

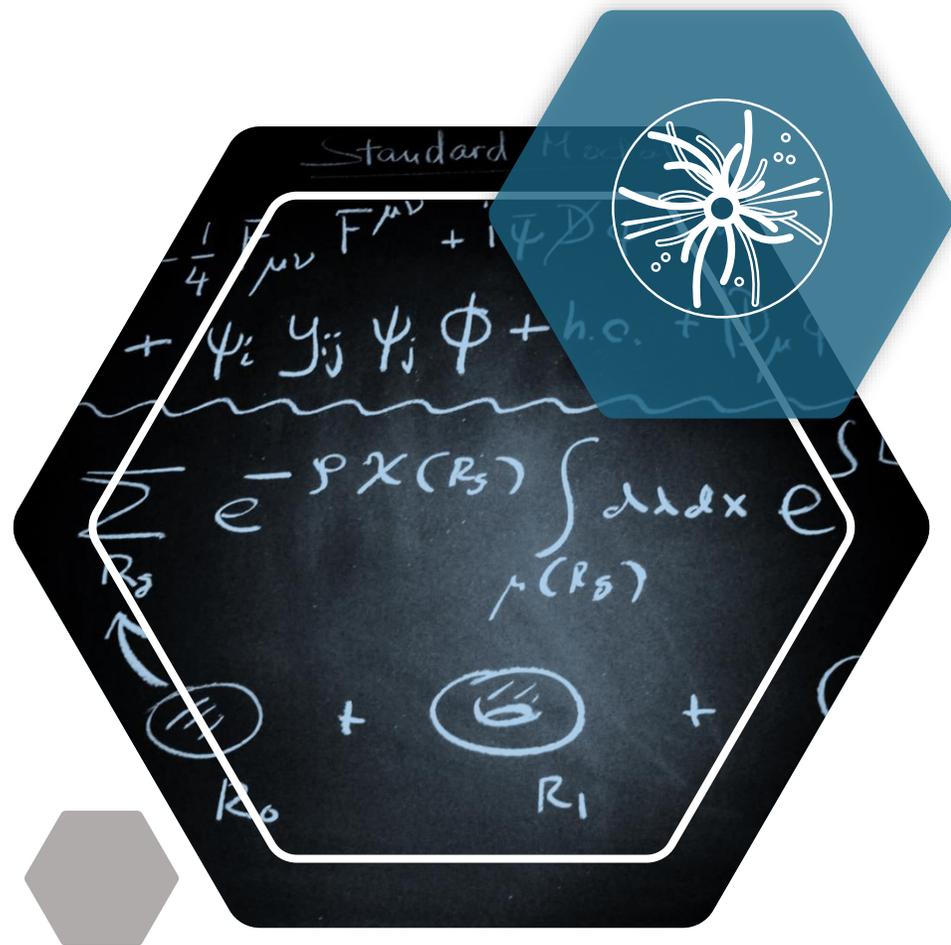
FÍSICA MODERNA IIA

CONSTRUINDO O MODELO
PADRÃO DA FÍSICA DE
PARTÍCULAS

AULA 8

**O QUE É PENSAR A
ESTRUTURA ELEMENTAR?
A AUTENTICAÇÃO DO
PÓSITRON 1931-1934**

PROF. DR. MARCELO MUNHOZ
PROF. RENAN MILNITSKY
PROF. JULIEN MINERBO



ORIENTAÇÕES

P/ A RESENHA 1

Diagnosticando discordâncias:
a autenticação do Pósitron
1931-1934



CONHECENDO A AUTORA

Pesquisadora de Pós-Doutorado no Higgs Centre for Theoretical Physics

Sua pesquisa se concentra principalmente no **estudo de discordâncias científicas**. Ana utiliza uma metodologia integrada que combina História e Filosofia da Ciência. Ela realiza estudos de caso são de natureza diversa, incluindo episódios históricos de física de partículas e astrofísica.

ANA-MARIA CREȚU





CONHECENDO A ORIENTADORA

Departamento de Filosofia da Ciência
da Universidade de Edinburgh

Pesquisadora na área de História e Filosofia da Ciência, com foco na Física dos séculos XX e XXI, afiliada ao Higgs Centre for Theoretical Physics. Membro da Royal Society of Edinburgh e da Académie Internationale de Philosophie des Science. Atualmente é presidente da Associação Internacional de Filosofia da Ciência.

MICHAELA MASSIMI

ENTENDENDO A RESENHA

Espaço para propor dois tipos de reflexão ao longo da disciplina:

- 1** **Construção histórica** dos conceitos debatidos na disciplina
- 2** **Implicações pessoais** para a forma como pensamos a estrutura elementar

2 PÁGINAS

TAM. 12

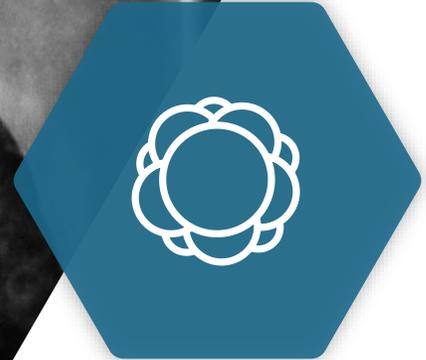
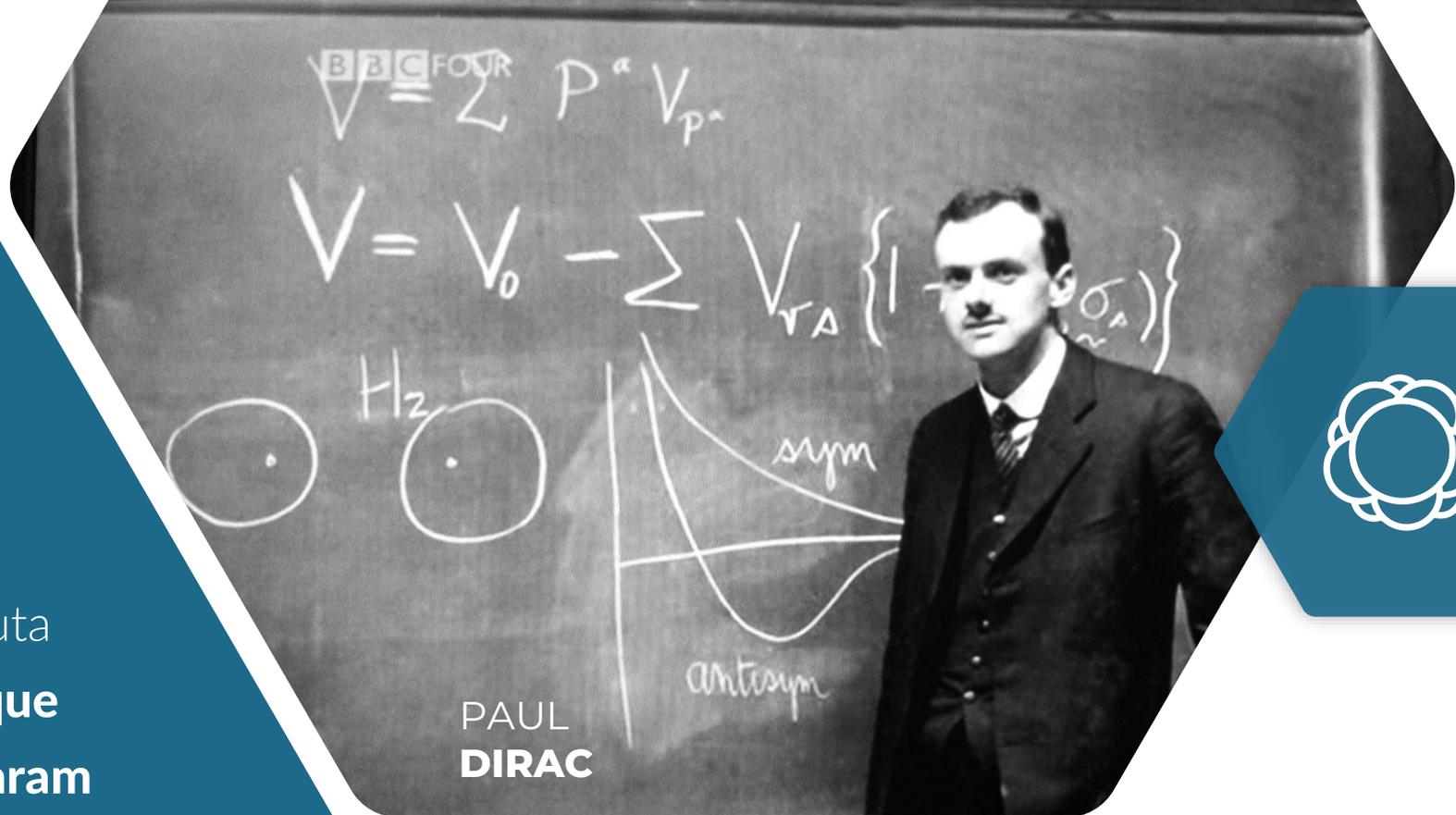
ESPAÇ. 1,15





A partir de elementos extraídos do texto, discuta **aspectos do contexto que contribuíram e dificultaram** a aceitação da realidade do positron?

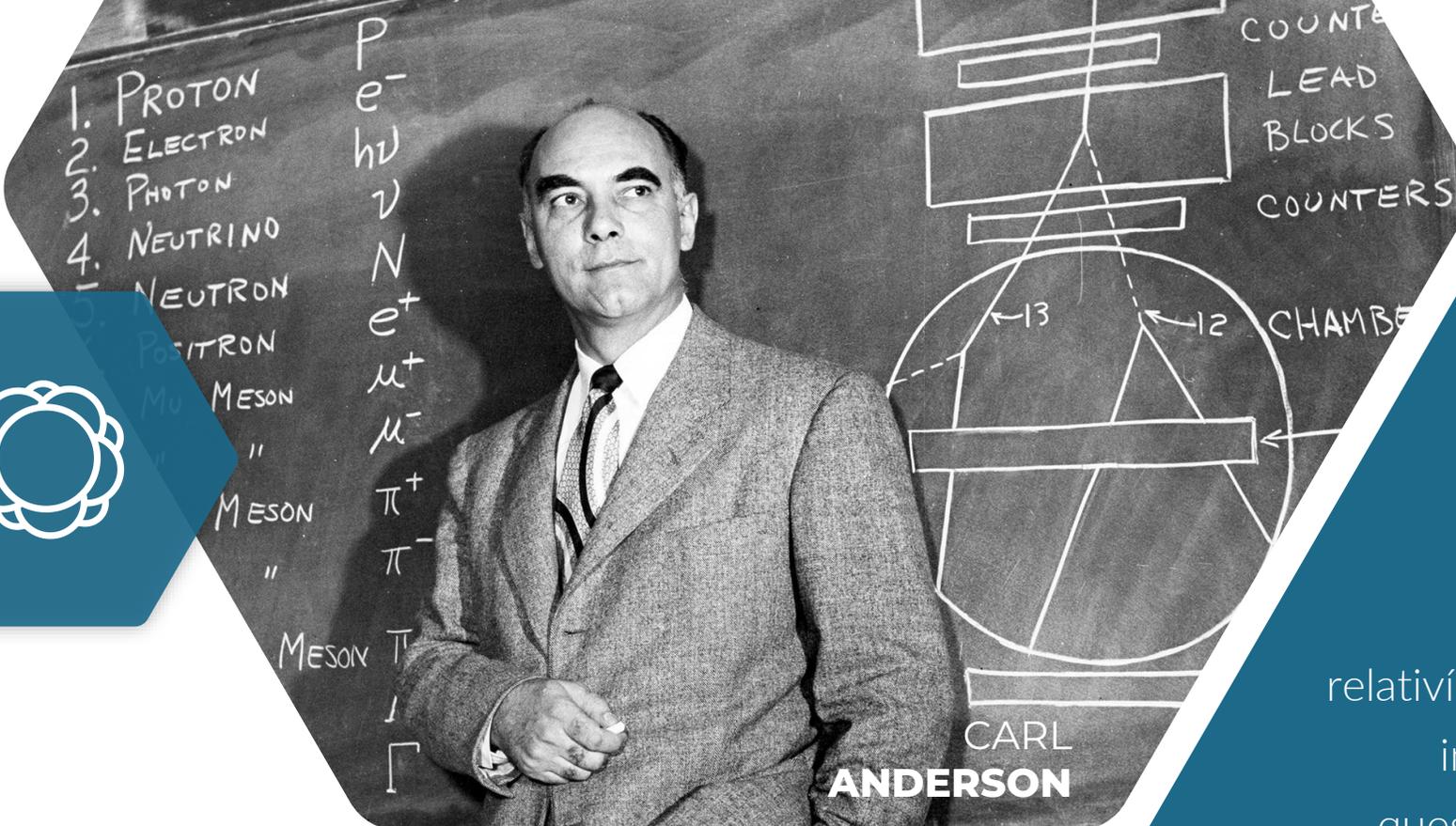
Questão histórica e epistemológica



PROPOSTA

RESENHA 1

Redigir uma resenha, inspirada na leitura do texto, debatendo primeiramente a seguinte questão ...



PROPOSTA RESENHA 1

... e complementarmente **uma segunda questão.**



O que a leitura quântica-relativística, realizada por meio da introdução do pósitron e de questões referentes a natureza do vazio, trouxe de **conflitos e novos aspectos sobre a forma como você pensa** a estrutura elementar da matéria?

Questão de autoreflexão epistemológica



AVALIAÇÃO DA RESENHA

Critérios de avaliação da Resenha 1

Cumprimento da proposta
e parâmetros de formatação **1**

Referência direta e indireta
a elementos do texto **2**

Abordagem e adequação
da **reflexão histórica** **3**

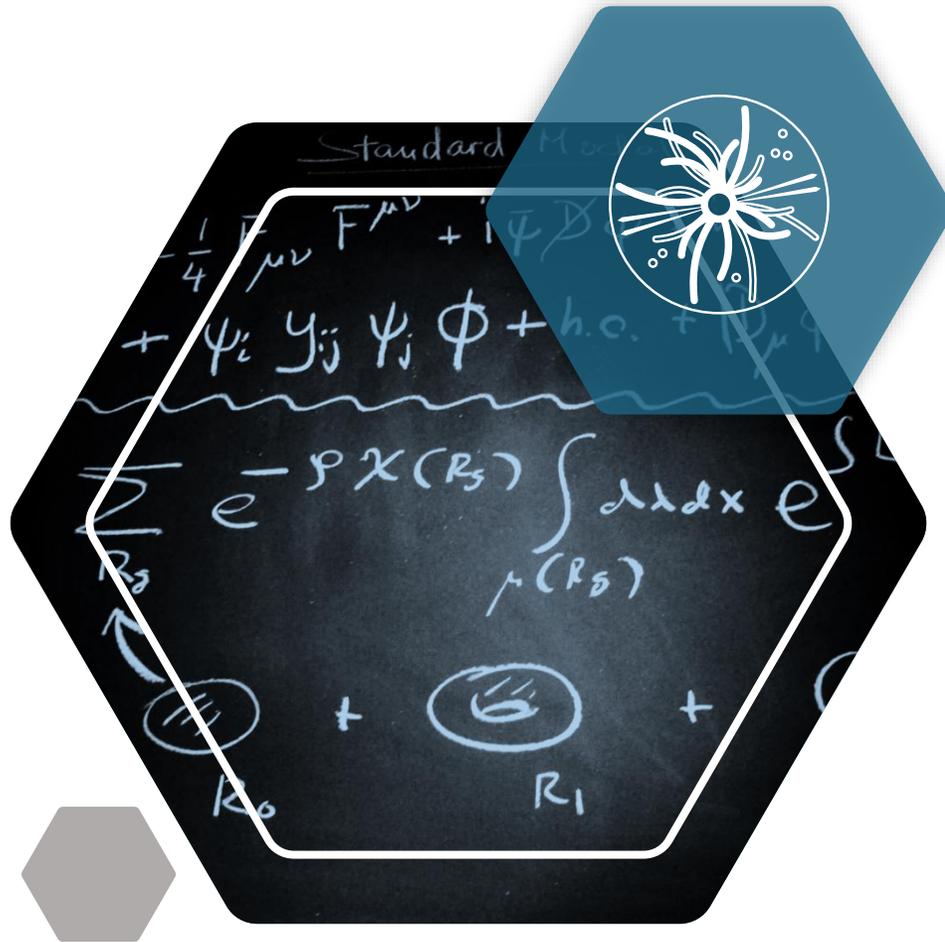
Abordagem e adequação
da **autoreflexão epistemológica** **4**

2 PÁGINAS

TAM. 12

ESPAÇ. 1,15

ENTREGA VIA MOODLE
ATÉ AS 23:59 de 10/9



PENSAMENTO A REALIDADE

Qual o papel da
matemática na Física
Moderna?

PENSAMENTO E REALIDADE

Para refletirmos coletivamente

Qual o papel da
matemática neste nosso
primeiro bloco de aulas?

O que ele nos permite
dizer sobre o **papel da
Matemática na Física
Moderna?**

PENSAMENTO E REALIDADE



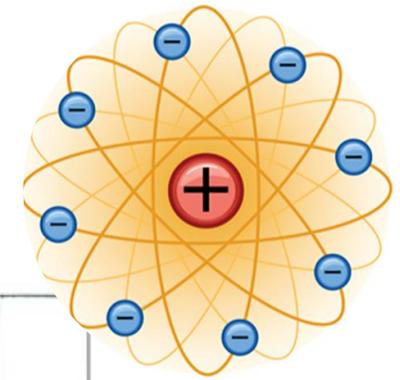
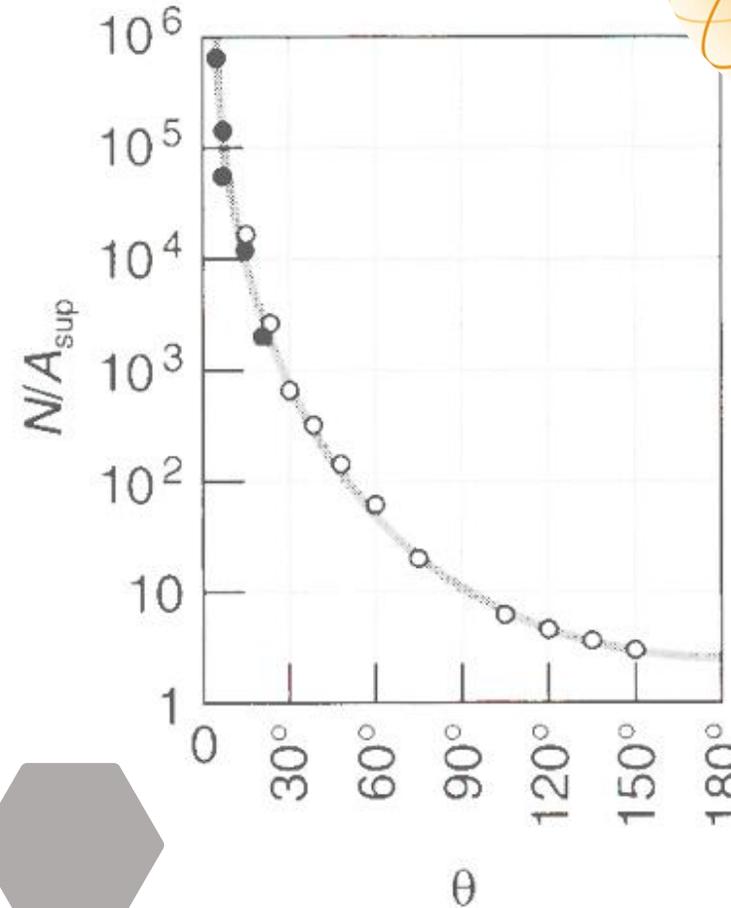
RICHARD
FEYNMAN

PENSAMENTO E REALIDADE

Que imagem de mundo
extraímos da Equação?

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{16} \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0 E_{inc}} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

Seção de Choque Diferencial
Espalhamento de Rutherford



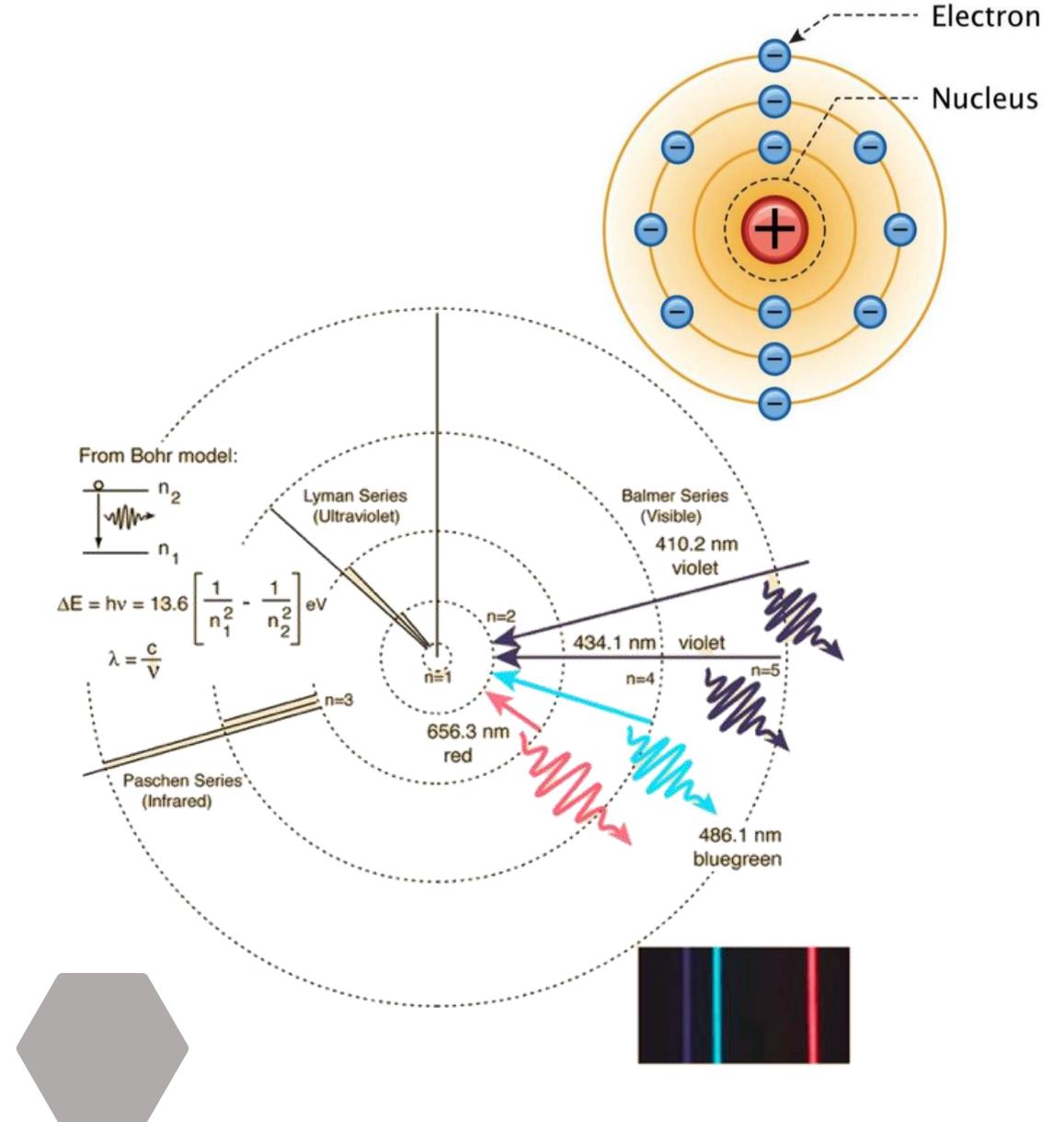
PENSAMENTO E REALIDADE

Que imagem de mundo
extraímos da Equação?

$$E_n = \frac{Z^2 m_e k e^2}{2n^2 \hbar^2} = -13,6 \frac{Z^2}{n^2} eV$$

Níveis de Energia

Modelo Atômico de Bohr

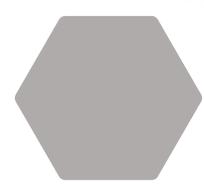
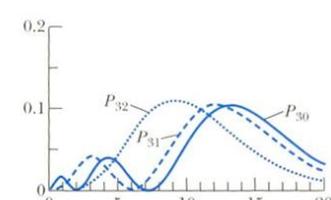
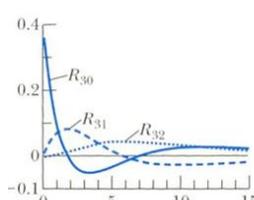
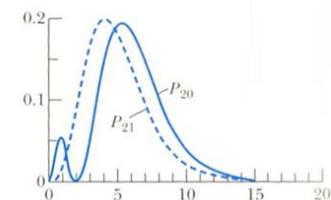
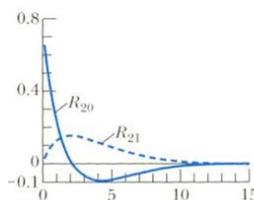
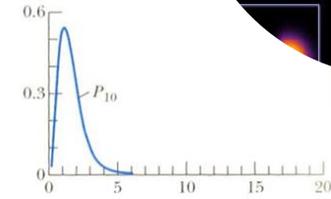
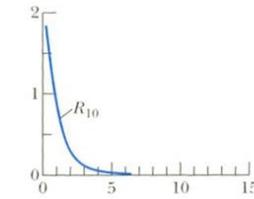
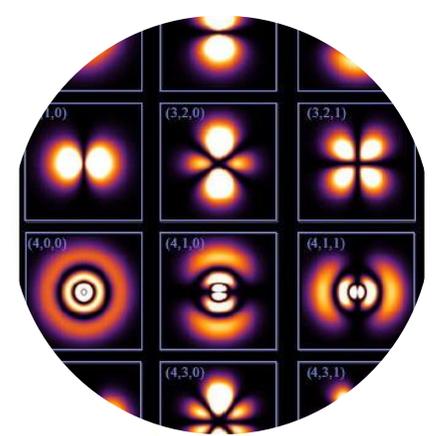


PENSAMENTO E REALIDADE

Que imagem de mundo
extraímos da Equação?

$$\Psi_{1,0,0}(r, \theta, \phi, t) = Y_{0,0}(\theta, \phi)R_{1,0}(r)e^{-\frac{iE}{\hbar}t}$$

Densidade Radial de Probabilidade
Estados do Átomo de Hidrogênio
em Schroedinger



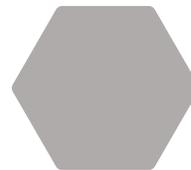
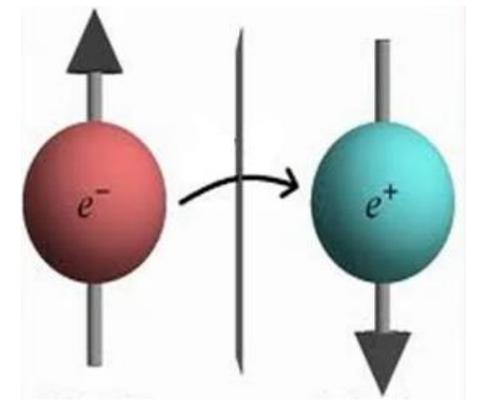
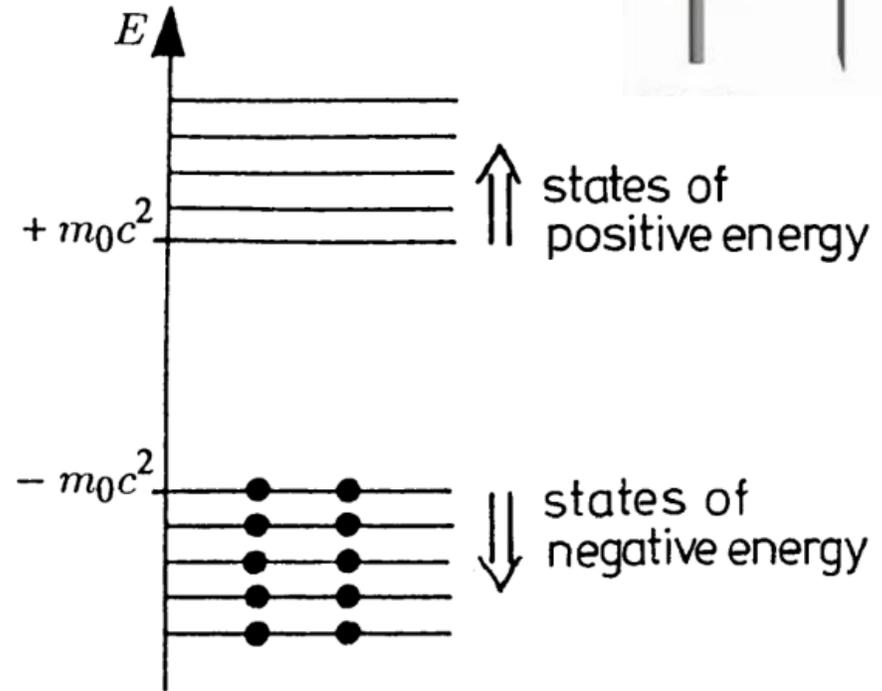
PENSAMENTO E REALIDADE

Que imagem de mundo
extraímos da Equação?

$$\Psi(\vec{r}, t) = \begin{pmatrix} \Psi_1(\vec{r}, t) \\ \Psi_2(\vec{r}, t) \\ \Psi_3(\vec{r}, t) \\ \Psi_4(\vec{r}, t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{-i \frac{E}{\hbar} t} \\ e^{-i \frac{E}{\hbar} t} \\ e^{+i \frac{E}{\hbar} t} \\ e^{+i \frac{E}{\hbar} t} \end{pmatrix}$$

Spin e Estados de Energia \pm

Equação de Dirac e o elétron em repouso



PENSAMENTO E REALIDADE

Que imagem de mundo
extraímos da Equação?

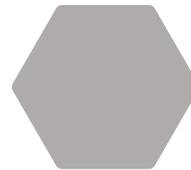
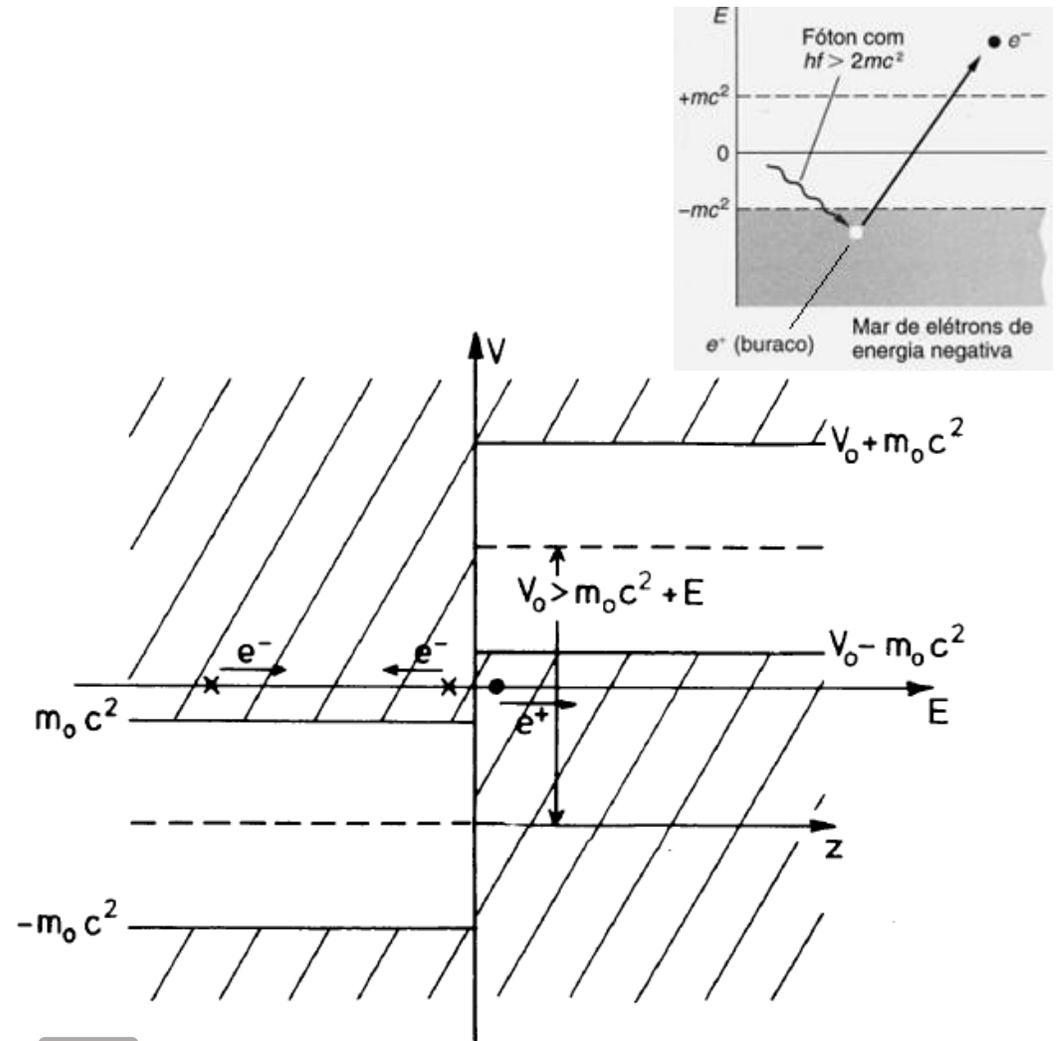
$$\vec{J}_I(z) = cA^*A \left(\frac{2pc}{E + mc^2} \right) \hat{e}_z$$

$$\vec{J}_{Irefl}(z) = -cC^*C \left(\frac{2pc}{E + mc^2} \right) \hat{e}_z$$

$$\vec{J}_{II}(z) = -cB^*B \left(\frac{2p'c}{V_0 - (E + mc^2)} \right) \hat{e}_z$$

Correntes de Probabilidade

Potencial Degrau Relativístico
e o Paradoxo de Klein



PENSAMENTO E REALIDADE

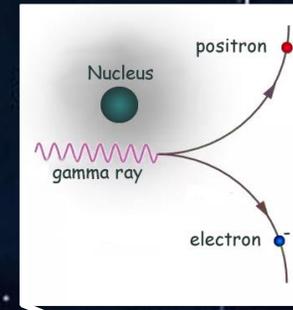
Que imagem de mundo
extraímos da Equação?

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$$

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

Partículas carregadas num campo magnético

Caracterização de produção de
pares em câmaras de nuvem



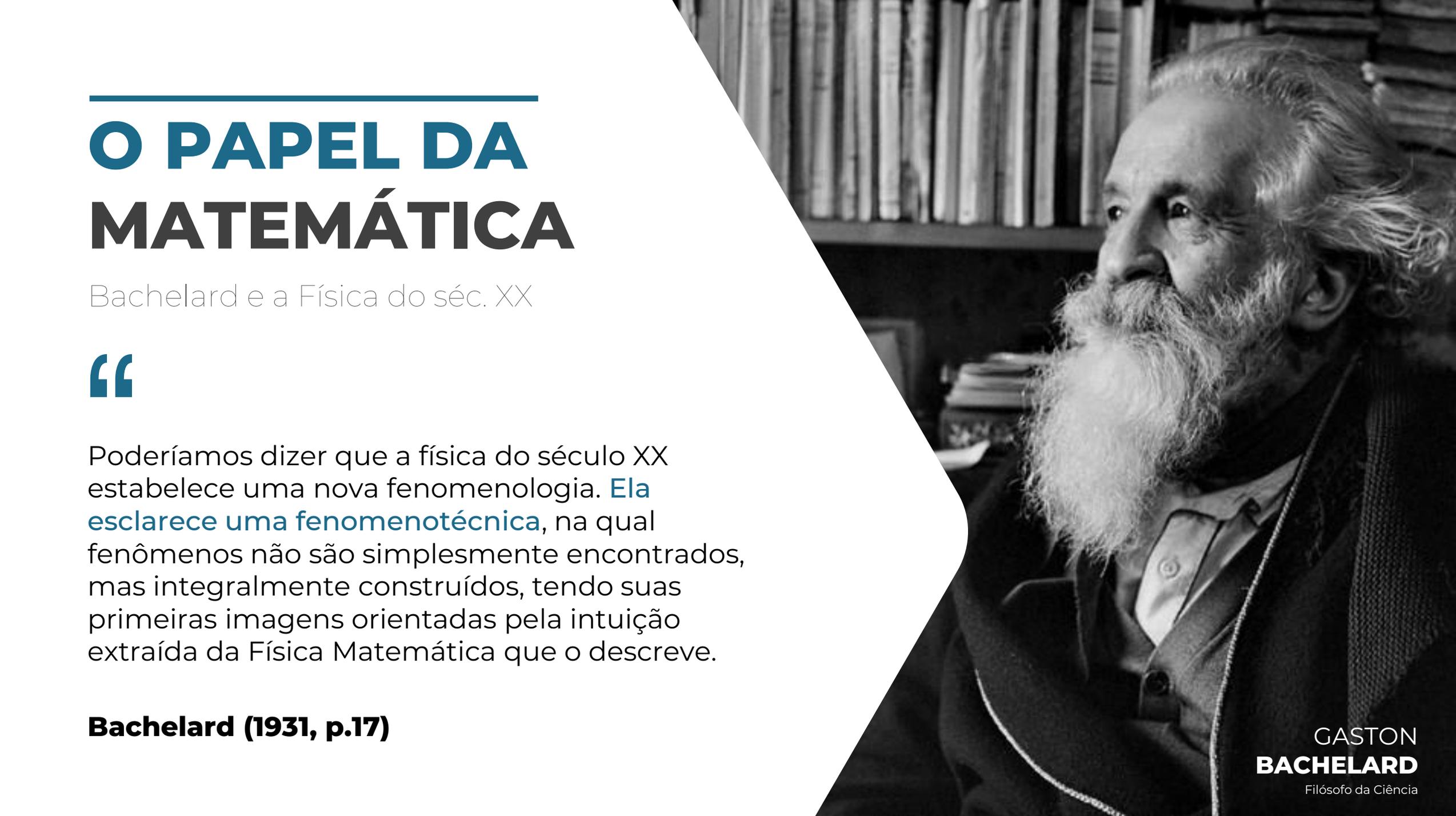
O PAPEL DA MATEMÁTICA

Bachelard e a Física do séc. XX

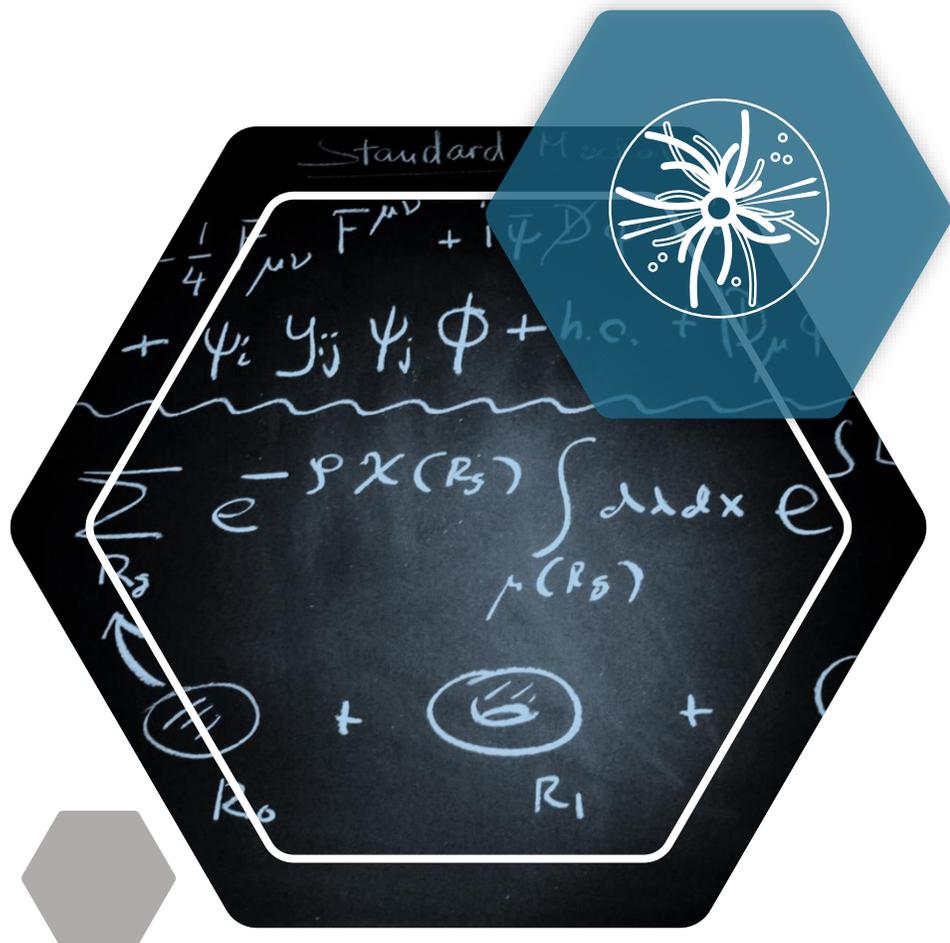
“

Poderíamos dizer que a física do século XX estabelece uma nova fenomenologia. Ela esclarece uma fenomenotécnica, na qual fenômenos não são simplesmente encontrados, mas integralmente construídos, tendo suas primeiras imagens orientadas pela intuição extraída da Física Matemática que o descreve.

Bachelard (1931, p.17)



GASTON
BACHELARD
Filósofo da Ciência



O CONTEXTO DO PÓSITRON

Esclarecendo problemas e concepções presentes no contexto de proposição do pósitron

PROBLEMAS NUCLEARES

Questões para além do pósitron

“

Até 1932, pensava-se existir apenas dois tipos de partículas fundamentais: o próton e o elétron. Hipóteses estranhas levantaram problemas relativos à estabilidade dos núcleos. O misterioso espectro do decaimento β também necessitava de explicações. As dificuldades ao descrever problemas no nível nuclear pareciam tão grandes que um colapso da mecânica quântica não era considerado fora de questão.

Darrigol (1988, p.228)



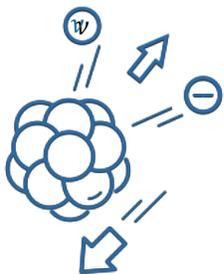
OLIVIER
DARRIGOL

PROBLEMAS ESTRUTURAIS

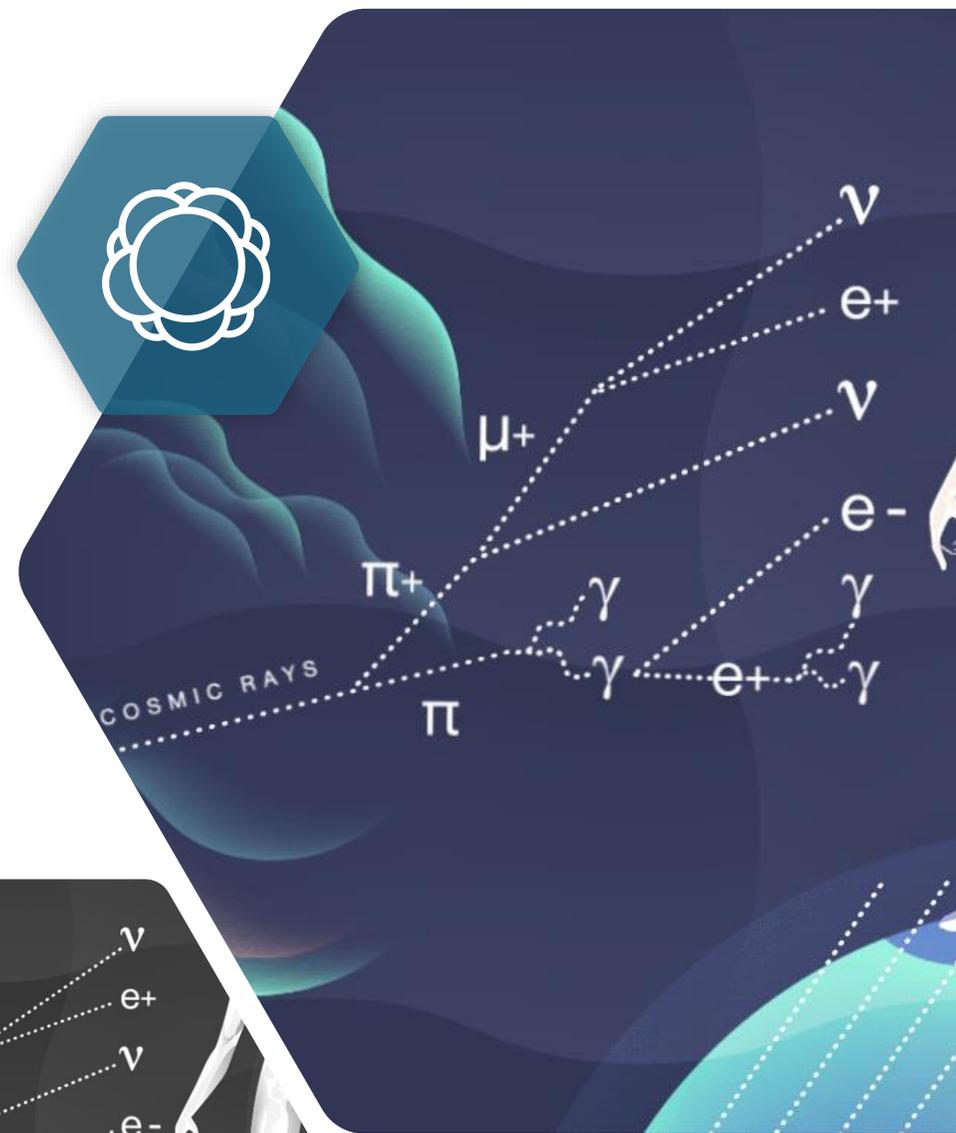
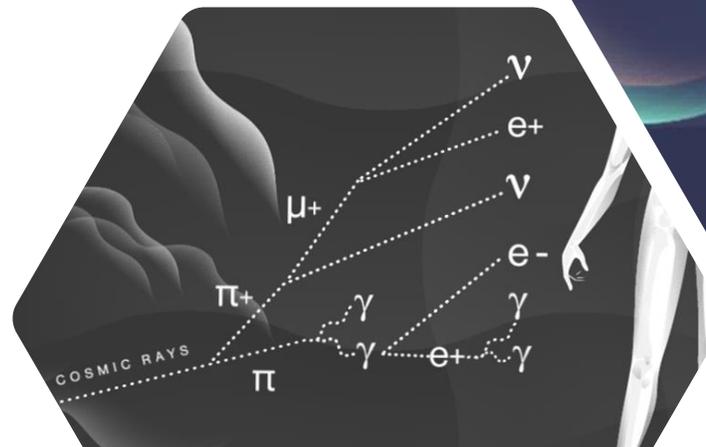
Questões sobre a estrutura
elementar da matéria nos anos 30



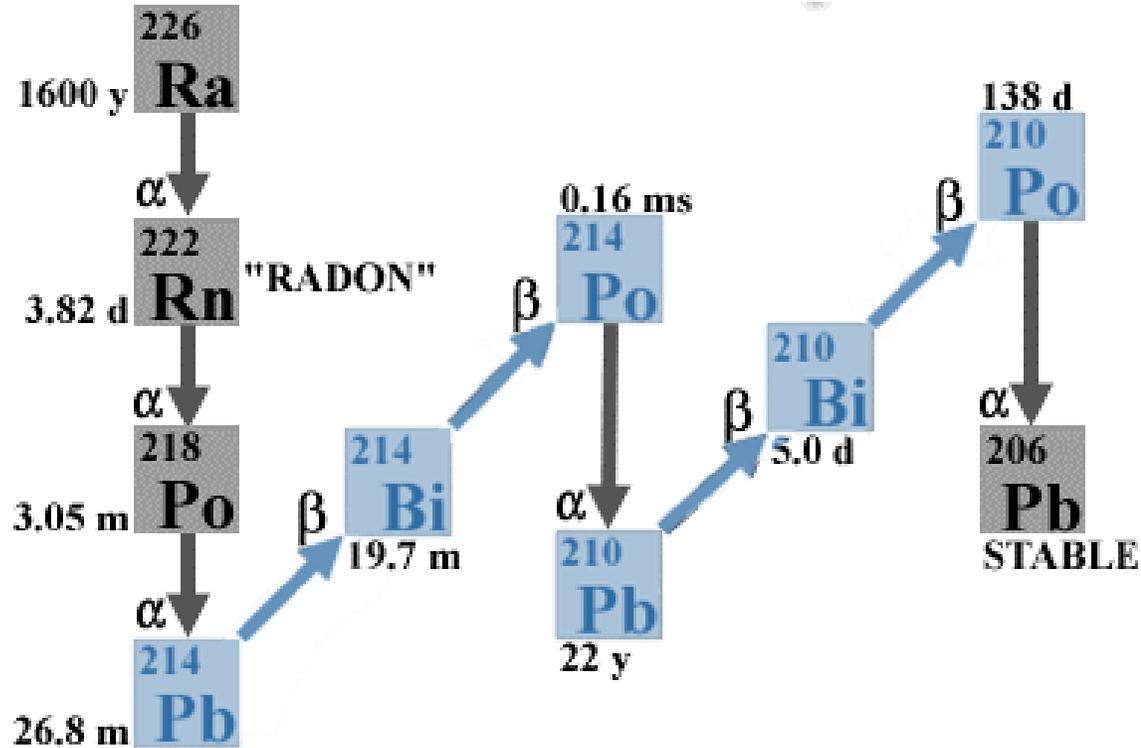
**Estrutura e estabilidade
do núcleo atômico**



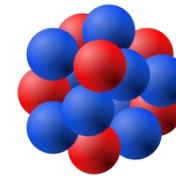
**Causa e descrição do
decaimentos β**



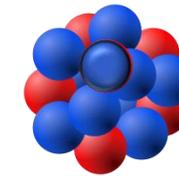
CONTEXTUALIZANDO O PROBLEMA DO DECAIMENTO β



Como espero que seja a **distribuição de energia dos elétrons (β)** neste decaimento?



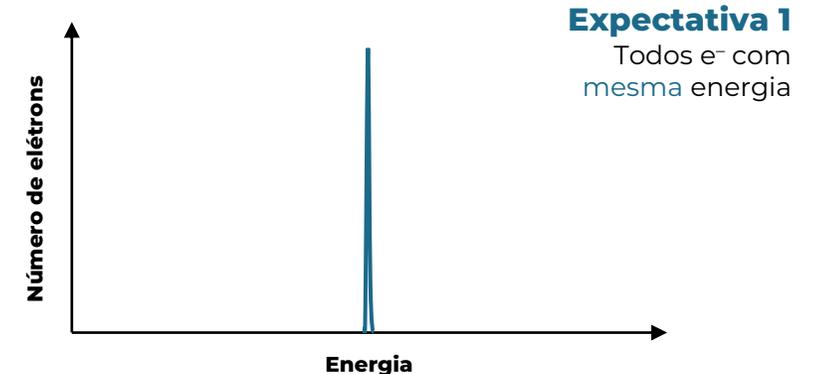
M = 214 u



M = 214 u



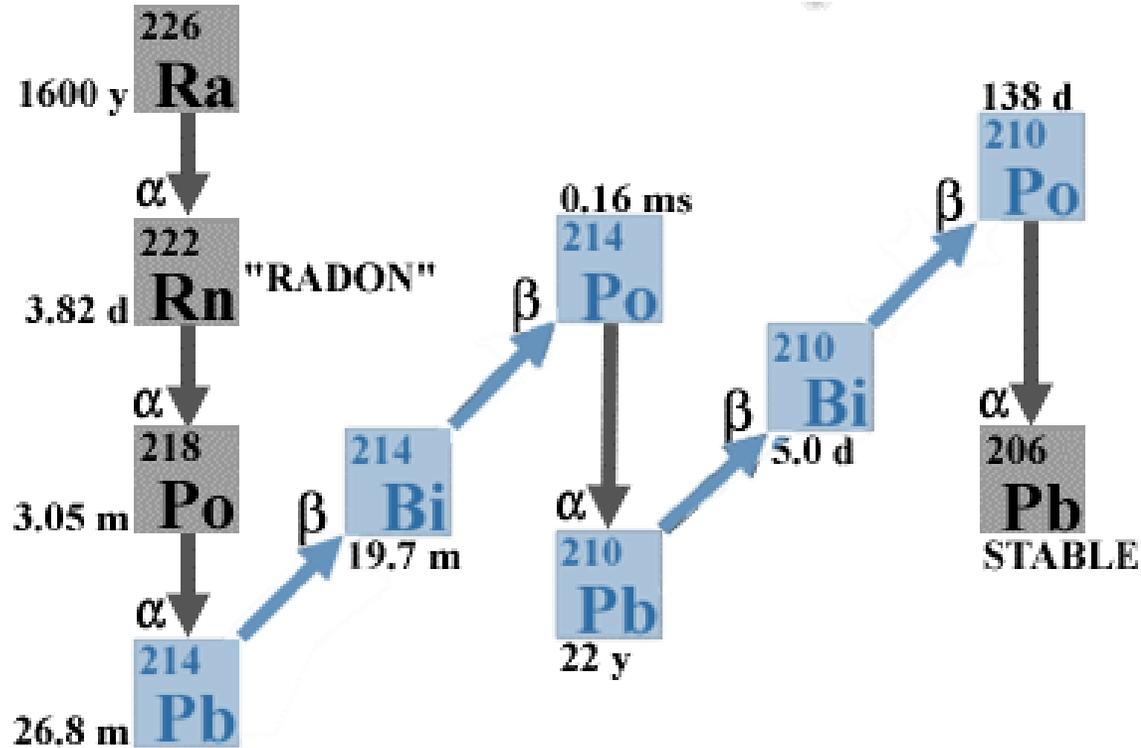
M = 0,001 u



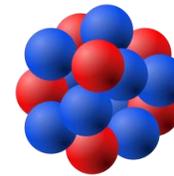
Ellis, C.D. and Wooster, W.A. (1927)

The Average Energy of Disintegration of Radium

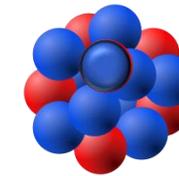
CONTEXTUALIZANDO O PROBLEMA DO DECAIMENTO β



Como espero que seja a **distribuição de energia dos elétrons (β)** neste decaimento?



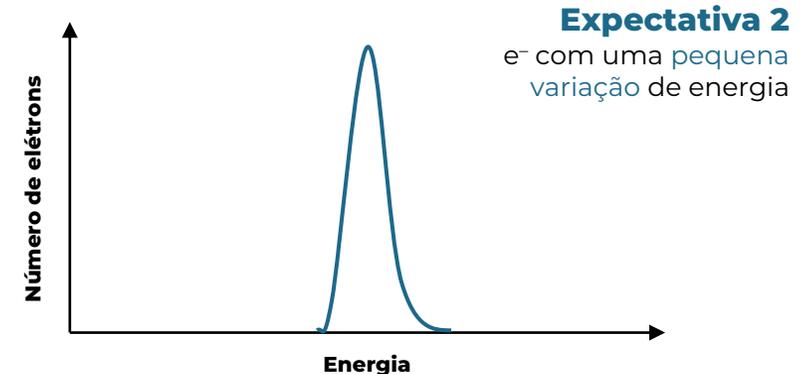
M = 214 u



M = 214 u

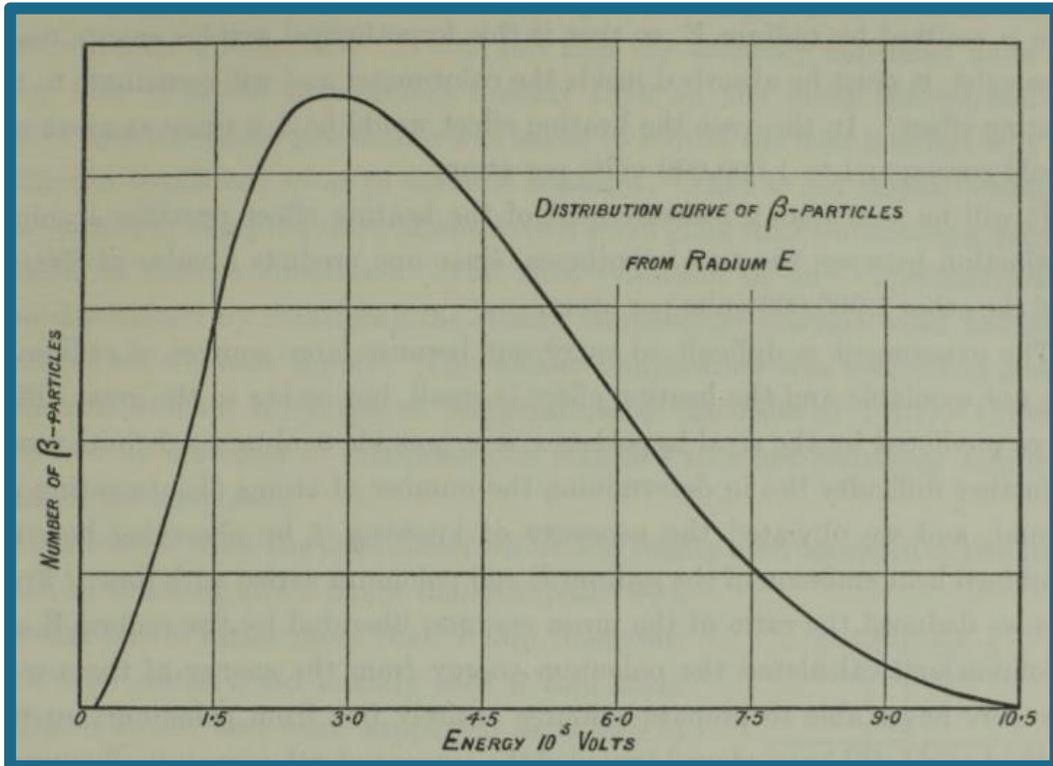


M = 0,001 u



Ellis, C.D. and Wooster, W.A. (1927)
The Average Energy of Disintegration of Radium

CONTEXTUALIZANDO O PROBLEMA DO DECAIMENTO β



Como realmente é a **distribuição de energia dos elétrons (β)** neste decaimento?

“

Ao contrário do que imaginaríamos, concluímos que a energia da desintegração não possui uma característica fixa. Olhando para os extremos, existem **alguns átomos emitindo β com 1.000.000 eV**, enquanto outros emitem com 40.000 eV, apenas 4% do valor máximo. A **energia média de desintegração é de 390.000 eV** e o desvio com relação a media é excessivamente alto.

Ellis & Wooster, 1927, p.112

Ellis, C.D. and Wooster, W.A. (1927)

The Average Energy of Disintegration of Radium

COMO EXPLICAR ESSA DIFERENÇA?

WOLFGANG
PAULI



PROPONDO O NEUTRINO

Questões para além do pósitron

“

Devido ao problema da estatística errada dos núcleos e do espectro contínuo, me ocorreu uma solução desesperada para salvar o teorema de troca da estatística e da lei da conservação da energia. **Me refiro a possibilidade de que possam existir no núcleo partículas neutras** que tem spin $1/2$ e obedecem ao princípio de exclusão.

Wolfgang Pauli

WOLFGANG
PAULI



PROPONDO O NEUTRINO

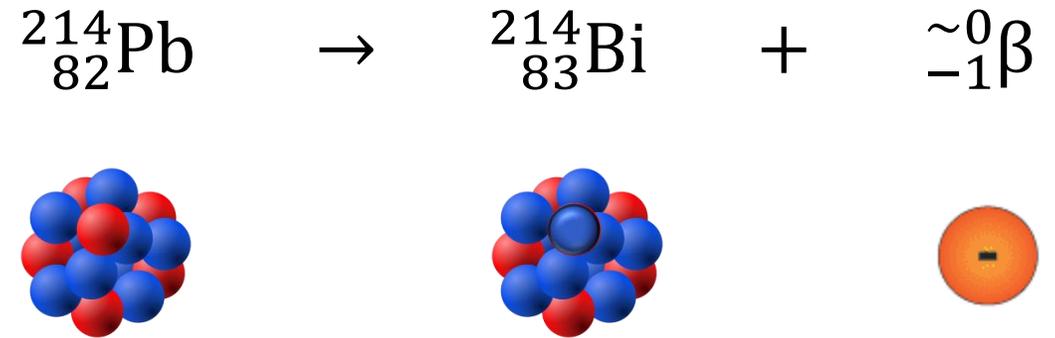
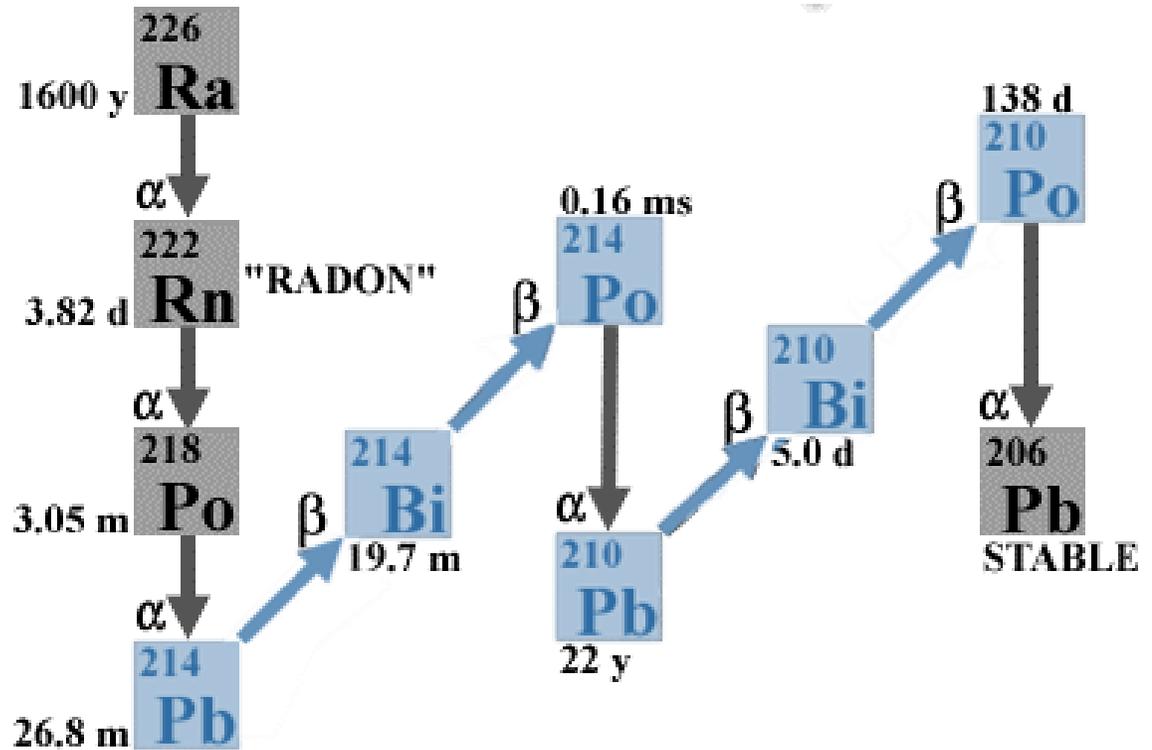
Questões para além do pósitron

“

A massa destas partículas neutras deve ser pequena, talvez da mesma ordem de grandeza da dos elétrons. Com isto, o espectro do decaimento seria finalmente compreensível pela hipótese de que, no decaimento beta, ela deva emitida em conjunto com o elétron de modo a que a soma de sua energia com a do elétron seja constante.

Wolfgang Pauli

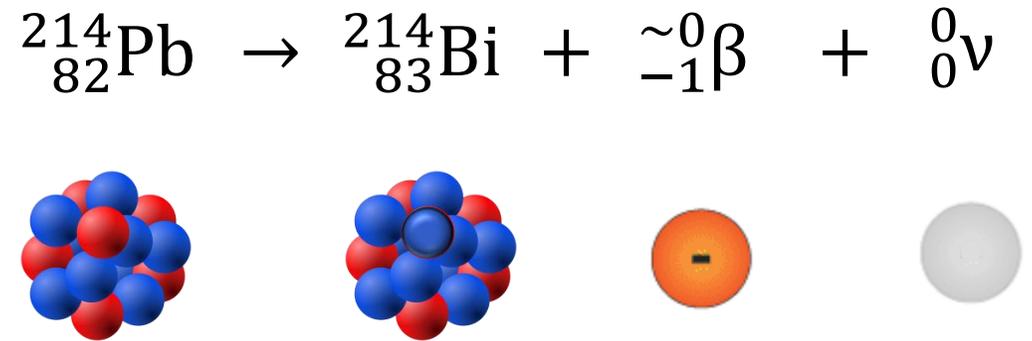
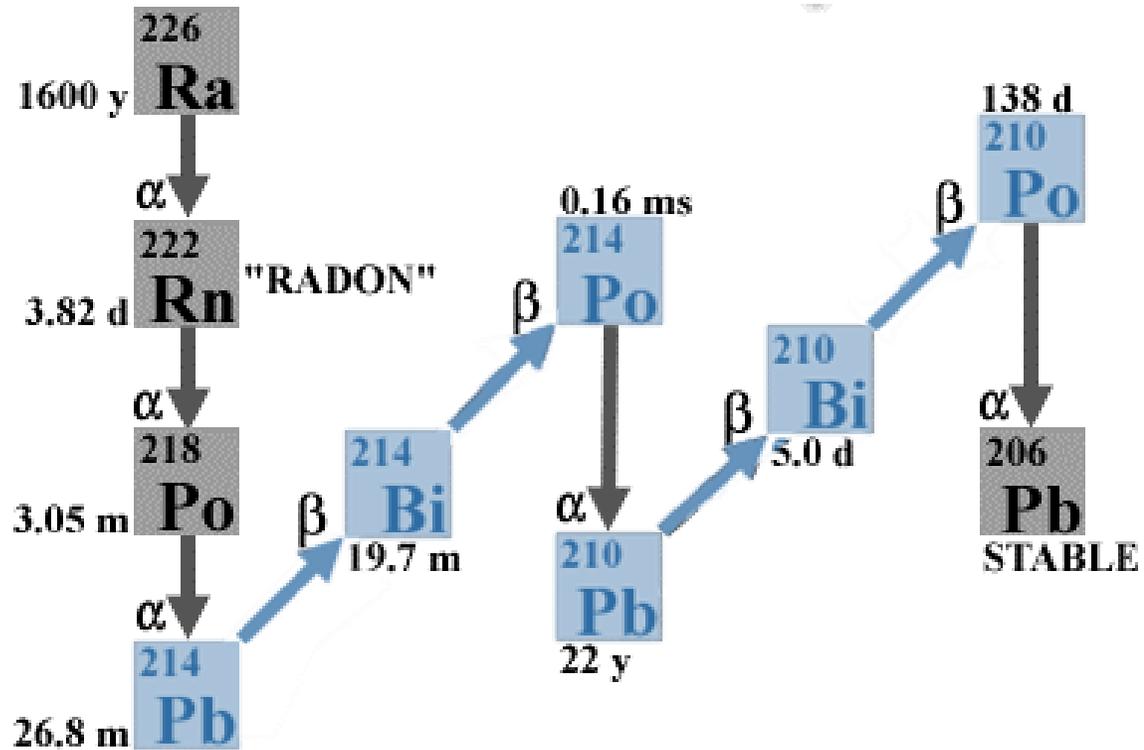
CONTEXTUALIZANDO O PROBLEMA DO DECAIMENTO β



Ellis, C.D. and Wooster, W.A. (1927)

The Average Energy of Disintegration of Radium

CONTEXTUALIZANDO O PROBLEMA DO DECAIMENTO β



Ellis, C.D. and Wooster, W.A. (1927)

The Average Energy of Disintegration of Radium

MODELO ESTRUTURAL

COMO SE PENSAVA A ESTRUTURA ELEMENTAR
NOS PRIMÓRDIOS DA FÍSICA QUÂNTICA

e^-

Elétrons
Raios Catódicos

γ

Fótons
Efeito Fotoelétrico, Compton e outros

p

Prótons
Espalhamento α

n

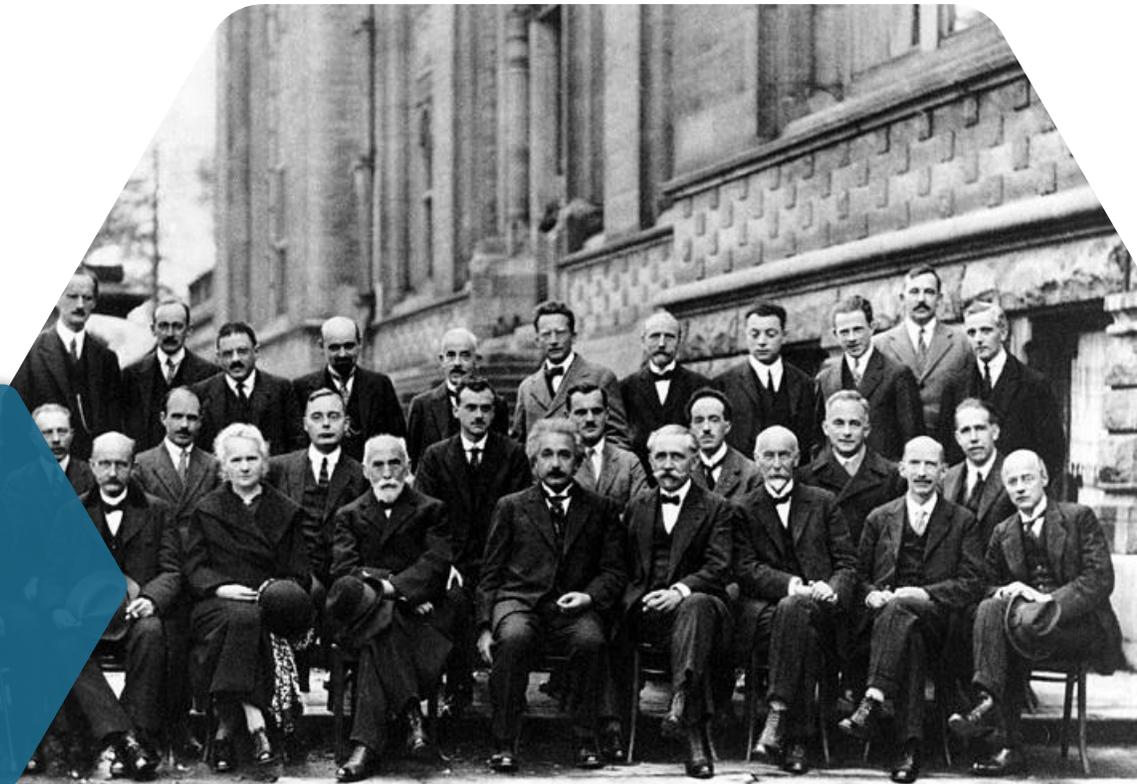
Nêutrons
Estabilidade Nuclear

ν

Neutrinos
Decaimentos Radioativos

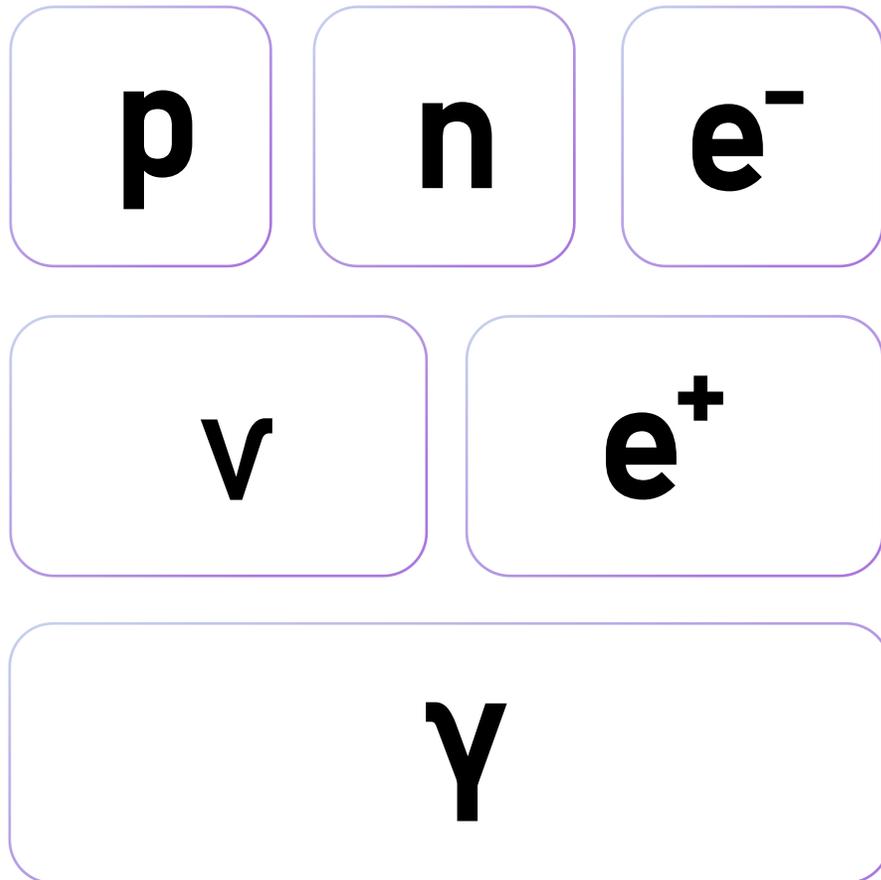
e^+

Pósitrons
Raios Cósmicos

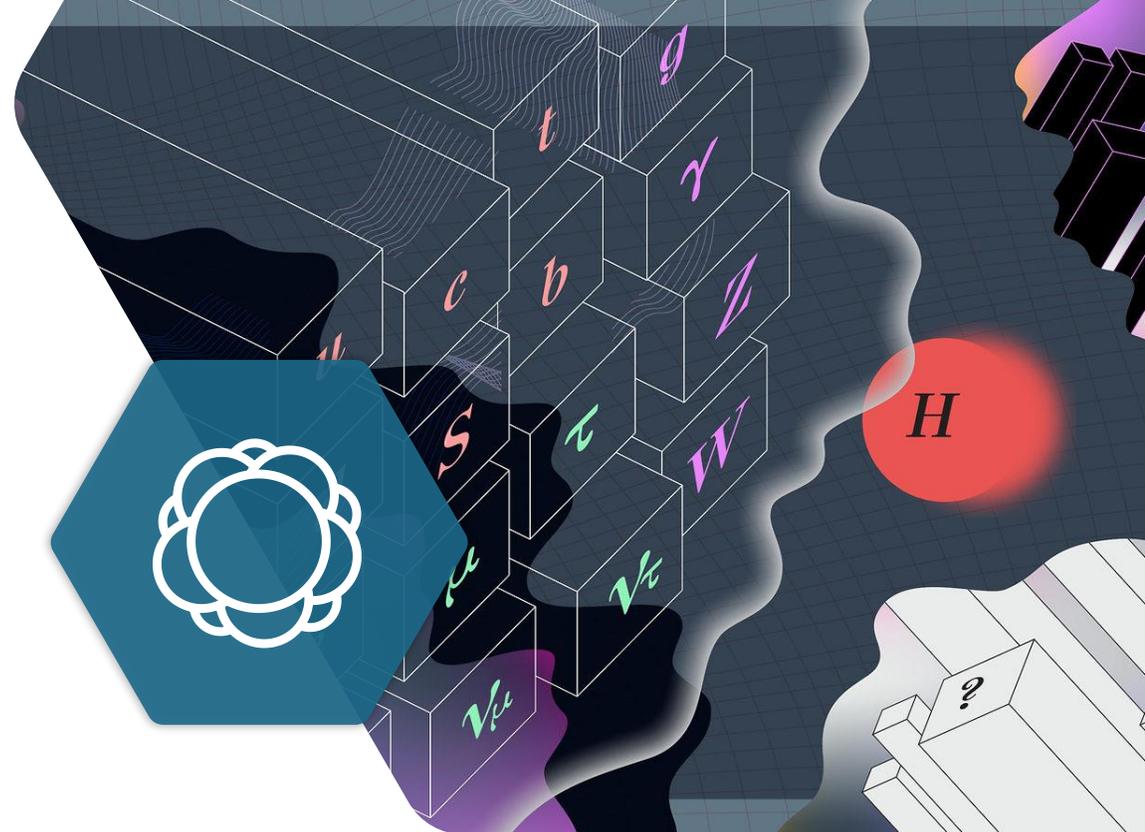


MODELO

ESTRUTURAL ATÔMICO

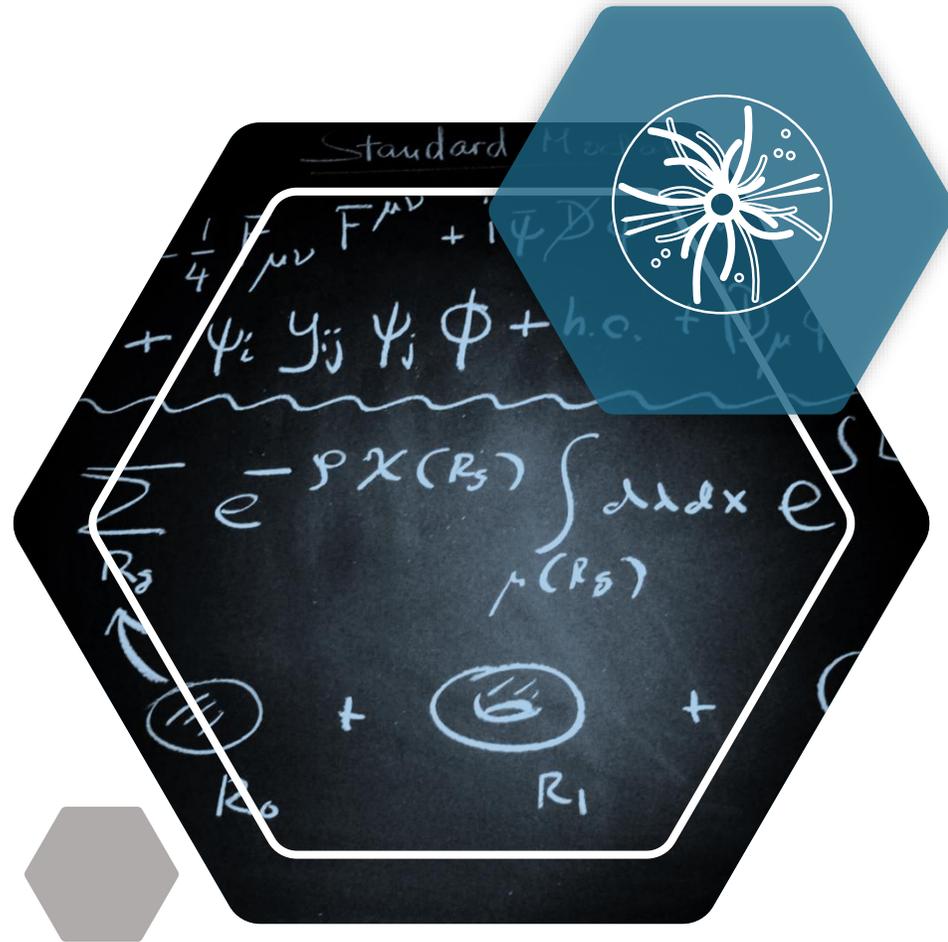


DESCRIÇÃO EM TERMOS DE
ESTRUTURAS ELEMENTARES



MODELO ESTRUTURAL

Como seria o modelo
padrão deste contexto?



AUTENTICANDO O PÓSITRON

O Congresso de Solvay de 1933 e mudanças na postura epistemológica



ORIGENS DA DIFICULDADE \pm

Por que não desconsiderar estados negativos de energia?

“

Como a equação foi capaz de prever resultados tão espetaculares como a presença do spin, as soluções negativas de energia não podiam ser simplesmente ignoradas. Mesmo que inicialmente o próprio Dirac tenha optado por ignorá-la, ele foi forçado a retomá-la à luz do paradoxo de Klein.

(Cretu, 2020, p.30)



TENTATIVAS IMPOPULARES

Dirac e a Dificuldade \pm



Mar de Dirac

1930

“**estados de energia negativa estão todos ocupados por elétrons negativos.**

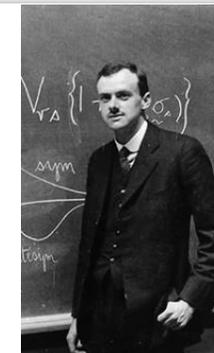
Eventualmente, podem ser formados estados desocupados, ou buracos.”



Buracos como p

1930

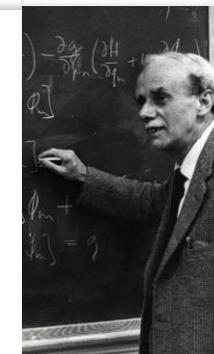
Estados vagos de energia negativa correspondem a buracos, **para obter algum significado físico, podemos dizer que o buraco é um próton.**



Buracos como e^+

1931

Um buraco, se ele existir, seria um **novo tipo de partícula com a mesma massa e carga oposta** a de um elétron.



REPERCUSSÕES INESPERADAS

Da Equação de Dirac à Teoria dos Buracos

“

Nos primeiros dois anos, a Teoria dos Buracos de Dirac certamente não era tão popular quanto a Equação de Dirac. Ela foi categoricamente rejeitada por Bohr, que manteve sua visão de que a dificuldade da energia negativa anunciava uma quebra de conceitos fundamentais, e, apesar de ter despertado um curto período de interesse, também foi ridicularizada por Pauli.

Darrigol (1988, p.228)



OLIVIER
DARRIGOL



A OPOSIÇÃO DE N. BOHR

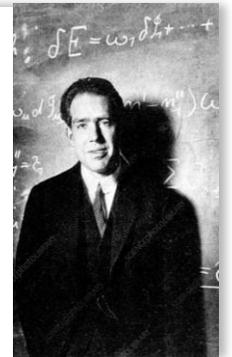
Insistência num projeto de quebra dos teoremas de conservação clássicos



Limitação na conservação

1930

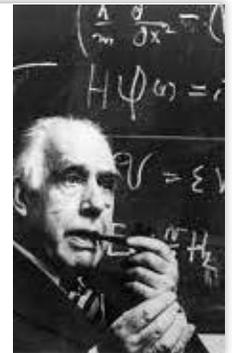
no que diz respeito à desintegração de radiação β , **parece haver uma limitação essencial dos princípios de conservação** de energia e momento



Novos princípios

1931

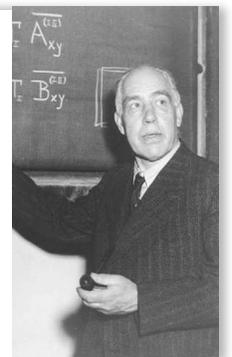
a transição da física dos átomos para a dos núcleos **deve envolver o sacrifício de algum princípio fundamental**, a saber, a conservação de energia.



Resistência à novas partículas

1932

Em relação aos elétrons positivos, não posso compartilhar de tal entusiasmo. **Permaneço cético em relação à interpretação das fotografias de Blackett e Ochiellini**





Teoria dos Buracos?

1932

não acreditarei em sua “hipótese de 'buracos' mesmo que seja comprovada a existência do 'antielétron”

mesmo que seja comprovada a existência do 'antielétron”



Fortalecendo o neutrino

1933

Minha conjectura inicial sobre a existência de “neutrinos” e sua emissão via decaimento β **pode ser fortalecida pela descoberta do elétron positivo.**



Processo de criação

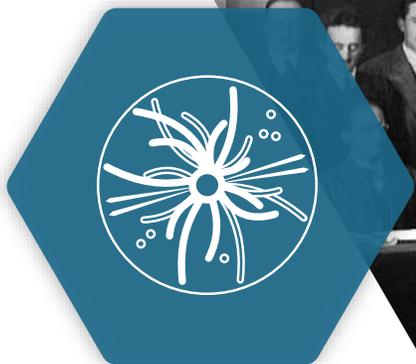
1933

Seria desejável que os experimentadores **determinassem com precisão o processo elementar no qual o elétron positivo é criado.**



A OPOSIÇÃO DE W. PAULI

Fortalecimento da hipótese do neutrino e o esclarecimento do decaimento β



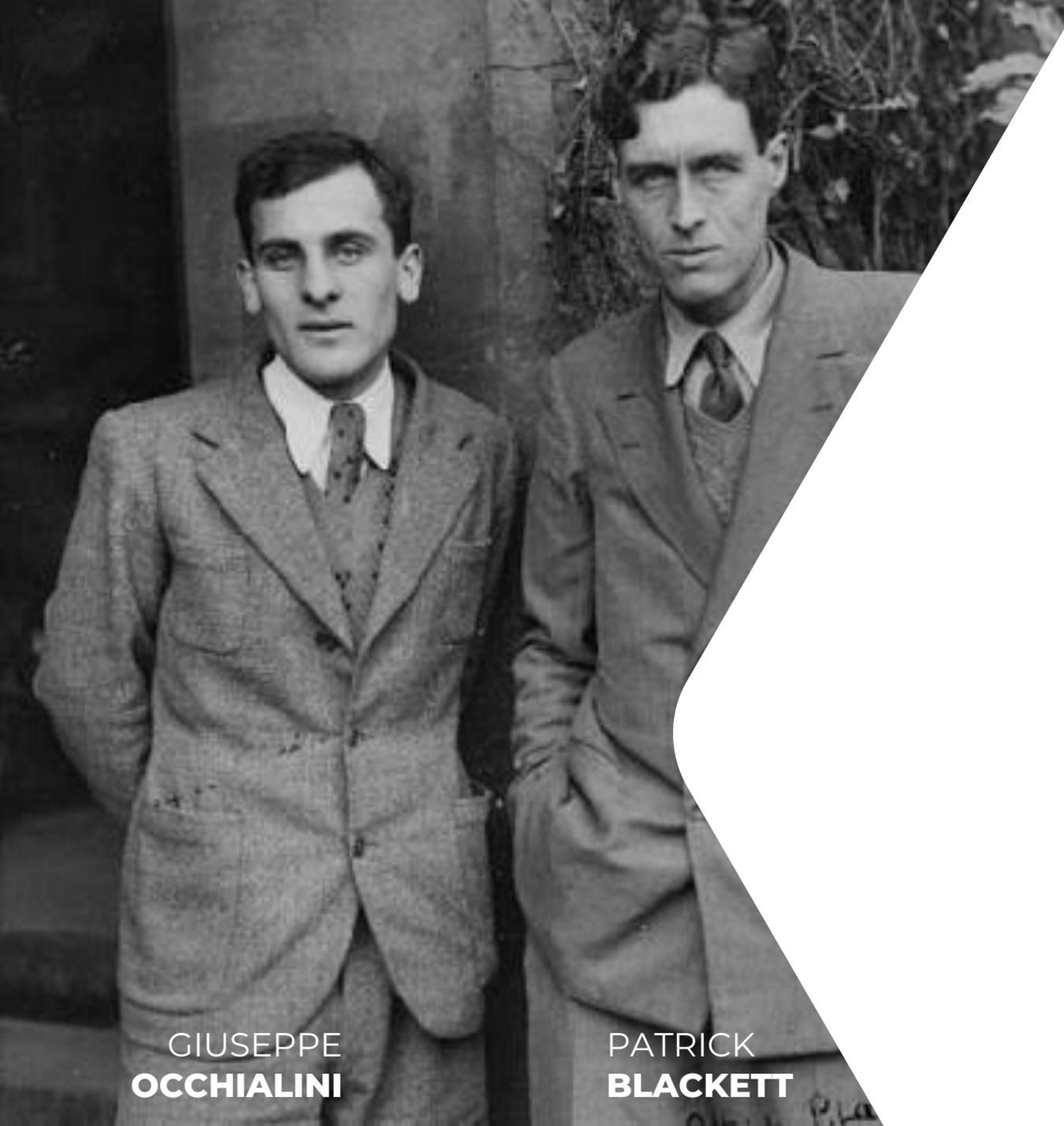
CONFERÊNCIA DE SOLVAY DE 1933

A Estrutura e as Propriedades do Núcleo Atômico

“

Podemos dizer que a teoria do pósitron somente começou seriamente a ser considerada após outubro de 1933, com o discurso de Dirac na 7ª Conferência Solvay sobre a Estrutura e as Propriedades do Núcleo Atômico”

Pais (1989, p.98)



GIUSEPPE
OCCHIALINI

PATRICK
BLACKETT

EVIDÊNCIAS DO PÓSITRON

Sobre as fotografias em câmaras
de nuvens

“

A teoria do elétron de Dirac previu partículas com exatamente as mesmas propriedades daquelas identificadas em nossas fotografias. Os experimentos parecem fornecer suporte para uma correlação essencial com a teoria de Dirac.

(Blackett, Solvay Reports)



PRELÚDIO DE MUDANÇAS

O que tiramos das conferências
de Solvay de 1933?



A Conferência Solvay marcou o abandono de algumas premissas anteriores e acolheu a chegada de outras novas. Ficou claro que os elétrons não podem ser confinados no núcleo e a suposição de que o núcleo era constituído por um próton e um elétron foi abandonada – **o que abriu uma nova empreitada em busca de uma teoria que explicasse a estrutura e a estabilidade das interações nucleares.**

(Cretu, 2020, p.30)



ANA-MARIA
CRETU

PRELÚDIO DE MUDANÇAS

O que tiramos das conferências
de Solvay de 1933?

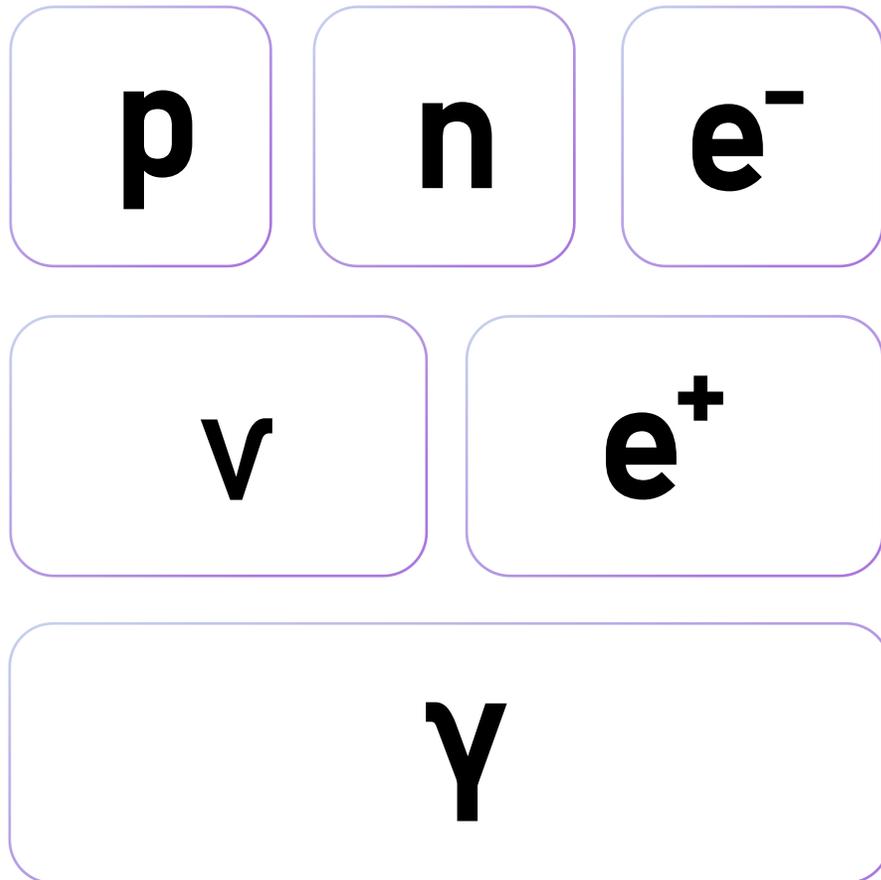
“

Tanto Bohr quanto Pauli abraçaram o mecanismo de produção de pares e com ele aceitaram a existência do pósitron de Dirac [apesar de continuarem negando a existência de buracos]. Ambos também subscreveram a nova estrutura do núcleo sem o elétron e saudaram a rápida proliferação de (algumas) novas partículas aparecem no próximo capítulo desta história.

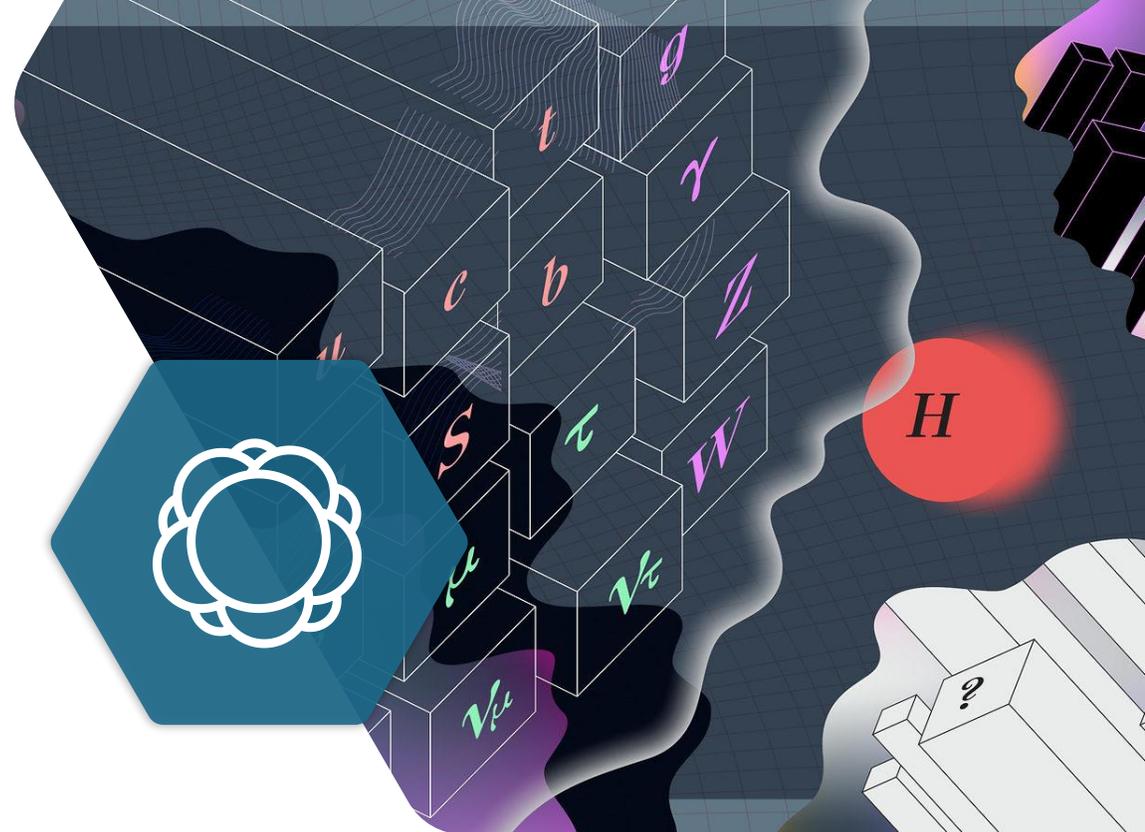
(Cretu, 2020, p.30)

MODELO

ESTRUTURAL ATÔMICO



DESCRIÇÃO EM TERMOS DE
ESTRUTURAS ELEMENTARES



MODELO ESTRUTURAL

Como seria o modelo
padrão deste contexto?

Constructing UARKS

A
Sociological
History of
Particle
Physics

The Prehistory of High-Energy Physics

the strong interaction in which, for instance, nucleons interact with one another via the exchange of pions, as shown in Figure 3.7(a). Neither, as more particles were discovered, did they find it difficult to arrange for the conservation of isospin and strangeness: Figure 3.7(b) shows the associated production of kaons and lambdas in the interaction of pions and protons.

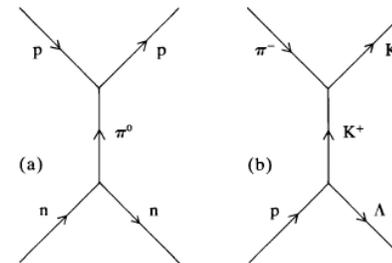


Figure 3.7. Strong interactions in Yukawa theory.

But despite their renormalisability and their respect for conservation laws, quantum field theories of the strong interaction were quickly perceived to be useless. The problem lay in a breakdown of the perturbation expansion. In QED, the contributions of complicated diagrams were suppressed by the appearance of factors of e^2 . e^2 was a small number (1/137) and complex multi-loop diagrams made a

NOSSO PRÓXIMO ENCONTRO AO **FINAL DO BLOCO 2 – 25/9**
O TORTUOSO CAMINHO RUMO A TEORIA QUÂNTICA DE CAMPOS