

*Instituto de Física*  
*USP*

*Física V - Aula 16*

*Professora: Mazé Bechara*

# *Aula 16 – Criação e aniquilação de matéria (e antimatéria)*

- 1. As antipartículas – o que são.**
- 2. Processos que evidenciam o caráter corpuscular da radiação e que são chocantes para a concepção de matéria na Física Clássica!**
  - a) O processo de criação de matéria, ou melhor, de um par de partícula e sua anti-partícula pela absorção de um fóton por matéria “pesada”. A criação do par elétron-positron – o que precisa de menor energia de um fóton. Aplicação.**
  - b) O processo de aniquilação da matéria. Aplicações.**

*Quando raios-X ou raios- $\gamma$  interagem com a matéria, outras coisas podem acontecer...*

**Criação de matéria e...  
antimatéria.**

*Mas quando matéria e antimatéria se encontram, podem desaparecer...*

**Criando fótons...,**

**ou seja, radiação  
eletromagnética...**

# *Fatos históricos sobre Matéria e Antimatéria*

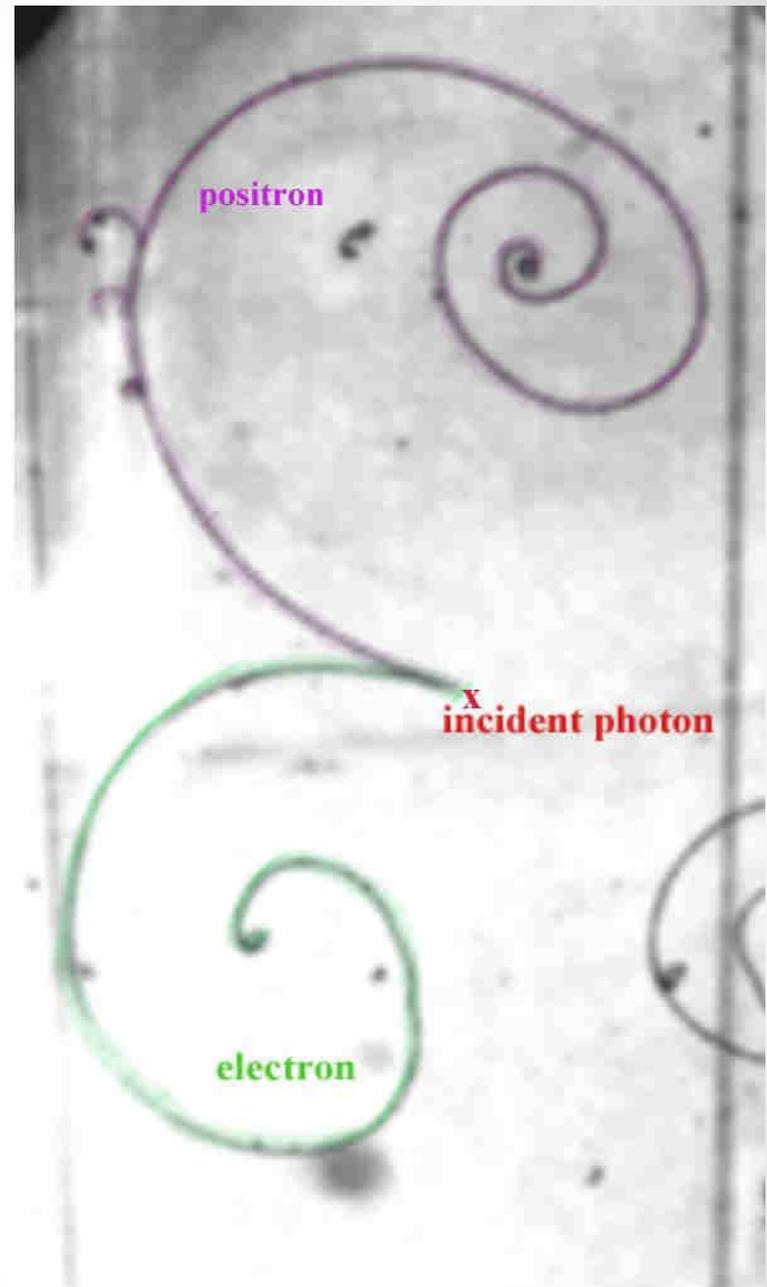
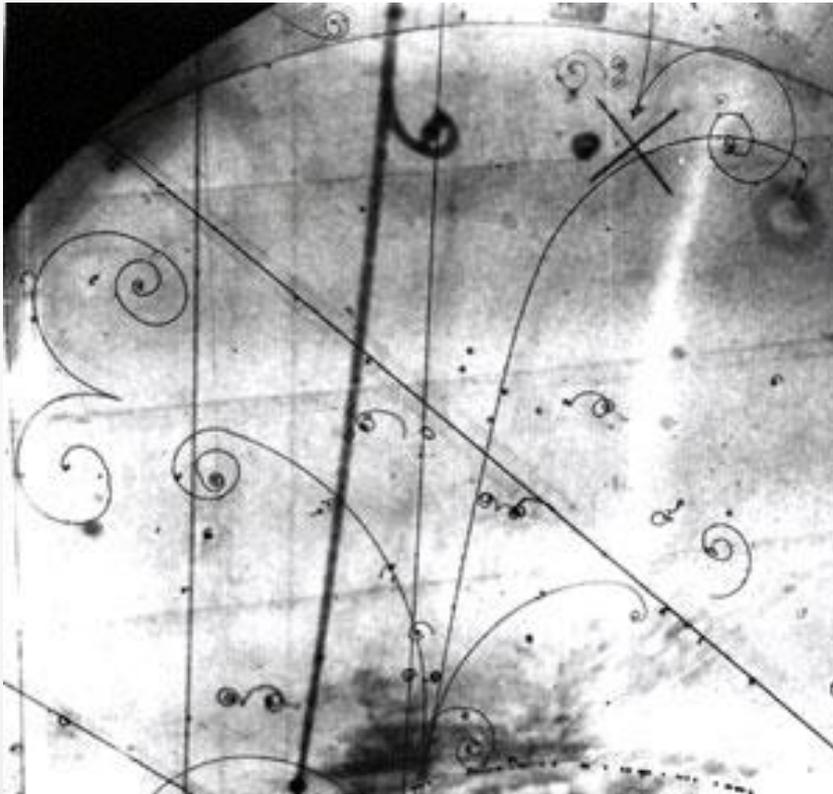
1. A existência de antimatéria foi prevista por **Dirac em 1928** por entender que a energia da partícula deveria contemplar os dois sinais da raiz quadrada.
2. O **par elétron-pósitron** foi observado pela 1ª vez na **radiação cósmica por Carl David Anderson(\*) em 1932**. **Ganhou o Nobel de Física em 1936**.
3. O **pósitron** (anti-elétron) foi observado em **laboratório pela primeira vez em 1955**.

**(\*)Anderson** descobriu também a partícula muon. Este físico americano se recusou a trabalhar na fabricação da bomba atômica americana durante a II Guerra Mundial, alegando razões de consciência. E foi criticado e até acusado de nazista por esta atitude.

*Não é fácil ser um pacifista, especialmente em tempo de guerras!*

# Experimento histórico

o aparecimento da trajetória de duas partículas de cargas iguais mas de sinais opostos e com massa idêntica à do elétron (*uauh!*) “do nada” .



# *Partícula e Antipartícula*

**Antipartículas** são as partículas da **antimatéria**.

**Antipartícula** é a denominação que se utiliza para **partículas que apresentam: a mesma massa** (propriedade da física clássica), **spin** (propriedade quântica) **e paridade** (propriedade quântica) de **sua partícula**.

Porém, **a carga elétrica** (propriedade também clássica), **número bariônico, número leptônico, estranheza, charme, força trifônica, beleza e top** (propriedades quânticas) **são opostos aos de sua partícula**.

**Para cada tipo de partícula da matéria corresponde uma antipartícula.**

# *Partícula e Antipartícula*

No caso de **partículas neutras, como o nêutron, pode existir a antipartícula também.** No antinêutron o momento magnético é oposto ao do nêutron e seus quarks são os antiquarks existentes no nêutron.

**Algumas partículas neutras, como pi neutro, são suas próprias antipartículas.**

*O fóton, que não é exatamente matéria, também é sua antipartícula.*

**Se uma partícula não tem anti-partícula, não há aniquilação deste tipo de matéria.**

**As antipartículas no universo hoje estão em pequeníssima quantidade em relação às partículas da matéria.**

*As antipartículas são constituintes da antimatéria*

# A criação de matéria - conceituação (impensável em física clássica)

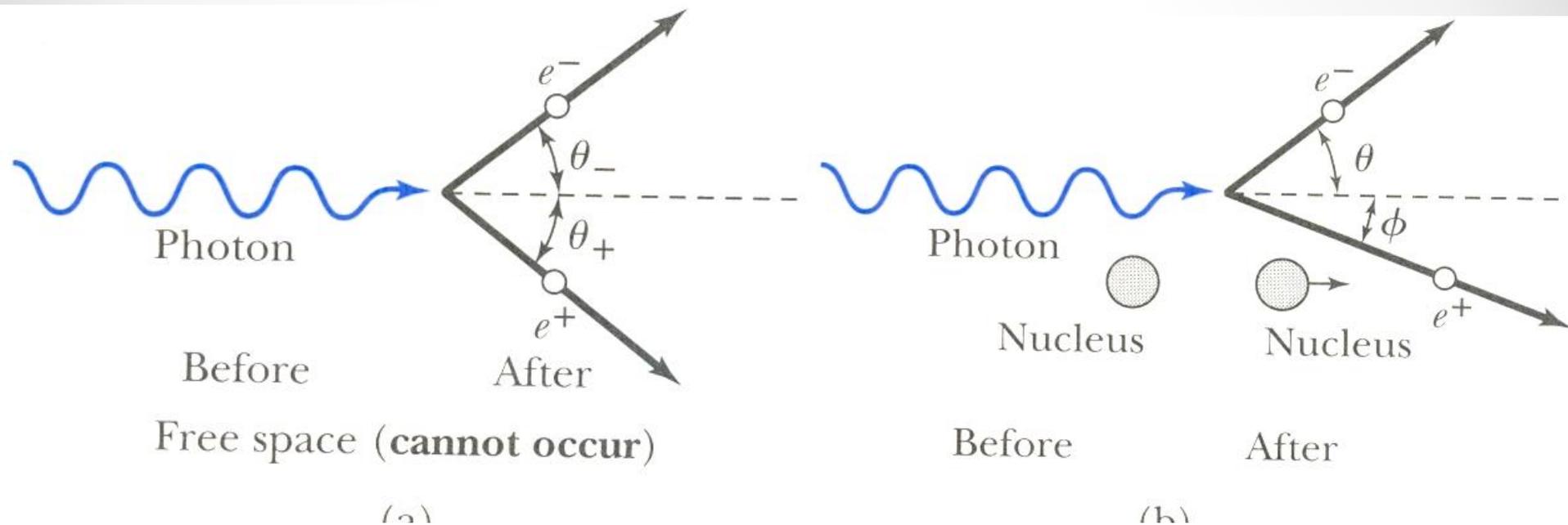
Quando **fótons de energia igual ou maior do que duas vezes a energia de repouso de uma partícula material**, pode ocorrer de **um fóton** ser **absorvido** por matéria (pesada) e **haver a criação de um par de partícula e sua antipartícula , ou seja, de matéria.**

A **partícula estável de menor energia de repouso é o elétron: 0,511MeV.** Assim **fótons com 1,022MeV (raios-X ou gama!)** ou mais podem criar matéria, ou seja, um par elétron-pósitron.

Um **fóton sem interagir** com a matéria **é estável**, é "eterno", ou não tem anti-partícula para desaparecer. Assim a **criação de matéria não se faz espontaneamente.**

**Sim, pode ser criado um par partícula-antipartícula em repouso** – caso no qual **todo o momento do fóton é absorvido pela matéria (pesada)** com o qual o fóton interagiu **(Equações na aula!).**

# Produção de par elétron- pósitron na interação de um fóton com um núcleo(matéria pesada)



**FIGURE 3.20** (a) A photon cannot decay into an electron–positron pair in free space, but (b) near a nucleus, the nucleus can absorb sufficient momentum to allow the process to proceed.

# *Criação de matéria - Aplicação*

Quando radiação incide na matéria é criado um par elétron-pósitron. O elétron tem energia cinética de 1MeV e velocidade na direção da radiação incidente. O pósitron é criado em repouso.

- a) **Determine a frequência da radiação incidente que criou o par de partículas. Justifique.**
- b) **Determine os momentos lineares do fóton, do elétron e do pósitron em MeV/c.**
- c) **Há conservação do momento linear** no processo? Quem fica com o momento do fóton? Dê a resposta em % do momento do fóton. Justifique.
- d) **Há conservação de energia** no processo? Quem fica com a energia do fóton? Dê a resposta em % da energia do fóton. Comente esta resposta levando em conta o resultado do item c.

# Questão:

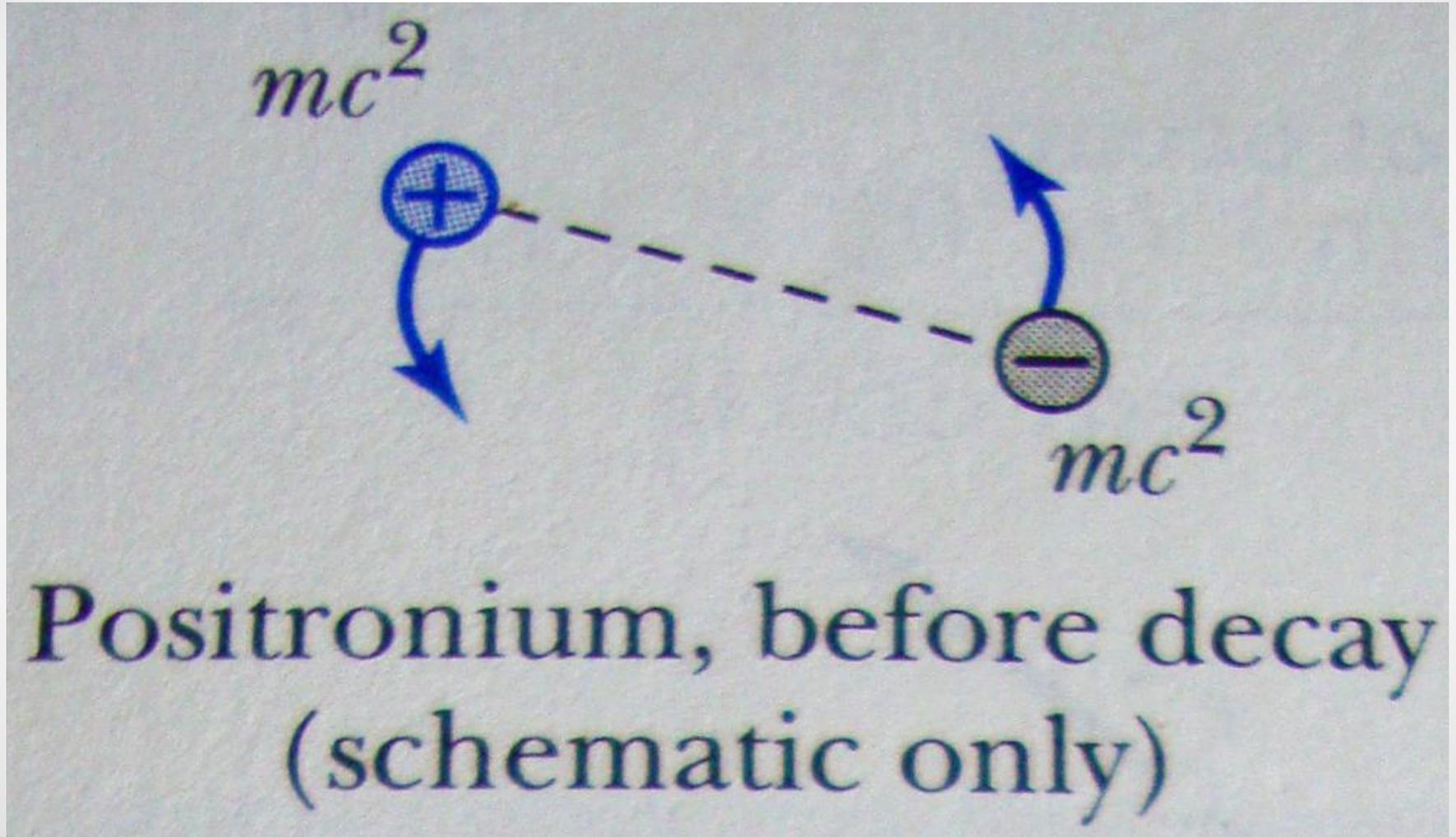
*poderia ser criado um par elétron-pósitron pela interação de um fóton com um elétron livre?*

*Em que condições?*

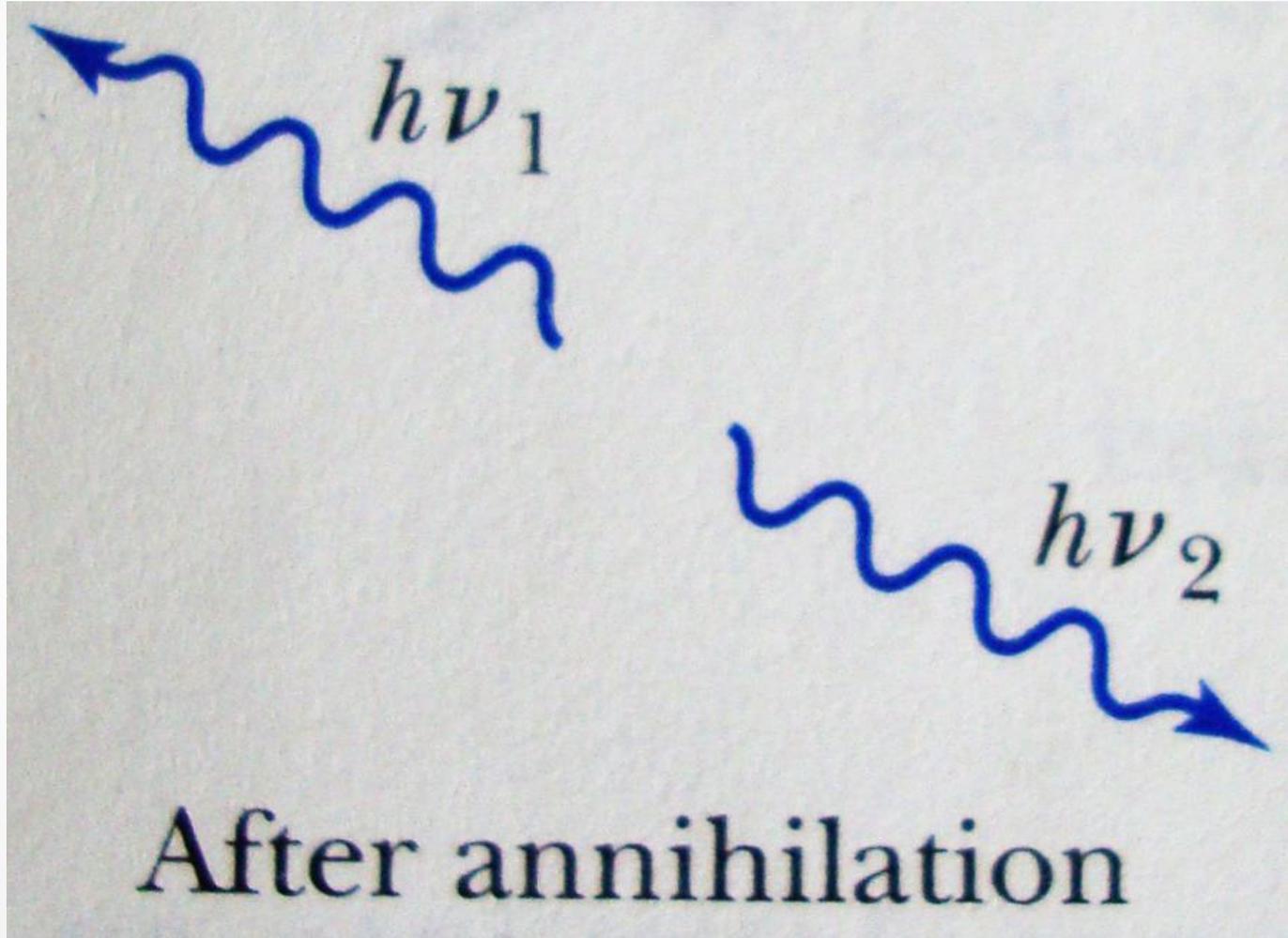
# A aniquilação da matéria com a consequente criação de fótons - radiação eletromagnética

1. **Sempre** que uma antipartícula **interage** com a sua respectiva partícula ocorre **o aniquilação das duas com emissão de fótons – pelo menos dois deles** (radiação eletromagnética) para haver conservação de energia e momento linear no processo. **Nesse caso não há intermediários na interação.**
2. **Interagir** significa “ficarem muito próximos”, ou ainda melhor: ter uma **energia potencial de interação.**
3. No caso do par elétron-pósitron esta distância é da ordem de 1 angstrom; a **interação entre as partículas é coulombiana atrativa, como nos átomos**, e por isto o sistema é chamado de **átomo positrônico**. A **energia de ligação é de  $-6,8\text{eV}$** . Mas, **diferentemente do átomo de H o átomo positrônico é instável: ele decai (expressão técnica) espontaneamente em pelo menos dois fótons, com meia vida de  $10^{-10}\text{s}$** . **A meia vida é o tempo para metade dos átomos positrônicos decaírem, ou seja, haver aniquilação do par com criação de dois fótons, pelo menos.**
4. **A aniquilação do par com a formação de três fótons ou mais pode ocorrer, mas a probabilidade é muito menor** do que o decaimento com formação de dois fótons.

# *O átomo positrônico – estado ligado*



# Decaimento do átomo: aniquilação do par elétron-pósitron com emissão de dois fótons



# Aniquilação de matéria - Aplicação

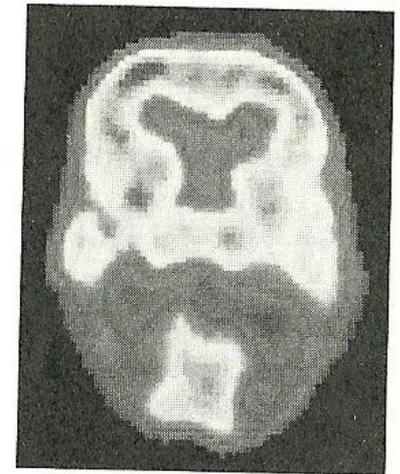
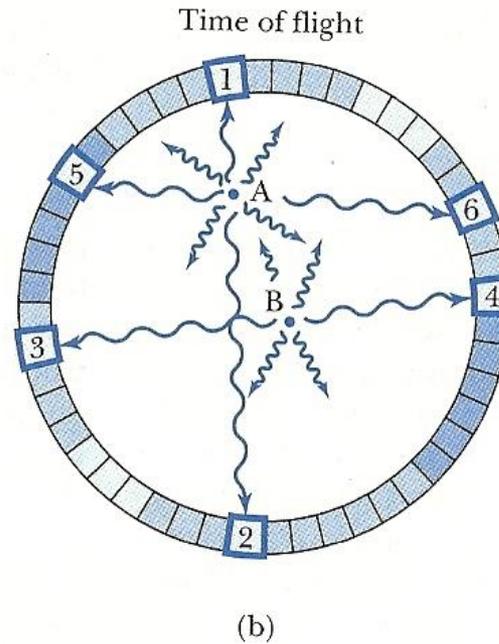
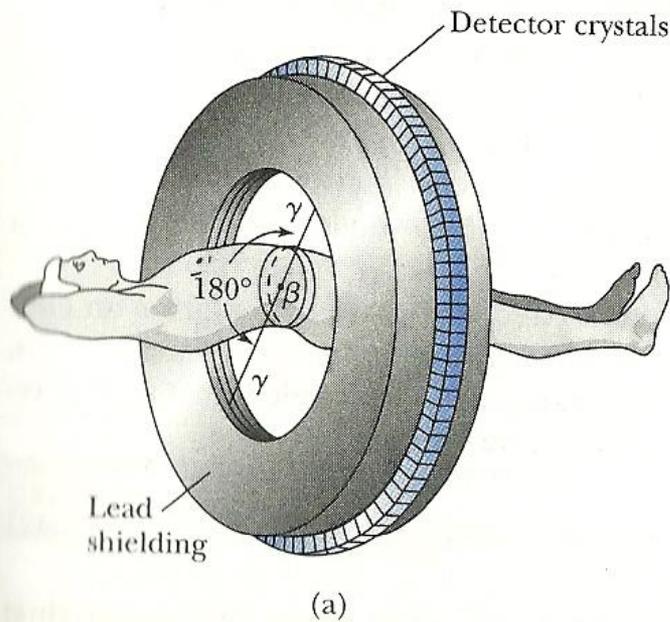
Um par elétron-pósitron forma o chamado átomo positrônico. Este átomo é instável e desaparece decaindo em dois fótons.

- Determine a(s) direção(ões) entre os dois fótons criados; a energia e o comprimento de onda de cada um dos fótons, no referencial do centro de massa do átomo positrônico.
- Este átomo poderia decair **em um único fóton** segundo este sistema de referência? E **em três**? Justifique.
- Se este **átomo estiver em movimento** com o momento linear constante em relação a um laboratório, **sua resposta ao item (b) seria diferente?** Justifique.
- No caso do item c) os comprimentos de onda seriam os mesmos? E a direção entre os dois fótons criados? Justifique.

# A aniquilação de um par à serviço da saúde humana: PET (Positron Emitter Tomography)

Fig. Modern Physics for Scientists and Engineers – S. Thornton, A. Rex

Summary 113



(a) Corpo posicionado depois de receber apropriado radiofármaco para se concentrar, por processos fisiológicos, na região a ser examinada: (b) O pósitron caminha poucos milímetros até se aniquilar depois de formar o par, emitindo dois fótons que detectados permitirão a localização da posição do pósitron; (c) A tomografia de um cérebro normal.