

Instituto de Física USP

Física V - Aula 16

Professora: Mazé Bechara

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

1. Processos (impensáveis na 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 par de partículas estáveis mais leves. Aplicação.**

b) O processo de aniquilação da matéria, ou seja, aniquilação de um par de partículas, com a criação de pelo menos dois fótons. **Aplicação.**

3. O funcionamento do PET (positron emission tomography).

4. Competição entre os vários processos na interação dos raios-X com a matéria.

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 –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)

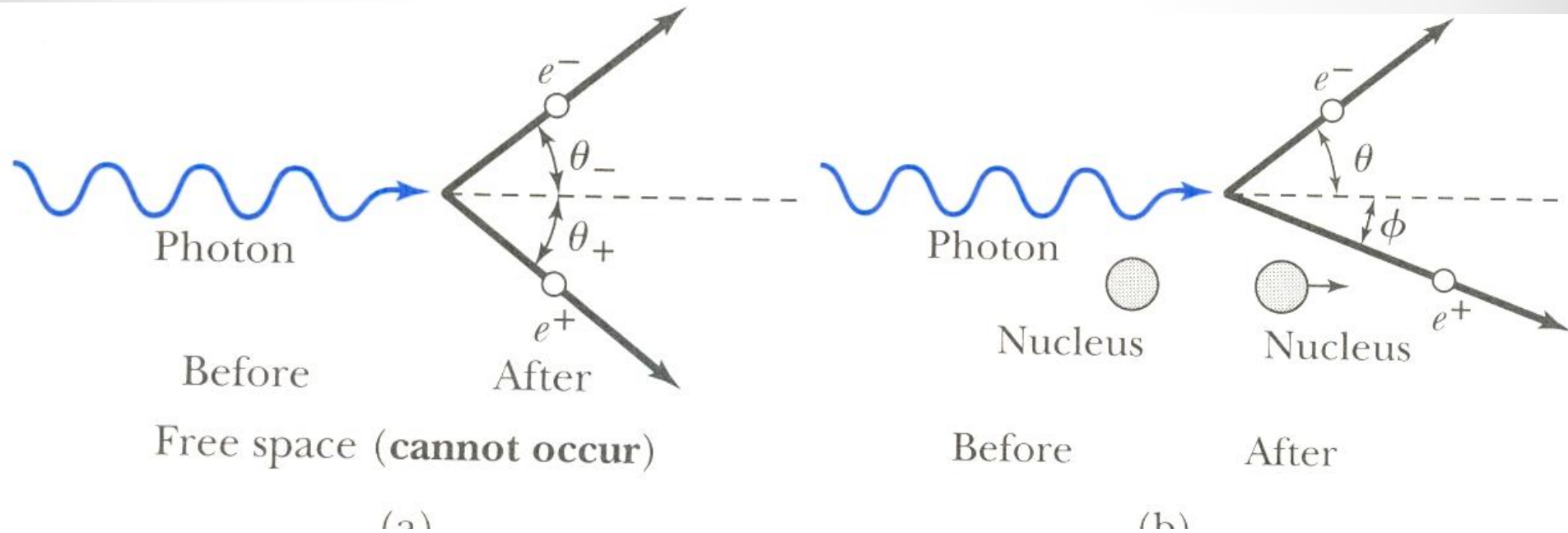


FIGURE 3.20 (a) A photon cannot decay into an electron–positron pair in free space, but (b) near a nucleus, the nucleus can absorb sufficient momentum to allow the process to proceed.

Criação de matéria - Aplicação

Quando radiação incide na matéria é criado um par elétron-pósitron. O pósitron tem energia cinética de 1MeV e velocidade na direção da radiação incidente. O elétron 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 módulo do momento do fóton, suondo que o póstron sai na direção e sentido do movimento 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.

Aplicação

Mostre a energia do elétron livre e de um fóton, para que na interação entre eles, possa ser criado um par elétron-pósitron.

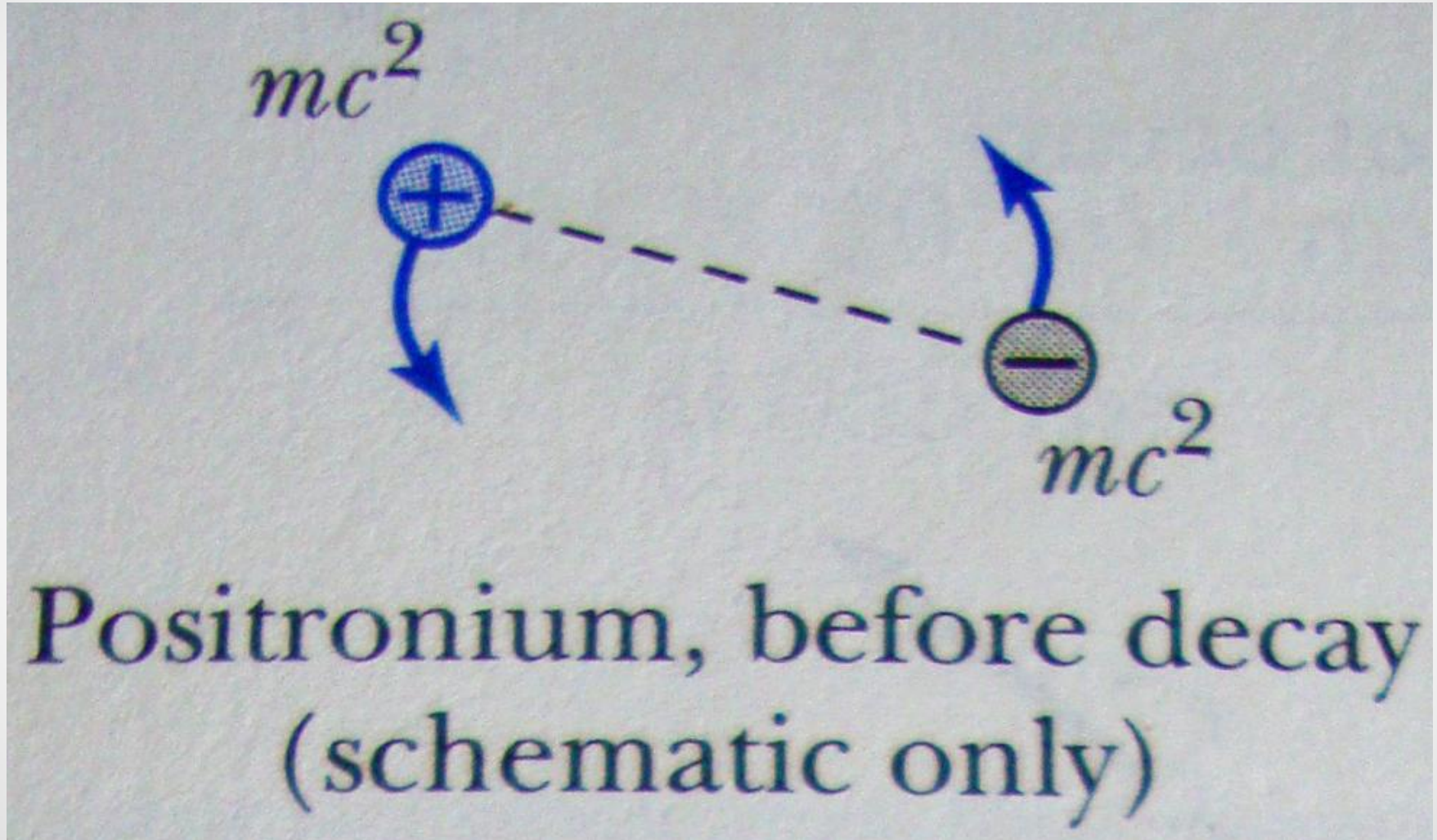
A aniquilação da matéria com a consequente criação de fótons - radiação eletromagnética

- 1. Sempre** que uma antipartícula **interage** com a sua respectiva partícula ocorre **o aniquilação das duas com emissão de fótons** (radiação eletromagnética) – **pelo menos dois deles** 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 coulombinana** atrativa, como nos átomos, e por isto o sistema é chamado de **positrônio ou átomo postrônico.**

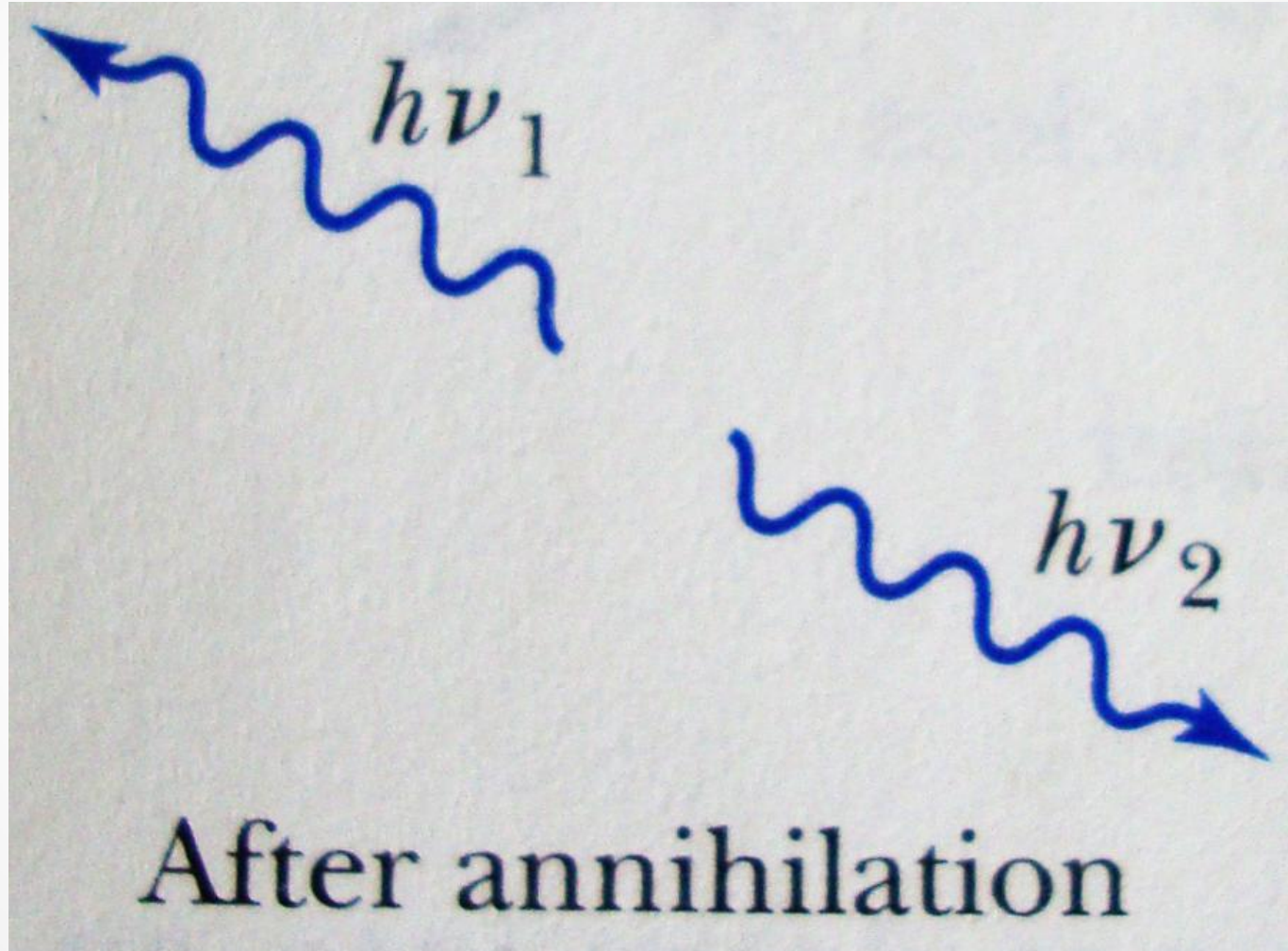
A aniquilação da matéria com a consequente criação de fótons - radiação eletromagnética

4. A **energia de ligação é de $-6,8\text{eV}$, e será calculado no Tópico III.** Mas, **diferentemente do átomo de H o átomo positrônico é instável: ele decai (expressão técnica) espontaneamente, ou seja, as partículas desaparecem, e pelo menos dois fótons são criados. A meia vida destes átomos é de 10^{-10}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.****
5. . **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 positrônio – estado ligado



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



Aniquilação de matéria - Aplicação

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

- a) 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.
- b) Este átomo poderia decair **em um único fóton** segundo este sistema de referência? E **em três**? Justifique.
- c) Se este **átomo estiver em movimento** com o momento linear constante em relação a um laboratório, **sua resposta ao item (b) seria diferente?** Justifique.
- d) No caso do item c) os comprimentos de onda seriam os mesmos? E a direção entre os dois fótons criados? Justifique qualitativamente, para um caso geral.

Funcionamento do equipamento para diagnósticos médicos PET

- **Pósitrons emitidos naturalmente de radioisótopos (núcleos instáveis) como os elementos: ^{15}O , ^{11}C , ^{13}N e ^{18}F são injetados no corpo do paciente junto com glicose.**
- **As células cancerígenas, que têm reprodução muitíssimo rápida, absorvem muito mais calorias que as normais. Assim elas ao absorverem mais glicose que as células normais, ficam com muito mais pósitrons da glicose do que as normais, e portanto formam muitos mais pares de fótons de $\sim 0,511\text{MeV}$, na aniquilação de um par, depois de formar átomos positrônicos com os elétrons do corpo humano.**

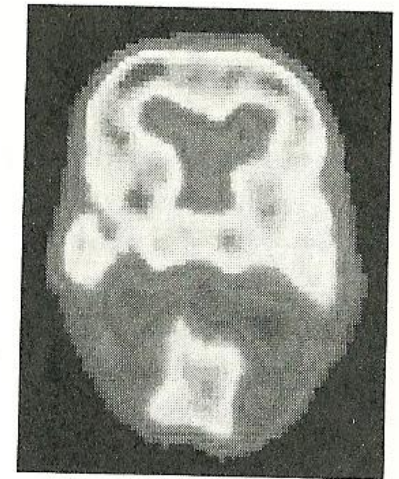
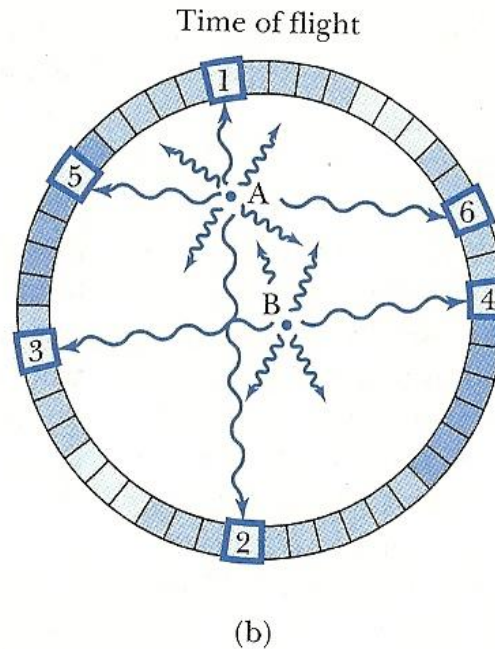
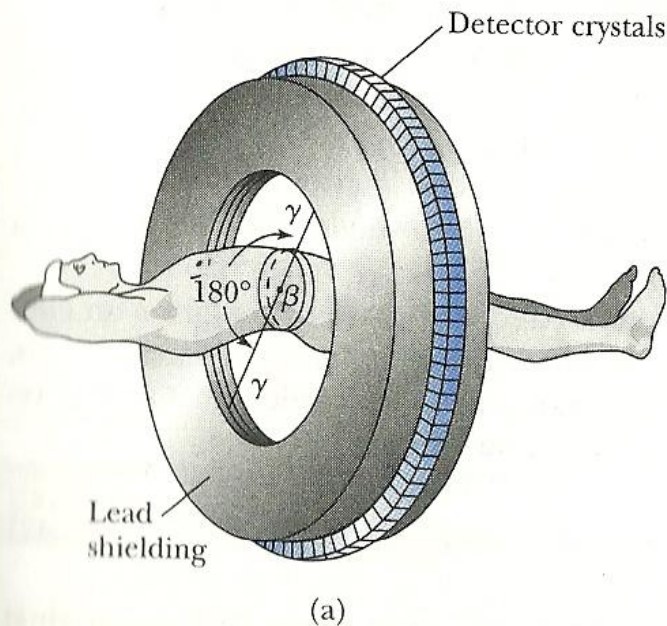
Funcionamento do equipamento para diagnósticos médicos PET

- É possível identificar tumores milimétricos porque os pósitrons andam fração de milímetros antes de se juntar a um dos inúmeros elétrons do corpo humano e decair em dois fótons, o que possibilita a sua localização com precisão.
- **Não há efeitos colaterais importantes, e nem cortes, para se chegar a este diagnóstico preciso.**

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.