

Instituto de Física USP

Física V - Aula 15

Professora: Mazé Bechara

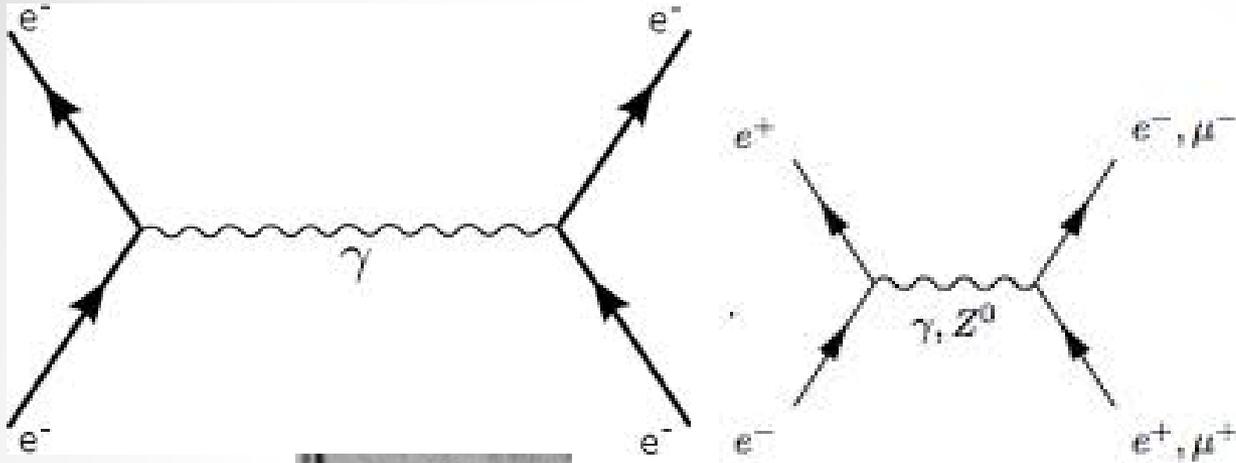
Aula 15– Espectros de absorção e emissão atômica e modelo atômico de Thomson.

1. **Evidências experimentais da existência de estrutura nos átomos** (até aqui na disciplina e na história da Física no início dos anos 1900).
2. Os espectros de linha de **matéria gasosa** – espectros de emissão e de absorção de radiação eletromagnética (REM) **dos átomos** – o que são, **condições para serem observados** e porque se entende serem espectros dos átomos. Características dos espectros da absorção e de emissão.
3. O Modelo atômico (simplificado) de Thomson – primeira tentativa de descrever as **interações atômicas como eletromagnética atrativa entre seus constituintes**. Os estados fundamentais (que nada emitem). Os estados fundamentais do H e He e os estados (excitados) que emitem REM.

A teoria da interação do fóton com as partículas da matéria

- Para tratar teoricamente os processos relativos à interação de fótons com a matéria, seja de espalhamento, seja de absorção, seja a criação e aniquilação deles, é preciso uma teoria que permita a existência de fótons, de partículas na matéria, e que o número fóton, como o de partículas na matéria, não se conservem.
- Esta teoria é a **eletrodinâmica quântica (QED - Quantum ElectroDynamics do nome em inglês)**. Iniciada por **Dirac** (Nobel de Física com Schroedinger em 1933) na **década de 20**, depois desenvolvida por **Schwinger** e por **Feynman (na década e 1950)**, este último viabilizando os cálculos com seus famosos diagramas, o **que deu a estes dois últimos e ao Tomonaga, o prêmio Nobel de Física em 1965.**

QED - prêmio Nobel de Física – 1965: Schwinger , Feynman e Tomonaga



Acima: Diagramas de Feynman, e o próprio na década de 1970

Ao lado: Schwinger, Tomonaga e Feynman em 1965

Abaixo: A equação básica da QED (só para impressionar!!!)

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}(i\gamma^\mu D_\mu - m)\psi - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} ,$$



Tópico III

III. Modelos atômicos, as primeiras “regras” de quantização e o caráter dual da matéria: partícula-onda.

- - tempo previsto: **~11 aulas**
- **III.1 modelos atômicos e as primeiras regras de quantização**
- III.1.1 Os espectros discretos de radiação emitida e absorvida por substâncias gasosas indicando quantizações nos átomos – o que são, como são e como se observa. O modelo de J.J. Thomson para o átomo: descrição do estado fundamental e a possibilidade de emissão quantizada no átomo de hidrogênio. Os acertos e dificuldades do modelo.
- III.1.2. Os resultados do experimento de Rutherford que levam à proposta de átomo nucleado. A estimativa do tamanho do núcleo a partir da comparação dos resultados experimentais da seção de choque diferencial versus energia incidente com os previstos no modelo do átomo nucleado de Rutherford.
- III.1.3. O modelo de Bohr para a estrutura e as transições no átomo de hidrogênio e seu acordo com os espectros de emissão e absorção de experimentais de radiação eletromagnética. Os picos característicos dos espectros de produção de Raios-X e o modelo de camadas para os elétrons dos átomos (discussão qualitativa). O experimento de Frank-Hertz.
- III.1.4 A regra de quantização de Bohr-Sommerfeld. Aplicações. Comparação com os resultados do modelo de Bohr para o átomo de H e da quantização de Planck para as oscilações harmônicas.
- III.1.5. A estrutura fina do espectro do átomo de hidrogênio e o efeito relativístico na dinâmica dos constituintes do átomo de H.

Tópico III

III. Modelos atômicos, as primeiras “regras” de quantização e o caráter dual da matéria: partícula-onda.

• III.2 O caráter dual das partículas materiais

- III.2.1 A proposta (teórica) de *de Broglie* do caráter dual das partículas materiais: razões físicas e as relações que vinculam o caráter ondulatório ao corpuscular na radiação eletromagnética e nas ondas de partículas materiais.
- III.2.2 Possíveis ondas de partículas materiais com módulo de velocidade constante (partícula presa em uma caixa e o átomo de H) na proposta de *de Broglie*. Quantizações decorrentes.
- III.2.3 A realidade do caráter ondulatório das partículas revelado pioneiramente no experimento de *Davisson e Germer*. Outros experimentos que revelam o caráter ondulatório das partículas materiais.
- III.2.4 Os pacotes de onda na física ondulatória clássica – velocidade de fase e da onda, e as relações de dispersão que vinculam posição e número de onda, tempo e frequência da onda. Uma interpretação das relações do pacote de onda de partículas - o princípio de incerteza de *Heisenberg* para a posição-momento linear e para a energia e tempo. A energia mínima das partículas segundo o princípio de incerteza. Relação entre o tempo característico de um estado não estável e a indeterminação na energia do estado.

Parte 1 do Tópico III: estrutura atômica ou o átomo não é átomo (indivisível)

1. Átomos podem “emitir” partículas com carga $-e$ e massa 2000 vezes menor que a massa do H – os elétrons - quando interagem com radiação eletromagnética. Também é possível ionizar positivamente os elementos químicos.
2. O espectro de emissão de raios X por matéria (sólida) quando bombardeada por elétrons livres com energias cinéticas da ordem ou maiores do que keV tem uma estrutura fina, praticamente monocromática, que mostra regularidade com o número atômico Z .

Moral da história: se há cargas diferentes que fazem dos átomos neutros, os átomos são compostos de outras partículas. Não é indivisível. É “constituente fundamental” da matéria, mas não é exatamente uma “partícula elementar”, ou seja, sem estrutura interna.

Espectros atômicos

As interações entre átomos são desprezíveis nos gases, diferentemente da matéria líquido e a sólida.

Por para melhor se observar as **absorções de radiação eletromagnética (REM) pelos átomos**, que revelem a estrutura interna deles, é preciso matéria gasosa monoatômica.

Analogamente, quando nos referirmos **as emissões de REM pelos átomos**, fora de seu estado natural (fundamental), estaremos tratando da emissão de amostra de gases monoatômicos, descontada a radiação emitida por efeito de temperatura. Estes são chamados de “**espectros de emissão**” dos átomos.

Espectros de absorção atômica

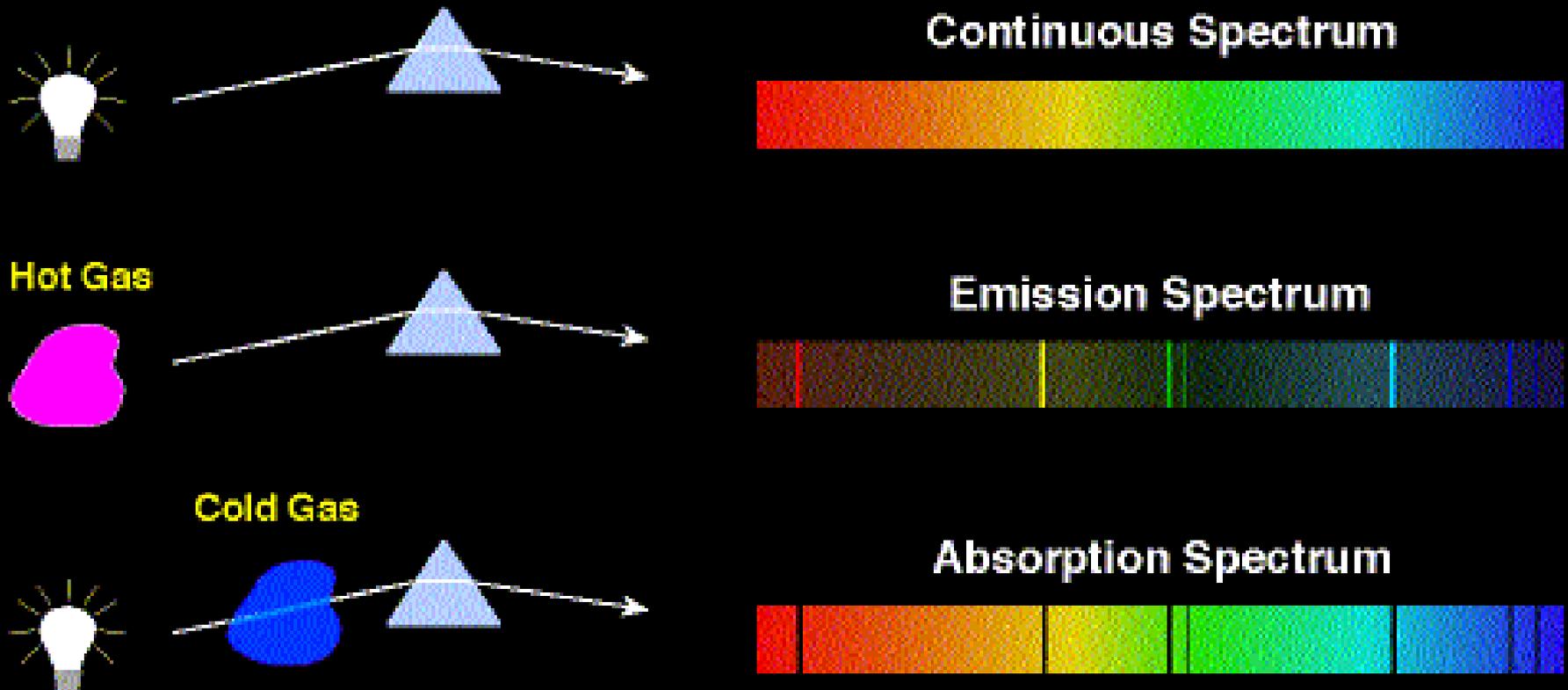
Fazendo um feixe de radiação eletromagnética de espectro contínuo atravessar uma amostra de gás de elemento puro (monoatômico, portanto), e observando o feixe após atravessar a matéria, se observa que algumas frequências (comprimentos de onda) muito específicos, são “roubados” do feixe incidente, ou seja, são absorvidos pela amostra, enquanto grande parte do espectro contínuo é transparente para a amostra, ou seja, passa sem interagir com a amostra.

Este espectro tem aspecto de “falta de linhas” (monocromáticas), por isto é dito que o espectro de absorção atômica é um “espectro de linhas”.

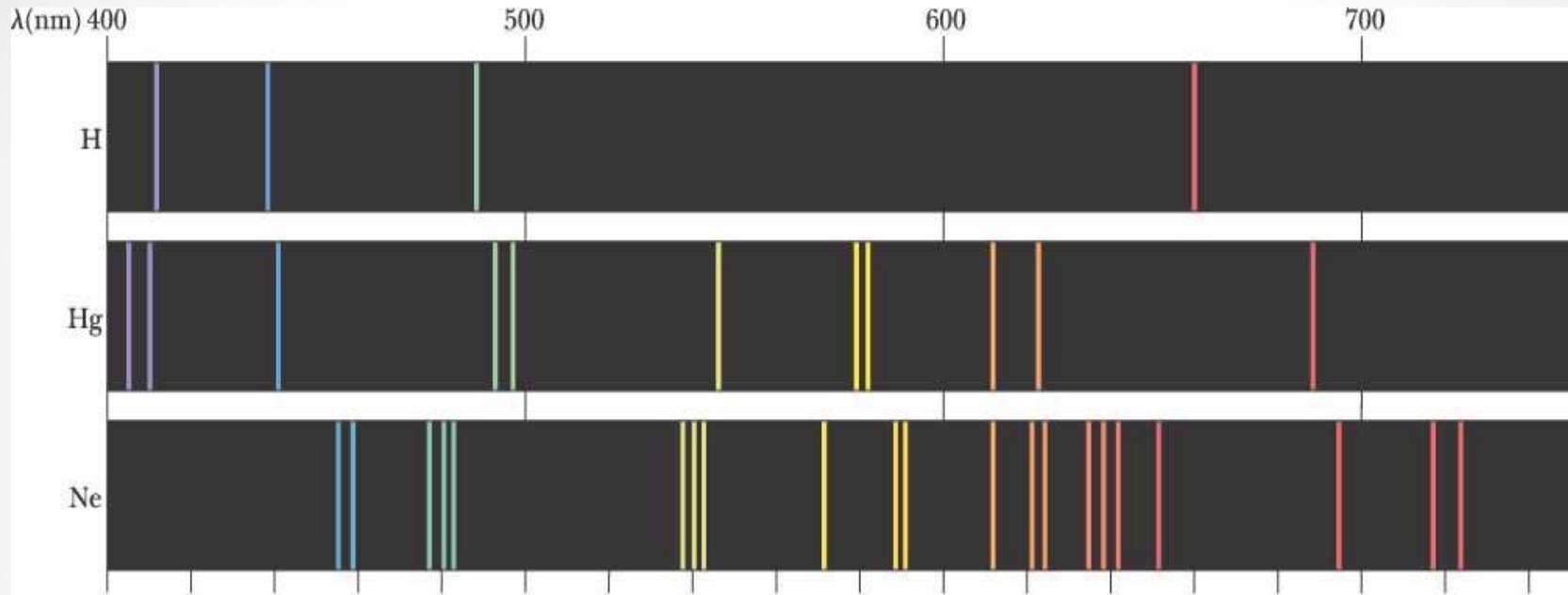
Espectros de emissão atômica

Matéria gasosa monoatômica depois de bombardeada por REM de espectro contínuo ou de receber um feixe de partículas com energias cinéticas “importantes” emitem “espectros de linhas”, ou seja, intensidade de estrutura fina, com vários comprimentos de onda bem definidos (praticamente várias emissões monocromáticas), são os espectros de emissão atômica.

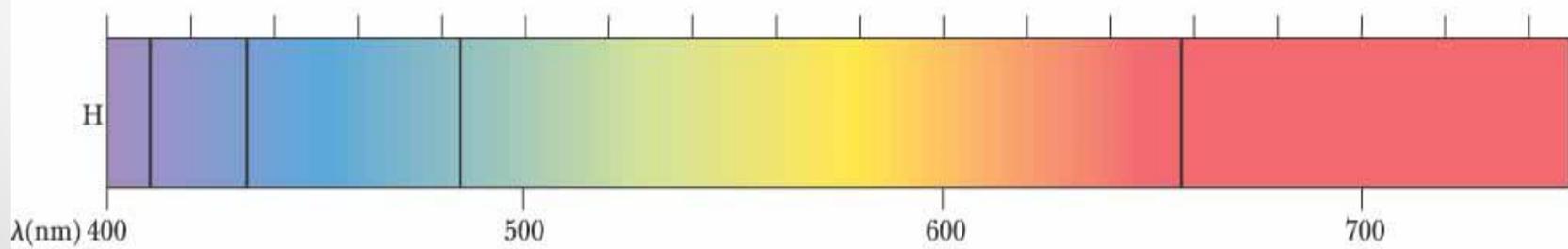
No visível: um espectro contínuo, um espectro de emissão e um de absorção por átomos de um elemento gasoso.



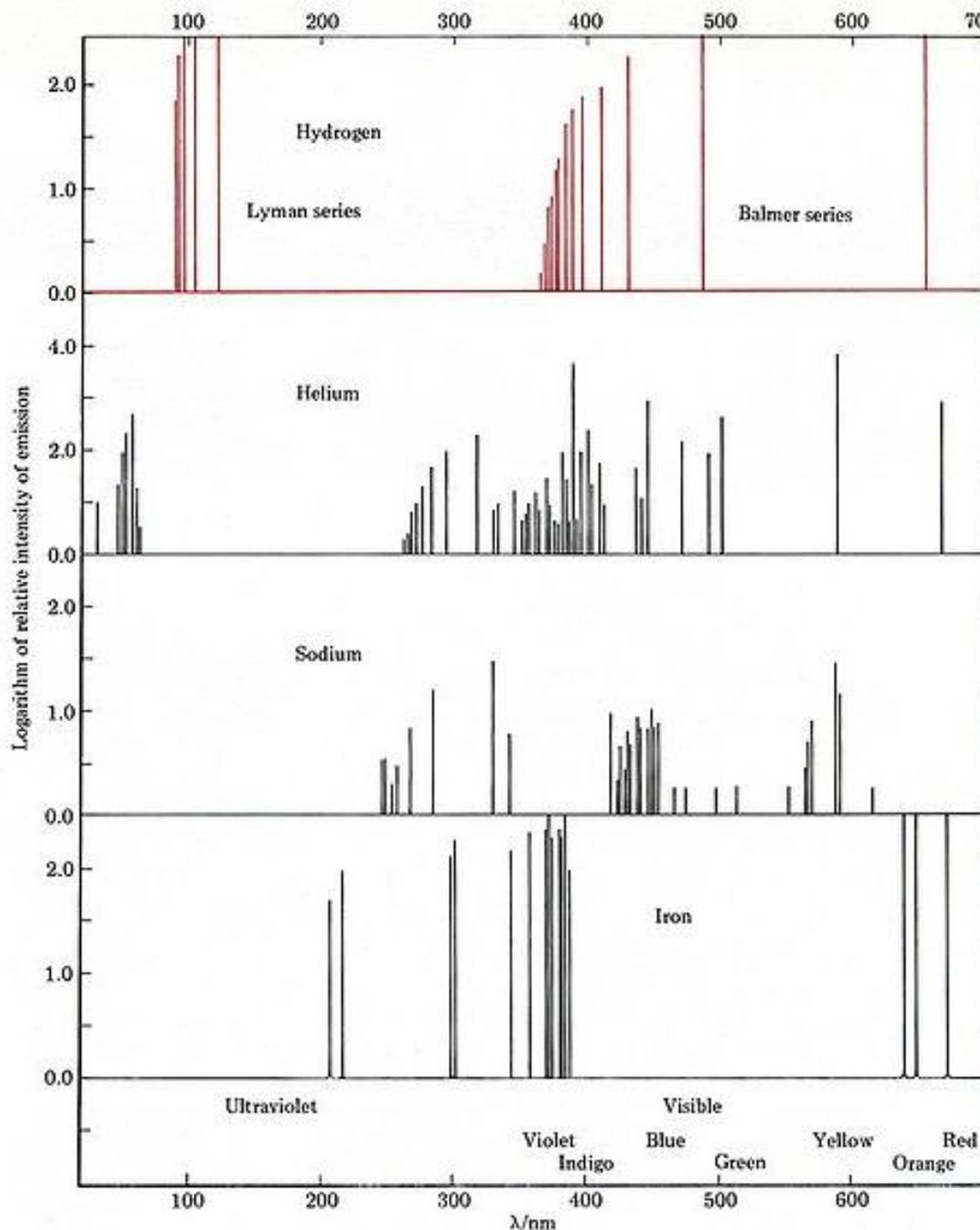
Parte visível (com olhos humanos) dos espectros de emissão de REM dos átomos de H, Hg e Ne. Espectro de absorção do H



(a)



(b)



Gráficos das intensidades versus comprimento de onda da radiação emitida.
 As “linha” têm intensidades diferentes, que não se quantificam, ou mesmo não são percebidas nas imagens “fotográficas” das linhas.

Espectros de emissão de gases de elementos puros

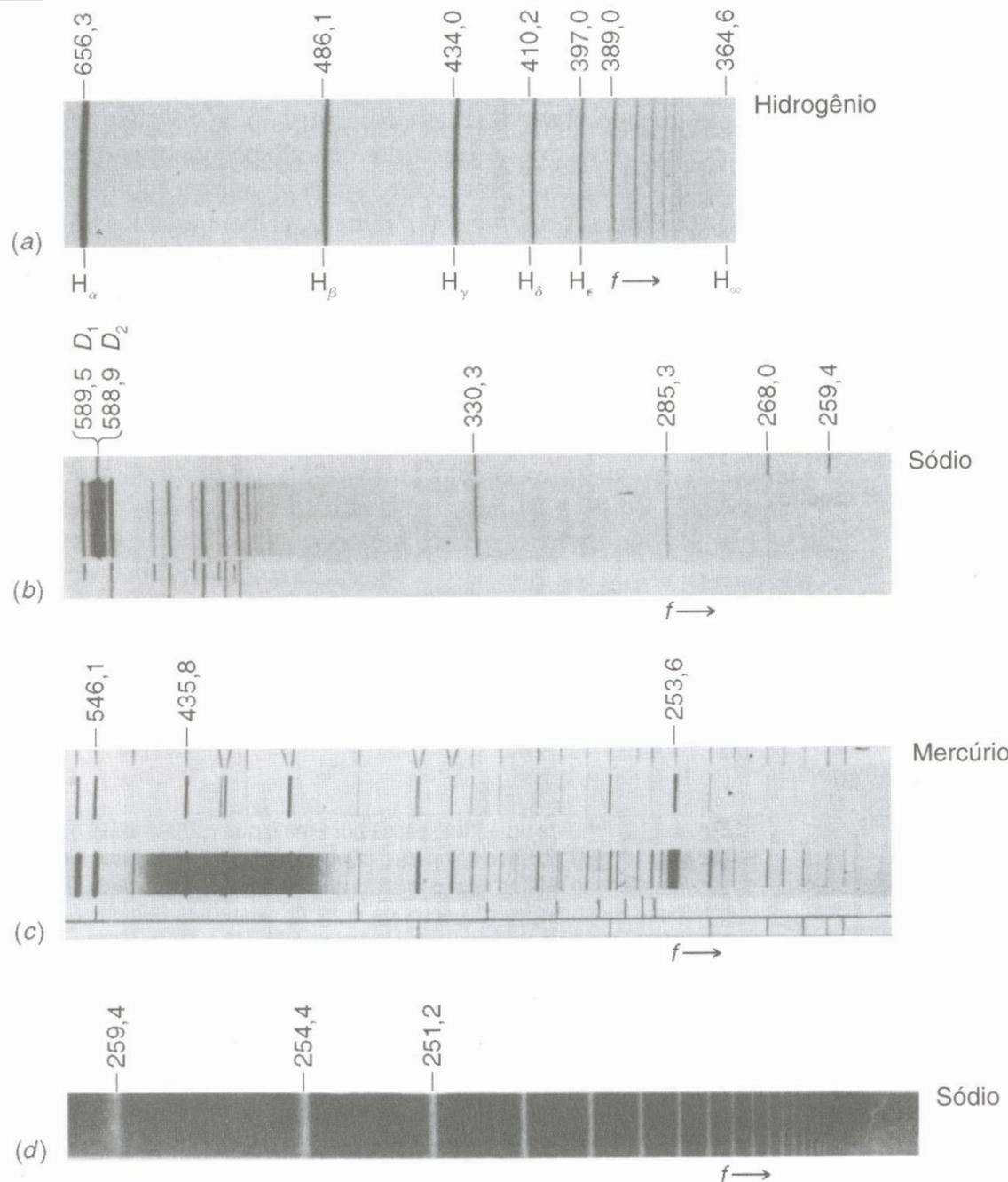


Figura do Tipler & Llewellyn



O Na é alcalino como o H. A linha amarela que ele emite é usada em lâmpadas. Seu espectro é relativamente simples comparado aos de outros elementos de massa próximas, não alcalinos.

Espectros de absorção e emissão atômica - interpretações

A interpretação dos físicos (do Planeta Terra) é que, no estado natural, os átomos estáveis, ou seja, que não viram outro elemento espontaneamente, estão em seu estado de menor energia, chamado de estado fundamental. Por isto átomos no seu estado fundamental não emitem o espectro de linhas.

Os espectros dos átomos mais leves mostram espectros de linhas mais simples do que os átomos mais pesados.

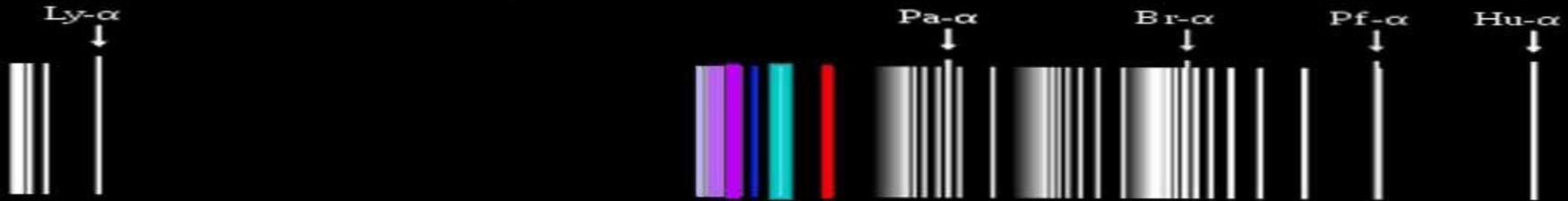
Em particular as frequências dos espectros de linhas do átomo de hidrogênio seguem uma relação matemática típica de série.

Evidências experimentais da estrutura atômica

Os átomos com as mesmas propriedades físico/químicas têm similaridades em seus espectros de emissão/absorção atômica, indicando relação entre estrutura atômica e propriedades físico-químicas.

Em particular, os outros elementos da primeira coluna da tabela periódica além do hidrogênio (H): o lítio (Li), sódio (Na), potássio (K) chamados de alcalinos têm espectros “similares” ao mais simples espectro que é o do Hidrogênio. São chamados de “átomos de um elétron”.

As várias séries de emissão do H. A visível (aos olhos humanos) foi a primeira observada. É a série de Balmer.



$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right) \quad n' = 2, 3, \dots > n$$

$n=1$ – série de Lyman

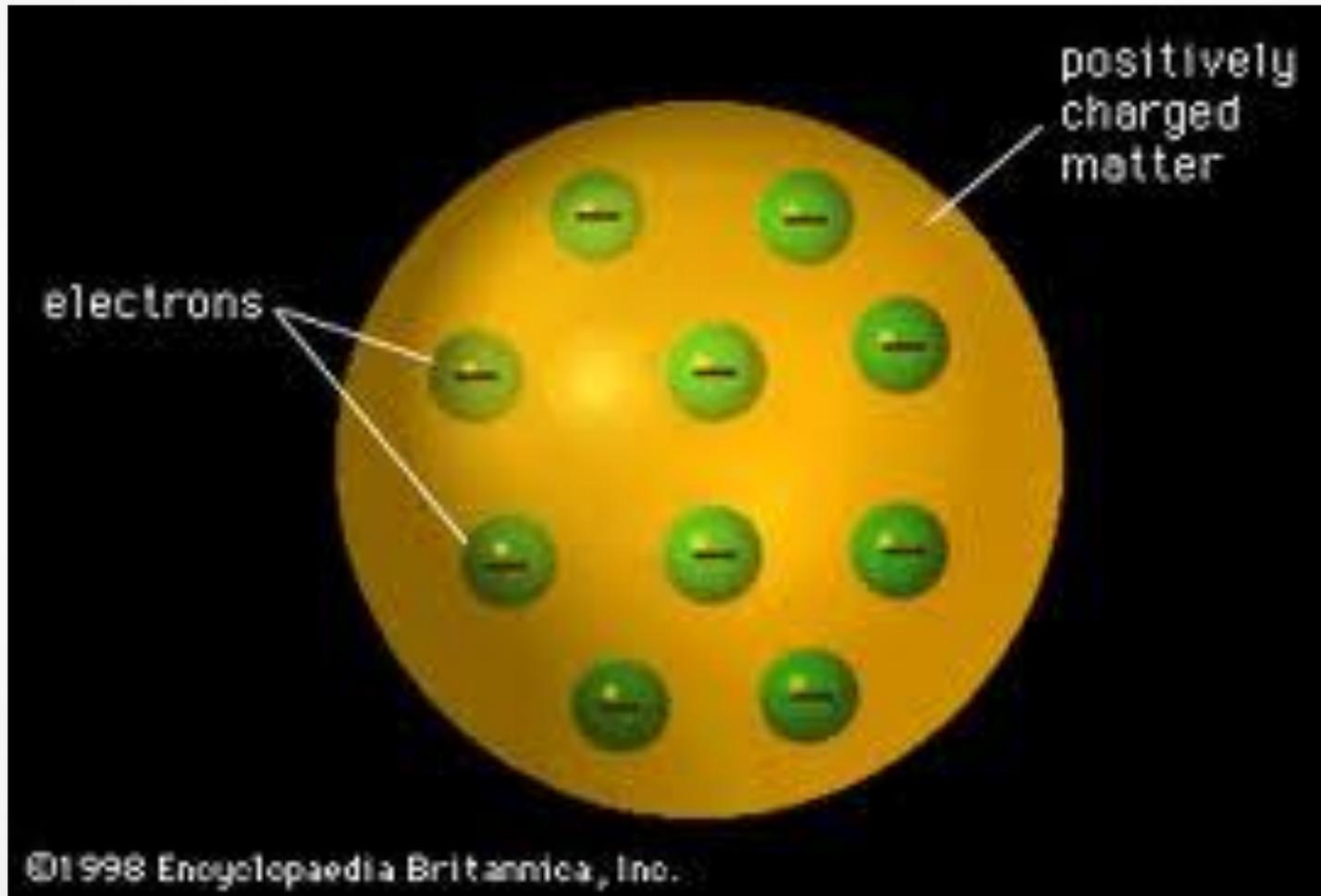
$n=2$ – série de Balmer (pioneira - visível)

$n=3$ – série de Paschen

$n=4$ – série de Pfund

R_H = constante de Rydberg (para o hidrogênio) = $1,096776 \cdot 10^7 \text{m}^{-1}$

Modelo de Thomson para o átomo



Elementos – fatos experimentais

1. O átomo mais leve é o de Hidrogênio que tem massa de 1,008665 uam (unidade atômica de massa). $1\text{uam} = 1.660538921(73) \times 10^{-27}$. O Carbono 12 é definido como 12 uam.
2. O elemento estável mais pesado da natureza é o Plutônio 244, com meia vida de $\sim 10.000.000$ anos.
3. Os raios dos átomos não mudam muito. Hoje se sabe (mede-se) que o raio do H é de aproximadamente 0,5 angstroms, e o do plutonio da ordem de 3,5 angstroms.

O modelo de Thomson- a interação atômica e a interpretação dos estados atômicos.

1. **Hipótese 1:** Os átomos têm a maior parte de sua massa fluida com carga positiva distribuída uniformemente na esfera de raio atômico R com elétrons distribuídos neste fluido . **A força atômica, ou seja, que mantém a estrutura atômica, não é nova força da Natureza - é de natureza eletromagnética.**
2. **Hipótese 2:** No estado de mais baixa energia, ou estado fundamental, **não há emissão atômica** e os elétrons estão distribuídos de forma a que cada um deles tenha força total nula de sua interação eletrostática atrativa com a carga positiva e repulsiva com os demais elétrons, e portanto esteja parado.
3. **Hipótese 3:** Quando um ou mais elétrons dos átomos recebem energia podem sair de suas posições de equilíbrio **executando movimentos harmônicos com certas frequências. São os estados excitados.**
4. **Hipótese 4.** Os **estados excitados são instáveis** porque necessariamente **emitem REM** com mesma frequência que oscilam, voltando para a posição de equilíbrio. Os responsáveis pelas linhas de emissão dos átomos são os estados excitados.

As posições dos elétrons nos estados fundamentais do átomo de hidrogênio (H) e no de hélio (He). **Um estado excitado do H.**

1. Vale a Física Clássica;
- 2. Discussão e cálculos em sala de aula.**