

Instituto de Física USP

Física Moderna I Aula 18

Professora: Mazé Bechara

Aula 18 – Aplicações do Modelo de Bohr.

1. **Aplicações do Modelo de Bohr.**
2. **Átomos de muitos elétrons** e o modelo de camadas. A estrutura fina dos espectros de raios X.

Estrutura no Modelo de Bohr - Aplicação

Questão 14 do Guia ao Tópico III

Adotando o modelo de Bohr

- (a) **Calcule a energia total do estado fundamental do átomo de He** admitindo que os dois elétrons estejam na órbita $n=1$ e desprezando a interação.
- (b) **Considerando agora a repulsão mútua** devido às cargas dos elétrons, e supondo que eles mantenham entre si a distância máxima na órbita $n=1$ (velocidade relativa nula) **calcule a energia elétrica de interação entre eles.**
- (c) Com base nos cálculos acima **estime a energia de ionização do átomo de He. Compare** o resultado com o valor experimental: $24,6\text{eV}$ e **comente.**

Hipóteses do Bohr para os átomos: Transições

1. Um átomo quando realiza transição entre duas órbitas permitidas obrigatoriamente emite um fóton. A diferença de energia entre os dois estados da transição atômica é a energia deste fóton:

$$h\nu = E_n - E_{n'} \\ (E_n > E_{n'})$$

2. Um átomo com energia $E_{n'}$ pode transitar para outro de maior E_n pela absorção de um fóton de energia $h\nu$ tal que:

$$h\nu = E_n - E_{n'} \\ (E_n > E_{n'})$$

Observe que esta não é a única forma de absorção de energia por um átomo.

Transições no modelo de Bohr - Aplicação

Um feixe de radiação eletromagnética tem diferentes frequências em eV/h: 0,60; 2,0; 8,00; 12,09 e 13,90, todas com a mesma intensidade I_0 . Adote as hipóteses do modelo de Bohr e os seus resultados para o átomo de hidrogênio.

- (a) **Faça um esboço** do feixe incidente. **Coloque uma escala em frequência** (em eV/h) e **outra em comprimento de ondas** (em angstroms). Justifique.
- (b) O feixe descrito acima incide sobre uma amostra de átomos de hidrogênio no seu estado natural. **Faça um esboço do espectro de absorção** do feixe pela amostra, **colocando uma escala com os valores das frequências** em eV/h. **Mostre** explicitamente como chegou ao espectro desenhado.
- (c) **Determine, em eV/h, todas as frequências** que podem ser emitidas pela amostra de hidrogênio **depois da incidência do feixe descrito**. **Esboce o espectro de emissão** desta particular amostra depois de receber este particular feixe.

Transições no modelo de Bohr - Aplicação

Um feixe de radiação eletromagnética tem diferentes frequências em eV/h: 0,60; 2,0; 8,00; 12,09 e 13,90, todas com a mesma intensidade I_0 . Adote as hipóteses do modelo de Bohr e os seus resultados para o átomo de hidrogênio.

- (a) **Faça um esboço** do feixe incidente. **Coloque uma escala em frequência** (em eV/h) e **outra em comprimento de ondas** (em angstroms). Justifique.
- (b) O feixe descrito acima incide sobre uma amostra de átomos de hidrogênio no seu estado natural. **Faça um esboço do espectro de absorção** do feixe pela amostra, **colocando uma escala com os valores das frequências** em eV/h. **Mostre** explicitamente como chegou ao espectro desenhado.
- c) **Determine, em eV/h, todas as frequências** que podem ser emitidas pela amostra de hidrogênio **depois da incidência do feixe descrito**. **Esboce o espectro de emissão** desta particular amostra depois de receber este particular feixe.
- d) Discuta a conservação de energia e do momento linear no decaimento do estado de maior energia para o estado fundamental.

Os raios X dos espectros característicos

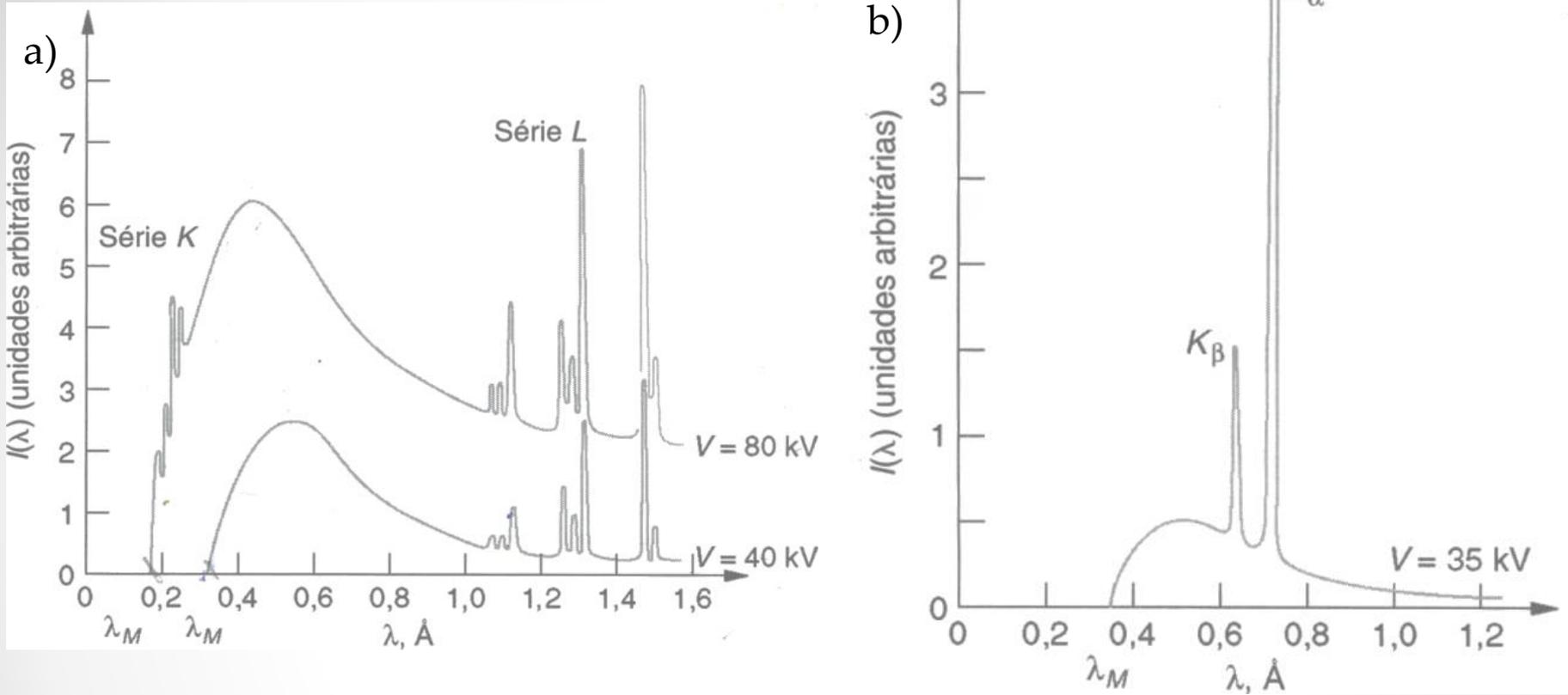
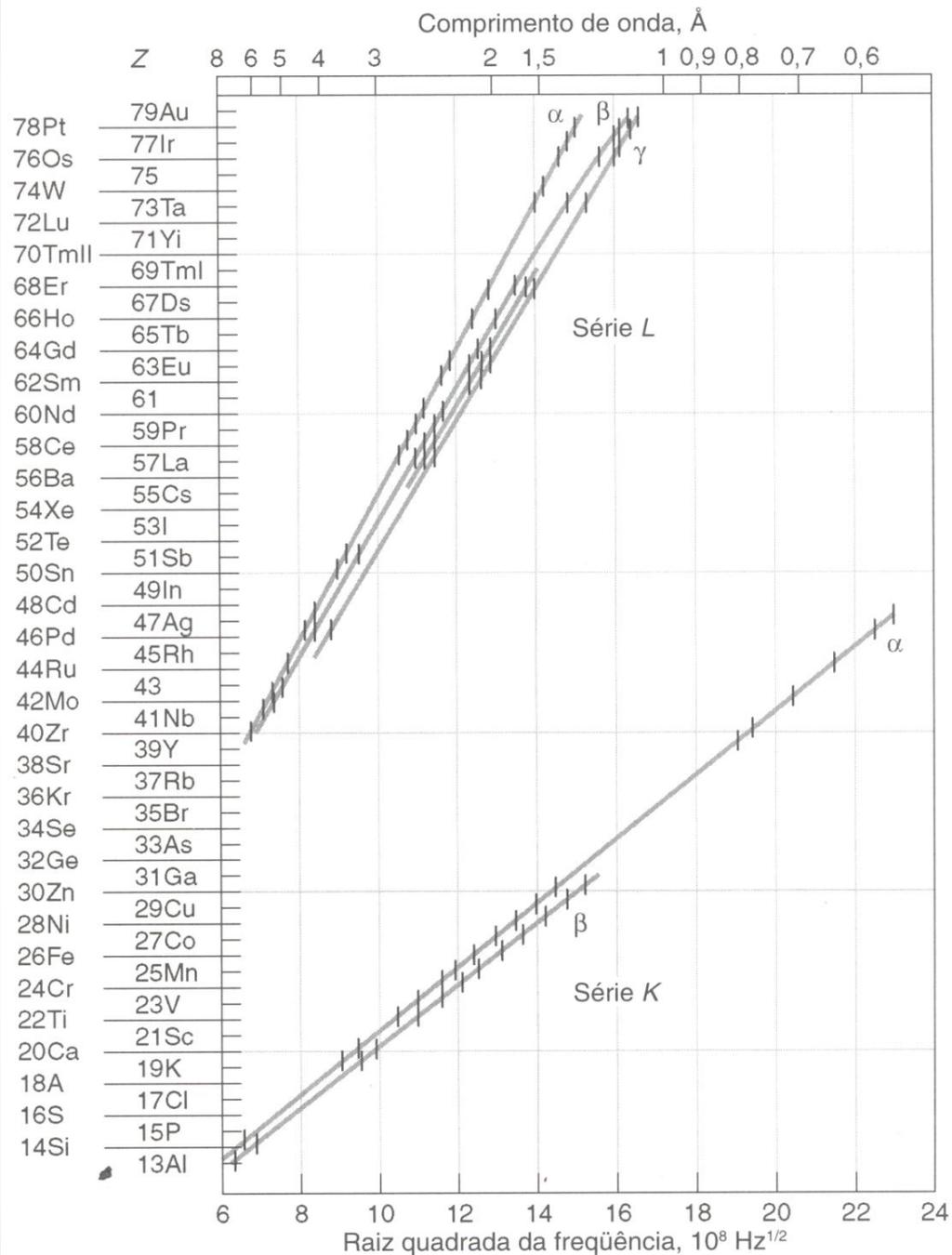


Fig. 3-18 Espectros de raios X do tungstênio (a) e do molibdênio (b). Os nomes das séries de linhas (K e L) são explicados no Cap. 4. As linhas da série L do Mo (que não aparecem na figura) ocorrem para $\lambda \approx 5 \text{ Å}$. O comprimento de onda de corte λ_m não depende do material e é dado 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.



A estrutura fina dos raios-X criados por diferentes elementos – dependência linear entre Z e a raiz quadrada de frequência.

Descoberta de Henry Moseley, que contrariando seus mentores, Rutherford inclusive, foi lutar na 1ª guerra mundial e morreu em 1915 aos 27 anos!!!

Mais detalhes em FÍSICA MODERNA II

Periodic Table of Elements

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																															
1 H Hydrogen 1.00794	Atomic # Symbd Name Atomic Mass																2 He Helium 4.002602																															
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012182	<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">C</td> <td>Solid</td> <td rowspan="3">Alkali metals</td> <td rowspan="3">Alkaline earth metals</td> <td colspan="3">Metals</td> <td rowspan="3">Transition metals</td> <td rowspan="3">Poor metals</td> <td colspan="3">Nonmetals</td> </tr> <tr> <td>Hg</td> <td>Liquid</td> <td>Lanthanoids</td> <td rowspan="2">Other nonmetals</td> <td rowspan="2">Noble gases</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>Gas</td> <td>Actinoids</td> </tr> <tr> <td>Rf</td> <td>Unknown</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										C	Solid	Alkali metals	Alkaline earth metals	Metals			Transition metals	Poor metals	Nonmetals			Hg	Liquid	Lanthanoids	Other nonmetals	Noble gases	H	Gas	Actinoids	Rf	Unknown										5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogen 14.0067	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797
C	Solid	Alkali metals	Alkaline earth metals	Metals			Transition metals	Poor metals	Nonmetals																																							
	Hg			Liquid	Lanthanoids	Other nonmetals			Noble gases																																							
	H			Gas	Actinoids																																											
Rf	Unknown																																															
11 Na Sodium 22.98976928	12 Mg Magnesium 24.3050	13 Al Aluminium 26.9815386	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973762	16 S Sulfur 32.065	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948																																									
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955912	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938045	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933195	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92160	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798																															
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.96	43 Tc Technetium (97.9072)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.293																															
55 Cs Caesium 132.9054519	56 Ba Barium 137.327	57-71		72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.94788	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.966569	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98040	84 Po Polonium (208.9824)	85 At Astatine (208.9871)	86 Rn Radon (222.0176)																														
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89-103		104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uut Ununtrium (284)	114 Uuq Ununquadium (289)	115 Uup Ununpentium (288)	116 Uuh Ununhexium (292)	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium (294)																														

For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope with the longest half-life is in parentheses.

Design and Interface Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com). <http://www.ptable.com/>



57 La Lanthanum 138.90547	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92535	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.054	71 Lu Lutetium 174.9668
89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.03806	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

Propriedades dos elementos

1. Os gases raros não gostam de se unir a outros elementos. Eles são os elementos da última coluna da tabela periódica: He ($Z=2$), Ne ($Z=10$), Ar ($Z=18$), Kr($Z=36$), Xe($Z=54$) e Rn ($Z=86$). Estes números foram inicialmente chamados de “mágicos”.
2. Os alcalinos (1ª coluna vertical da tabela periódica) adoram se unir a outros elementos formando substâncias. Em particular facilmente se unem aos halogenos (elementos da penúltima coluna).
3. O número atômico Z destes alcalinos são: 1,3,11, 19,37,55,87), um a mais que os “mágicos”; dos halogenos: 9,17,35,53 e 85, um a menos do que os “mágicos”. O sal Na(11)Cl(17) é um exemplo da “união” bem sucedida de elementos.

Maiores detalhes na disciplina Física Moderna II

O modelo de camadas nos átomos

- Questão 1. Por que no estado fundamental dos átomos de muitos elétrons não estão todos no estado $n=1$?
- **Resposta: Por que a natureza física dos elementos é assim.**
- Questão 2. Como se chegou a isto?
- **Resposta: pelas propriedades físico-químicas dos elementos, em particular, sua capacidade de interagir, ou de não interagir formando (ou não formando) outras substâncias.**
- **Primeiro se definiu que havia “números mágicos” em cada “camada” n . Depois a Mecânica quântica com nova quantização do momento angular e mais a propriedade quântica spin e o princípio de exclusão de Pauli, resolveram esta questão teoricamente.**
- **Esta resposta dos humanos descreve, entre outras coisas, os espectros característicos na criação dos raios-X.**
- **Maiores detalhes na disciplina Física Moderna II**

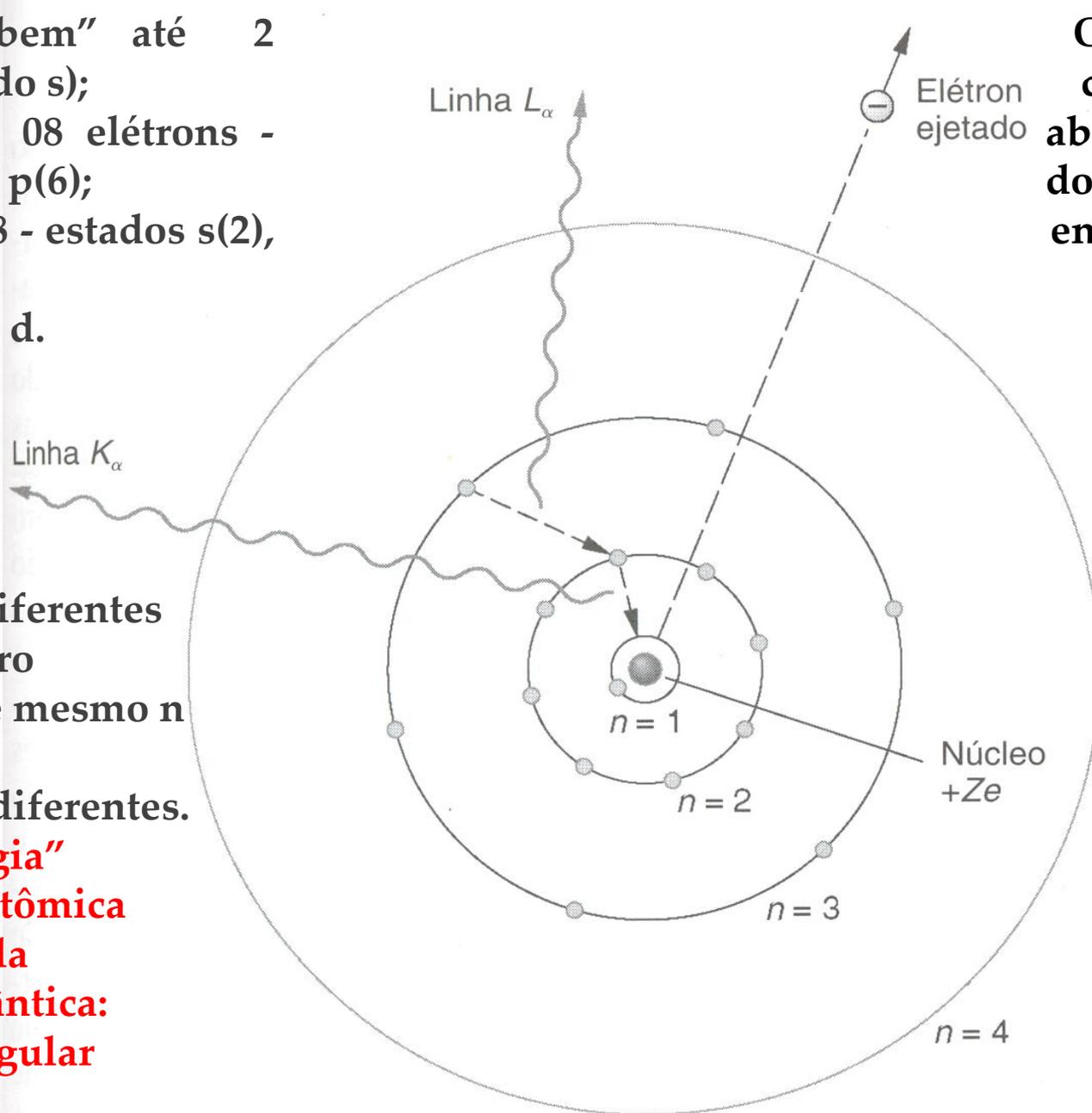
Em $n=1$ "cabem" até 2 elétrons (estado s);
Em $n=2$: até 08 elétrons - estados s (2) e p(6);
Em $n=3$: até 18 - estados s(2), p(6) e d(8).
Estados s, p e d.

Estados de "diferentes letras" (número quântico ℓ) de mesmo n tem energias ligeiramente diferentes.

A "numerologia" da natureza atômica é descrita pela mecânica quântica: momento angular + spin .

FÍSICA MODERNA II

Figura do Tipler & Llewellyn



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

Física Moderna I - Professora: Mazé Bechara

Tópico relevante
estude por conta própria!

Experimento de Franck-Hertz ($\Delta V \sim V/10$)

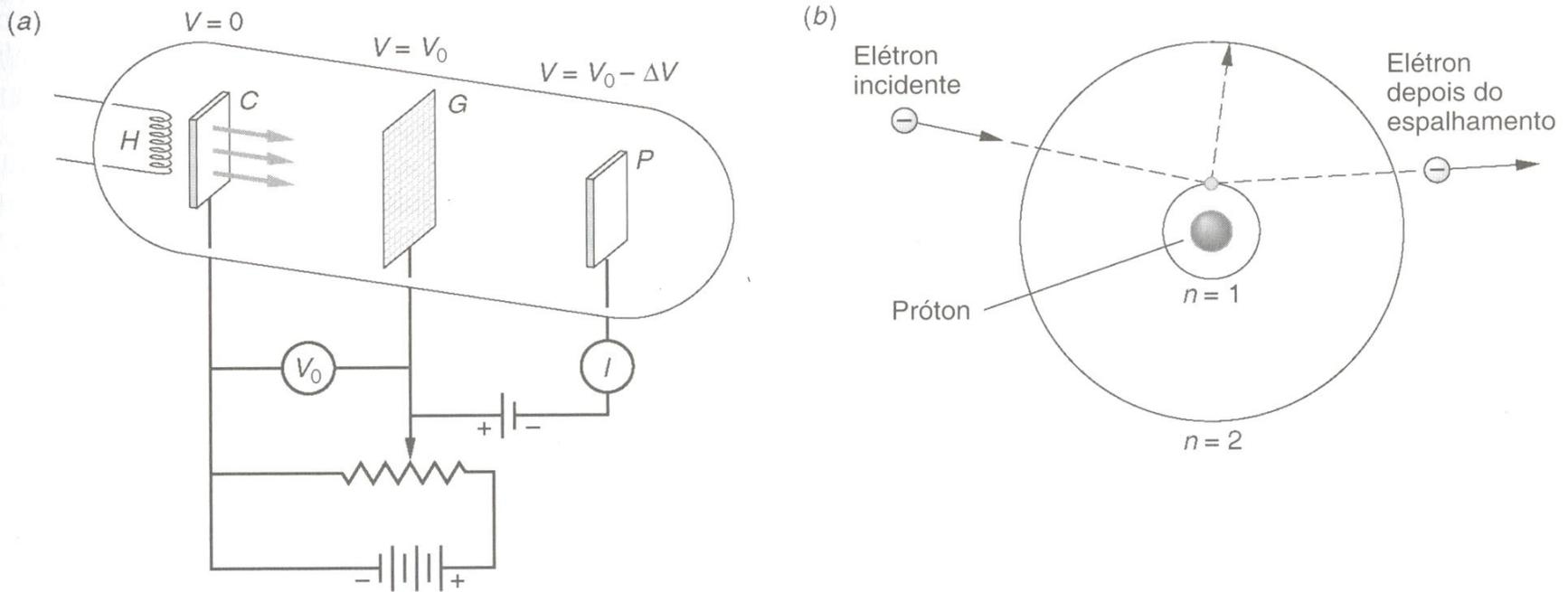


Fig. 4-20 (a) Diagrama esquemático do experimento de Franck-Hertz. Elétrons ejetados do catodo aquecido C são atraídos pela grade positiva G . Os elétrons que passam pelos furos da grade chegam à placa P e portanto contribuem para a corrente I , se tiverem energia suficiente para vencer o pequeno potencial negativo ΔV . O tubo contém um gás do elemento a ser estudado. (b) Resultados possíveis para o hidrogênio. Se o elétron incidente não tiver energia suficiente para transferir uma parcela $\Delta E = E_2 - E_1$ para o elétron do hidrogênio na órbita $n = 1$ (estado fundamental), o espalhamento será elástico; se o elétron tiver uma energia cinética igual ou maior que ΔE , o espalhamento será inelástico e uma energia ΔE será transferida para o elétron que está na órbita $n = 1$, transferindo-o para a órbita $n = 2$. O elétron excitado voltará rapidamente para o estado fundamental, emitindo um fóton de energia ΔE .

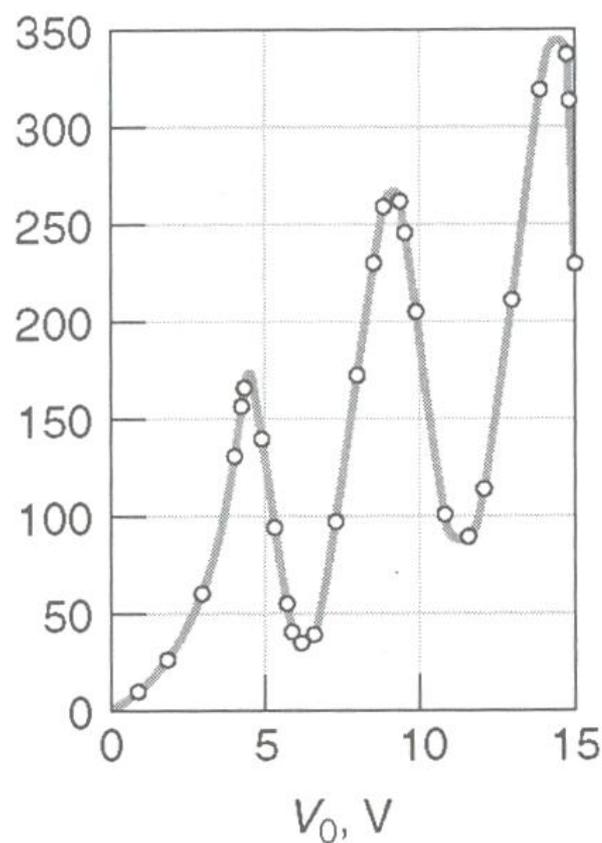


Fig. 4-21 Corrente em função da tensão de aceleração no experimento de Franck-Hertz. A corrente diminui porque muitos elétrons perdem energia em colisões inelásticas com átomos de mercúrio e portanto não conseguem vencer o pequeno potencial negativo indicado na Fig. 4-20a. O espaçamento regular dos picos nesta curva indica que apenas uma certa energia, 4,9 eV, pode ser transferida para os átomos de mercúrio. Esta interpretação é confirmada pela observação de fótons com uma energia de 4,9 eV emitidos pelos átomos de mercúrio quando V_0 é maior que esta energia. [Fonte: J. Franck e G. Hertz, *Verband Deutscher Physikalischer Gesellschaften*, **16**, 457 (1914).]

O diagrama de energia dos estados do átomo de mercúrio: um elétron do átomo no EF precisa de $4,9\text{eV}$ para mudar de camada e o átomo ir ao 1º excitado

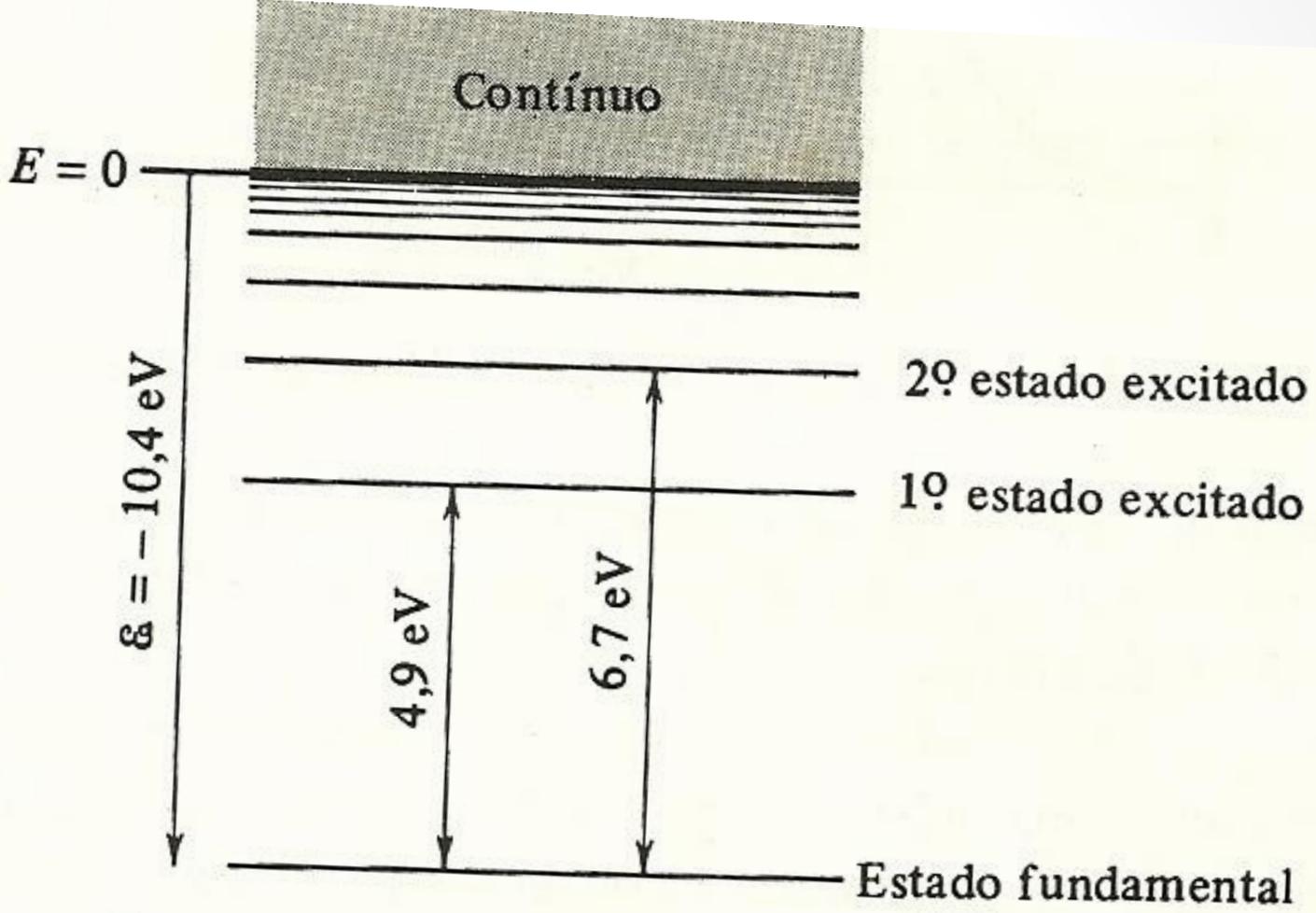


Fig. do Eisberg - Resnick