

Instituto de Física USP

Física V - Aula 13

Professora: Mazé Bechara

Convite

- Amanhã , às 18h, tem um colóquio com o título “A mecânica quântica em exemplos simples”, do prof. Amir Caldeira da Unicamp, pode lhes ser interessante para reflexão/compreensão de fenômenos quânticos.
- Leia o resumo no BIFUSP.
- **Arrisque-se! Vá até lá conferir !**

Aula 13 –O caráter corpuscular na produção dos raios-X. Criação de matéria e antimatéria

1. Os processos que geram a estrutura grossa e a estrutura fina do espectro na visão fotônica. **Aplicação.**
2. **A antimatéria – o que é.**
3. **Outros processos que evidenciam o caráter corpuscular da radiação (chocantes no conceito de matéria na Física Clássica!):**
 - a) O processo de **criação de matéria**, ou melhor, **de um par (partícula e sua anti-partícula)** pela absorção de um fóton pela matéria. O par elétron-positron – o que precisa de menos energia de um fóton. **Aplicação.**

Tubo de raios-X

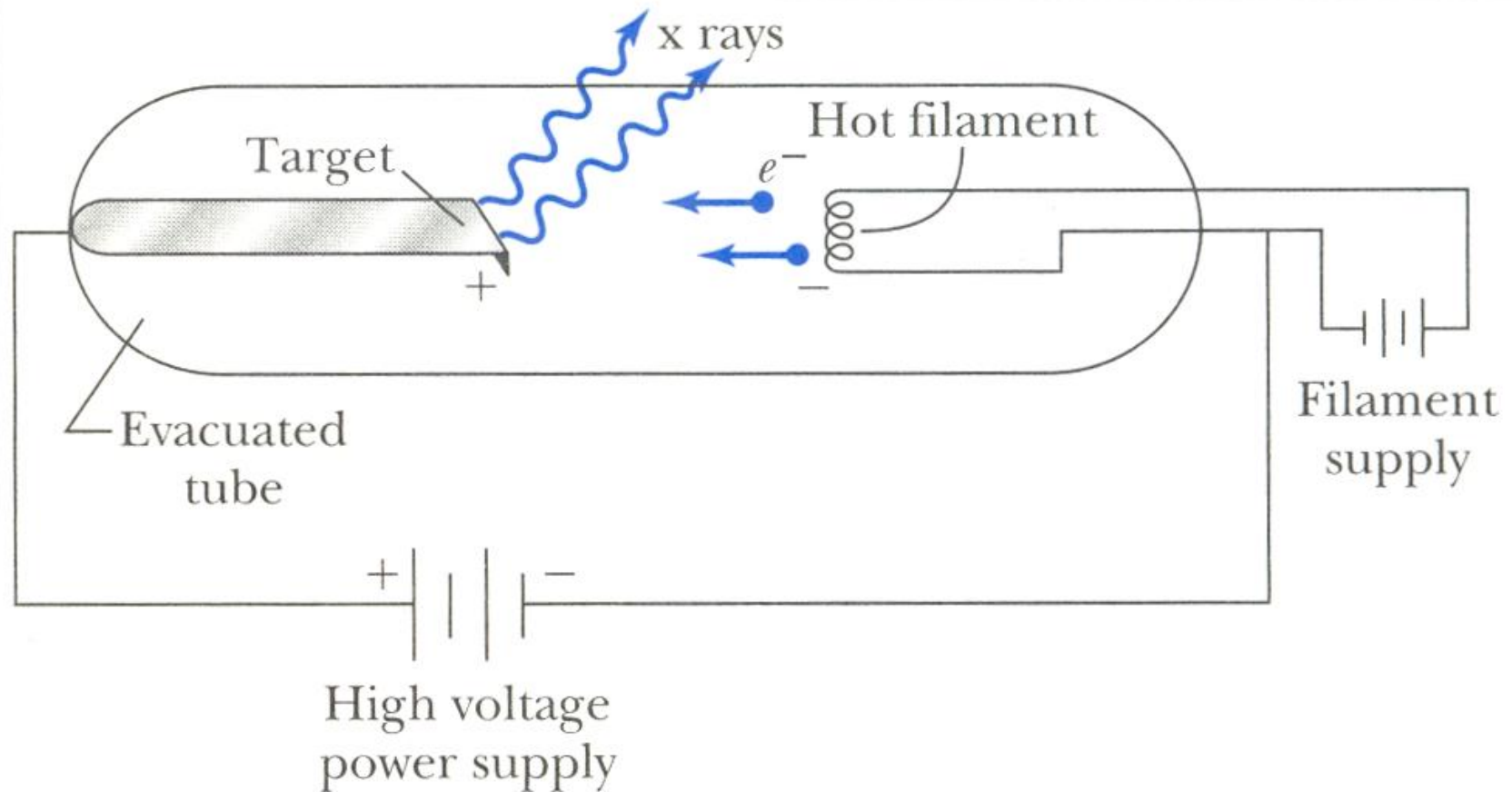


FIGURE 3.16 Schematic of x-ray tube where x rays are produced by the bremsstrahlung process of energetic electrons.

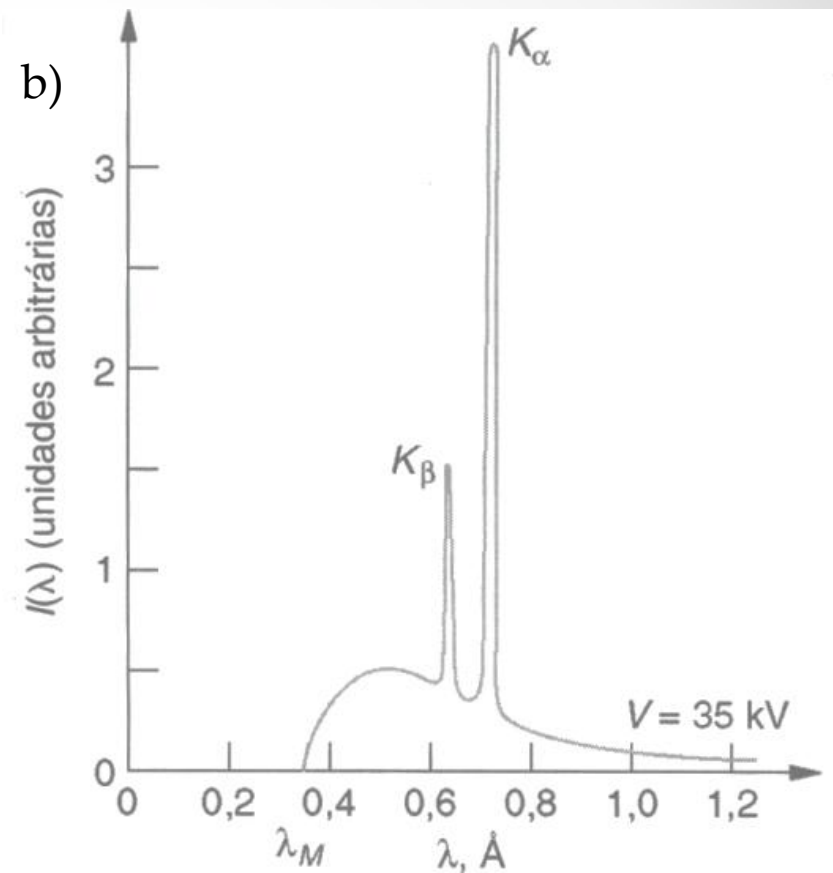
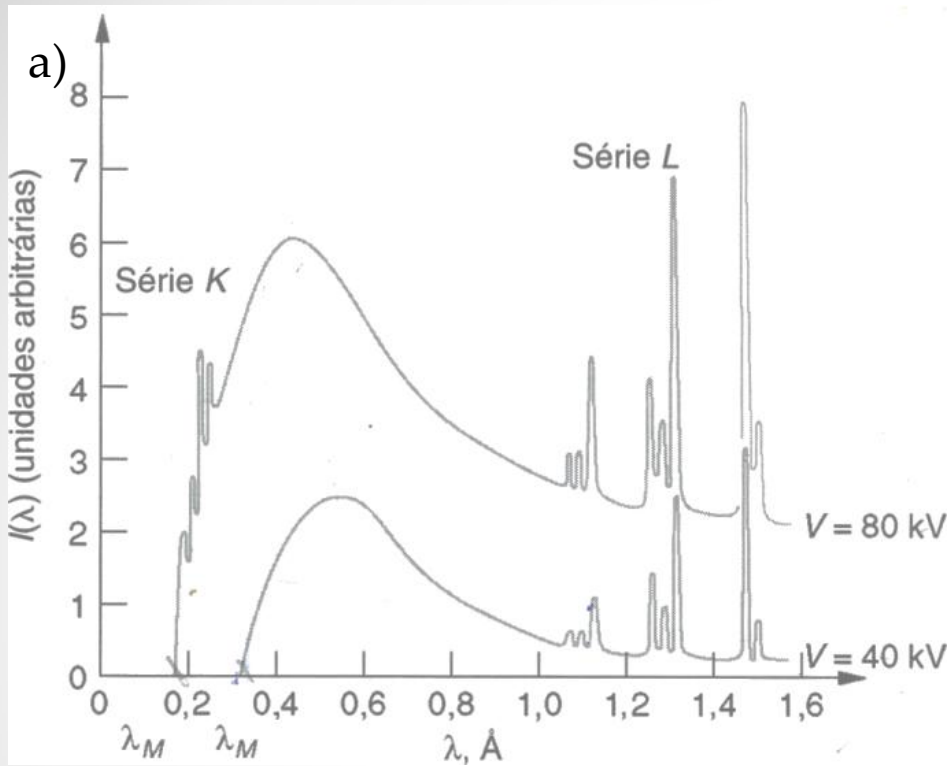
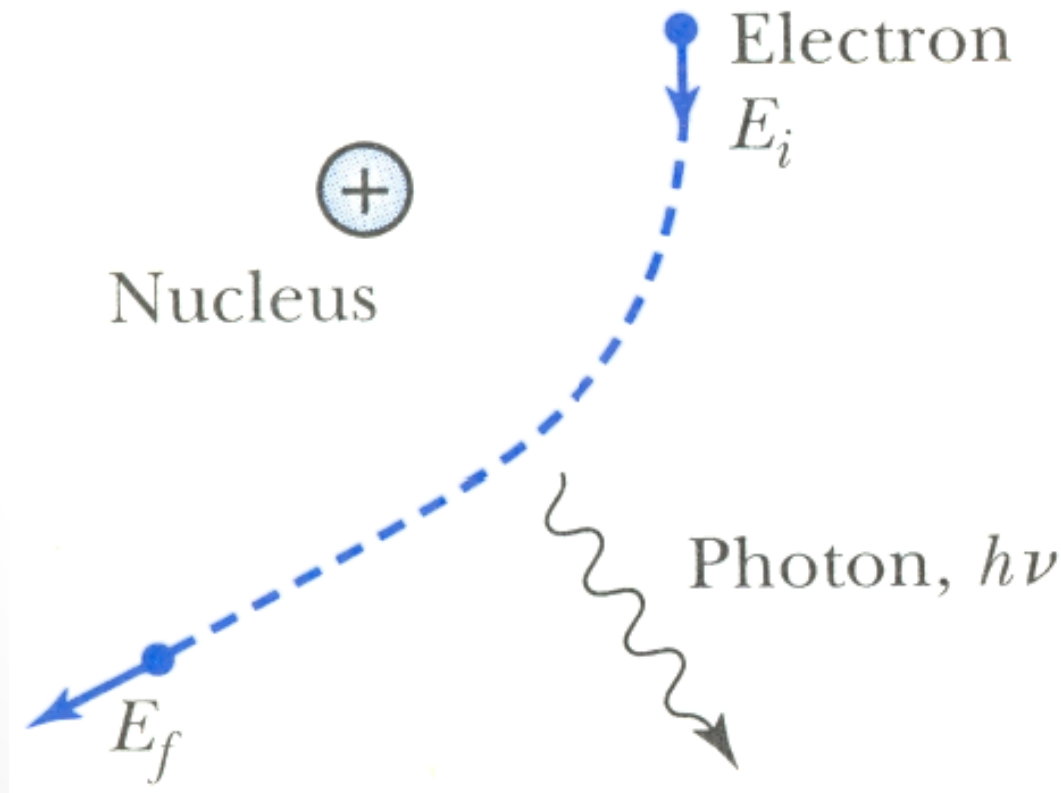


Fig. 3-18 Espectros de raios X do tungstênio (a) e do molibdênio (b). Os nomes das séries de linhas (K e L) são explicados no Cap. 4. As linhas da série L do Mo (que não aparecem na figura) ocorrem para $\lambda \approx 5 \text{ \AA}$. O comprimento de onda de corte λ_m não depende do material e é dado por $\lambda_m = hc/eV$, onde V é a tensão do tubo de raios X. Os comprimentos de onda das linhas de difração são característicos de cada material.

O processo responsável pela parte contínua do espectro, na visão fotônica

Bremsstrahlung



Processo que gera o espectro contínuo de Raios-X, na visão fotônica

- 1. Os elétrons de KeV de energia cinética incidentes na matéria, interagem** (interação Coulombiana) **com os núcleos dos átomos (carga $+Ze$).** Em cada interação emite um fóton de **energia $h\nu$** , perdendo diferentes quantidades de energia cinética em cada interação, até parar, o que resulta no espectro contínuo de frequências.
- 2. A diferença da explicação fotônica para a clássica é que se o elétron gera um fóton de energia $h\nu$ em cada interação, há uma frequência limite máxima que corresponde à perda de toda a energia cinética em uma única interação.**
- 3. Este processo é conhecido como *bremsstrahlung*** (radiação por desaceleração em alemão).

O comprimento de onda mínimo.

- Um elétron para depois de uma única interação, emitindo um único fóton - **ou ninguém perde mais do que tem!**

$$E_{ce} = e\Delta V = h\nu_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}} \quad \Rightarrow$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{e\Delta V}$$

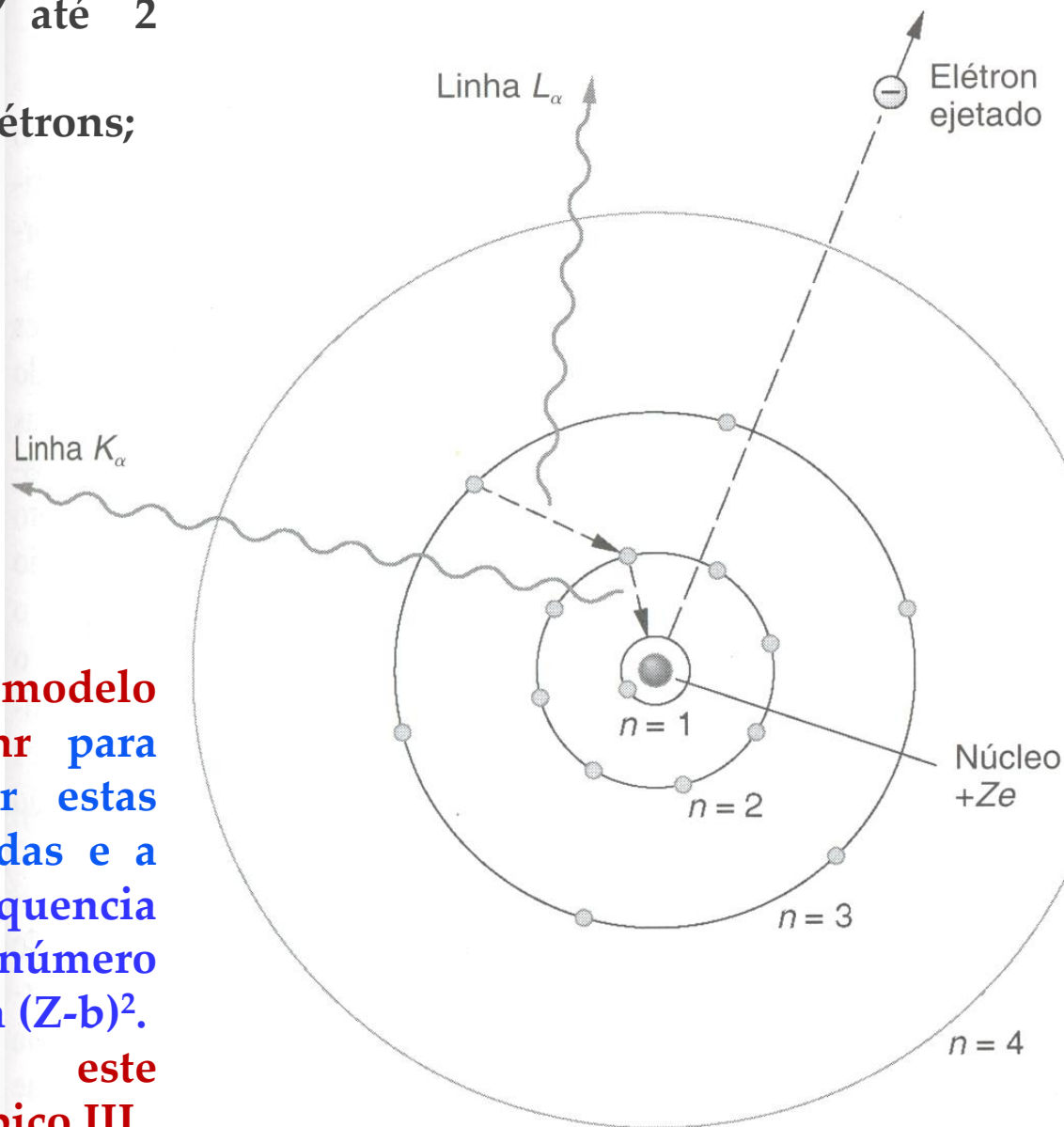
Energia cinética de elétrons virando fótons...

Muitos gostam de dizer que o **processo *bremsstrahlung*** é um **efeito fotoelétrico às avessas** – há emissão de radiação eletromagnética (raios-X) por incidência de elétrons energéticos na matéria.

Mas,  **Cuidado:** no efeito fotoelétrico, os elétrons estavam no interior da matéria e eram emitidos dela. A **radiação é criada; não existia dentro da matéria.**

Em $n=1$ “cabem” até 2 elétrons);
Em $n=2$: até 08 elétrons;
Em $n=3$: até 18.

Aguarde o modelo atômico de Bohr para melhor entender estas órbitas quantizadas e a relação da frequência emitida com o número quântico n e com $(Z-b)^2$. Voltaremos a este fenômeno no Tópico III



O elétron da camada $n=1$ absorve energia do elétron livre energético e sai do átomo.

O elétron de $n=2$ indo para $n=1$ emite um fóton da linha K_α . Se for o elétron da camada $n=3$ que transita para $n=1$, o átomo emite um fóton da linha K_β .

A estrutura fina do espectro de Raios-X

tem que haver quantização nas energias dos estados atômicos

2. Alguns dos elétrons incidentes podem transferir parte, ou toda a energia cinética para um dos elétrons mais internos do átomo do material, arrancando tal elétron do átomo.

Havendo um **estado de energia menor disponível**, outro elétron ligado **faz a transição de um estado de maior para este de menor energia, e assim sucessivamente, com emissão de um fóton** em cada transição eletrônica no interior do átomo. Porém estes “**estados atômicos**” **teriam que ter energias quantizadas, já que na estrutura fina há “linhas” monocromáticas.**

Este processo é o responsável pelos **picos característicos (do material) no espectro de de raios-X gerados por colisões com elétrons.**

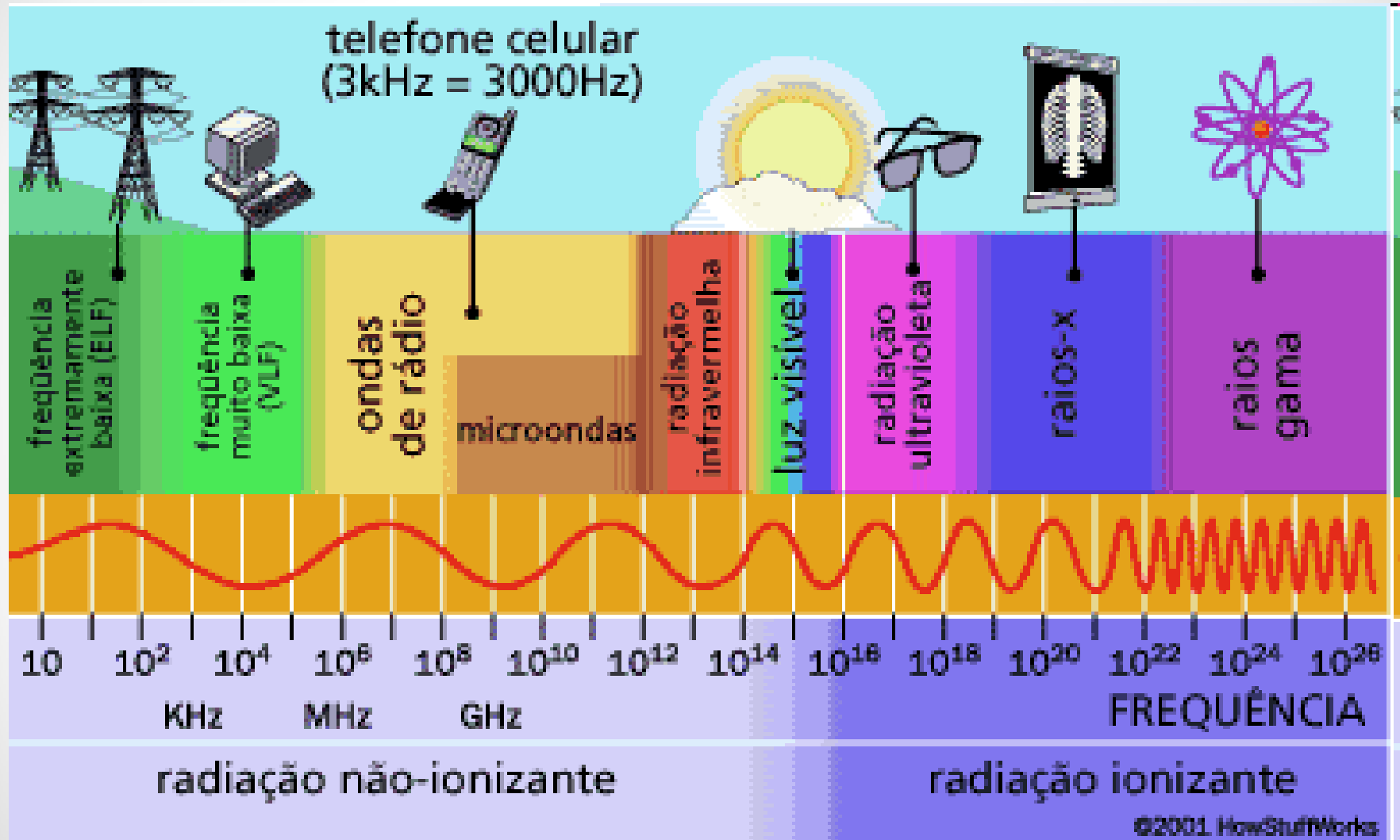
Este tema será revisitado no próximo tópico, por ocasião da apresentação de modelos atômicos.

Os aparelhos de raios-X em nossa vida

Aplicação

- (a) Os elétrons de um tubo de TV são acelerados até 18000V. Determine a frequência e a energia máximas dos raios-X produzidos no choque dos elétrons na tela da TV.
- (b) No caso dos aparelhos de produção de raios-X usados em radiografia de dentes, o potencial acelerador é tipicamente de 80KV. Determine a frequência e a energia máxima dos raios-X que chegam no cidadão cujos dentes estão sendo radiografados.
- (c) Faça um esboço do espectro de raios-X, Intensidade versus frequência, produzidos em um tubo de raios-X. Seria interessante para radiografar ossos humanos ter um aparelho de raios-X com picos característicos? Por que?

Radiação eletromagnética e o mal que ela nos faz – a radiação ionizante!



*Quando raios-X ou raios- γ 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

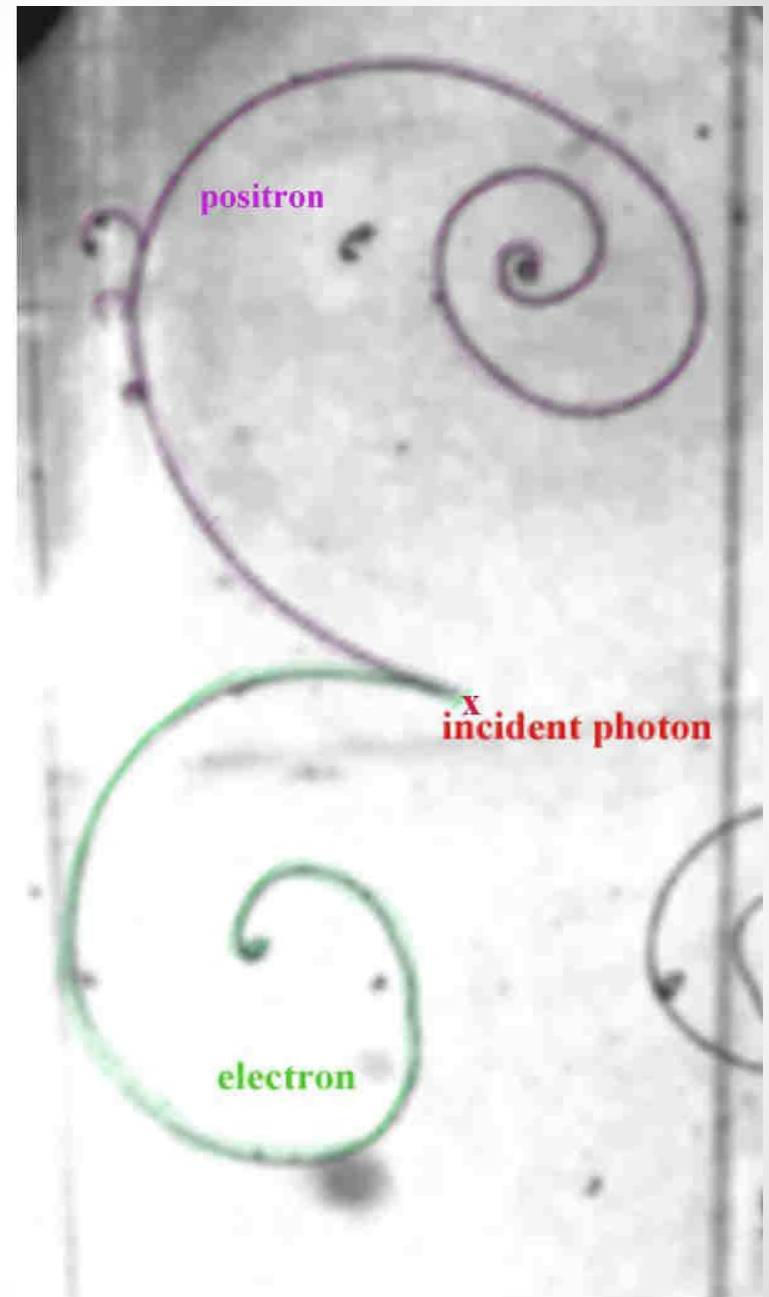
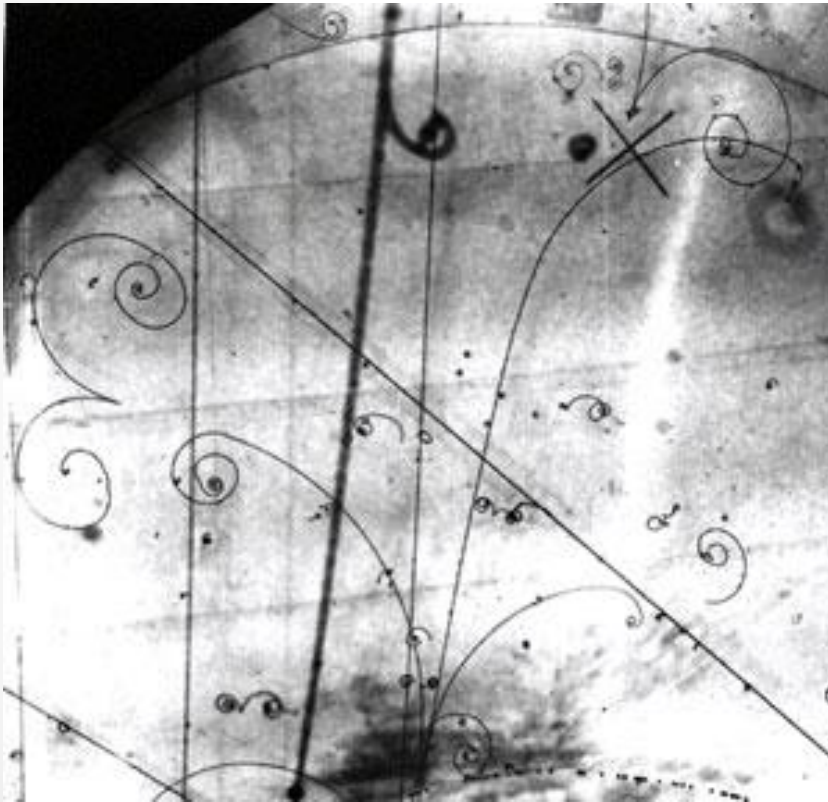
1. A existência de antimatéria foi prevista por **Dirac em 1928** por entender que a energia da partícula deveria contemplar os dois sinais da raiz quadrada.
2. O **par elétron-pósitron** foi observado pela 1ª vez na **radiação cósmica por Carl David Anderson(*) em 1932**. Ganhou o Nobel de Física em 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 “do nada” da trajetória de duas partículas de cargas iguais e mas de sinais opostos e com massa idêntica à do elétron (uauh!).



Matéria e Antimatéria

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.

Matéria e Antimatéria

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 anti-partículas no universo hoje estão em pequeníssima quantidade em relação às partículas da 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 **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** com o qual o fóton interagiu *(Equações na aula!).*

Produção de par elétron- pósitron

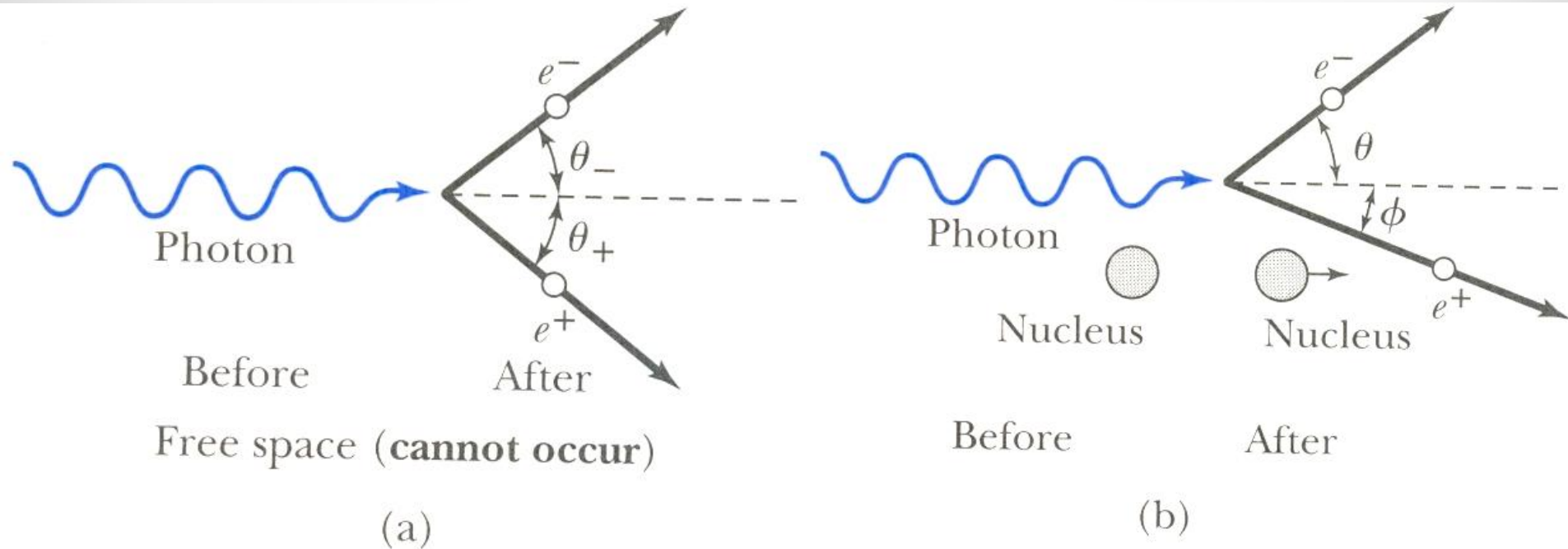


FIGURE 3.20 (a) A photon cannot decay into an electron–positron pair in free space, but (b) near a nucleus, the nucleus can absorb sufficient momentum to allow the process to proceed.

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.
- 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.