Instituto de Física
USP

Física V - Aula 23

Professora: Mazé Bechara

Aula 23– Aplicações do Modelo de Bohr.

1. **Aplicações relativas ao modelo de Bohr:**
   1. **continuação da aplicação da aula 22:**
   2. **Q15 do Guia ao Tópico III;**
   3. **o átomo positrônico.**

2. **Átomos de muitos elétrons –** os raios e velocidades das órbitas dos elétrons comparadas com a do H. O modelo de camadas + o princípio de exclusão de Pauli para descrever as propriedades físico-químicas dos elementos.

3. **A descoberta de Moseley sobre a relação entre a frequencia do raio-X e o Z (na linguagem atual) do átomo. O processo que gera a estrutura fina dos espectros de raios X.**

Transições no modelo de Bohr - Aplicação

Um átomo de H no estado cuja energia de ionização é de +0,85eV faz uma transição para o estado com energia de excitação de 10,20eV. Adote as hipóteses do modelo de Bohr e os seus resultados para o átomo de hidrogênio.

(a) Determine aenrgia do átomo no estado inicial e no estado final da transição. Diga a que estados excitados do átomo de H estes estados se referem, e qual é o momento angular oarbita de cada estado. Justifique. **Resp. E=-0,85eV, 3º estado excitado, L=4$\hbar$; E=-3,40eV, 1º estado excitado L=1$\hbar$.**

(b) Descreva o processo da transição atômica. Determine a frequencia e o comprimento de onda da REM emitida na transição. Este comprimento de onda é visível? E de qual das séries do átomo de H? Justifique. **Resp: ν=2,55eV/h=6,17$\times 10^{14}$Hz; λ=4875$\times 10^{-10}$m=4875 angstrons (visível).**

(c) Escreva as equações de energia e momento linear na transição do item anterior. Há conservação destas grandezas? Justifique.

(d) Haverá necessariamente outras transições após a primeira? Se sua resposta far positiva, explicite quais transições em um diagrama de energia atômica do H. Indique neste diagrama as energias e os momentos angulares orbitais de cada estado.

Estrutura no Modelo de Bohr - Aplicação

Baseada na Questão 15 do Guia ao Tópico III

Adotando o modelo de Bohr

(a) **Calcule a energia total do estado fundamental do átomo de He** desprezando todas as interações entre eles. **Justifique**

(b) **Considerando agora a repulsão mútua** devido às cargas dos elétrons, e supondo que eles mantenham entre si a distância máxima (velocidade relativa nula) **calcule a energia elétrica de interação entre eles e a energia do átomo no estado fundamental neste caso. Justifique.**

(c) Com base nos cálculos acima **estime a energia de ionização do átomo de He. Justifique. Compare** o resultado com o **valor experimental: 24,6eV** e comente.

Átomo positrônico no Modelo de Bohr.

1. **Usando o resultado do modelo de Bohr determine a energia do estado fundamental (de mais baixa energia) do átomo positrônico.**
2. **No modelo de Bohr é possível ter este átomo estável?**
3. **Qual é a distância entre as cargas no átomo positrônico no estado de menor energia comparado com a distância entre as cargas no H? e a velocidade do movimento relativo, como se comparam?**

Questão sobre os átomos de Z elétrons

1. Em que n devem estar os Z elétrons para o átomo estar no estado fundamental? Por que?

2. Se assim for, como se explica a estrutura fina dos raios-X?

3. Como se explica o fato de que alcalinos (1ª coluna da tabela periódica) gostam de se juntar com halogenos (penúltima coluna da tabela aperiódica) para formar substâncias, e os gases nobres (última colona da tabela periódica) se "recusam" a se juntar com outros átomos para formar substâncias?

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																	2 He Helium 4.002602
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012182											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
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 (209.9871)	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 Unurseptium	118 Uuo Ununoctium (294)

			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 231.03588	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)

C Solid
Hg Liquid
H Gas
Rf Unknown

Metals: Alkali metals; Alkaline earth metals; Lanthanoids; Actinoids; Transition metals; Poor metals
Nonmetals: Other nonmetals; Noble gases

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/

Ptable.com

Espectros característicos de raios– X em átomos de muitos elétrons

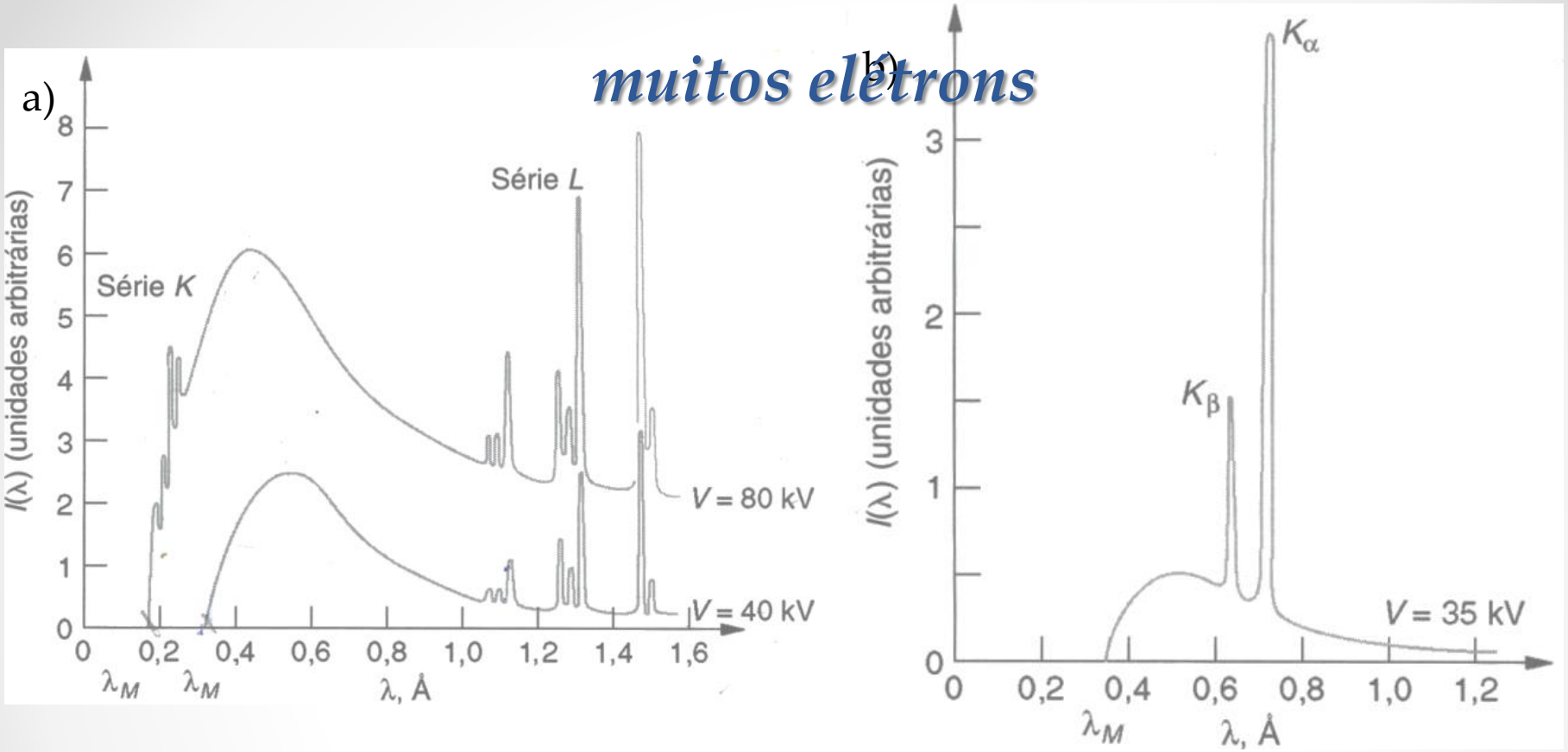
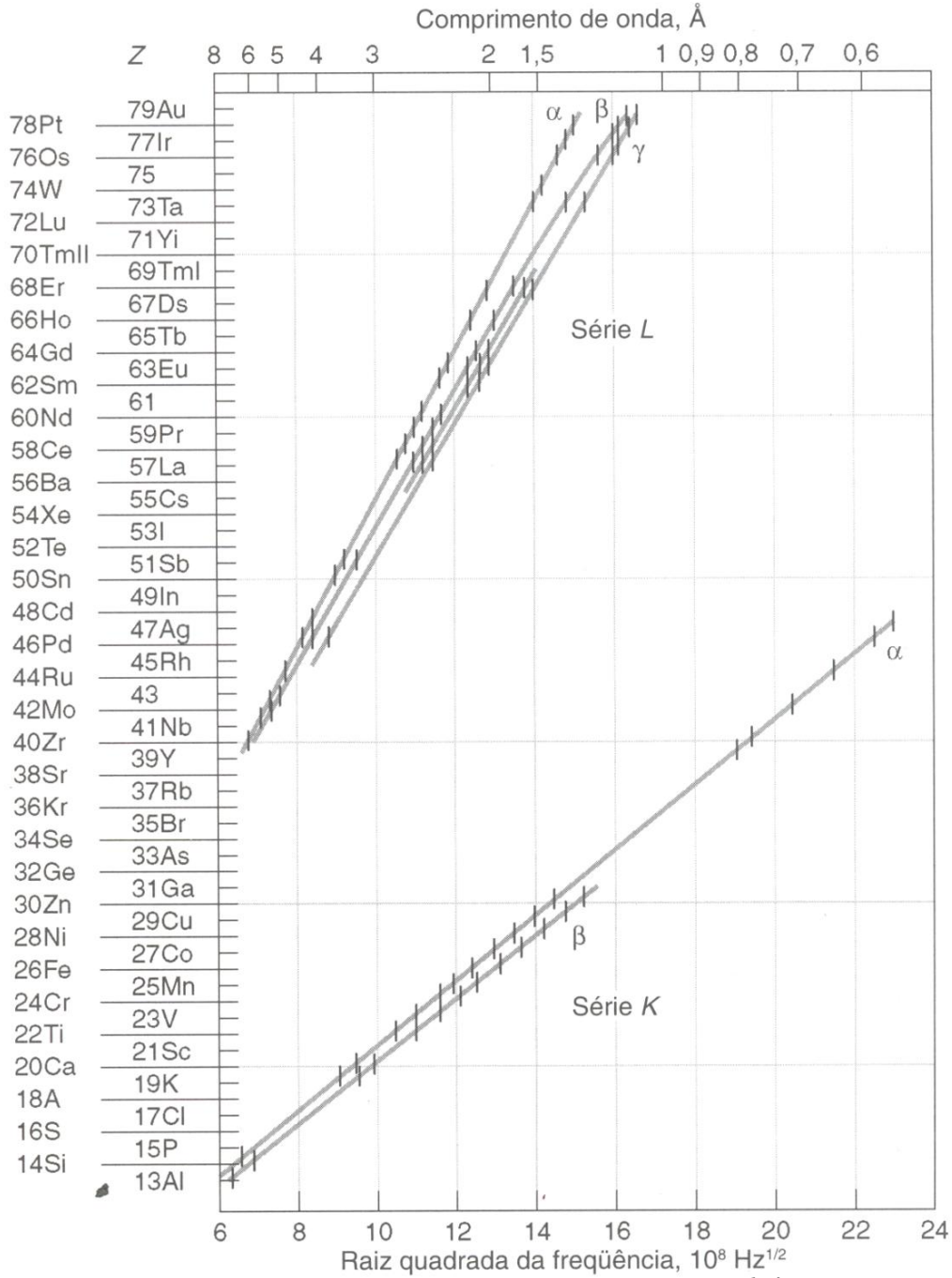


Fig. 3-18 Espectros de raios X do tungstênio (*a*) e do molibdênio (*b*). Os nomes das séries de linhas (*K* e *L*) são explicados no Cap. 4. As linhas da série *L* do Mo (que não aparecem na figura) ocorrem para $\lambda \approx 5$ Å. O comprimento de onda de corte λ_m não depende do material e é dado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

Figura do Tipler & Llewellyn



Fonte da figura: H. Moseley, Philosophical Magazine (6), 27, 713 (1914)

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

Observações de Moseley de 1913

1. As frequencias dos raios-X do espectro característico obedece a relação: $\nu = A^2_n (Z-b)^2$ com b=1 para a série K e b=7,4 para a série L. A_n é praticamente o mesmo para todas as linhas.

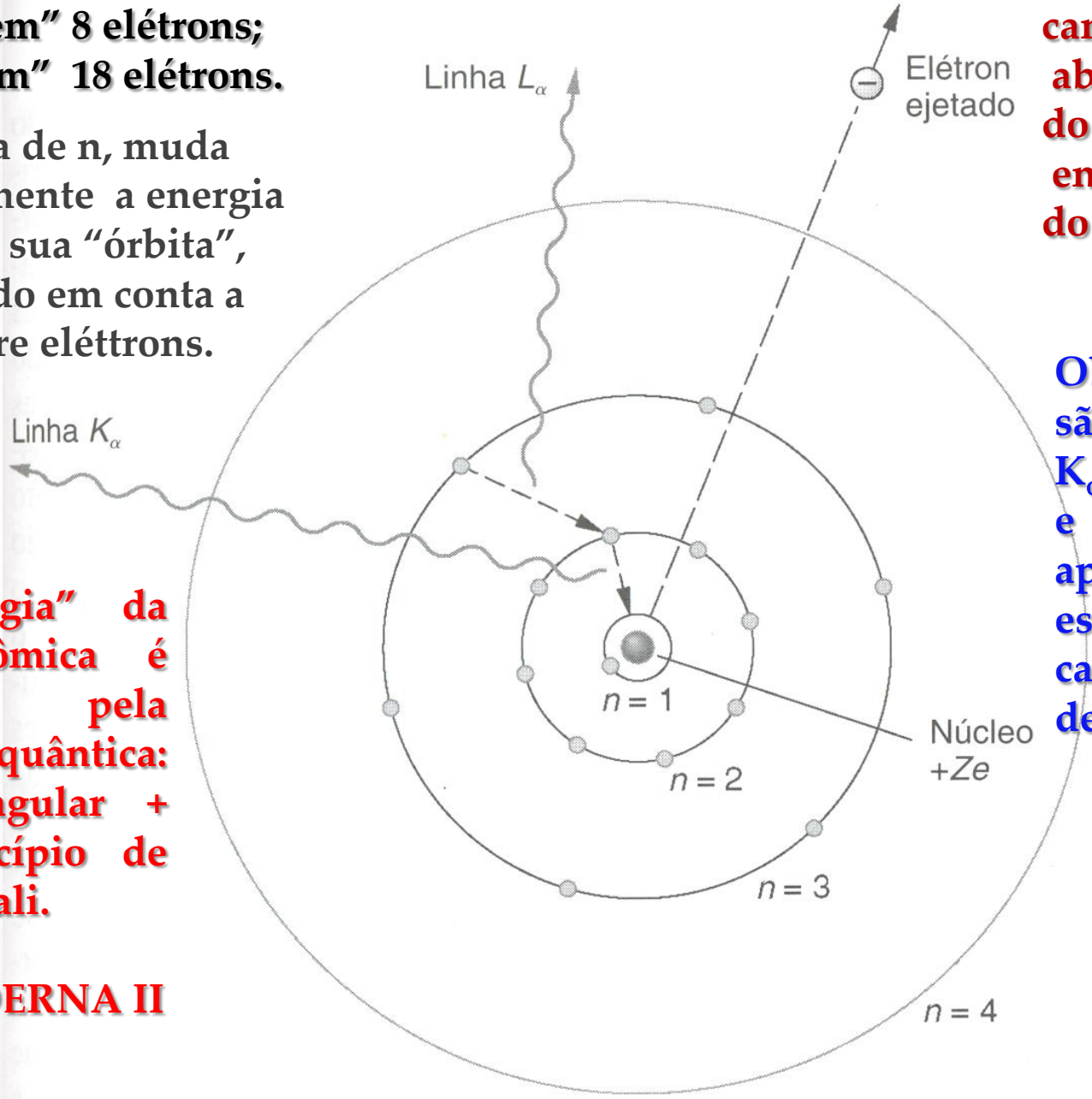
2. Questão: com base no modelo de Bohr encontre uma explicação para este resultado.

Em n=1 "cabem" 2 elétrons;
Em n=2 "cabem" 8 elétrons;
Em n=3 "cabem" 18 elétrons.

Quando muda de n, muda consideravelmente a energia do elétron em sua "órbita", mesmo levando em conta a repulsão entare eléttrons.

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

FÍSICA MODERNA II



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

Observe quem são as linhas K_α e K_β e L_α ,L_β e L_γ que aparecem nos espectros característicos de raios-X.

Figura do Tipler & Llewellyn

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?
- Reposta: 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 (em relação ao modelo de Bohr) 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

O modelo de camadas e os dados de Moseley ensinando sobre os elementos

- **O Experimento de Moseley "reorganizou" a tabela periódica, definindo cada elemento não pela massa, como era antes dele, mas pelo número de cargas no núcleo – o número atômico Z (que é aproximadamente A/2).**

- **O argonio (A=40) e o potássio (A=39) "encaixaram-se" melhor "invertidos" para Z=18 e Z=19, se colocando na coluna como gás nobre e alcalino respectivamente, quando "ordenados" pelo Z e não pela massa.**

- **Também Moseley percebeu que havia lacunas na tabela periódica, que corresponderiam aos elementos com Z=43, 61 e 75, não conhecidos à época, que são respectivamente os elementos tecnécio, o promécio (descoberto em 1945) e o rênio**

Propriedades dos elementos e números mágicos

1. **Os alcalinos** (1ª coluna vertical da tabela periódica), Z= 1,3,11,19,37,55,87 adoram se unir a outros elementos formando substâncias. Em particular facilmente se unem aos halogenos (elementos da penúltima coluna). **O sal Na(11)Cl(17) é um exemplo da "união bem sucedida" de elementos.**
2. **Os gases raros têm várias propriedades físico químicas parecidas. Em particular**, 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:2, 10, 18, 36 e 54 foram inicialmente chamados de "mágicos". A quântica + princípio de exclusão de Pauli explicarão estes números "mágicos". (No Tópico IV vocês entenderão melhor os números "mágicos"). Observe que cada gás nobe tem o Z=Z+1 de um alcalino.**
3. **Vizinhos dos gases raros, na penúltima coluna, estão os halogenos**: **Z=** 9,17,35,53 e 85, com propridades parecidas, e em particular têm um elétron "faltando" para "chegar a um número mágico".

Como explicar isto? Resposta: Modelo de Camadas+princípio de exclusão de Pauli.

Questões sobre observações e proposta de explicação de Moseley

1. Por que uma série tem mais de uma linha com frequencias muito próximas?

2. A produção de raios-X ocorre no freamento de elétrons em matéria sólida. Como que a explicação destas linhas pode estar associada à estrutura de um átomo? E a ligação forte entre átomos?

3. Veja na Ref. Tipler e Llwellyn - Física Moderna – Cap. 4. Observe em particular a explicação sobre as linhas de uma mesma série abaixo da equação 4.34 e argumente se a explicação poderia estar correta .