a legitimidade das conclusões.

1.º) O efeito zero, na ausência dos difusores, é função do número de impulsos e da conformação geométrica geral.

2.º) A introdução dum difusor reduz esta frequência dum certo número de coincidências. Este número é determinado por uma ação de anteparo do próprio difusor interposto e será desprezível si o ângulo sólido compreendendo difusor e sistema registrador não fôr grande demais. Em nossas experiências era desprezível.

3.º) A introdução de um difusor faz crescer o número de impulsos isolados nos dois contadores.

4.º) A interposição de um difusor de Chumbo ou de Carbono não acarreta o mesmo aumento das coincidências fortúitas, mesmo quando se tem igual acréscimo para o número de impulsos. Isto é devido á desigual dureza das duas radiações: um difusor de Carbono equivale a uma fonte de raios gama de 400.000 volts preenchendo uma caixa com as dimensões do difusor ao passo que um difusor de Chumbo equivaleria a uma fonte de 800.000 volts.

A extensão das medidas a uma espessura infinita de absorvente não permite determinar com segurança o efeito zero total e dá o limite inferior da quantidade que deveria ser subtraída das medidas feitas, com os difusores. A curva de zero não é paralela ao eixo das abscissas, mas continúa a descer com o aumento do estrato de absorvente. A observação do efeito com uma espessura infinita revela que há um número de coincidências maior do que o que se deveria esperar do calculo baseado no poder resolutivo. Uma diferença semelhante, embora menos sensível, foi observada com difusores de Carbono e Alumínio.

Pode-se interpretar êsse efeito aditivo como devido, em parte, á produção de "showers" no difusor e á radioatividade própria do difusor, e em parte a um ricochete dos electrons que, depois de dar um impulso no primeiro contador, entram no segundo sem ter atravessado o absorvente. As condições experimentais prestavam-se a essa ocorrência: de fato, o absorvente não era muito extenso. Por outro lado, aumentar o absorvente equivale a reforçar o efeito de difusão segundo o qual o raio gama liberta um electron nas vizinhanças do primeiro contador e um outro nas vizinhanças do segundo. Êsse processo foi previsto por BOTHE e KOLHORSTER na sua histórica nota. Em nosso caso, um efeito dêsse gênero deveria dar ao sistema de coincidências uma contribuição de cerca de 6 por 1.000 para o Chumbo, o que não é de todo desprezível para as grandes espessuras de absorvente. No caso do Alumínio,

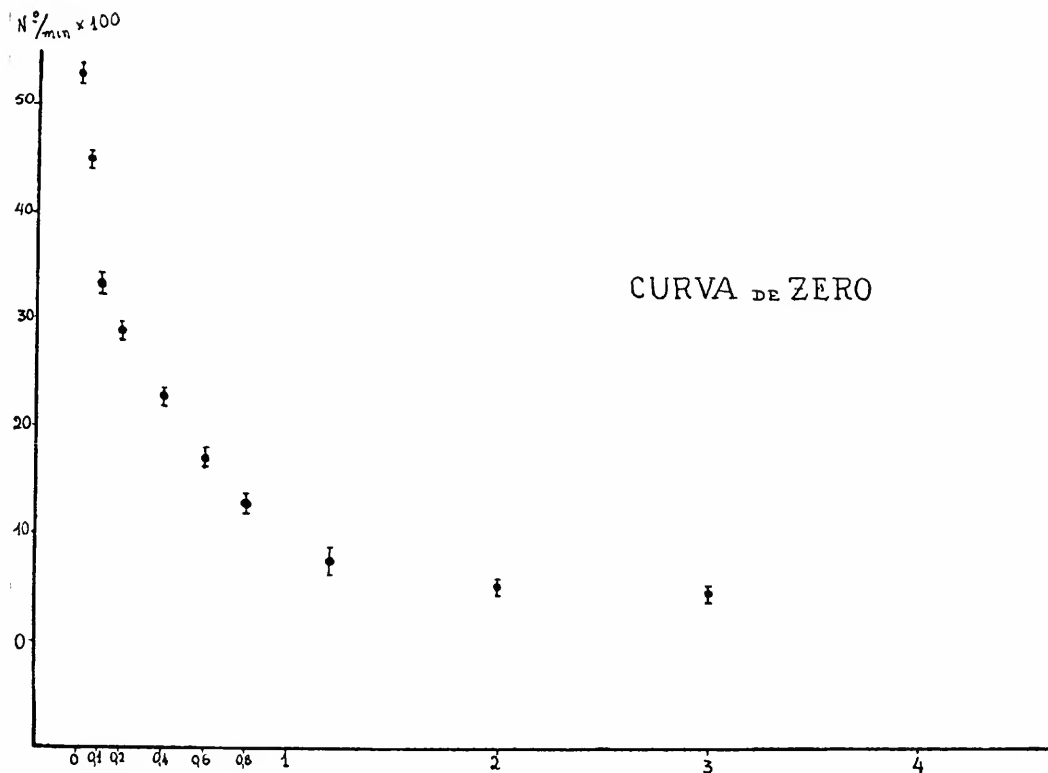


Fig. 7

pelo contrário, tal efeito deveria ser 6 vezes mais fraco e, por isso mesmo, entraria folgadoamente nos êrros experimentais.

Qualquer que seja o sistema detetor, uma sub-estimação do efeito aditivo, devido á presença do radiador virtual constituído pelo próprio difusor, *deve conduzir necessariamente a uma extensão do espectro para o lado das grandes energias.*

§ 3 — Nas figuras 8, 9, 10, são mostrados os resultados obtidos com difusores de Al, C, Pb, respectivamente, com distâncias entre os eixos dos contadores de 6 cms. e com Al, C, Pb e Ag para distâncias de 3 cms. Em todas essas observações o efeito zero foi subtraído, levando em conta a alteração na contagem individual devido a diferentes absorventes.

O êrro foi calculado adicionando-se ao erro das medidas isoladas a metade do êrro ao ponto de zero correspondente, modo êste de proceder que parece justificado pelo fato de que os pontos da linha de zero acham-se sobre uma curva regular e bem definida. O autor acredita, todavia, que o êrro dessas medidas seja um pouco maior do que o correspondente á média estatística. E' preciso



recordar que a experiência comportou 60 medidas quasi simultâneas e que em consequência, numa série tão longa de medidas, apesar do controle contínuo, não se pode avaliar o êrro real pelas leis probabilísticas, devido á variação eventual da sensibilidade dos instrumentos.

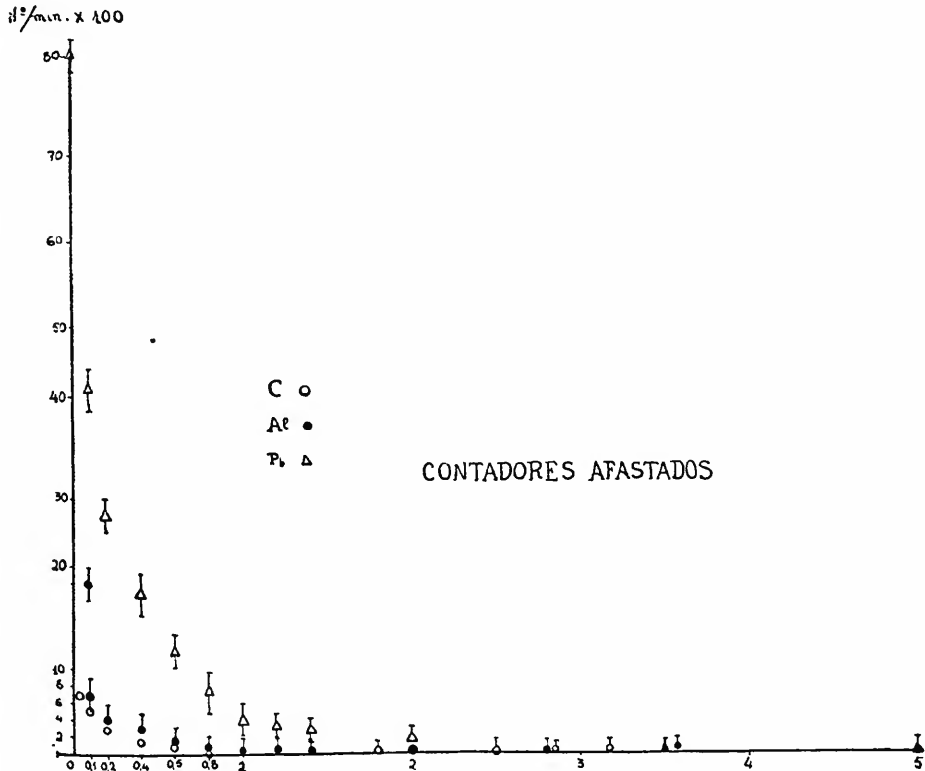


Fig. 8

As curvas assim traçadas nada mostram de novo além do que já se conhecia pelos numerosos trabalhos sobre o argumento (4), mas o autor crê que elas põem em evidência a complexidade da radiação sem necessidade duma série complexa de correções bastante duvidosas. Dos dois sistemas de curvas é aquela obtida com maior distância entre os contadores que fornece maior copia de

(4) CHAO, Proc. Nat. Acad. Amer., 16, 431, 1930. — Phys. Rev., 36, 1519, 1930. — TARRANT, Proc. Roy. Soc., 135, 23, 1931. — GRAY e TARRANT, Proc. Roy. Soc., 128 (1930), 130 (1931), 136 (1932), 143 (1934). — STAHEL-KETELHAAR, J. Ph., 4 (1933), 5 (1934), 7 (1936). — STAHEL-KETELHAR-KIPFER, J. Ph., 7 (1936), GENTNER, C. R., 197 (1933), 200 (1935). — GENTNER e STARKIEWIEZ, J. de Ph., 6, 1935. — BOTHE-HORN, Zeit. f. Phys., 88 (1934).

informações. Essa curva mostra, de fato, uma estrutura complexa devida a condições geométricas mais favoráveis.

Por exemplo, comparando as curvas da Ag e do Pb de igual número de electrons e eguais dimensões geométricas, vê-se de modo direto o crescimento da radiação anomala com o número atômico.

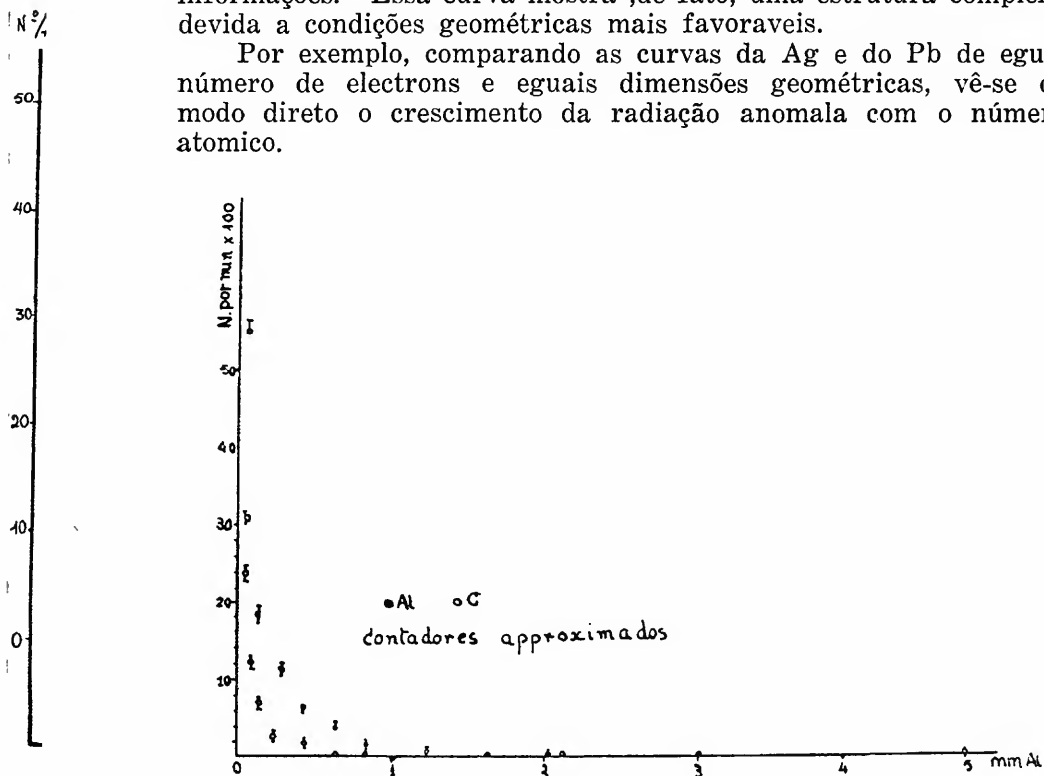


Fig. 9

A medida da energia dos electrons secundários, foi realizada tomando o ponto da terminação aparente dos grupos. Ensaaiou-se a definição do percurso médio como foi feito por BOTHE e BECKER (5) e depois por AUGER, FLEISCHMANN e RASETTI (6). As curvas obtidas com diferentes distâncias entre os contadores não dão, com este método, valores consistentes na energia. Tal discrepância deveria certamente existir uma vez que as radiações confrontadas não são monocromáticas. Todavia, mesmo no caso de radiações monocromáticas, o tipo da distribuição angular dos electrons COMPTON é muito alterada com a energia dos electrons, e isto nos leva a crêr que em qualquer caso o critério de "Halbvertdicke" não se preste a realizações de medidas precisas (7).

(5) Z. f. Phys., 69 (1932).

(6) AUGER, C. R., 199 (1934). — RASETTI, Z. f. Phys., 97 (1935), FLEISCHMANN, Z. f. Phys., 103 (1936).

(7) BERNARDINI E FRANCHETTI, Ricerca Scientifica in press. — OCCHIALINI, LINCEI, 4 (1937).

§ 4.º — Combinando-se, como é legítimo, os resultados dos dois sistemas de curvas, chega-se á conclusão de que o Chumbo parece dar origem a três tipos de radiações. O primeiro se identifica com o efeito COMPTON. A segunda parece terminar em 700.000 volts e deve corresponder á radiação de aniquilamento dos positrons ao fim do seu percurso (8). A terceira estende-se para o lado das grandes energias e sua intensidade decresce bruscamente em 1,2 milhões de volts. Acima desta energia resta muito pouca radiação. Uma interpretação direta daria 2,5 % no máximo, da radiação total, todavia, as considerações do § 2 nos levam a crêr antes numa intensidade menor.

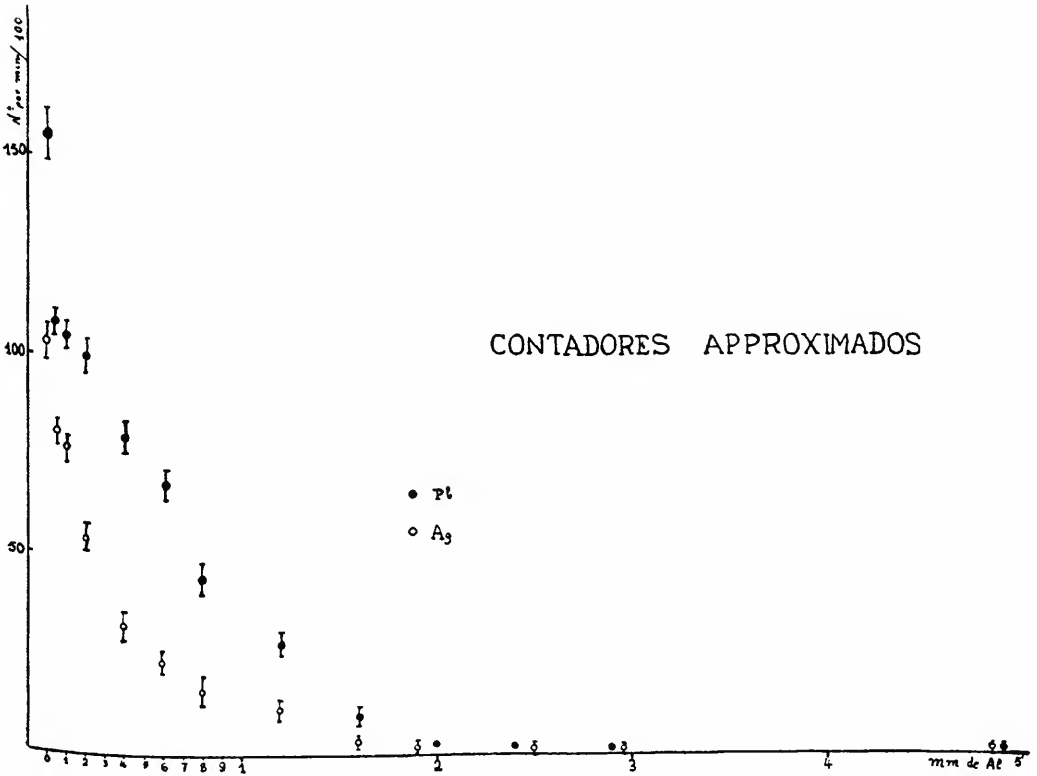


Fig. 10

Por esta última fração seriam responsáveis a freiagem dos electrons negativos e a aniquilação dos electrons positivos ainda em movimento. A ordem da intensidade dessa radiação deveria ser,

(8) BLACKETT E OCCHIALINI, Proc. Roy. Soc., 139 (1933). — H. A. BETHE, Proc. Roy. Soc., 150 (1935). — FERMI E UHLENBECK, Phys. Rev. (1934).

segundo BETHE, de 1 % de todo o efeito. Convém notar que a energia média dos electrons positivos é de menos de 1 milhão de volts (9) e que a radiação previsível terá, em sua maior parte, uma energia menor de 1,6 milhões de volts, valor êste conciliável com a terminação aparente das curvas experimentais.

A radiação mole dos elementos pesados é maior do que a que se poderia prever como efeito COMPTON. Em particular, a diferença entre a prata e o chumbo, para a espessura zero, é de tal modo ingente que, para a sua aplicação, é mister levar-se em conta a radiação de 250.000 volts, postulada por BETHE e conexas com o aniquilamento dos positrons em movimento.

O problema da intensidade da radiação mais dura (coherente) é análogo ao que se encontra no caso do limite superior dos raios beta e como essa difícil de resolver em modo definitivo. O autor, baseado nas considerações do § 2, está convito de que a intensidade da componente dura não deve ultrapassar 1 %.

O complexo da radiação difusa pelo Alumínio é muito menos duro e, provavelmente, tem um limite superior em 700.000 volts com uma cauda. A radiação do Carbono parece ter uma energia de cerca de 500.000 volts. O valor da radiação COMPTON, que se pode prever para essas condições geométricas seria de 300.000 volts, aproximadamente, ou mesmo 350.000 por causa da contribuição devida às dimensões do difusor, visto da fonte sob um ângulo de 110° a 118°.

O difusor de Carbono foi examinado espetroscopicamente, afim de se verificar si alguma impureza não seria responsável pelo endurecimento da radiação. A única substância estranha encontrada correspondia a traços de Boro e, por isso, fez-se uma experiência de contagem com 120 gramas de carbureto de boro, que não mostrou anomalia alguma.

Nas condições geométricas de nossas experiências, é pouco provável que a difusão múltipla (BOTHE e HORN) possa ter papel apreciável. Assim pode-se acreditar que a contribuição aditiva é ainda devida à aniquilação dos electrons positivos (10).

Êste trabalho foi realizado no Instituto A. GARBASSO, de Florença, sob a direção do Prof. L. Tieri. Desejo aqui exprimir o meu reconhecimento pelo constante encorajamento e pela paterna disciplina. Desejo, também, agradecer aos meus colegas Bernardini, Bocciarelli e Franchetti, pelo amigável auxílio prestado na

---

(9) CHADWICK-BLACKETT-OCCHIALINI, P. R. S., 144 (1934).

(10) DE BENEDETTI, C. R. (1934). — BOCCIARELLI, *Ricerca Scientifica* (1937) (in press).

realização deste trabalho e aos Drs. L. Cintra do Prado, M. Damy de S. Santos e N. Menciassi-Lupi, pelo auxílio prestado na compilação.

São Paulo, 25 de Setembro de 1937.

#### ABSTRACT:

By the method of coincidences a careful examination of the radiation scattered under great angles by several elements was performed. The results are in good agreement with those of CHAO, GRAY and TARRANT, GENTNER, STAHEL and KETELAAR.

The radiation is shown to consist of discrete groups of energy, to be attributed to the contribution from COMPTON effect, reemitted radiation from positive electrons at rest, and Brehmstrahlung of positive and negative electrons. No definite indication of coherent radiation has been found.

Para uma bibliografia completa, veja-se o magistral trabalho de GENTNER, publicado no Phys. Zeit., 21-836-1937.



# Sobre a teoria quântica e relatividade

por

G. WATAGHIN

Na presente nota é examinada uma possível solução para o problema das energias próprias e para as dificuldades conexas com a não convergência de alguns cálculos da teoria quântica. A solução proposta baseia-se sobre uma nova álgebra dos estados quânticos e sobre uma nova espécie de indeterminação nas medidas experimentais. Esta última tem origem nas limitações de nossas possibilidades de medida referentes às diferenças de 4-vetores-impulso, limitações essas relacionadas com a natureza das “forças  $g$ ” (interação de Fermi) e com a participação dos neutrinos nos choques de grande energia.

Algumas experiências sobre os raios cósmicos mostram que, nos choques com energias relativas  $\approx 10^9$  electron-volts, se dão fenômenos de interação, entre partículas e campos, diferentes dos que se observam para pequenas energias. Procuraremos estabelecer uma teoria quântica fundada sobre a existência de tais fenômenos e capaz de solucionar as dificuldades acima citadas, satisfazendo as condições de invariância relativística e de invariância quântica referente às transformações canônicas (ou de contato). Admitiremos também a existência daquela constante universal que, seja como valor crítico do impulso  $b$ , seja como um comprimento universal  $\Lambda = \frac{h}{b}$ , tem sido introduzida em várias teorias, como por ex.: a dos “showers” em estrela (“explosions-showers”) de Heisenberg, e a da eletrodinâmica de Born (1).

Parecem característicos dos choques com grande energia relativa as seguintes circunstâncias: a intervenção das forças  $\beta$  e, por consequência, a participação dos neutrinos; a geração dos “showers” em estrela, bem como a hipotética produção de electrons pesados.

---

(1) M. BORN, Proc. Roy. Soc., 143, 1934, p. 410 — W. HEISENBERG, Z. S. f. Phys., 101, 1936, p. 553.

Considerando que a observação dos neutrinos ainda não foi possível realizar-se e parecendo que no futuro a medida do seu impulso deva resultar pelos menos difícil sinão impossível, somos levados a admitir que nossas possibilidades de controle da conservação da energia e do impulso nesses choques são limitadas em parte por causa da participação dos neutrinos e em parte por outras razões que abaixo discutiremos. Em consequência deve haver uma nova indeterminação no espaço dos momentos, compatível com o princípio de indeterminação de Heisenberg-Bohr e tal que, num dado sistema de referencia, resulta  $\Delta p_x \Delta x \gg h$  para  $|p| > b$ .

Propomo-nos a mostrar que esta indeterminação suplementar no espaço dos momentos torna possível a construção duma nova algebra dos estados quanticos e dos observaveis, na acepção de Dirac, capás de solucionar os problemas aqui discutidos.

Consideremos um conjunto de particulas (como electrons, photons, protons) num Hohraum de volume  $V$  e apliquemos a todos os campos de particulas o método da 2.<sup>a</sup> quantisação, adotando como estados fundamentaes os autoestados ("eigenstates") do impulso (ondas planas). Do ponto de vista da hodierna teoria quantica, o numero de estados quanticos pertencentes a um dado intervalo do modulo do impulso  $p \rightarrow p + dp$  tende asintoticamente para:

$$dz = \frac{8\pi}{c^3} \cdot V p^2 dp \quad (1)$$

e diverge para  $p \rightarrow \infty$

Introduzamos nesta expressão um "fator de convergencia"  $G(p)$  <sup>(2)</sup>, de modo que para os estados quanticos obedecendo á nova algebra o numero dos estados independentes seja:

$$dz = \frac{8\pi}{c^3} \cdot V G(p) p^2 dp. \quad (2)$$

Admitamos que para um observador Lorentziano solidario com o Hohraum, isto é, tendo seus aparelhos fixos relativamente a este, não exista nenhuma possibilidade experimental de distinguir agrupa-

mentos de  $n(p) = \frac{1}{G(p)}$  estados, contendo a função  $n(p)$ , co-

mo parametro, a constante critica  $b$ . Fazendo uso da bem conhecida correspondencia entre os estados quanticos ordinarios e as

(2) Z. f. Phys., 88, 1934, p. 92; 92, 547, 1934. — La Ricerca Scientifica, S. II, Ano VIII, 1938.



celas de fásede volume  $h^3$ , no espaço de fásede, admitamos que agrupamentos de  $n$  ( $p$ ) celas contiguas resultem experimentalmente indistinguíveis e, por conseguinte, formem uma única cela quantica na nova teoria. Por motivos de invariançarelativística, devemos admitir, outrossim, que um outro observador Lorentziano, tendo uma velocidade bastante proxima da velocidade da luz (por ex.:  $\frac{1}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}} > 137$ ) poderá, com os seus aparelhos, se-

parar certos agrupamentos de  $n$  ( $p$ ) estados que são indistinguíveis para o primeiro observador; mas, em compensaçã, aquelle deverá então considerar indistinguíveis outros agrupamentos de celas, que se apresentam separadas para este. Obtem-se exatamente este resultado fazendo  $G = \frac{1}{n}$  (e, portanto, tambem  $dz$ ) depender do modulo invariante da diferençade dois 4-vetores-impulso (ou seja, do intervalo no espaço dos momentos  $p$ ).

Para particulas com  $m \neq 0$  estes dois 4-vetores reportam-se aos estados inicial e final dum processo quantico (os casos da emissãe absorpçãodos photons, que têm modulo nulo, requerem um tratamento à parte). (3).

A nova algebra dos estados quanticos possúe as seguintes propriedades. O numero dos estados quanticos fundamentaes é finito, como se infere da (2). Abaixo do valor critico  $b$ , os estados quanticos que se referem cada um a um só auto-valor  $p'$  do impulso resultam ortogonaes. Acima do valor critico  $b$ , os estados quanticos que se originam da indistinguíbilidade de  $n$  ( $p$ ) auto-valores e fusãodas respetivas  $n$  ( $p$ ) celas, não satisfazem sinão aproximadamente às condições de ortogonalidade, uma vez que a separaçãentre dois intervalos contiguos de impulso não é possivel por causa da incerteza na medida do proprio impulso. A invarianciarelativística dos fatores de convergencia  $G$  garante a invariancia das propriedades enunciadas.

Evidentemente, em muitos casos poder-se-á chegar aproximadamente aos mesmos resultados que se podem obter com a nova algebra, utilizando a modificaçãintroduzida na mecanica quantica vigente pelo método dos fatores de convergencia proposto pelo A.

Todavia, a não ortogonalidade dos estados acima considerada dá logar a casos essencialmente novos, e, em particular, permite explicar o fenomeno dos "showers" em estrela, como segue.

(3) Sull'elettrodinamica quantica. — Jornal de Matemática Pura e Aplicada da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1937. — R. Acc. Lincei, vol. 26, p. 282, 1937.

Heisenberg <sup>(4)</sup> fez notar que, na electrodinamica quantica, a emissão de muitas particulas a partir dum ponto resulta assás improvavel porque tal fenomeno se apresenta como processo de ordem elevada na teoria das perturbações. Examinando as razões pelas quaes, na primeira ordem, só pôde haver a emissão de um photon, encontra-se que isso resulta das regras de seleção relativas aos estados dos osciladores harmonicos e conexas com a ortogonalidade destes ultimos.

Nos processos em que intervêm grandes energias e nos quaes, pois, são interessados os photons pertencentes aos estados oriundos da fusão de  $n(p)$  celas de fáse, as novas  $\psi$  que representam taes estados não são ortogonaes e portanto as citadas regras de seleção se tornam inaplicaveis. Segue-se daí uma probabilidade não-nula para os processos de emissão de varios photons e, de modo analogo, tambem de varios electrons ("showers" em estrela).

Podemos tambem concluir que quando uma particula de grande energia produz um "shower" em estrela, sua energia inicial tende a distribuir-se entre particulas secundárias com energia da ordem da energia critica  $bc$ , pois que, nessa região do espaço dos  $p$ , o numero dos estados quanticos é ainda notavel, ao passo que tal numero decresce rapidamente com o crescer da energia.

Existe, ademais, uma carateristica notavel da teoria ora proposta, que põe em evidencia a validade aproximada de muitos resultados da vigente mecanica quantica tambem para energias de muito superiores á energia critica, (tão grandes quanto se queira), desde que se trate de choques com angulos de desvio suficientemente pequenos, nos quaes a particula, em seguida ao choque, conserve sensivelmente o impulso primitivo. Sejam  $p_i$  e  $p_f$  os impulsos, inicial e final. Referindo o fator de convergencia  $G$  a um observador para o qual  $p_f = 0$ , vemos que neste sistema tambem  $p_i$  resultará inferior ao valor critico si o modulo da diferença dos 4-vetores  $p_i$  e  $p_f$  é suficientemente pequeno. Neste caso subsistem as formulas da teoria quantica ordinaria. Esta circunstancia conjuntamente com a convergencia que se obtem nos problemas da energia propria constitue uma das carateristicas mais notaveis do método da introdução dos fatores de convergencia relativisticos.

---

(4) ZS. f. Phys., 101, 1936, p. 553.

# A b s t r a c t

## On the quantum theory and relativity

*G. Wataghin*

Departement of Physics S. Paulo University.

Starting from the assumption that our possibilities to measure high relative energies and impulses are limited in a new way because of the nature of  $\beta$  - forces and of the difficulties arising by the intervention of neutrinos, an attempt is made to solve the convergence - difficulties of the quantum theory. The proposed solution is based on a new kind of algebra of quantum states and observables (according to Dirac's terminology) and on an approximated method of calculation consisting in the introduction of suitable relativistic converging factors.

The assumptions referring to the indetermination in the region of high values of modulus of the differences between two 4-vectors  $p_v$  can be formulated in the following manner: Let us consider an assembly of particles in a Hohraum of volume  $V$  and let us apply the 2<sup>nd</sup> quantization to all them, adopting as basic states the eigenstates of the momenta  $p_v$  (plane waves).

From the point of view of the present quantum theory the number of states in the interval  $(p, p + dp)$  is given asymptotically by:

$$dz = \frac{8\pi}{c^3} V p^2 dp \quad (1)$$

and it does not converge for  $p \longrightarrow \infty$ . [ $p$  being the modulus of the impulse].

In this formula we introduce a converging factor  $G(p)$  in such a way that the number of new quantum states, which can be defined relatively to the measuring apparatus at rest with respect to the Holraum, is:

$$dz' = \frac{8\pi}{c^3} V \cdot G(p) p^2 dp \quad (2)$$

Let us assume that, in a Lorentz reference-frame connected with the Hohlraum, an observer having his apparatus fixed ( $\frac{v}{c} \ll 1$ ) with respect to the Hohlraum, has no possibility to distinguish between states belonging to an assembly of  $n(p) = \frac{1}{G(p)}$  neighbouring states, where  $G = \frac{1}{n}$  tends to 0 when  $p$  tends to  $\infty$  according to a suitable law of convergence for  $p > b$ , and  $b$  is a constant which, either as a critical impulse or as a minimum length  $\Lambda = \frac{h}{c}$  has been introduced in many theories, e. g. in Heisenberg's theory of explosion showers and in Born's electrodynamics. If there is any limitation of our possibilities to measure intervals  $\Delta s < \Lambda$ , then also a reciprocal limitation should exist for the intervals in the momenta-space, e. g. for the modulus of the differences of two 4-vectors  $p_\nu$ .

Considering the correlation between the quantum states and the cells of phase-volume  $h^3$  in the phase-space, we conclude from (2) that our assumptions mean the impossibility to distinguish experimentally between elements of an assembly of  $n(p)$  cells and thus the necessity to consider such an assembly as constituting an unic quantum cell in the new theory.

In order to satisfy the claim of relativistic invariance we must admit that the same limitations are valid for another observer

whose apparatus have such a velocity ( $\frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} > 137$  if  $b$  137 mc).

that he will be able to separate some states of an assembly of cells which appear indistinguishable for the former observer.

We obtain exactly these results referring the factor  $G$  to a pair of states (an initial and a final in a quantum transition) and introducing as argument of  $G$  the modulus of the difference between two 4-vectors  $p$  belonging to these states.

The new algebra of states has the following properties: The number of quantum states is finite, as it follows from (2) for suitable functions  $G(p)$ . They do not form a complete system of basic  $\psi$  and they should not be all orthogonal, because in the region of indeterminacy in the momentum-space, the orthogonality theorem is no more demonstrable.

It is possible to build an example of representatives of these new states considering, for instance, electronic plane waves in an Hohlraum of finite volume. If  $\varphi(p, x)$  represents an eigenstate

belonging to the eigenvalue  $p$  of the impulse, the new representative can be:

$$\psi(p, x) = \int G(p, k) \varphi(k, x) dk \quad (1)$$

where, e. g.  $G(p, k) = A \cdot \exp. \left[ - \frac{(k - p) - (E_k - E_p)^2}{a b \Delta p} \right]$

$$A, a \text{ are constant and } \frac{8\pi}{c^3} \int p^2 \Delta p = n^2(p)$$

The  $\psi$  is formed by means of all eigenstates  $\varphi$ , but the principal contribution is due to  $\varphi$  belonging to a quantum cell considered above, or to an impulse-intervall  $\Delta p$  including  $n(p)$  states.

The (3) are not orthogonal for great values of  $p$ , but they are nearly orthogonal if  $p < b$ . The representation is referred to measuring apparatus fixed with respect to the Hohlraum.

It is obvious that the same results of the new algebra can be obtained applying as an approximative method that of the relativistic converging factors proposed by the autor.

In some cases, however, as, for instance, in a attempt to explain the origin of Heisenberg's explosions showers, the new algebra gives entirely new results. We have seen that the representatives  $\psi$  of a new quantum state for  $p > b$  are not orthogonal. Remembering that the selection rules in the quantum electrodynamics, from which it follows that in a first order process (of the perturbation theory) only a photon can be emitted or absorbed, derive from the orthogonality and peculiarity of eigenstates of an harmonic oscillator, we conclude that these selection rules are no more valid for the high energy collisions, provided that the states are no more orthogonal (and are no more eigenstates of an harmonic oscillator).

A more detailed calculation shows that the probability of the emission of many photons can be of the same order of that of the emission of one photon if the eigenstates of the new algebra are not orthogonal. On such considerations can be based the explanation of Heisenberg's showers. The operators  $p_v$ , of course, cannot be represented by  $-i h \frac{d}{dx^v}$  because the eigenvalues of  $p_v$  must be formed by intervalls, and for high values the commutability of  $p_v$  can be possibly not satisfied.

There is another important characteristic of the method of the relativistic converging factors, which depends on the circumstance that the modulus of the difference between two 4-vectors  $p >$

can be small ( $< b$ ) for arbitrary high values of components  $p_v$  when the angle between the vectors is sufficiently small. In this case the converging factor does not cut off the amplitude of probability. Therefore in collisions in which a particle nearly conserves its initial impulse, the usual calculations of the present quantum theory still hold for arbitrary high values of the incident energy. This circumstance is not in contrast with the convergence of the calculation in the problems of proper energy discussed in previous papers.

São Paulo, April 30, 1938.

# Sobre a teoria da transformação das equações de Dirac e a relatividade geral

por  
*G. Wataghin.*

Department of Physics S. Paulo University

Uma transformação geral de coordenadas  $\bar{x}^\mu = f^\mu(x^1, x^2, x^3, x^4)$  subordina no entorno infinitésimo de um ponto a seguinte transformação afim das diferenciais:

$$\begin{aligned} d\bar{x}^\mu &= a_\nu^\mu dx^\nu \\ \text{onde} \quad a_\nu^\mu &= \frac{\partial \bar{x}^\mu}{\partial x^\nu} \quad \mu, \nu = 1, 2, 3, 4, \end{aligned} \quad (1)$$

Ao lado dos tensores e vetores afins usuais, que se definem a partir da lei (I) vamos considerar o vetor-matriz afim

$$\bar{\gamma}^\mu = a_\nu^\mu \gamma^\nu \quad (2)$$

formado de 4 x 4 vetores afins (funções de ponto):

$$\bar{\gamma}_{\rho\delta}^\mu = a_\nu^\mu \gamma_{\rho\delta}^\nu \quad (\rho, \delta = 1, 2, 3, 4) \quad (2')$$

e outras formações análogas

$$\bar{\xi}_{\rho\delta \dots \Sigma\omega}^\mu = a_\nu^\mu \xi_{\rho\delta \dots \Sigma\omega}^\nu \quad (\rho \dots \omega = 1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

onde os índices  $\rho \dots \omega$  não dependem da transformação afim considerada.

Usando duas ou mais quaternas de funções invariantes em relação a transformação (I),  $\psi_\rho^+$  e  $\psi_\delta^-$ , ( $\rho, \sigma = 1, 2, 3, 4$ ), podem-se construir formas bilineares ou tetralineares, etc. do tipo:

$$\begin{aligned} j^\nu &= \sum \psi_\rho^+ \gamma_{\rho\epsilon}^\nu \psi_\epsilon \\ v^\nu &= \sum \psi_\rho^+ \varphi_\epsilon^+ \xi_{\rho\epsilon, \epsilon\omega} \psi_\epsilon \varphi_\omega \end{aligned} \quad (4)$$

que se transformam como as componentes de um vetor afim.

Este metodo pode ser facilmente estendido a todo o calculo dos tensores affins e é particularmente adequado ao tratamento das equações de DIRAC e problemas conexos com a formulação relativistica da interação de FERMI (forças  $\beta$ ).

Em uma recente nota tivemos a oportunidade de mostrar que a maneira usual de tratar as equações de DIRAC, em coordenadas gerais, pode ser notavelmente simplificada se, em lugar de usar a noção dos espinores (que são definidos relativamente ás transformações lorentzianas dependentes de 6 parametros), impuzermos aos representativos  $\psi$  dos estados quanticos a condição de serem invariantes em relação ás transformações pontuais e se substituirmos a transformação espinorial por uma lei de transformação conveniente dos operadores-matrizes  $\gamma^\mu$ . Estes últimos figuram no operador de DIRAC:

$$D = \gamma^\mu p_\mu + mc \quad (5)$$

e nas relações de TETRODE:

$$\gamma^\mu \gamma^\nu + \gamma^\nu \gamma^\mu = 2 g^{\mu\nu} 1 \quad (6)$$

Somos assim levados a examinar a possibilidade de generalizar a noção de espinor ao campo affim, introduzindo transformações lineares das  $\psi_\rho$  ( $\rho = 1, 2, 3, 4$ ) dependentes dos 16 parametros  $\alpha^\mu$  das transformações affins (1).

Fizemos vêr que tal generalização é incompativel com as relações (6) e que, em consequência, a introdução dos  $\psi$  como invariantes oferece no momento, a nosso vêr, a única solução consistente.

Com efeito, uma transformação espinorial  $\bar{\gamma} = S \psi$  [devendo satisfazer a condição que  $\psi^+ \gamma^\mu \psi$  são os componentes de um vetor] subordina a seguinte transformação:  $\bar{\gamma}^\mu = S \gamma^\mu S^{-1}$  que deixa invariantes as expressões que figuram na (6) enquanto que estas deveriam transformar-se como componentes de um tensor de segunda ordem.

Mostremos agora como das equações de primeira ordem:

$$\Delta_\rho \gamma^\mu = \frac{\delta \gamma^\mu}{\delta x^\rho} - \Gamma_{\rho}^\alpha \gamma_\alpha = 0 \quad (7)$$



e das relações (6) podem ser deduzidas as equações gravitationais de Einstein no vácuo. Da (7) se obtém pelo metodo usual:

$$\left( \nabla_{\rho} \nabla_{\epsilon} - \nabla_{\epsilon} \nabla_{\rho} \right) \gamma_{\eta} = R_{\beta \epsilon \eta}^{\dots \alpha} \gamma_{\alpha} = 0 \quad (8)$$

Multiplicando a (8) a esquerda e á direita por  $\gamma^{\rho}$  e somando em relação a  $\rho$  se obtém:

$$\begin{aligned} R_{\rho \epsilon \mu}^{\dots \alpha} \left( \gamma^{\rho} \gamma_{\alpha} + \gamma_{\alpha} \gamma^{\rho} \right) &= 2 R_{\beta \epsilon \mu}^{\dots \alpha} \delta_{\alpha}^{\epsilon} = 2 R_{\alpha \epsilon \mu}^{\dots \alpha} = (9) \\ &= 2 R_{\sigma \mu} = 0 \end{aligned}$$

que são as equações einsteinianas no vácuo.

Propuzemos submeter os campos dos  $\gamma^{\mu}$  á segunda quantisação e identificar os corpúsculos assim obtidos com os neutrinos de PAULI-FERMI. Queremos fazer notar, a êste propósito, que em analogia com o que sucede com os photons e com electrons, a observação dos corpúsculos gravitationais só pode ser realisada com a condição de renunciarmos ao conhecimento do aspecto complementar do problema, isto é, do campo clássico das funções  $g_{\mu\nu}$  que descrevem a métrica.

A gravitação fica desta maneira sujeita ao principio da complementaridade de BOHR, no sentido que, quando se estudam as trocas de energia e impulso entre o campo de gravitação e um outro sistema, torna-se incerta a noção do aspecto complementar do problema, ou seja, torna-se indeterminado o campo métrico dos  $g_{\mu}$  e, em consequência, as reações de inercia representadas pelos symbols de Christoffel.

Esta indeterminação suplementar é particularmente importante na consideração dos choques dos corpúsculos da radiação cosmica, nos quais as forças  $\beta$  desempenham uma parte preponderante e nos quais uma notavel parte da energia pode ser cedida aos neutrinos (ou aos demi-photons gravitationais).

## ABSTRACT

### On the transformation theory of Dirac equations and General Relativity

*G. Wataghin*

In the general relativity a transformation of coordinates, in the neighbourhood of a point, determines an affine transformation of differentials, which depends on 16 parameters. It is shown that a generalisation of the concept of spinor to these transformations is incompatible with the existence of Tetrad's relations, which seem to be necessary for the covariant formulation of Dirac equations in the general relativity.

A new method to form covariant vectors (and tensors) by means of vector-matrices and an arbitrary even number of representatives  $\psi^\dagger, \psi$  of states, each of them being invariant, is discussed.

Einstein's gravitational equations are deduced from a system of equations of the 1<sup>st</sup> order for the vector-matrices  $\gamma_\mu$ , which appear in Tetrad's relations.

The complementary principle is applied to gravitation and the complementary character of the two concepts (metrical field and gravitational particles) is pointed out.

São Paulo, April 15, 1938.

G. WATAGHIN e M. DAMY DE SOUZA SANTOS

Sobre a técnica das medidas referentes a contagem de partículas elementares e a radiação cósmica.

(On the technique of measuring elementary particles and cosmic rays.)

G. OCCHIALINI

Medidas do efeito de latitude para showers.  
(Latitude effect for showers)

#### RESUMO

N'esse artigo é descrito um aparelho destinado á contagem de partículas elementares e de raios cósmicos, provido de um dispositivo para 2-3-4 coincidências utilizando o circuito de Rossi.

São descritas modificações introduzidas que permitem aumentar a eficiência da contagem.

#### RESUMO

Observações sobre a intensidade dos showers entre a Bahia e Trieste são efetuadas com um aparelho de coincidências triplas. Observou-se que as curvas de Rossi apresentam sensivelmente a mesma forma.



G. OCCHIALINI

A difusão dos raios gamma do thorium C"  
(Diffusion of gamma rays of Thorium C")

G. WATAGHIN

Sobre o teoria quantica e relatividade.  
(On the quantum theory and relativity)

RESUMO

É realizado um exame atento da radiação difusa sob grandes angulos por varios elementos.  
Os resultados acham-se de acordo com os de Chao Gray e Tarrant, Gentner, Stahel e Katelaar.

RESUMO

É estudada uma generalisação da teoria quantica que permite explicar o fenômeno dos showers em estrela.



G. WATAGHIN

Sobre a teoria da transformação das equações de Dirac e relatividade geral.

(On the transformation theory of Dirac equations and General Relativity).

---

RESUMO

É estudada uma teoria das equações gravitacionais de primeira ordem e uma teoria de transformação das equações de Dirac.