

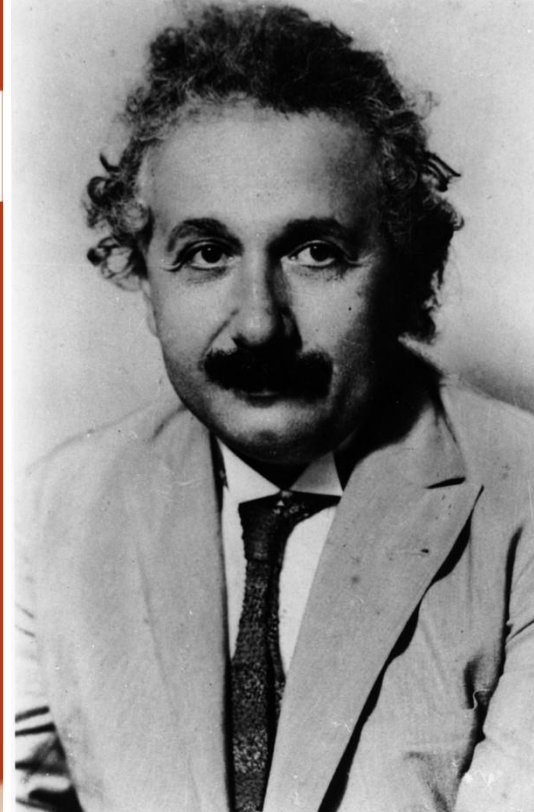
COMUNICAÇÕES CIENTÍFICAS DE EINSTEIN, MARIE CURIE E FEYNMAN FEITAS NO BRASIL



Ildeu de Castro Moreira
(IF-UFRJ)

Dia 19/10/2021
(terça-feira)
às 16 horas

Assista no Canal do MPEF: bit.ly/Canal_MPEF



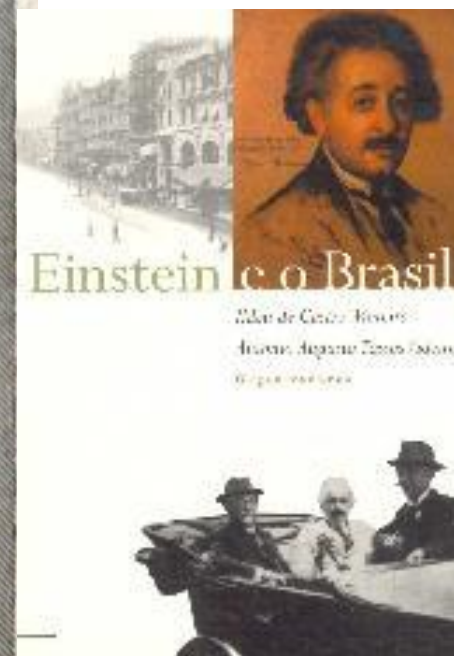


Einstein no Rio

21 de março

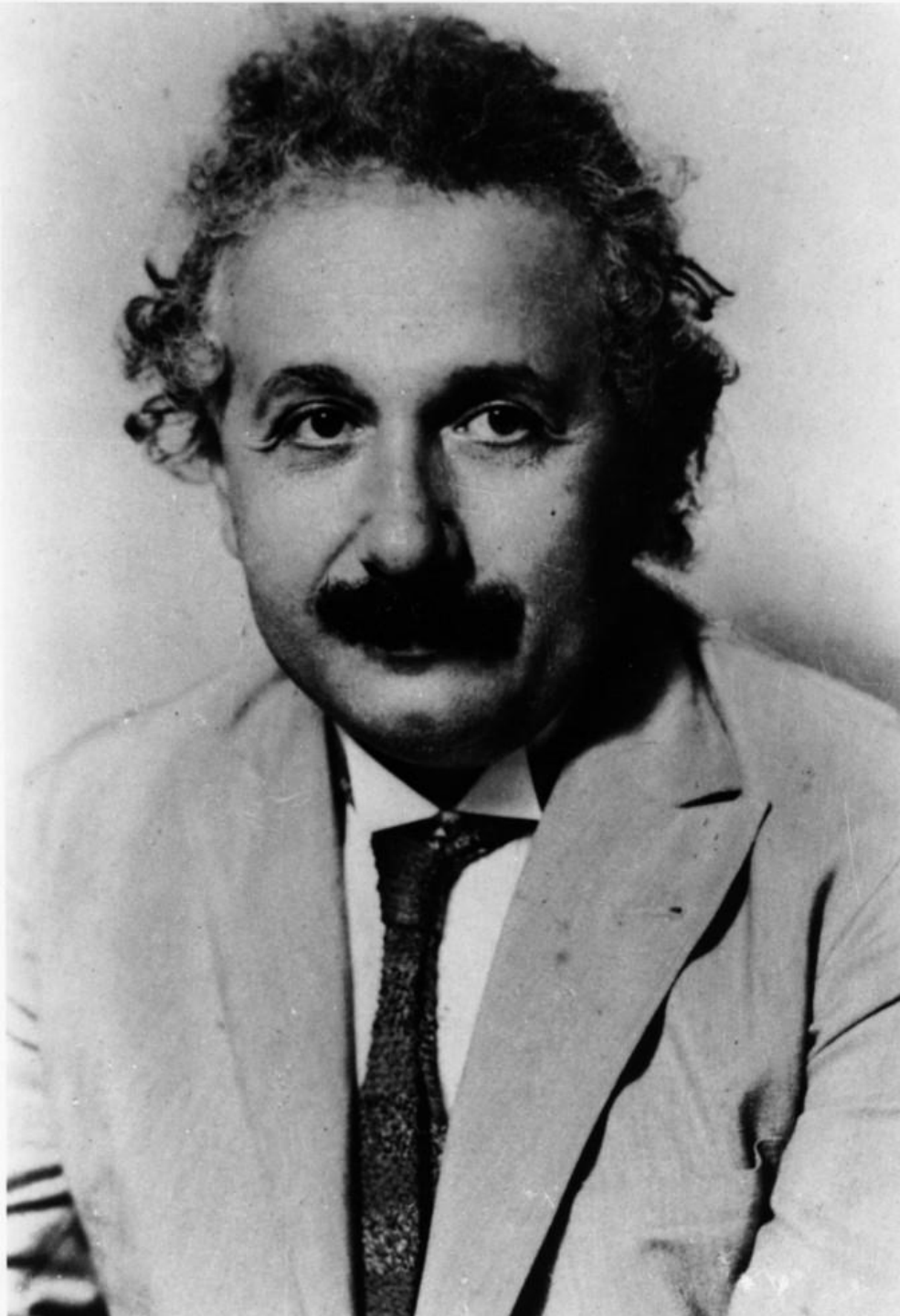
4 a 12 de maio

1925



O sabio Einstein fazendo a 1.ª Conferencia no Club de Engenharia.

06 de maio 1925



II Conferência na Escola Politécnica:

Relatividade Geral

08 de maio de 1925



**Einstein
na ABC**

**7 de
maio
1925**

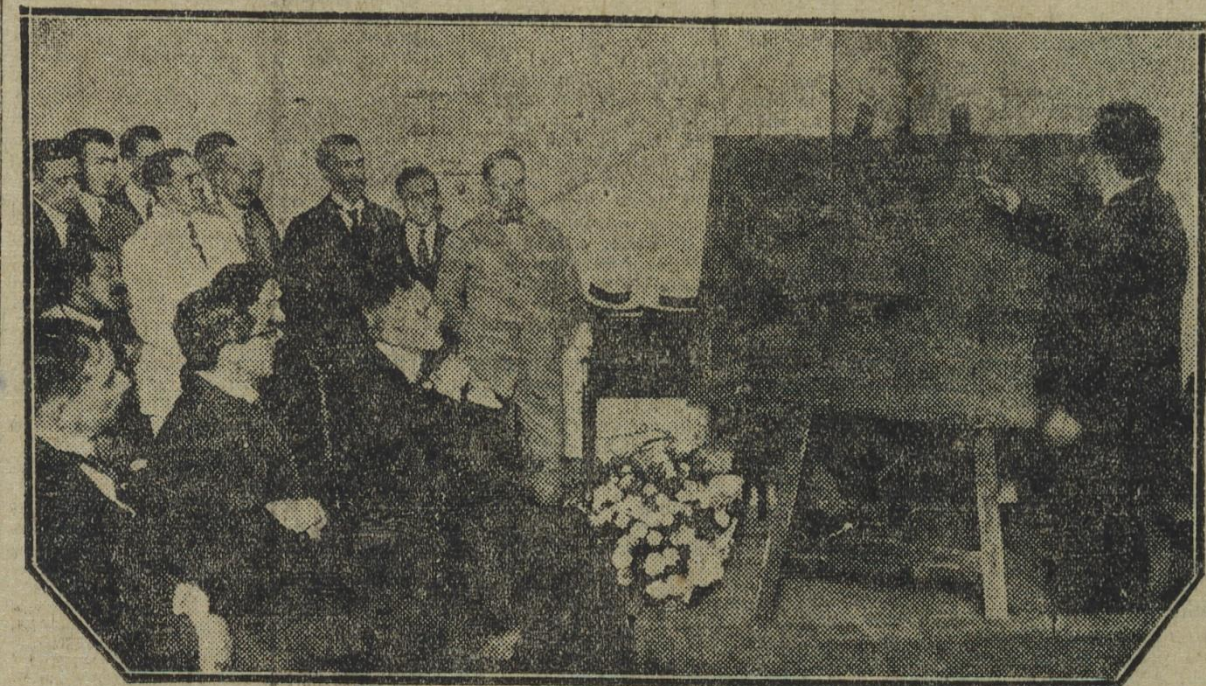


A recepção de Einstein na Academia

Brasileira de Sciencias

O autor da theoria da relatividade é aclamado socio correspondente
dessa notavel instituicao

Sua visita ás installações da Radio Sociedade e apreciação pessoal sobre o valor da radiotelephonia como factor de educação, proferida, de viva voz, ao microphone



Albert Einstein no quadro negro da Academia Brasileira de Sciencia

Bemerkungen zu der gegenwärtigen

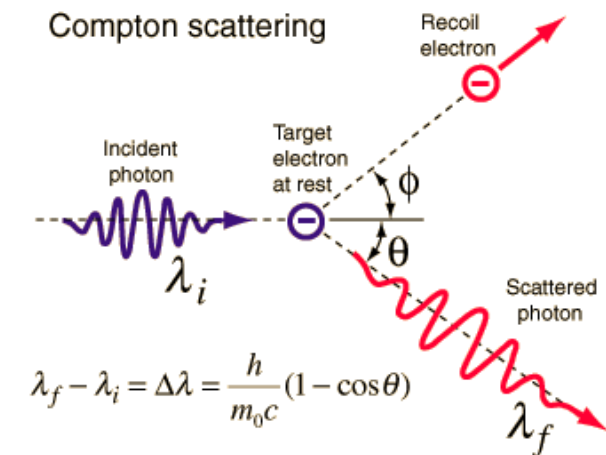
Lage der Theorie des Lichtes

Observações sobre a situação atual

da teoria da luz

A disputa sobre a existência do “quantum de luz “ (fóton)

1. Hipótese do “quantum de luz”: *Um ponto de vista heurístico sobre a produção e a transformação da luz.* Einstein, Annalen der Physik XVII, 132 - 148 (1905).
2. Einstein, 1909 – Trabalho sobre a natureza dual da luz na conferência em Salzburg, em 1909.
3. Millikan, 1914 – confirmação experimental da fórmula de Einstein para o efeito fotoelétrico:
$$E_{\text{cin}} = h\nu - W$$
4. Einstein, 1917 – em processo elementar de emissão ou absorção, somente feixes direcionados de radiação são emitidos ou absorvidos, com conservação de energia e momento ($p = h\nu/c$).
5. Prêmio Nobel de Einstein: 1921 – “por suas contribuições à física teórica e, especialmente, por sua descoberta da lei do efeito fotoelétrico”
6. 1905 a 1925 - Não aceitação da noção de “quantum de luz”:
Planck, Wien, Millikan, Bohr, ...
7. Espalhamento de Compton: 1923.
Arthur H. Compton: Prêmio Nobel de 1927



8. 1924 – **Teoria BKS: N. Bohr, H.A. Kramers and J.C. Slater, “The quantum theory of radiation”, Philosophical Magazine 47 (1924), 785-802; “Über die Quantentheorie der Strahlung”, Zeitschrift für Physik 24 (1924), 69-87**
“ ... the theory of light-quanta can obviously not be considered as a satisfactory solution of the problem of light propagation.” They abandoned “any attempt at a causal connection between the transitions in distant atoms, and especially a direct application of the principles of conservation of energy and momentum, so characteristic for the classical theories”.

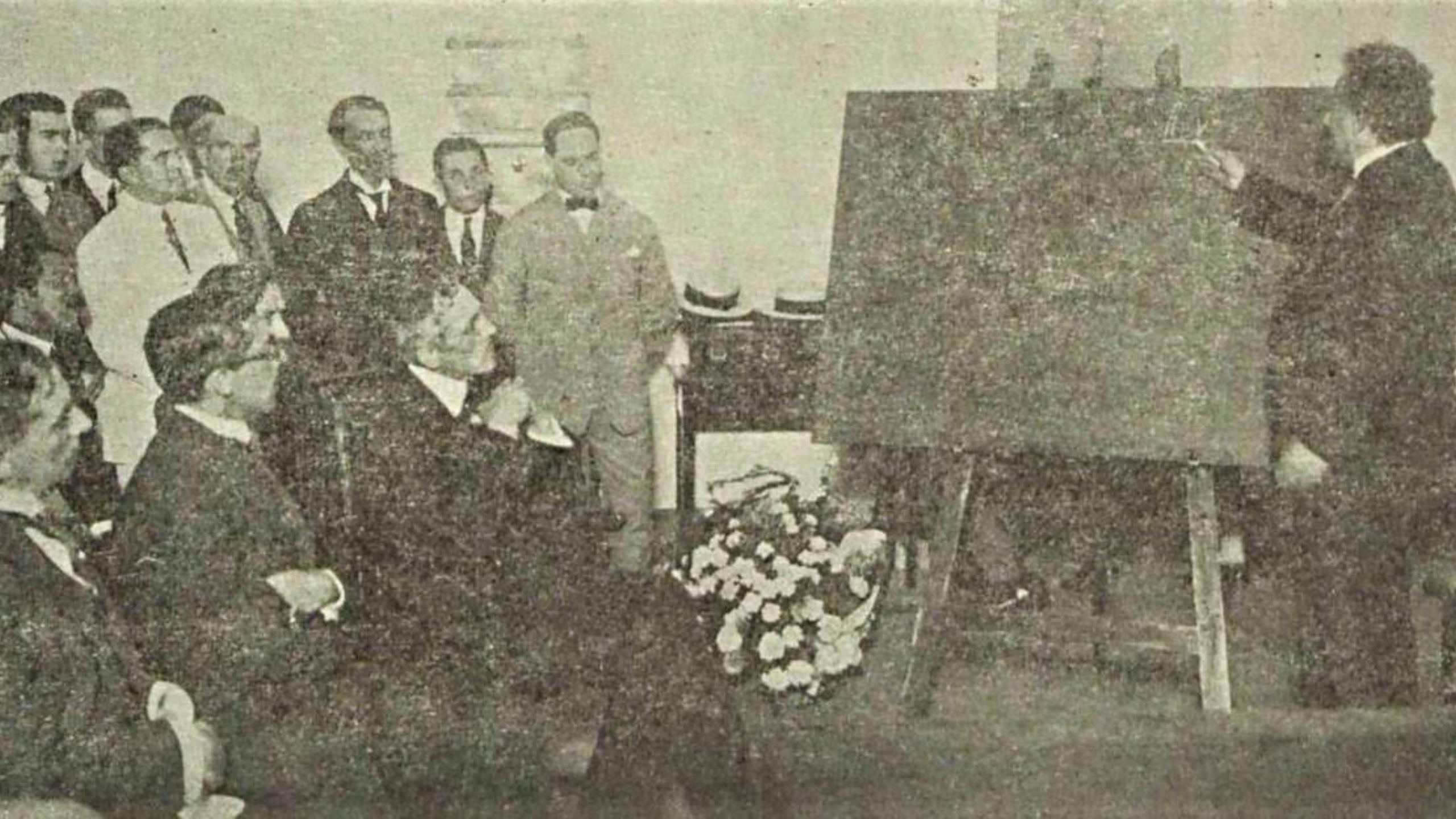
9. **Reação imediata de Einstein em cartas e em jornais foi contrária à BKS.** A. Einstein, “Das Komptonsche Experiment. Ist die Wissenschaft um ihrer selbst willen da?”, *Berliner Tageblatt*, 20 (April 1924). Oito pontos críticos da BKS em nota enviada a um jornalista do *Vossische Zeitung* [3 de novembro de 1924]

10. Preliminary report: **W. Bothe, H. Geiger. “Experimentelles zur Theorie von Bohr, Kramers und Slater”, Die Naturwissenschaften 13 (1925), 440-441. [dated 18 April 1925, published 15 May 1925].**

W. Bothe, H. Geiger, “Über das Wesen des Comptoneffekts; ein experimenteller Beitrag zur Theorie der Strahlung”, *Zeitschrift für Physik* 32 (1925), 639-663. [June 1925]

“ ... the experiments were incompatible with BKS’s interpretation of the Compton effect”, and that “we must therefore admit that the concept of light quanta possesses more reality than is supposed in this theory”

11. Compton, A. H. & Simon, A. W. (i) Measurements of the beta-rays excited by hard X-rays. *Physical Review*, 25, p. 107, 1925 [January 1925, abstract]. (ii) Measurements of b-rays associated with scattered X-rays. *PR*, 25, p. 306-13, 1925. [March 1925] (iii) Directed quanta of scattered X-rays. *PR*, 26, p. 289-99, 1925 [23 June 1925].





Albert Einstein

2. IV 25.

Einstein in Brazil: the Communication to the Brazilian Academy of Sciences on the Constitution of Light¹

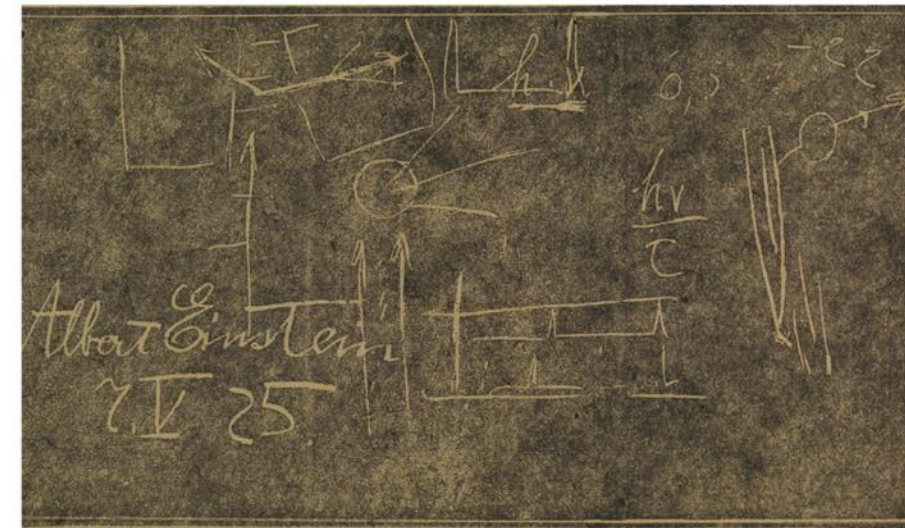
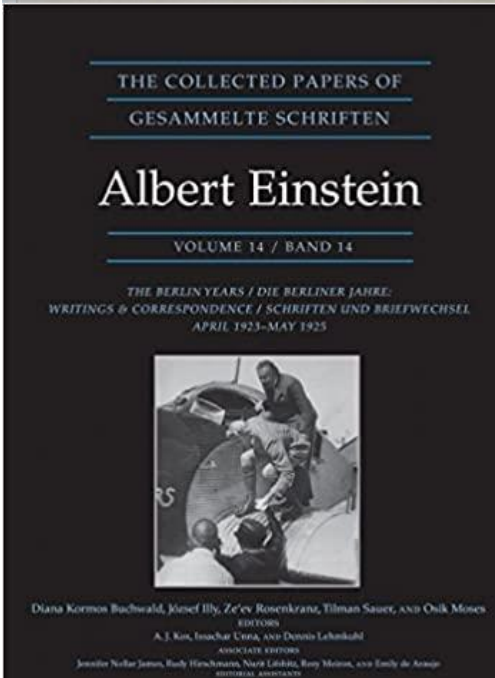
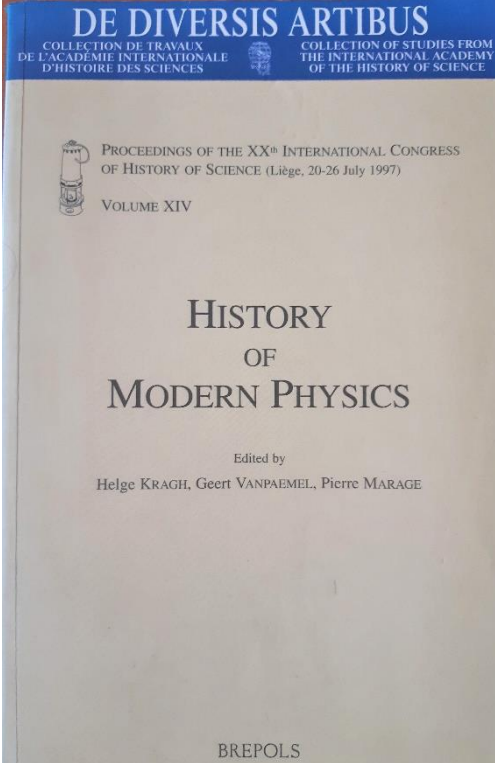
A. T. TOLMASQUIM² AND I. C. MOREIRA³

(History of Modern Physics, Proceedings of the XXth International Congress of History of Science, H. Kragh, G. Vanpaemel, P. Marage (eds), pp. 229-242, Brepols: Turnhout, Belgium, 2002.)

1. Einstein's trip to South America

In 1925 Einstein visited Argentina, Uruguay and Brazil within a series of travels around the world in the twenties, in sequence of a suddenly acquired fame. These travels had not only scientific repercussions, but also (and in some cases specially) political and ideological echoes. Some of them were aimed to Zionism, like the trip to the United States, taken with Chaim Weizmann, in 1921, in order to collect funds for the Zionist cause, or the visit to Palestine, two years later, when he gave the first lecture in the future Hebrew University at Mount Scopus. Another motivation for these journeys, as it happened with the trip to Japan, was his concern for knowing different cultures.⁴ Even during trips with a distinctive scientific purpose, like his journeys to France or England, the political aspect was also strongly present. Einstein was the first German with public prominence to visit these nations after the war. He had the explicit aim of tightening the links between European nations, and attempted to show that science, as the art, could not be submitted to nationalism.

Einstein's trip to South America is connected to all of these aspects: diffusion of his scientific theories and political ideas, and a strong interest in knowing new countries and cultures. He gave lectures about the Relativity Theory for both scientific and non specialized audiences. His theories were explained and discussed in the press, and his routine was reported daily on the front pages of the newspapers. He also had the opportunity to make contact with local scientists, both in private speeches and in sessions of scientific academies.⁵ However, in the notes of his diary, he sometimes expressed his opinion on the lack of significance of these meetings, in contradiction to the opinion of local scientists.



Revelation in Rio A unique record of Einstein's revolutionary concept of the "quantum of light"

Quantum of light

I recently came across a photograph published in a newspaper in Brazil on 5 May 1925, which depicts an interesting time in the history of physics. Reproduced above, it is a photo of a blackboard that Albert Einstein used in a lecture at the Brazilian Academy of Sciences in Rio de Janeiro, when he gave a talk about the "quantum of light". This blackboard was preserved for some time at the academy, but was subsequently lost and I have been unable to locate it. The text of Einstein's lecture and comments on its

Physics World November 2019

historical context can be read in a paper by A T Tolmasquim and I C Moreira in the 2002 book *History of Modern Physics: Proceedings of the XXth International Congress of History of Science* (Brepols).

On the blackboard, Einstein wrote formulae and images related to the Geiger–Bothe experiment, which was being carried out in Germany at the time. The point of greatest interest, I think, is that Einstein wrote down the formulae for the energy and momentum of the "quantum of light" (later called "photon"). I have checked many photos of other blackboards Einstein wrote on, almost all of which refer to expositions about relativity or unified field theory, and none included these basic mathematical expressions for the photon. I have also consulted with several historians of science, none of whom knew such an image existed, with his most revolutionary concept of the "quantum of light".

Ideu de Castro Moreira

Institute of Physics, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil
ildeucastro@gmail.com

Bemerkungen zu der gegenwärtigen Lage der Theorie des Lichtes.

Bis vor kurzer Zeit glaubte man, dass mit der Modulationstheorie des Lichtes in deren elektromagnetische Fassung eine endgültige Kenntnis der Natur der Strahlung gewonnen sei. Seit etwa 25 Jahren aber wissen wir, dass diese Theorie zwar die geometrischen Eigenschaften des Lichtes in genauer Weise darstellt (Brechung, Beugung, Interferenz etc.), die thermischen und energetischen Eigenschaften der Strahlung aber nicht zu verstehen gestattet. Eine neue theoretische Konzeption, die Quantentheorie des Lichtes, trat unvermittelt neben die Modulationstheorie des Lichtes und hat durch ihre Leistungen (Erklärung der Planck'schen Strahlungsformel, der photochemischen Erscheinungen, Bohr'sche Atomtheorie) eine sichere Stellung in der Wissenschaft erlangt. Eine Hypothese der Quantentheorie und Modulationstheorie ist trotz aller Anstrengung der Physiker bisher nicht gelungen. Derhalb ist die Frage nach der Realität korpuskel-artiger Lichtquanten eine viel umstrittene.

Vor Kurzem hat A. Bohr zusammen mit Cramers und Slater einen interessanten Versuch unternommen, die energetischen Eigenschaften des Lichtes theoretisch zu erfassen, ohne die Hypothese heranzuziehen, dass die Strahlung aus korpuskel-artigen Quanten bestehe. Nach der Ansicht dieser Forscher hat man sich nach wie vor vorzustellen, dass das Licht aus nach allen Richtungen hin sich ausbreitenden Wellen

besteht, welche von der Natur im Sinne der Modulationstheorie kontinuierlich absorbiert werden, aber trotzdem nach einer statistischen Gesetzten von einzelnen Atomen quantenartige Wirkungen erzeugen, genau so wie von der Strahlung aus Quanten von der Energie $h\nu$ und von dem Impuls $h\nu/c$ besteht. Diese Konzeption, welche haben die Autoren die exakte Gültigkeit der Energie- und Impuls-Gesetze gegenüber abgelehnt und an deren Stelle eine Relation gesetzt, welche nur statistische Gültigkeit beansprucht.

Zur experimentellen Prüfung dieser Auffassung haben die Autoren Heisenberg, Geiger und Bothe ein interessantes Experiment unternommen, auf das ich dies hier kurz zurückzukommen möchte. Im vorigen Jahre hat Compton aus der Quantentheorie des Lichtes eine sehr wichtige Konsequenz gezogen, nämlich dass das Experiment Unveränderlichkeit der Zerstrahlung vonter Röntgenstrahlen durch die des Atomelementartheorien. Die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht, muss demselben sein, wie die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht. Die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht, muss demselben sein, wie die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht.

Die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht, muss demselben sein, wie die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht. Die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht, muss demselben sein, wie die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht.

Die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht, muss demselben sein, wie die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht. Die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht, muss demselben sein, wie die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht.

Die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht, muss demselben sein, wie die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht. Die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht, muss demselben sein, wie die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht.

Die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht, muss demselben sein, wie die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht. Die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht, muss demselben sein, wie die Wellenlänge des Lichtes, das durch die Streuung an einem Kristalle entsteht.

OBSERVAÇÕES SOBRE A SITUAÇÃO ACTUAL DA THEORIA DA LUZ (*)

POR A. EINSTEIN.

Até pouco tempo acreditava-se que com a theoria ondulatoria da luz, na sua forma electromagnetica, se tivesse adquirido um conhecimento definitivo da natureza da irradiação.

Sabe-se, entretanto, ha cerca de 25 annos, que aquella theoria, embora representando com justeza as propriedades geometricas da luz (refracção, difracção, interferencia, etc.), não permite explicar as propriedades thermicas e energeticas da irradiação.

Uma nova concepção theorica, a theoria do quantum luminoso, semelhante á theoria de emissão de Newton, appareceu ao lado da theoria de ondulação da luz e adquiriu, pelo seu poder de explicação, (explicação da formula de irradiação de Planck, dos phenomenos photoquimicos, theoria atomica de Bohr), uma posição segura na sciencia.

Uma synthese logica da theoria dos quanta e da theoria ondulatoria não se conseguiu, até hoje, apesar de todos os esforços dos physicos.

E', por essa razão, muito discutida a questão da realidade dos quanta de luz.

Ha pouco tempo, tentou Bohr, juntamente com Cramers e Slater, explicar theoricamente as propriedades energeticas da luz, sem lançar mão da hypothese de que a irradiação é constituída de quanta analogos á corpusculos. Segundo a opinião desses pesquisadores, devemos continuar a imaginar a irradiação constituída de ondas que se propagam em todas as direcções e que, embora absorvidas pela materia de modo continuo, como quer a theoria ondulatoria, produzem, de accordo com as leis da estatistica, effeitos identicos aos de atomos da natureza do quantum, passando-se tudo

(*) Communicação feita por A. Einstein, por occasião da sua recepção na Academia Brasileira de Sciencias, em maio de 1925. Tradução, pelo engenheiro Roberto Marinho, do original allemão entregue por A. Einstein ao dr. Getulio das Neves.

A. Einstein, 1.1.25.

Observações sobre a situação atual da teoria da luz

Até pouco tempo atrás, acreditava-se que, com a teoria ondulatória da luz, na sua forma eletromagnética, tivéssemos adquirido um conhecimento definitivo sobre a natureza da radiação. No entanto, sabemos, há cerca de 25 anos, que **essa teoria não permite explicar as propriedades térmicas e energéticas da radiação, embora descreva com precisão as propriedades geométricas de luz (refração, difração, interferência etc).**

Uma nova concepção teórica, a teoria do quantum luminoso, semelhante à teoria da emissão de Newton, surgiu ao lado da teoria ondulatória da luz e adquiriu uma posição firme na ciência pelo seu poder explicativo (explicação da fórmula da radiação de Planck, dos fenômenos fotoquímicos, teoria atômica de Bohr). Não se conseguiu, até hoje, uma síntese lógica da teoria dos quanta e da teoria ondulatória, apesar de todos os esforços feitos pelos físicos. **É, por essa razão, muito discutida a questão da realidade dos quanta de luz.**

Há pouco tempo, Bohr, juntamente com Cramers [Einstein escreveu com 'C'] e Slater, tentou explicar teoricamente as propriedades energéticas da luz sem lançar mão da hipótese de que a radiação é constituída de quanta análogos a corpúsculos.

Segundo a opinião desses pesquisadores, devemos continuar a imaginar a **radiação como constituída de ondas que se propagam em todas as direções**. Essas ondas, embora absorvidas pela matéria de modo contínuo, como quer a teoria ondulatória, produzem, **de acordo com as leis da estatística**, efeitos que são idênticos aos de átomos similares aos quanta.

Tudo se passa como se a radiação fosse constituída de quanta, de energia $h\nu$ e de momento igual a $h\nu/c$. **Com essa concepção, esses autores abandonaram a validade exata dos teoremas da conservação da energia e da quantidade de movimento, substituindo-os por uma relação que possui apenas um valor estatístico.**

Com a finalidade de verificar experimentalmente esse modo de ver, os físicos berlinenses Geiger e Bothe tentaram uma experiência interessante sobre a qual desejaria chamar a atenção dos senhores. Alguns anos atrás, Compton tirou uma consequência de grande importância da teoria dos quanta de luz. Quando ocorre a difusão dos raios Roentgen duros pelos elétrons constitutivos do átomo, pode acontecer que o impulso do quantum incidente seja suficientemente forte para separar o elétron do átomo.

A energia necessária para isso é retirada do quantum, durante a colisão, e se manifesta, de acordo com os princípios da teoria dos quanta, na diminuição da frequência da radiação difundida, quando comparada com a frequência da radiação incidente constituída pelos raios Roentgen. Esse fenômeno, verificado experimentalmente, tanto qualitativa como quantitativamente, é conhecido sob a denominação de **"efeito Compton"**.

Para que se possa compreender o "efeito Compton" pela teoria de Bohr, Cramers e Slater, é necessário conceber a difusão da radiação como um processo contínuo em que tomam parte todos os átomos da substância que difunde aquela radiação, enquanto a emissão dos elétrons tem apenas o caráter de acontecimentos isolados que obedecem a leis estatísticas.

Pela teoria dos quanta de luz, também a difusão da luz possui o caráter de acontecimentos isolados, devendo sempre existir, em uma determinada direção, um elétron emitido toda vez que é produzido um efeito secundário pela radiação que incide sobre a matéria. Por essa teoria, existe, assim, uma correlação estatística entre a radiação difundida, no sentido de Compton, e a emissão de elétrons, correlação esta que não deve existir na concepção teórica dos autores citados acima.

Para verificar o que se ocorre realmente, é necessário que se utilize um **aparelho capaz de constatar um único processo elementar de absorção, e de, respectivamente, registrar a emissão de um único elétron.** Esse dispositivo existe numa ponta eletrizada, onde um único elétron por ela apreendido gera, pela formação secundária de íons, uma descarga momentânea susceptível de ser medida. Com duas dessas pontas convenientemente dispostas, **Geiger e Bothe** conseguem responder à importante questão da existência da correlação estatística dos fenômenos secundários mencionados acima.

Por ocasião de minha partida da Europa, as experiências não estavam ainda concluídas. No entanto, os resultados até agora obtidos parecem mostrar a existência daquela correlação. Se essa correlação for verificada de fato, tem-se um novo argumento de valor em favor da realidade dos quanta de luz.

A. Einstein, 7. V. 25.

All these fifty years of conscious brooding have brought me no nearer to the answer to the question, 'What are light quanta?' Nowadays every Tom, Dick and Harry thinks he knows it, but he is mistaken.

(Albert Einstein para M. Besso, 1951)

Marie Curie no Brasil, em 1926, fala sobre a luz, a sua interação com a matéria, a radioatividade e os raios gama



(c) Musée Curie/ Institut Curie

Marie Curie e sua comitiva em foto histórica no Pão de Açúcar (RJ). Da esquerda para a direita, a cientista é a quinta pessoa do grupo. Irène, sua filha, a sétima.



SENHORITA IRÈNE CURIE
(Croquis tomado hontem, para O PAIZ, enquanto falava Mme. Curie)

Raios alpha, betha e gama — constituiram o assumpto de Mme. Curie, hontem, na Escola Polytechnica

Agora achava-me rodeada de visitantes que me perguntavam sobre esses raios emitidos pelos radio-elementos e suas propriedades. E eu lhes explicava: "Os raios dos radio-elementos são de tres especies, designadas pelas letras alpha, beta e gamma. Certos efeitos são communs aos tres grupos de raios; estes grupos são entretanto diferentes. Os raios *alpha* são atomos de helio projectados com grande velocidade e tendo carga electrica positiva; os raios *beta* são electrons, muito pequenos fragmentos de atomos, com carga negativa e projectados igualmente com grande velocidade; os raios *gamma* são considerados uma radiação como da luz ordinaria ou bem dos raios X, salvo o facto de. tendo comprimento de onda muito mais curto, são mais penetrantes e podem atravessar com facilidade não sómente o corpo humano como tambem grandes espessuras de ferro ou chumbo." E mos-



- **Chegada de Marie Curie ao Rio de Janeiro: 15 7 1926**
- **Visitas a Petrópolis, São Paulo, Águas de Lindóia, Belo Horizonte, Nova Lima, Lagoa Santa, Vassouras, Barra do Piráí**
- **Participa de várias atividades da Federação Brasileira pelo Progresso Feminino**
- **Partida para a França: 28 8 1926**

- **Dez conferências sobre radioatividade na Escola Politécnica, com a colaboração de sua filha Irène**
- **Palestra sobre as constantes radioativas na ABC: 24 8 1926**

Atome Rutherford Bohr Charge Ne
Niveaux d'énergie. Trajectoi-
res stationnaires. Rayonnement
Potentiels de résonance et d'io-
nisation. ~~Frequences~~ ~~niveaux caractéristiques~~

Energie niveau $\frac{V_0 h^2 (N-5)^2}{h^3}$ $V_0 = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3}$
Nombre niveaux. Principe n^2 correspondance
Nombre électrons dans couches
et système périodique

2, 8, 18, 32, 18, 8
K L M N O P

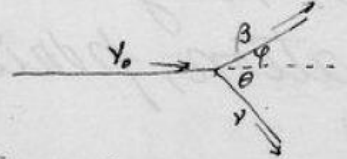
Loi d'équivalence photoélectrique
d'Einstein $V = 0,243 \times 10^{15} V$ (volts)
Liaison rayons X et ^{luminère} lumière

Photoélectrons, spectres corpuscu-
laires de rayons secondaires
effet photoélectrique composé.
Théorie de Compton
Electrons de choc.

Photoélectrons, spectres corpuscu-
laires de rayons secondaires
effet photoélectrique composé.
Théorie de Compton
Electrons de choc.

* $h\nu = eV$ 12350 v. pour 1 A.
 $V = 0,243 \times 10^{15} \times V$ volts
exp. Holwock entre 12 et 160 A

potentiel ion. hydr. 13,5 volts
résonance 10,1 v.
250 000 volts $A = 5 \times 10^{-10}$ cm



$$\frac{h\nu_0}{c} = \frac{h\nu \cos \theta}{c} + \frac{m_0 \beta c \cos \phi}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$b = \frac{h\nu \sin \phi}{c} + \frac{m_0 \beta c \sin \phi}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$h\nu_0 = h\nu + m_0 c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right]$$

$$\alpha = \frac{h\nu_0}{m_0 c^2}$$

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 + 2\alpha \sin^2 \frac{\theta}{2}}$$

$$\lambda = \lambda_0 \left[1 + 2\alpha \sin^2 \frac{\theta}{2} \right]$$

$$\frac{W}{h\nu_0} = \frac{2\alpha \sin^2 \frac{\theta}{2}}{1 + 2\alpha \sin^2 \frac{\theta}{2}} = \frac{2(1-\cos \theta)}{1 + \alpha(1-\cos \theta)}$$

$V_0 = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3}$ $h = 6,55 \times 10^{-27}$

couche	K	L	M	N	O	P	Q
n° 92	1	2	3	4	3	2	1
nombre électrons	2	8	18	32	18	8	
nombre niveaux	1	3	6	10	6	3	

$N_i = \frac{V_0 h^2 (N-5)^2}{h^3}$ niveau i de couche N

III palestra no Rio de Janeiro
Escola Politécnica
27 de julho de 1926

Radioactivité. Becquerel.
Mesures. Thorium. Ppté atom.

2 Minéraux
Méthode analyse. Po. Ra
Concentration Ra. Cures traitées.
Moyens matériels.

7 Traitement. Fractionnement.
Sel pur. Spectre. Poids atom.
Métal. Place système.

Autres Radioéléments : Po, Ac, Jo, Mth
Rath, gaz
Vie, transformation liée au rayonnement. Période.

1 Nature des rayons { α - hélium
Observation individuelle { β - électron
 { γ - lumière
2 Méthode Wilson

2 Numération. [Effets lumineux, ionisants, calorif. photog., physion]

4 Familles. Substances primaires V, Th
Equilibre dans minéraux. Plomb

Extension dans nature, Sol, eaux gaz.

Stat actuel (tubes et sel collés)
filtration externes: emploi Ra, Mth
cancer rayons } industrie. Emanation
Instituts internes Ra, eaux min.
spéciaux } émanation. Service d'éma-
5 prép. radon nation. Mesures radioactives
interne: Ra, eaux minérales.
arthrites thorium X

Avenir (1) Perfectionner technique
Radioéléments à préparer
irradiation externe
par contrôle résultats

(2) préparer radioéléments directs
vie et rayons: polonium, microphot.

1 uranium X
ionium?
radioactinium
actinium X

Danger des radioéléments
pour les personnes traitées
pour le personnel.

Clichés Becquerel, ancien Laboratoire
P. Curie.

São Paulo

Faculdade de
Medicina

13 08 1926

Radioactivité. Becquerel
 Mesures. Thorium. Ppté atomique
 Minéraux. Méthode analyse. Po. Ra
 Concentration Ra. Gutes traitées.
 Moyens matériels. Traitement.
 Fractionnement. Sel pur. Spectre
 Poids atomique. Métal. Industrie
 Autres radioéléments. Po, Ac, Th, ^{Mth}
 Ra, ^{Ra}, gaz
 Vie. Période. ~~de~~ Transformation
 liée au rayonnement. Applications.
 médecine, agriculture, peintures lumen.
 rayons α, β, γ - He, électron, vibration
 Laboratoires radioactivité et Instituts médi-
 caux. Cancer.
 Institut Paris: Lab. Curie et Pasteur 1914
 Fondation Curie 1921

Section physico chimique.
 Préparation matières radioactives.
 Minéraux principaux. Chaînes
 débutant à U et Th. Proportions.
 Associations d'un parent et dérivés
 Préparation radon. Service émanation
 polonium, ~~thorium X~~
 (~~Ra~~) uranium X, actX
 mth, Ra, Th X
 Etude des plombs. Géologie
 Etude pptés chim. Raéléments.

10

2

2

7

Radium

3

5



Belo Horizonte - Instituto do Radium - 18 08 1926



Madame Curie na Academia de Medicina. Instantâneo tirado no momento em que a eminent: cientista falava no cenaculo de medicos e professores.

Conferência na Academia Nacional de Medicina - Revista da Semana 28 8 1926

ELECTRON



Numero avulso 600 rs.

Nos estados 800 rs.

Publicação de Radio Cultura, da Radio Sociedade do Rio de Janeiro, distribuída entre os seus socios
Orgão Official da Radio Sociedade Mayrink Veiga

Expressiva homenagem

Mme. Curie é recebida pela Academia Brasileira de Ciências



Discurso do dr. Juliano Moreira - Saudação do dr. Alvaro Osorio de Almeida - Preleção de Mme. Curie



A Academia Bras. de Ciências promoveu uma significativa homenagem a Mme. Curie, a illustre cientista franceza.

Em sessão realizada para esse fim o seu digno Presidente, Dr. Juliano Moreira, teve occasião de assim se manifestar na abertura dos trabalhos:

"A Academia Brasileira de Ciências, fiel á parte de seu programma que se propõe approximar e congregar os cientistas de dentro e fóra do paiz, não podia deixar passar pelo Brasil a figura inconfundível de Mme. Curie, sem inscrevel-a no ról de seus membros tutelares. E o faz hoje

em sessão modesta em sua singela apparencia, mas solemne em seus elevados intuitos.

Nosso mui presado Presidente de Honra, o eminente Prof. Henrique Morize, se no Rio de Janeiro estivesse, presidiria a presente reunião. Ausente, porém, elle em viagem e em serviço da nossa Patria, cabe-me a honra inapreciavel de o substituir. Desnecessito dizer-vos que o faço com o jubilo o mais justificado, não sómente porque a Academia recebe hoje a grande sabia cujos meritos dispensam encomios, mas tambem porque, partidario convicto que sou do movimento equalitario das mulheres, sinto-me verdadeiramente ufano do acolhimento que os centros scientificos brasileiros têm sabido dar á insigne representante feminina do alto saber humano, cuja vontade inquebrantavel, o ardor e a força do trabalho, a nitidez de visão scientifica lhe asseguraram para sempre o reconhecimento do presente e do futuro.

Se a Mulher póde attingir as culminancias do conhecimento a que chegou Mme. Curie, deve ser ouvida em todas as emergencias da vida social.

Ninguém regateará applausos á Academia Brasileira de Ciências por haver em seu quadro de membros honorarios, acolhido sem discussão tão eminente sabia.

Nosso Vice-Presidente, o Prof. Miguel Ozorio de Almeida, que é

- Saudação de Juliano Moreira
- Discurso de Miguel Osório de Almeida

Conferência na ABC

24 08 1926

A invariabilidade das constantes radioativas

Revista Electron
Anno 1, n 16,
set. 1926 p 3/4/5

Academia Brasileira de Sciencias

124

Rio de Janeiro, 24 de Agosto de 1926



A Academia Brasileira de Sciencias, em homenagem aos grandes e notorios serviços prestados por Madame Maria Sklodowska Curie ao progresso da Sciencia, resolve, por aclamação, conferir-lhe, como excepcional homenagem, o título de Membro Correspondente.

Juliano Moreira
Miguel Osório de Almeida
Alvaro Moreira.

Alvaro Alberto.

Miguel Osório de Almeida
Raphael Pimenta
Euzébio de Oliveira
José Praga de Infante
Luiz Faria
F. Labouriau
Alvaro Egídio de Almeida
Leuryan Brady

um dos membros mais eminentes da secção de sciencias physico-chimicas de nossa agremiação, vae dizer-vos, Mme. Curie, os sentimentos de respeito, o mais profundo e de admirativo devotamento da unanimidade da Academia Brasileira de Sciencias.

Seguiu-se com a palavra o Sr. Miguel Osorio de Almeida, que proferiu o seguinte discurso:

"Madame, L'Académie Brésillienne des Sciences m'a chargé d'être auprès de vous, l'interprète de ses sentiments.

Rien ne serait plus facile que de vous dire pourquoi nous vous admirons, d'une admiration mêlée de respect et d'étonnement devant les découvertes extraordinaires et les travaux grandioses que vous avez fait. Je n'aurais qu'à les énumérer et les résumer. Nous aurions encore une fois à mettre sous vos yeux toute votre gloire, qui se déployait, toujours éclatante dans sa grandeur. Et pourtant, je ne le ferai pas. Je crois dériver que pour vous, comme pour toute les âmes d'élite, la gloire est un sujet délicat, qu'en doit éviter autant que possible. Vous ne l'avez jamais poursuivie. Comme P. Curie avec qui vous avez identifié votre pensée, vous cherchez à éviter les honneurs. Ils sont venus à vous, malgré votre volonté, ils se sont imposés, vous les avez acceptés, il le fallait bien, mais tout cela n'a été pour vous qu'un simple accident dans votre carrière. Personne n'a jamais pu voir chez vous, un mouvement, un mot qui puisse démontrer que vous placez votre gloire, cette gloire qui ne vous abandonnera plus, au premier plan de vos préoccupations.

Nous vous recevons donc avec la plus grande simplicité, en honmes de science qui ont un grand plaisir à recevoir un des leurs surtout lorsque celui-ci a su se placer par ses travaux à des hauteurs incomparables, tout en restant accessible, et dont la parole est toujours une leçon vivante, pleine d'autorité et d'enseignements. On aime dans ces occasions à parler de l'idéal qui donne aux efforts toute leur puissance et toute leur signification; on aime à rappeler les difficultés du passé, on refait ses forces si nécessaires pour donner au travail toute son intensité, et dans les espoirs dans l'avenir on puise le courage pour poursuivre; on oublie les heures

tristes de découragement. Les succès des uns sont des raisons profondes de confiance et de foi pour les autres, car c'est dans les échanges d'idées et d'impressions, faits dans ces moments, qu'on voit que ces succès ont été obtenus par toute sorte de travaux, et qu'ils n'ont pas été toujours aisés.

Dans ce sens encore, votre vie scientifique est une grande leçon, un exemple incomparable, surtout pour nous autres brésiliens qui commençons et qui cherchons à créer dans notre pays une culture scientifique solide et réelle. Vos travaux n'ont pas été faits avec des moyens faciles, au milieu de l'abondance en ressources matérielles. Vous nous avez montré, vous-même, comment ont été réalisées vos recherches sur la radioactivité, combien étaient modestes, ou même plus que modestes vos installations. Vous vous plaisez à parler du hangar, jadis abandonné, où se réalisaient les grandes opérations chimiques qui ont abouti à la découverte du radium. Vous le dites, vous-même, c'est là que vous avez passé avec Pierre Curie les meilleures et les plus heureuses années de votre existence. Et permettez-moi de vous rappeler un de vos souvenirs les plus chers: "N'ayant aucun meuble pour y enfermer les produits radiants obtenus, nous les plaçons sur les tables ou sur des planches, et je ne me souviens du ravissement que nous éprouvions, lorsqu'il nous arrivait d'entrer la nuit dans notre domaine et que nous apercevions de tous les côtés les silhouettes faiblement lumineuses des produits de notre travail".

Il est émouvant pour nous tous de vous évoquer, P. Curie et vous, à ce moment décisif de votre vie et du développement des sciences physiques. Vous assistiez à naissance d'un monde nouveau, que votre génie était en train de dévoiler. Il s'approchait et patiemment vous écartiez un à un les obstacles qui encombraient la route desorbés tous les deux, vous ne vous aperceviez ni de la pluie qui tombait quelque fois autour de vous et que votre toit ne pouvait pas éviter, ni du froid de l'hiver que votre poêle n'arrivait pas à chasser. Ainsi ce monde nouveau est né dans un petit hangar. Vous l'avez regardé en face, et malgré son éclat, malgré la destinée qui l'attendait, vous n'avez pas été éblouie.

Vous avez su conserver toujours le même calme, la même sérénité a continué à orienter vos pensées. Une tâche immense se présentait à vous. Il fallait le décrire, le parcourir en tous sens, montrer tous les trésors qu'y étaient cachés, et cela allait occuper votre temps et prendre tous vos instants. Vous vous êtes mis à cette tâche sans trouble et sans retard, et vous personnellement, qui avez été privée de la plus chère et la plus parfaite collaboration, avez continué sans répit dans vos travaux, avec le même effort réfléchi et sur de lui-même.

La vie des grandes personnalités scientifiques est ainsi faite. A côté des aspects brillants, extérieurs, caractérisés par les résultats publics, connus, il y a ces grandes leçons morales, ces exemples de modestes vertus en action, féconds et précieux. Vous avez été des véritables ouvriers de la science, des ouvriers qu'aucun travail n'éfraye et qui vous lierez plaisir à toutes sortes de besognes, si humbles puissent-elles paraître. Le travail manuel nécessaire à la construction d'appareils nouveaux n'a eu pour vous l'aspect d'une nécessité qu'on doit subir. Au contraire, vous l'avez accepté comme un bienfait, comme un plaisir, et vous avez eu raison. Pierre Curie avait dit, à vingt ans, qu'il faut "faire de la vie un rêve et faire d'un rêve une réalité". Vous avez fait coexister les deux choses, et le rêve a toujours plané sur vos travaux, apparemment si rudes parfois. Tandis que vos mains s'occupaient diligemment à des tâches pénibles, votre pensée suivant son cours, votre vie intérieure s'enrichissait et s'épanouissait sans entraves.

C'est là, peut-être, le secret de l'action unique que peut avoir la vie de laboratoire, non seulement sur le développement intellectuel, comme aussi sur le développement moral. L'activité se développe dans tous les sens. L'intelligence s'exerce constamment à côté de l'habileté manuelle. Le respect des choses, l'amour de la nature, une large compréhension des besoins de la vie, les charmes des efforts collectifs, la conviction de l'importance de tous les travaux, même les plus humbles, tout cela aboutit à la création d'une nouvelle espèce de personnalité, simple et complète à la fois. Simples par la manière d'envisager les hom-

mes et les choses et complète par la capacité de tout voir sans préjuger, sans rien dénigrer d'essentiel.

C'est une personnalité de cet ordre, et encore éclairée par le génie créateur, que vous pouvez offrir en exemple aux nouvelles générations scientifiques du monde entier. Notre Académie vous est profondément reconnaissante d'avoir accepté de lui donner un peu de votre temps. Soyez sure, Madame, que, à côté de votre enseignement scientifique, notre méditation s'exercera sur les grandes leçons que contient votre vie.

A seguir Madame Curie proferiu uma memoravel exposição da qual damos, a seguir um ligeiro resumo.

Tout radio-élément est en voie de transformation, suivant une loi exponentielle; d'accord avec laquelle au bout d'un certain laps de temps, la transformation est complète. Les constantes de transformation se sont toujours montrées invariables, sous toutes les conditions. Cela a étonné les savants, et le début des recherches sur la radio-activité, on a cherché à influencer les conditions du phénomène, de façon à vérifier si les constantes de transformation se maintiennent toujours invariables. On a ainsi vérifié que la loi de décroissance du rayonnement pénétrant est tout-à-fait constante et se maintient invariable malgré tous les changements de conditions: température, volume, etc.. C'est en se basant sur ces observations que Pierre Curie a proposé les constantes radio-actives pour étalon du temps. Plus tard d'autres recherches ont été faites pour vérifier si les rayons pénétrants venant du soleil n'auraient pas une influence modificatrice sur la valeur des constantes radio-actives. Mesurant la valeur du rayonnement du radium à midi et à minuit, aucune différence n'a pu être observée. Certains savants ont plongé le radium à l'intérieur de puits de mines profonds, pour voir une influence extractrice venant de l'intérieur de la terra, pouvait être observé, et les conclusions ont été négatives. Des recherches faites à des températures élevées (quelques centaines de degrés) ont conduit au même résultat: on a toujours noté la même vitesse de transformation. Il faut remarquer que ces recherches sont assez difficiles et exigent des instru-

ments de grande précision. Une méthode très bonne parce que très précise, c'est la méthode de compensation. Avec l'emploi de laquelle on augmente la sensibilité des mesures jusqu'à 12000e. Avec cette méthode d'observation, une ampoule de radium étant refroidie à la température de l'hydrogène liquide et une autre ampoule étant conservée non refroidie, on n'observe aucune différence entre les deux, à 1/2000e près. D'autres savants ont fait des recherches analogues, pour des hauteurs très différentes, plaçant une ampoule dans une plaine, puis sur des montagnes élevées: les conclusions très différentes, les bombes-recherches faites en influant fortement sur le champ magnétique ont donné le même résultat. Des essais d'assez grande précision ont été faits à Copepague. Madame Curie a songé à étudier la décroissance de l'émanation de radium à des états de concentration très différents, la bombardement pouvant peut-être provoquer des changements. Pour avoir l'émanation concentrée il faut des volumes très petits: d'où de nouvelles difficultés. Disposant de 700 millieuries d'émanation, Mme. Curie a divisé la quantité de matière correspondante en deux parties, pour concentrer l'une d'elles et diluer l'autre. La partie concentrée occupait une petite sphère en verre, de 2 dixièmes de millimètre cube; cette sphère, avec un canal très étroit, ayant reçu l'émanation, la bulle était soulevée, puis il s'agissait de purifier l'émanation, puis de la plonger dans l'air liquide. L'opération présente assez de difficultés et de dangers. Parmi les accidents qui peuvent se produire, il faut noter la détérioration de XX l'ampoule par les étincelles qui y éclatent, phénomène très beau, mais nuisible. Quand on aura trouvé un moyen d'éviter ces inconvénients, on reprendra ces recherches, difficiles à exécuter avec les moyens dont on peut disposer à l'heure actuelle.

Des mesures faites par la méthode de compensation, avec toutes les précautions, ont montré que la différence entre les décroissances pour l'émanation des deux ampoules comparées, est inférieure à 1/2000e. Au-delà de cette précision il est difficile de dire s'il y a ou non une altération dans les constantes radio-actives, parce que diverses

causes de différences peuvent intervenir. On peut espérer avoir de bonnes déterminations de la valeur des constantes radio-actives en comparant le Radon à l'émanation de radium, en effectuant les mesures par comparaison.

Sur le Polonium, la matière influençante étant le radium, des mesures ont été faites, pour le rayonnement, en comparant les intensités. Le calcul montre l'avantage de faire l'exposition durant 5 mois environ (la vie du polonium). Plusieurs expériences ont été faites à ce sujet, par Mme. Curie. Dans l'une d'elles, le polonium a été déposé sur une lame d'argent; il a paru y avoir une augmentation par l'exposition au radium. Mais le polonium peut pénétrer dans l'argent. Alors, Mme. Curie a essayé de dédoser le polonium sur la verre, rence entre le polonium et le Mais il n'y a pas de bonne adhérence, aussi l'expérience est très difficile. Alors Mme. Curie a essayé de déposer le polonium sur du nickel. La conclusion de ces recherches a été la suivante: on ne peut percevoir aucune différence pour la valeur des constantes, qui se maintient invariable. Il est donc probable qu'avec l'argent il y a eu pénétration du polonium dans la plaque d'argent.

Les recherches ainsi exposées n'ont pas encore été publiées jusqu'à présent à cause du temps nécessaire pour rédiger les observations simplement à confirmer l'invariance des constantes radio-actives, dans le degré de précision des mesures actuellement possibles.

A comunicação de Madame Curie foi coroada com uma prolongada salva de palmas, sendo em seguida encerrada a sessão.

O RADIO A SERVIÇO DA AVIAÇÃO

A dirigibilidade dos aeroplanos por meio do radio, é cousa já discutida e demonstrada.

Nos vós nocturnos, nos tempos nubliados as experiências feitas foram coroadas do melhor exito de ante de profissionais que as assistiram no aerodromo de Mc Cook usando como balsamento a torre situada no aerodromo de Wilbur Wright.

Em sessão solenne, realizada terça-feira ultima, 24 do corrente, a Academia Brasileira de Sciencias recebeu Mme. Curie, a eminente cientista universalmente conhecida e venerada.

Na ausencia do Dr. Henrique Morize, presidente effectivo, assumiu a direcção dos trabalhos o Dr. Juliano Moreira, que deu a palavra ao Dr. Miguel Osorio de Almeida, vice-presidente da Academia, que pronunciou um formoso discurso em homenagem á illustre dama, honra e orgulho da intellectualidade latina.

A seguir, o secretario geral leu a proposta de admissão de Mme. Curie como membro correspondente da Academia Brasileira de Sciencias, proposta esta approvada por aclamação, fazendo notar o presidente que a Academia não dispõe de mais alto galardão.

Mme. Curie, depois de agradecer as homenagens de que estava sendo alvo, fez uma comunicação inedita, a respeito de pesquisas suas sobre as constantes radio-activas, declarando sentir não ter trazido de França a documentação necessaria para poder fazer mais precisa esta comunicação.

A comunicação provocou uma fortissima salva de palmas.

Depois foi encerrada a sessão.

A conferência de Marie Curie na Academia Brasileira de Ciências

A invariabilidade das constantes radioativas

Todo radio-elemento está em via de transformação, segundo uma lei exponencial de acordo com a qual, ao final de um certo intervalo de tempo, a transformação está completa. **As constantes de transformação sempre se mostraram invariáveis, sob todas as condições. Isto foi motivo de admiração entre os cientistas** e, no início das pesquisas sobre a radioatividade, se tentou influenciar as condições do fenômeno de modo a verificar se as constantes de transformação se mantinham sempre invariáveis.

Verificou-se, assim, que a lei do decaimento da radiação penetrante é perfeitamente constante e se mantém invariável apesar de todas as mudanças nas condições: temperatura, volume, etc. Foi baseado nesta observação que **Pierre Curie propôs as constantes radioativas como padrões de medida para o tempo.** Mais tarde, outras pesquisas foram feitas para verificar **se os raios penetrantes vindos do Sol não teriam uma influência modificadora sobre os valores das constantes radioativas. Ao se medir o valor da radiação do rádio ao meio-dia e à meia-noite nenhuma diferença foi observada.** Alguns cientistas colocaram rádio no interior de poços de minas profundas para examinar se uma influência excitadora proveniente do interior da Terra poderia ser observada, e as conclusões foram negativas. Pesquisas feitas em temperaturas elevadas (algumas centenas de grau) conduziram ao mesmo resultado: observou-se sempre a mesma velocidade de transformação.

Deve-se notar que as pesquisas são bastante difíceis e exigem instrumentos de grande precisão. Um método muito bom, porque muito preciso, é o método da compensação, com o emprego do qual se aumenta a sensibilidade da mensuração para até 1/2000. Com este método de observação, uma ampola de rádio sendo resfriada à temperatura do hidrogênio líquido e uma ampola sendo mantida não resfriada, não se observou nenhuma diferença entre elas, dentro de um fator de 1/2000. Outros pesquisadores fizeram **investigações análogas, para altitudes muito diferentes, colocando uma ampola em uma planície e depois sobre montanhas elevadas: as conclusões se mantiveram.**

Pesquisas feitas sob a influência de campos magnéticos fortes trouxeram o mesmo resultado. Testes de muita precisão foram feitos em Copenhague. **Marie Curie tinha a intenção de estudar o decaimento da emissão do rádio em estados de concentração muito diferentes,** o bombardeamento podendo, talvez, provocar mudanças. Para ter uma emissão concentrada são necessários volumes muito pequenos: daí surgem novas dificuldades. Ao se dispor de 700 milicuries de emissão, Marie Curie dividiu a quantidade de matéria correspondente em duas partes, para concentrar uma delas e diluir a outra. A parte concentrada ocupava uma pequena esfera de vidro, de 2 décimos de milímetros cúbicos; esta esfera, com um canal muito estreito, tendo recebido a emissão e sido soldada, devia ter a emissão purificada e depois ser colocada dentro do ar líquido. A operação apresenta muitas dificuldades e perigos. Entre os acidentes que podem se produzir deve-se notar a deterioração da ampola pelas faíscas produzidas, fenômeno muito bonito, mas deletério. Quando tivermos encontrado um meio de evitar esses inconvenientes, retornaremos a essas pesquisas, difíceis de executar com os meios dos quais se pode dispor no momento atual.

Medidas feitas pelo método da compensação, com todas as precauções, mostraram que a diferença entre o decrescimento para as emanações de duas ampolas comparadas é inferior a uma parte em 2.000. Além desta precisão é difícil dizer se há ou não uma alteração nas constantes radioativas, porque diversas causas para diferenças podem intervir. Podemos esperar ter boas determinações do valor das constantes radioativas comparando o radônio com a emanação do rádio, efetuando as medidas para comparação.

Sobre o polônio, tendo o rádio como matéria geradora de influência, medidas foram feitas para a radiação, comparando-se as intensidades. O cálculo mostra a vantagem de fazer uma exposição durante cerca de 5 meses (a vida do polônio). Diversas experiências foram feitas neste assunto por M Curie. Em uma delas, o polônio foi depositado sobre uma lâmina de prata; parece que houve aí um aumento pela exposição ao rádio. Mas o polônio pode penetrar na prata. Então, M Curie tentou depositar o polônio sobre o vidro. Mas não há boa aderência entre o polônio e o vidro, assim o experimento é muito difícil. Então, M Curie experimentou depositar o polônio sobre o níquel. **A conclusão dessas pesquisas foi a seguinte: não se pode perceber nenhuma diferença para o valor das constantes, que se mantem invariáveis.** É, portanto, provável que, com a prata, houve uma penetração do polônio na placa.

As pesquisas aqui expostas não foram publicadas até o momento por causa do tempo necessário para redigir as observações feitas e porque os resultados foram negativos: eles conduzem simplesmente a confirmar a não variação das constantes radioativas, dentro do grau de precisão das medidas que são atualmente possíveis”.

Sur l'invariabilité des constantes radioactives

Pierre Curie

Sommaire. — Cet article est un résumé concis de diverses expériences faites en vue de contrôler la régularité des transformations radioactives. Certaines de ces expériences étaient faites en vue d'influencer les constantes radioactives. D'autres ont été motivées par des anomalies qu'on a cru observer au cours de certains travaux et qui paraissaient impliquer une possibilité de variation de ces constantes. Dans l'ensemble, je n'ai pu, dans aucun cas, établir avec certitude un écart des lois généralement admises, bien que certains détails soient restés inexplicables. L'objet de l'article est, en partie, d'attirer l'attention sur les difficultés qui se présentent dans l'étude de questions semblables.

Dans cet article j'ai décrit diverses expériences entreprises depuis plusieurs années en relation avec le problème d'invariabilité des constantes radioactives ⁽¹⁾. Aucune variation certaine n'ayant été obtenue, l'exposé a été fait aussi bref que possible; il contient l'énumération des expériences et signale quelques difficultés d'exécution et d'interprétation.

MÉTHODE D'OBSERVATION.

La méthode employée consistait dans la mesure du courant d'ionisation obtenu à l'aide d'une matière radioactive. Toute altération dans les lois normales établies pour la variation du courant avec le temps serait un indice d'altération d'une constante radioactive. Quand on désire obtenir le maximum de précision, on utilise une méthode de *compensation*, en mesurant la différence des courants d'ionisation produits dans des conditions semblables par deux échantillons d'une matière radioactive, dont l'un a subi une certaine action tandis que l'autre sert de témoin. L'avantage que présente ce mode opératoire a été exposé en détail dans une publication antérieure ⁽²⁾, où ont aussi été indiqués les procédés techniques qui permettent d'obtenir une haute précision sur les mesures quand on utilise le rayonnement γ . Dans le cas considéré alors, la comparaison portait sur deux ampoules contenant du radon, placées respectivement dans deux chambres d'ionisation identiques construites avec un soin particulier. Quand les deux ampoules sont tout à fait semblables, et contiennent du radon dilué, la mesure de la différence de leurs rayonnements γ prouve que, pour chacune d'entre elles, la constante radioactive du radon ne peut subir pendant la durée des observations de variation atteignant 0,01 pour 100. Quand l'une des ampoules contient du radon dilué, 300 millicuries environ dans un volume de 10 mm³, et l'autre du radon très concentré, 300 millicuries dans un volume de 0,25 mm³, la constante radioactive du radon concentré conserve encore la valeur normale avec un écart inférieur à 0,05 pour 100, bien que le radon concentré soit soumis au rayonnement très intense émis par lui-même et par ses dérivés.

Il est impossible d'atteindre une précision semblable en utilisant les rayons α ou β , car les difficultés des mesures sont, en ce cas, plus grandes, surtout quand il s'agit de rayons α . D'une part, les fluctuations radioactives du courant, à ionisation égale, sont beaucoup plus importantes pour les rayons α que pour les rayons γ ; d'autre part, divers effets parasites se font d'autant plus sentir que les rayons sont moins pénétrants.

Soit I l'intensité du courant d'ionisation. Une mesure dont la durée est t correspond à une quantité d'électricité $Q = It$ libérée dans la chambre d'ionisation par le passage d'un nombre n de rayons dont la valeur moyenne est $Z = Q/q$, où q est la quantité libérée par

⁽¹⁾ La bibliographie des nombreuses recherches faites dans le même but dans d'autres laboratoires et la discussion de ces travaux ne peuvent entrer dans le cadre de cet article.

⁽²⁾ M^{me} P. CURIE, *Ann. de Phys.*, t. 2 (1924), p. 405.

► To cite this version:

Pierre Curie. Sur l'invariabilité des constantes radioactives. J. Phys. Radium, 1929, 10 (9), pp.329-336. 10.1051/jphysrad:01929001009032900 . jpa-00205393

L'ensemble des expériences ici décrites est à l'appui de toutes celles déjà publiées par de nombreux auteurs, qui n'ont pas réussi à mettre en évidence des écarts des lois de transformation radioactives. Un certain nombre de détails relatifs à ces expériences peuvent, je crois, être de quelque utilité pour l'examen de cette question, et c'est là un des buts de cette publication.

Les nombreuses manipulations et mesures indispensables pour ces expériences ont exigé le concours de plusieurs collaborateurs, et il m'est agréable de remercier pour leur assistance M^{me} Irène Curie, M^{lles} Galabert et Maracineanu, M. Cailliet et M. Joliot.

Manuscrit reçu le 24 juin 1929.

$$i\hbar \frac{dc_1}{dt} = E_0 c_1 - A c_2$$

$$i\hbar \frac{dc_2}{dt} = E_0 c_2 - A c_1$$

$$E_0 = H_{11} = H_{22}$$

$$-A = H_{12} = H_{21}$$

$$\begin{matrix} E-A & c_1=c_2 \\ E+A & c_1=-c_2 \end{matrix}$$

$$c_2 = (E-A)(c_1 + c_2)$$

$$c_2 = \frac{c_1}{a} (E-A) t$$

$$E = (E+A)$$

$$N=1; c_1/d=0$$

$$c_2=1$$

$$\sum_i \langle \chi_i | \chi_i \rangle = 1$$

$$|\psi\rangle = \sum_i c_i |\chi_i\rangle = A$$

$$|\psi\rangle \text{ at } t, \quad \frac{d}{dt} = \dots$$

delay until t_2

$$\langle \chi | U(t_2, t_1) | \psi \rangle = \sum_i \langle \chi | \dots \rangle$$

$$|\psi(t)\rangle = \sum_i |\chi_i\rangle c_i(t)$$

$$i\hbar \frac{dc_i(t)}{dt} = \dots$$

(t)

Década de 30/40/50 : primeira geração de físicos brasileiros e criação de institutos de pesquisa e órgãos de fomento



CBPF (1949); CNPq (1951); CAPES (1952); IMPA (1952); INPA (1952); IPR (1953); FAPESP (1960)



**Presença de físicos estrangeiros no Brasil
Feynman, Cecile Morette, David Bohm, Yang,
Guido Beck, Oppenheimer, ...**

Períodos em que Feynman esteve no Brasil

- 1. 1949 - 5 a 8 de 1949 Recife (alguns dias) e Rio de Janeiro: 6 semanas. Participa do Seminário de Ciências, organizado pela ABC, no final de agosto de 1949, e faz a palestra “A Eletrodinâmica Quântica”.**
- 2. 1951 – 1952: setembro de 1951 até maio de 1952 no Rio. Período sabático como professor no CBPF e na UB. Em novembro de 1951 esteve em Belo Horizonte participando da Reunião Anual da SBPC. Maio: palestra sobre ensino de física na FnFi.**
- 3. Julho de 1952 – Simpósio de Física: Rio de Janeiro e São Paulo**
- 4. Julho/agosto de 1953 – V Escola Latinoamericana de Física. ABC: Experimento da Dupla Fenda. Ida ao ITA.**
- 5. Junho/Julho de 1963 – I Conf. Interamericana de Ensino de Física. Palestra sobre ensino.**
- 6. Carnaval de 1965 - teria estado no Salgueiro e recebido o título de Benfeitor da Escola de Samba**
- 7. Carnaval de 1966 – 17/2 a 23/2: Carnaval a convite da Prefeitura do Rio de Janeiro.**

Palestra sobre Eletrodinâmica

Quântica

(em português)

Seminário de Ciências – Academia

Brasileira de Ciências

26 – 30, Agosto de 1949

Após, o professor Richard Feynman pronunciou a seguinte conferência:

Eletrodinâmica Quântica. — Vou falar sobre o processo recente da eletrodinâmica quântica. Usualmente palavras grandes representam assuntos pequenos; mas a eletrodinâmica quântica é uma palavra horrível que significa a teoria física, que fundamenta todos os fenômenos da natureza, com exceção dos fenômenos de gravitação e as propriedades dos núcleos atômicos e mesons recentemente descobertos.

Ela é, portanto, a teoria da qual supõe-se, todos os fenômenos de calor, luz, som, mecânica química, espectroscopia, física atômica, eletricidade, magnetismo, raios X, elétrons positivos etc. podem todos ser deduzidos.

Vou resumir, ligeiramente, o desenvolvimento histórico desta teoria, falando em particular dos problemas que foram resolvidos apenas recentemente, por Schwinger, Tomonaga, Bethe ou Dyson e muitos outros.

A teoria clássica da eletrodinâmica é a eletrodinâmica de Maxwell, aplicada à teoria dos elétrons de Lorentz e finalmente, combinada com a modificação Einsteiniana da Mecânica de Newton.

Esta teoria não era isenta de dificuldades fundamentais. Em primeiro lugar era necessário imaginar o elétron como uma

partícula subseqüente. Antes de descobrirmos a teoria correta de núcleos e mesons, temos muito que aprender!

O professor Alvaro Alberto salientou o fato, realmente admirável, de haver o professor Feynman feito sua exposição em português embora haja apenas um mês que se encontra no Brasil, circunstância que põe em relevo o grande interesse que alimenta pela nossa gente e nossa terra.

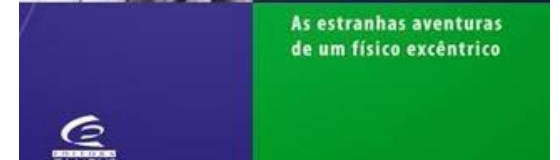
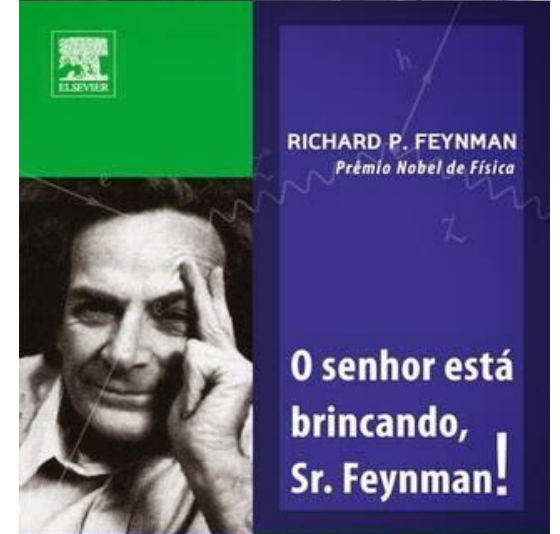
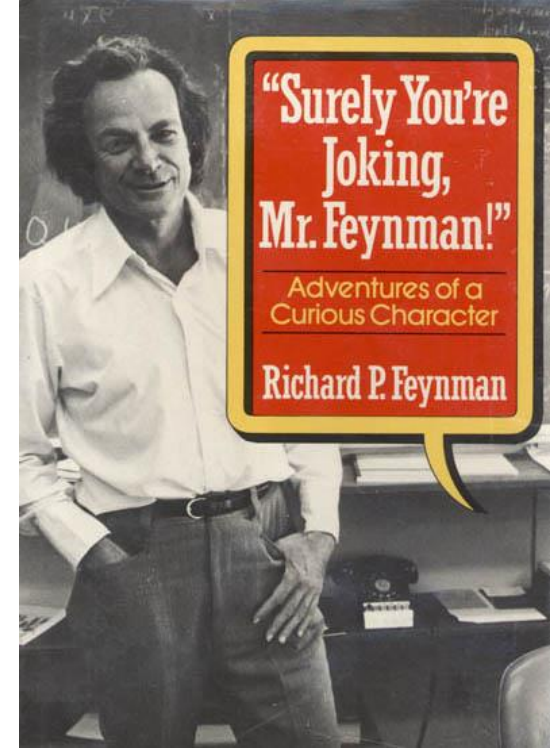
During that first time in Brazil, which lasted six weeks, I was invited to give a talk at the Brazilian Academy of Sciences about some work in quantum electrodynamics that I had just done. I thought I would give the talk in Portuguese, and two students at the center said they would help me with it. I began by writing out my talk in absolutely lousy Portuguese. I wrote it myself, because if they had written it, there would be too many words I didn't know and couldn't pronounce correctly. So I wrote it, and they fixed up all the grammar, fixed up the words and made it nice, but it was still at the level that I could read easily and know more or less what I was saying. They practiced with me to get the pronunciations absolutely right: the "de" should be in between "deh" and "day" -- it had to be just so.

I got to the Brazilian Academy of Sciences meeting, and the first speaker, a chemist, got up and gave his talk -- in English. Was he trying to be polite, or what? I couldn't understand what he was saying because his pronunciation was so bad, but maybe everybody else had the same accent so *they* could understand him; I don't know. Then the next guy gets up, and gives *his* talk in English!

When it was my turn, I got up and said, "I'm sorry; I hadn't realized that the official language of the Brazilian Academy of Sciences was English, and therefore I did not prepare my talk in English. So please excuse me, but I'm going to have to give it in Portuguese."

So I read the thing, and everybody was very pleased with it.

The next guy to get up said, "Following the example of my colleague from the United States, I also will give my talk in Portuguese." So, for all I know, I changed the tradition of what language is used in the Brazilian Academy of Sciences.



Em primeiro lugar, era necessário imaginar o elétron como uma pequena esfera carregada e admitir, ainda, que uma parte dessa carga poderia agir sobre outra. A saber, é admitida a ação do elétron sobre si mesmo. (...) a massa eletromagnética varia com o inverso do raio do elétron e seria, portanto, infinita quando o elétron se reduzisse a um ponto. Houve, é claro, outras dificuldades com a física clássica. O estudo destas, começando com as observações de Planck e culminando com os trabalhos de Schrödinger, Heisenberg e Dirac, forma a teoria da moderna mecânica quântica. Quando a técnica e os conceitos da mecânica quântica foram aplicados à eletrodinâmica de Maxwell resultou, em 1928, uma teoria de eletrodinâmica quântica. Porém, esta teoria não era sem dificuldades.

É verdade que quase qualquer problema podia ser resolvido aproximadamente, e o resultado concordava com a experiência. Mas tentativas para o cálculo dos resultados em uma aproximação maior eram sobrepujados pelo aparecimento de integrais divergentes, dando resultados infinitos. Por exemplo, uma tentativa para calcular a correção na posição das linhas espectrais devida à interação com o campo eletromagnético fornecia o resultado ridículo que as linhas deviam ser deslocadas de uma quantidade infinita. (...)

Lamb e Retherford tinham medido, com bastante precisão, as linhas espectrais do hidrogênio. Eles encontraram um pequeno desvio em relação ao valor dado pela equação de Dirac. Este desvio era, presumidamente, devido à interação do elétron com seu próprio campo eletromagnético, problema para o qual a eletrodinâmica quântica estava ainda dando o resultado infinito.

Bethe tentou calcular o desvio nos níveis de energia, fazendo a hipótese que a parte infinita desse desvio do nível de energia de um elétron ligado nada mais era do que o desvio infinito da energia de uma correspondente partícula livre. Pode mostrar que existe um desvio residual finito para um elétron ligado, que concordava, aproximadamente, com o valor obtido nas experiências de Lamb e Rutherford. Foi proposto que este poderia ser um método geral [renormalização] de obter resultados significativos e consistentes para a eletrodinâmica. O método seria tentar eliminar em cada problema os termos infinitos que representariam a self energy do elétron. O difícil problema de achar a contribuição da infinita self energy em todas as situações, de um modo geral, foi resolvido por Tomonaga no Japão e Schwinger nos Estados Unidos. Eles mostraram que, após a self energy, a eliminação destes termos, não há dificuldades subsequentes na eletrodinâmica.

Eu resolvi o problema de um modo um pouco diferente. As leis da eletrodinâmica foram alteradas para cargas interagindo a pequenas distâncias. Isto resultou, tanto na teoria clássica como quântica, num valor finito para a massa eletromagnética.
(...) Temos assim, atualmente, uma eletrodinâmica quântica consistente.

Esta teoria da origem mesônica das forças nucleares é construída em imagem da eletrodinâmica. A analogia é tão grande que as dificuldades das integrais divergentes da eletrodinâmica apareciam, correspondentemente, na teoria dos mésons. Os novos métodos podem e têm sido aplicados para remediar essas dificuldades da teoria mesônica. Entretanto, os resultados da teoria mesônica, quando calculados numericamente, não concordam com a experiência!

Vem lecionar na Universidade do Brasil



DR. RICHARD FEYNMAN

O dr. Richard Feynman, professor de Física do Instituto Californiano de Tecnologia em Pasadena, veio ao Brasil com o fim de lecionar na Universidade do Brasil, subvencionado pelo Departamento de Estado norte-americano, a convite do governo brasileiro.

Atualmente em férias, o dr. Feynman ensina Física Nuclear no ITC. Antes de integrar o corpo docente daquele Instituto, ensinou Física na Universidade de Cornell.

Essa é a segunda viagem do dr. Feynman ao Brasil, pois, há dois anos, fez uma série de conferências no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, em São Paulo.

Diário de
Noticias
29 7 1951

ELETRODINÂMICA QUÂNTICA, PESQUISAS E CURSOS NO BRASIL

“Em 1950, o convidei para que viesse, conseguimos um dinheiro, já não me lembro como. Ele teve o ano sabático de 1951/52, que veio passar no Rio, conosco. Eu era professor na Faculdade de Filosofia, Lattes era professor de Física Nuclear, e uma cadeira minha de Teoria Eletromagnética passei ao Feynman para que ele desse. Aprendeu português, falava razoavelmente, deu o curso o ano inteiro na Faculdade de Filosofia e no Centro”. [Leite Lopes]

Because I liked it so much that first time in Brazil, I went again a year later, this time for ten months. This time I lectured at the University of Rio, which was supposed to pay me, but they never did, so the center kept giving me the money I was supposed to get from the university.

I finally ended up staying in a hotel right on the beach at Copacabana, called the Miramar. For a while I had a room on the thirteenth floor, where I could look out the window at the ocean and watch the girls on the beach.

REUNIAO ATOMICA EM BELO HORIZONTE

Outro fato interessante a ressaltar é que entre os grandes vultos da ciencia internacional que reunirão em Belo Horizonte, na III Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciencia, ontem instalada naquela cidade, estarão presentes os professores Guido Berk, antigo lente da Astrofísica no Instituto Astronomico da Universidade de Córdoba da Republica Argentina e Richar Feynman, catedrático de Física Nuclear e Teórica do Instituto de Tecnologia da California, que para ali se dirigem em um dos Bandeirante na linha mineira da Panair do Brasil.

O referido conclave é um dos mais importantes ultimamente realizados, visto como nada menos de 355 cientistas confirmaram suas inscrições.

O congresso constará de vários simpósios nos quais serão ventilados varios aspectos científicos, sendo que o relativo a partículas elementares em física contará com nomes de grande projeção, como César Lattes, Marcelo Souza Santos e Leite Lopes.

Figuram no temário da reunião 150 comunicações referentes ao estudo da Biologia, Tecnologia Industrial, Fisiologia Comparada, Paleontologia, Etnologia, etc., assim como estudar sobre Fisiologia Animal, Fitogeografia e um simpósio sobre a possibilidade da extinção da Esquisostomose, no qual, serão apresentados cerca de 10 trabalhos de mais alta importância.

III Reunião Anual da SBPC

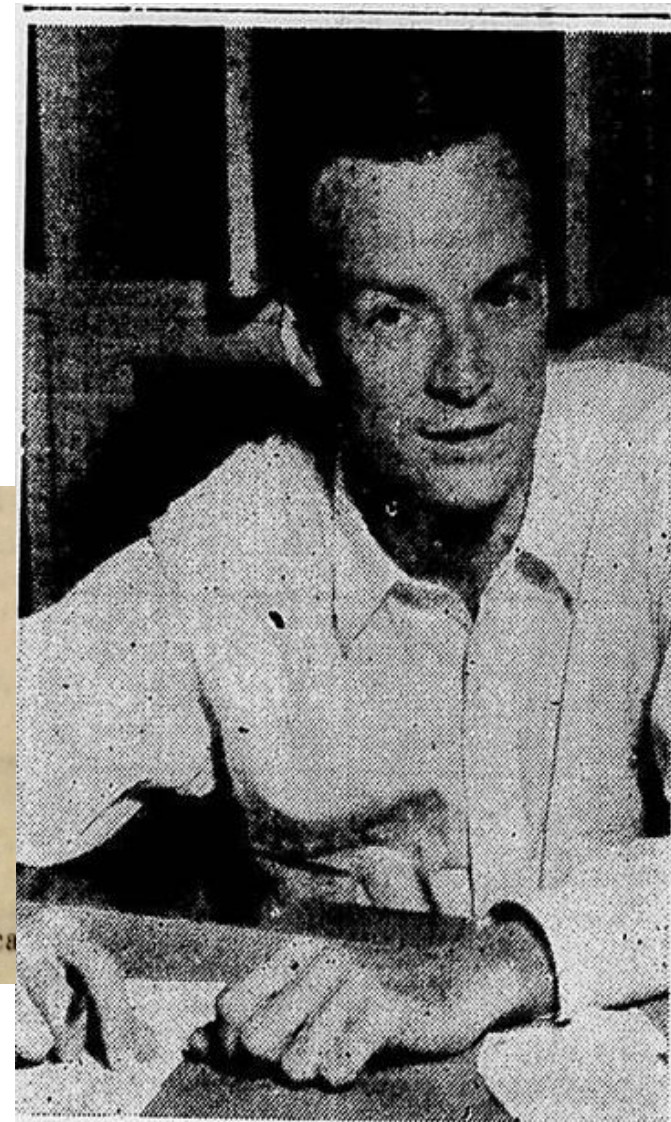
Belo Horizonte - 5 a 10 de novembro de 1951

14:00 horas — Escola de Engenharia — Sala A

FISICA (Teórica)

Presidente: J. Tiomno

- Fritz Koehler — O espaço-tempo e sua estrutura como grandeza física.
H. A. Meyer — Sôbre a transformação de Gross generalizada.
R. P. Feynman — Uma nova notação para o cálculo operacional.
L. Nachbin — Coordenadas baricêntricas em espaços vetoriais topológicos.
J. Tiomno — Interação das partículas de spin 1/2.
G. Rawitscher — Sôbre a desintegração do meson V.
Adel Silveira e J. Leite Lopes — Polarização do vácuo e energia própria na teoria quântica



Richard Feynman, uma das maiores autoridades norte-americanas em física nuclear, e que, juntamente com Ugo Camerini, realiza importantes estudos para a produção de isótopos

Diário da Noite

6 11 1951

III Reunião Anual da SBPC

Belo Horizonte - 5 a 10 de novembro de 1951

Estado atual dos conhecimentos sôbre os mesons π

Richard P. Feynman

Serão descritas as experiências realizadas recentemente em Berkeley e Columbia, sôbre a captura de mesons π negativos pelo dênteron, que indicam que o spin dêesses mesons é zero e que a função de onda que os descreve é pseudo-escalar. Êsses resultados serão interpretados teòricamente e serão examinadas outras experiências envolvendo os mesons π , como a sua produção por colisões de nucleons e o seu «scattering» por protons e neutrons. (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro).

Ciência e Cultura vol. III,
n. 4, pp. 301 e 314, 1951

Uma nova notação para o cálculo operacional

Richard P. Feynman

E' proposta uma alteração na notação usada para indicar a ordem de operação de grandezas não comutativas. Em vez de definir a ordem pela posição no papel, um índice de ordem é introduzido de modo que $A_S B_S$ significa AB ou BA segundo S seja superior a S' ou vice-versa. Assim A_S pode ser manejado como se fôsse uma função numérica ordinária de S . Obtém-se assim uma facilidade maior na manipulação de expressões operatórias. Aplicações ilustrativas à mecânica quântica serão feitas na exposição. (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro e California Institute of Technology, Pasadena).

R. P. Feynman. An operator calculus having applications in quantum electrodynamics. Phys. Rev. 84 (1951), 108-128.

Teoria pseudo-escalar do dênteron

J. Leite Lopes

Recentes experiências realizadas com os ciclotrons de Berkeley e Columbia mostraram, de modo preciso e independentemente da teoria do campo mesônico, que os mesons «pi» tem spin zero e são descritos por uma função de onda pseudo-escalar.

Por outro lado, é bem conhecido, pelas observações sôbre estrelas nucleares produzidas pelos mesons da radiação cósmica e pelos mesons artificiais, que os mesons «pi» têm uma interação forte com os núcleos atômicos. Apresenta-se, pois, com interêsse fundamental, o problema de investigar se a teoria do campo de mesons pseudo-escalares é apta ou não para descrever, segundo a idéia de Yukawa, as fôrças nucleares, e, em particular, as propriedades do núcleo mais simples, o dênteron, que é formado de um neutron e um proton. A teoria pseudo-escalar é conhecida há cêrca de treze anos e foi desenvolvida juntamente com outras teorias, a escalar, a vetorial e a pseudo-vetorial. Entretanto, a falta de evidência experimental sôbre a natureza dos mesons dificulta a escôlha de uma dessas teorias para ser investigada a fundo. De outro lado, dificuldades matemáticas, decorrentes da natureza singular, na origem, do potencial pseudo-escalar e do desconhecimento das correções relativistas, impediam uma investigação teórica satisfatória da teoria mesônica pseudo-escalar. Diante das experiências de Berkeley e Columbia, esta teoria foi investigada por R. P. Feynman, em colaboração com o autor, com base nos seguintes pontos de vista: 1) se a teoria é correta, o potencial pseudo-escalar deve descrever as propriedades do dênteron no estado fundamental e as de colisão de nucleons a energias baixas, certamente para as energias inferiores a 20 Mev; 2)

On the Pseudoscalar Meson Theory of the Deuteron*

J. LEITE LOPES AND R. P. FEYNMAN

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, D.F., Brasil

We report on an attempt to find a mathematically valid consequence of the YUKAWA pseudoscalar meson theory which disagrees with experiment. As is well known, the symmetrical theory with gradient coupling predicts in first order a nuclear potential:

$$V = g^2 \mu (\tau_1, \tau_2) \left\{ \frac{1}{3} (\sigma_1, \sigma_2) + S_{12} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x^2} \right) \right\} \frac{e^{-x}}{x} \quad (1)$$

where $x = \mu r$ and μ is the reciprocal COMPTON wave-length of the π -meson; S_{12} is the tensor force. But this is not a true mathematical consequence of the theory because (a) the nucleons are treated non-relativistically, and (b) only the term of first order in g^2 has been included. Nevertheless, at first sight we might expect that a complete mathematical theory would not essentially alter the potential (1) outside some small value of x . The relativistic corrections ought to come at the COMPTON nuclear wave length $x \sim 0.15$ and should be small for x large relative to this. The corrections of order g^4 come from the exchange of two mesons. They represent intermediate states of energy 2μ and produce exponentials like e^{-2x} . Hence they might be expected to have effects at $x \sim 0.5$ and here only of order g^2 or 20% of the first order term (1) (however, see below).

We have tried to see whether the present data on $n-p$ forces (the deuteron properties in particular) could be consistent with potential (1) outside some small $x = x_0$. What the potential is inside of this rough limit x_0 we do not know. The procedure is illustrated by imagining for a moment we were dealing only with a central potential, which is the case of (1) for the singlet state:

$$V_S = -g^2 \mu \frac{e^{-x}}{x} \quad (2)$$

We solve the wave equation for $u = x\psi$ for S -wave scattering for all x in this potential, but do impose the usual boundary condition that u vanishes at the origin. Starting from the outside and proceeding inward this ought to give the correct wave function at least until x_0 — that is over the greater part of the interaction range. At x_0 it should be fitted in slope and value to a completely unknown function coming from inside x_0 . But the solution from the inside is probably energy insensitive until momenta of order x_0^{-1} are involved. Assuming the slope to value unknown but constant at x_0 would permit thereby a determination of the scattering cross-section for much higher energies than the present approximations

*Reprinted from "Symposium on New Research Techniques in Physics", July 15-29, 1952.

J. Leite Lopes and R. P. Feynman — On the Pseudoscalar Meson Theory of the Deuteron

Symposium on New Research Techniques in Physics,
July 15-29, 1951.

R. P. Feynman — The Present Situation in Fundamental Theoretical Physics

Anais da Academia Brasileira de Ciências
v 26, n 1,
p 54-59, 1954.

The Present Situation in Fundamental Theoretical Physics

R. P. FEYNMAN*

California Institute of Technology, Pasadena, California, U.S.A.

The following article is simply a list of the fundamental problems in theoretical physics. The various partial attempts and groping ideas which have been invented in trying to solve them will not be discussed. We shall not try to evaluate the merits of the several ideas suggested, such as non-local field theory, reinterpretation of quantum mechanics, scattering matrix, non-linear equations, principle of reciprocity, fundamental length considerations, etc. As a moment's reflection shows, there is absolutely no basis, other than authoritarian prejudice, on which their potential value may be judged (unless they already disagree with known experiments), until one of them is successful. Until such time, the best suggestion is a new one.

We shall discuss the present situation beginning with the most successful theories and proceeding to the more uncertain ground.

First there is quantum electrodynamics. The most stringent experimental tests have not yet yielded any indication of error. For example the precision measurements of Lamb and Rutherford of the separation of the $2s$ and $2p$ levels in Hydrogen agree so well with theoretical calculations that the inverse square Coulomb law at distances of about 1 Å is verified to better than one part in a billion. It is true that the Lamb shift in hydrogen still disagrees with the calculated result by as much as 0.5 megacycle, five times the experimental error. On the other hand the calculation is still only approximate. Schrödinger wave functions are used instead of Dirac functions in estimating the effect of a single virtual photon. The error from this cause still contains a theoretical uncertainty (from neglected terms of higher order) which can be estimated at about 1 megacycle. It would be useful to calculate, possibly on the electronic computers, a more exact value for this by using Dirac functions directly. Higher order terms, arising from more than one high energy virtual photon are very small, and have been calculated to sufficient precision (± 0.10 Mc) at present.

It should be emphasized that if a discrepancy of 1 Mc. finally results, this may not be due to a failure of electrodynamics in the strict sense. It is not known whether the proton really acts as a point charge. The discrepancy might be due to nucleon structure. In this connection, however, experiments on neutron-electron scattering show that within experimental accuracy the only

* Visiting Professor at the Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro.

Ata da sessão ordinária de 25 de Agosto

Lambertus
Antonio Conceição
Adalberto Wenezes de Oliveira
Luciano J. Moraes
Leite Lopes
Guido Beck
Hans J. J. Torres
Klaus Clausen
Hans Koch
Paul Kuhn
Clara Triv
Alvaro Dippini
Hans J. J. Torres
Richard Feynman
Luis M. Molina
Ondando Rangel
T. P. de Almeida
Jaime Tiomno

Presentes os Srs. Arthur Woses, Presidente,
Alvaro Dippini, Vice-Presidente, Luciano Jacques
de Moraes, Tesoureiro, Antonio Conceição, Secretário,
Ondando Rangel, J. Costa Ribeiro, Richard Feynman
Adalberto Wenezes de Oliveira, José Leite Lopes,
Otto Rothe, Fritz Trigl, Jaime Tiomno, Lauro Travas-
sos, Hans Kocher e Guido Beck, reuniram-se, em sessão
ordinária a Academia Brasileira de Ciências.

mico Richard Feynman para sua comunicação sobre
"O Princípio da Superposição na Mecânica Quântica,
cujo resumo se segue. Declarou inicialmente que de-
sejava reexaminar alguns aspectos de um problema
já resolvido há cerca de vinte e cinco anos — o problema
da dualidade onda-córculo — estudando por me-
nizadamente algumas experiências idealizadas, do tipo
das que foram consideradas por Heisenberg e Bohr. Es-
tudou particularmente a seguinte experiência: um
feixe de elétrons passa por dois orifícios numa parede
e os dois feixes resultantes são recebidos por instru-
mentos de detecção distribuídos ao longo de uma pa-
rede paralela a primeira. Quando um dos orifícios
é tapado, o número de contagens dos instrumentos

ou segundo, distribui-se ao longo da parede detetora,
e acordo com uma curva que se assemelha a de Gauss,
um máximo em torno da região definida pelo cone pro-
jetado pela fonte de elétrons e pelo orifício aberto.

Analogamente quando se fecha este orifício deixando
outro aberto. Contudo, a curva de contagens por se-
gundo, no caso em que ambos de os orifícios estão abor-
tos, não é a superposição das duas curvas acima men-
cionadas. Ela apresenta um comportamento oscilante,
semelhante ao da curva da intensidade de dois feixes
de luz que interferem.

No caso limite em que a fonte de elétrons tem a in-
certidão tão enraquecida que num segundo emite um
o elétron, a experiência acima indicada que a probabili-
dade de encontrar o elétron num ponto da parede dete-
ora quando os dois orifícios estão abertos não é, nos casos
em que ora um ora o outro orifício a soma das proba-
bilidades, correspondente, a cada uma das situações acima
consideradas e que a soma, quando ambos os orifícios
estão abertos, das amplitudes relativas aos dois outros
casos. Essa amplitude é tal que, por definição, o seu
quadrado absoluto é que dá a probabilidade de loca-
lizar o córculo num ponto.

O académico Feynman mostrou então como a
curva oscilante para a probabilidade provém da in-
terferência das amplitudes ao ser feito o quadrado de
sua soma. Examinou em seguida os casos em que
poderia colocar um instrumento que indicasse por
qual orifício passa o elétron na situação em que am-
bos estão abertos. Mostrou que a perturbação assim
introduzida modifica a curva oscilante fazendo se-
melhante a soma das curvas correspondentes aos casos
em que ora um ora o outro orifício está fechado.

Sessão da ABC

O Princípio da Superposição na Mecânica Quântica

25 08 1953

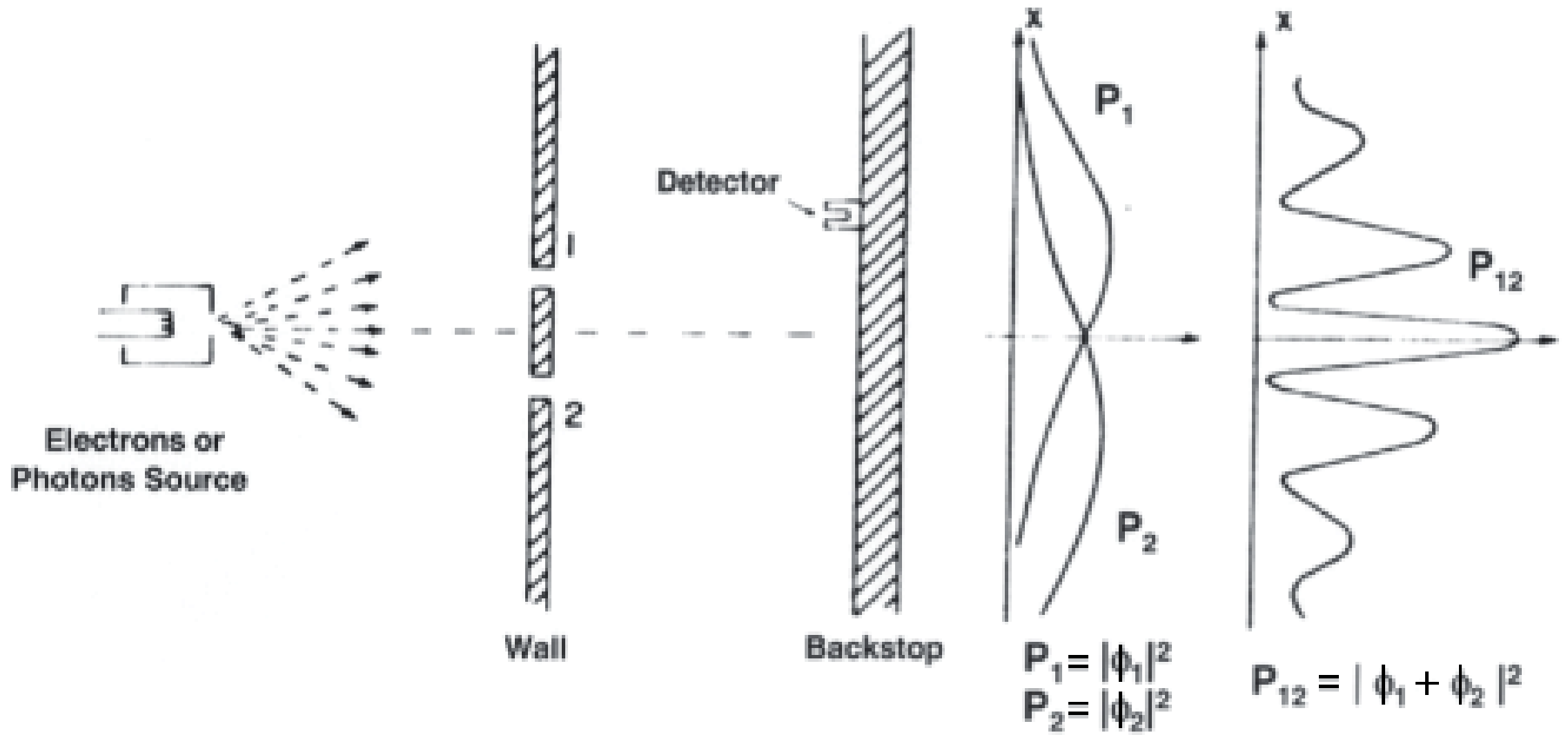


Figure 2. The double-slit experiment.

NOTAS DE FÍSICA

Nº 12

ATOMIC THEORY OF LIQUID HELIUM

by

R. P. FEYNMAN

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS

Av. Wenceslau Braz, 71

RIO DE JANEIRO

1953

MONOGRAFIAS DE FÍSICA

XIX

95.397

FENÔMENOS NO ESTADO SÓLIDO

por

Richard P. Feynman

California Institute of Technology, Pasadena, E.U.A.

Notas redigidas por:

Naren Bali
Orlando Baiocchi
Jorge S. Helman
R. Costa

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS

Av. Wenceslau Bras, 71

RIO DE JANEIRO

1963

FÍSICA NUCLEAR TEÓRICA

Notas de Aulas de
Richard P. Feynman



Redigidas por G. Rawitscher
CBPF - 1953



Atomic Theory of Liquid Helium Near Absolute Zero

R. P. FEYNMAN

California Institute of Technology, Pasadena, California

(Received June 1, 1953)

The properties of liquid helium at very low temperatures (below 0.5°K) are discussed from the atomic point of view. It is argued that the lowest states are compressional waves (phonons). Long-range motions which leave density unaltered (stirrings) are impossible for Bose statistics since they simply permute the atoms. Motions on an atomic scale are possible, but require a minimum energy of excitation. Therefore at low temperature the specific heat varies as T^3 and the flow resistance of the fluid is small. The arguments are entirely qualitative—no calculation of the energy of excitation nor of the low-temperature viscosity is given. In an appendix an expression, previously given, for the partition function is modified to include the effects of phonons.

INTRODUCTION

TISZA¹ has suggested the very fruitful concept that He II might be thought of as a mixture of two fluids, "superfluid" and "normal." At zero temperature the helium is pure superfluid. With rising temperature some sort of "excited molecules" form. These constitute the "normal fluid" which behaves very much like a gas. The proportion of normal fluid increases at first slowly, and then rapidly, with temperature until at the transition temperature of 2.19°K (λ point) the liquid, now He I, contains no more superfluid.

Landau² has made even more detailed suggestions. He suggests that there are two kinds of "excited molecules," phonons or quanta of longitudinal compressional waves (sound) and "rotons." The latter are not well understood. It is suggested that they have a minimum energy Δ needed to excite them. For this reason below 0.5°K there are practically only phonons. The rotons can become excited when more energy is available; i.e., at higher temperature. This idea is in agreement with the fact that below 0.5°K the specific heat varies as T^3 in just the manner (and with the correct coefficient) to be expected if only longitudinal sound waves could be excited.

¹ L. Tisza, Phys. Rev. 72, 838 (1947). An excellent summary of the theories of helium II is to be found in R. B. Dingle, Supplement to Phil. Mag. 1, 112 (1952).

² L. Landau, J. Phys. U.S.S.R. 5, 71 (1941).

Tisza's view is frankly phenomenological. No serious attempt is made to justify the description from first principles. Landau has made such an attempt by studying the quantum mechanics of a continuous liquid medium. The role of the statistics is not clear in his arguments, however. Furthermore, the magnitudes of energy and inertia that the "rotons" appear to have correspond to a few atoms. A complete understanding of the "roton" state can therefore only be achieved by way of an atomic viewpoint.

A more complete study of liquid helium from first principles might attempt to answer at least three important questions:

- Why does the liquid make a transition between two forms, He I and He II?
- Why are there no states of very low energy, other than phonons, which can be excited in helium II (i.e., below 0.5°K)?
- What is the nature of the excitations which constitute the "normal fluid component" at higher temperatures, say from 1 to 2.2°K?

The first question was answered in a preceding paper.³ We showed that London's suggestion, that it is the analog of the transition in an ideal Bose gas, is correct.

In this note we hope to make a qualitative argument from first principles to answer the second question.

³ R. P. Feynman, Phys. Rev. 91, 1291 (1953), hereafter called I.

Atomic Theory of the Two-Fluid Model of Liquid Helium

R. P. FEYNMAN

California Institute of Technology, Pasadena, California

(Received January 11, 1954)

It is argued that the wave function representing an excitation in liquid helium should be nearly of the form $\sum_j f(\mathbf{r}_j)\phi$, where ϕ is the ground-state wave function, $f(\mathbf{r})$ is some function of position, and the sum is taken over each atom i . In the variational principle this trial function minimizes the energy if $f(\mathbf{r}) = \exp(i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r})$, the energy value being $E(k) = \hbar^2 k^2 / 2mS(k)$, where $S(k)$ is the structure factor of the liquid for neutron scattering. For small k , E rises linearly (phonons). For larger k , $S(k)$ has a maximum which makes a ring in the diffraction pattern and a minimum in the $E(k)$ vs k curve. Near the minimum, $E(k)$ behaves as $\Delta + \hbar^2(k - k_0)^2 / 2\mu$, which form Landau found agrees with the data on specific heat. The theoretical value of Δ is twice too high, however, indicating need of a better trial function.

Excitations near the minimum are shown to behave in all essential ways like the rotons postulated by Landau. The thermodynamic and hydrodynamic equations of the two-fluid model are discussed from this view. The view is not adequate to deal with the details of the λ transition and with problems of critical flow velocity.

In a dilute solution of He³ atoms in He⁴, the He³ should move essentially as free particles but of higher effective mass. This mass is calculated, in an appendix, to be about six atomic mass units.

IN a previous paper,¹ II, a physical argument was given to interpret the fact that the excitations which constitute the normal fluid in the two-fluid theory of liquid helium were of two kinds. Those of lowest energy are longitudinal phonons. The main result of that paper was to give the physical reason for the fact that there can be no other excitations of low energy. It was shown that any others must have at least a minimum energy Δ . No quantitative argument was given to obtain this Δ nor to get an idea of the type of motion that such an excitation represents. In this paper we expect to determine Δ and the character of the excitations.

The physical arguments of II are carried a step further here to show that the wave function must be of a certain form. The form contains a function whose exact character is difficult to establish by intuitive arguments. However, the function can be determined, instead, from the variational principle as that function which minimizes the energy integral.

THE WAVE FUNCTION FOR EXCITED STATES

In II the exact character of the lowest excitation was not determined, but various possibilities were suggested. One is the rotation of a small ring of atoms. A second is the excitation of an atom in the local cage formed around it by its neighbors. Still a third is analogous to the motion of a single atom, with wave number k about $2\pi/a$, where a is the atomic spacing, the other atoms

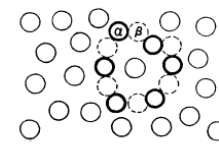


Fig. 1. Typical configuration of the atoms. If an excitation represents rotation of a ring of atoms such as the six in heavy outline the wave function must be plus if they are in the α positions and minus if they are moved to the intermediate β positions.

¹ R. P. Feynman, Phys. Rev. 91, 1291, 1301 (1953), hereafter called I, II, respectively.

moving about to get out of the way in front and to close in behind. It is not clear that they are really distinct possibilities, for they might be merely different ways of describing roughly the same thing.

We shall now try to find the form of the wave function which we would expect under the assumption that one or another of these possibilities is correct. It will turn out that all of the alternatives suggest the same wave function, at least to within a function $f(\mathbf{r})$, of position \mathbf{r} , which is determined only vaguely.

First, suppose that the excitation is the rotation of a small ring of atoms. The number of atoms in the ring is determined, according to II, by the condition that it is the smallest ring that can be considered to be able to turn easily as an independent unit in view of the interatomic forces. For illustrative purposes we suppose this means that there are six atoms in the ring.

We can describe the wave function for this excitation by giving the amplitude associated with every configuration of the atoms. Suppose Fig. 1 represents a typical configuration, the six atoms of the ring in question (say ring A) being indicated by heavy outline. We discuss how the amplitude changes as we rotate this ring, leaving the other atoms out of account for a moment. Suppose the wave function is positive, say +1, if the atoms are in the position shown by the full circles in Fig. 1, which we arbitrarily call the α position. Suppose all the six atoms move around together, and let the ring turn about 60°. The atoms then appear again in α position, although which is which has been changed, so the wave function, by the Bose statistics, is still +1. On the other hand, for a 30° rotation, if the atoms are located as indicated in the figure by dotted circles (β position), the wave function will change to -1 for the first excited state. We need only discuss the real part of the wave function—the imaginary part, if any, can be dealt with in a similar way. (Actually since we deal with an eigenstate of the energy, the real part of

REFERÊNCIAS

1. *Einstein in Brazil: the Communication to the Brazilian Academy of Sciences on the Constitution of Light*. A. T. Tolmasquim and I. C. Moreira. In: *History of Modern Physics*, H. Kragh, G. Vanpaemel, P. Marage (eds), pp. 229-242, Brepols: Turnhout, Belgium, 2002.
2. *Um manuscrito de Einstein no Brasil*. I. C. Moreira a A. T. Tolmasquim. *Ciência Hoje* vol. 21, n. 124, setembro/outubro de 1996.
3. *Quantum of light*, I. C. Moreira. *Phys. World* 32 (11) 25, 2019.
4. *La visite de Marie Curie à Rio de Janeiro en 1926 et la presse brésilienne*. B. Esteves. I. C. Moreira e L. M. Massarani. *Revista da SBHC* v. 5, n. 2, p. 134-148, 2007.
5. *Feynman's activities in Brazil: on quantum electrodynamics and physics teaching* (em preparação). I. C. Moreira
6. *Feynman e suas conferências sobre o ensino de física no Brasil*. I. C. Moreira *Rev. Bras. Ensino Fís.* 40 (4), 2018
7. *O Rei está nu - A palestra de Feynman no Brasil sobre o ensino de ciências na descrição de Oswaldo Frota-Pessoa*. I. C. Moreira e M. C. Paiva. *Física na Escola*, 2016.
8. *Richard Feynman in Brazil: personal recollections*, J. Leite Lopes, *Quipu* v 7, 383-397, 1990.
9. *Feynman*. Bassalo & Caruso. SP: LF Editorial. 2013.



Muito obrigado!
ildeucastro@gmail.com

TECENDO A MANHÃ

JOÃO CABRAL DE MELO NETO

**UM GALO SOZINHO NÃO TECE UMA MANHÃ:
ELE PRECISARÁ SEMPRE DE OUTROS GALOS.
DE UM QUE APANHE ESSE GRITO QUE ELE
E O LANCE A OUTRO; DE UM OUTRO GALO
QUE APANHE O GRITO QUE UM GALO ANTES
E O LANCE A OUTRO; E DE OUTROS GALOS
QUE COM MUITOS OUTROS GALOS SE CRUZEM
OS FIOS DE SOL DE SEUS GRITOS DE GALO,
PARA QUE A MANHÃ, DESDE UMA TEIA TÊNUE,
SE VÁ TECENDO, ENTRE TODOS OS GALOS.**