ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Parâmetros experimentais e teóricos da radiação X

PMT 3301 – Fundamentos de Cristalografia e Difração;

O que vocês entendem por raios X?

Parâmetros experimentais e teóricos da radiação X

Mas qual a razão desses raios serem chamados de X?

- A mesma foi descoberta em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923);
- E na época não se conhecia a natureza da luz;
- Como essa radiação conseguia penetrar o corpo humano, uma das primeiras aplicações foi na utilização para determinar fraturas em ossos;

THE LANCET,] UNIVERSITY OF LONDON.—PRINCE HENRY OF BATTENBERG. [JAN. 25, 1896. 245

work was shared by most speakers and apparently by the meeting generally, though Mr. BRYANT spoke as if he believed that the abuse of the department by mean people of the well-to-do classes was an exceptional occurrence

of the system of voluntary hospitals, it will only be by a more courageous assertion of the right of criticism by the councils of the Hospital Sunday and Hospital Saturday Funds. The advocates of a central board move slowly,

and that the excessive expenditure lay at the door of the special hospitals. What Colonel MONTEFIORE showed more clearly is that a large proportion of the liberality of the public, or, rather, of those who leave money behind them, goes to the special hospitals, to the impoverishment, perhaps, of the large general hospitals. It would seem as if there was something in specialism that appeals to individuals beyond the appeal of the general sufferings of mankind which are ministered to so efficiently in the large general hospitals of the country. But the paper might with advantage have shown in more detail the comparative cost of general and special hospitals.

There was a very general consensus of opinion that the chief hope for a remedy of the abuses which all admit is the creation of a central board, to serve as a kind of adviser to the general public in giving to the various hospitals. It must be admitted that the public gives without much discrimination of the various needs and merits of the hospitals. The principles on which the awards of the Hospital Sunday Fund are based seem to be sound, and have a remarkable degree of acceptance with the hospital authorities, if we may judge from the little opposition which is shown to the decisions of the distribution committee. But they are complicated and difficult to be understood by the people. Those of the Hospital Saturday Fund include a system of marks under which one-fifth is actually given for every 2600 attendances of out-patients. It is, moreover, considered an indication of efficiency to have evening arrangements for seeing out-patients. In other words, the principles of distribution in the Hospital Saturday Fund favour the development of the out-patient department in its worst

"Ne quid nimis."

THE UNIVERSITY OF LONDON.

AT the meeting of Convocation on Tuesday, the 21st inst., a very large number of graduates were present, and by a majority of 226 votes (466 for and 240 against) Professor Silvanus Thompson's resolution for reconstituting the University was carried. The Convocation has thus, in the only way open to it by Charter, declared for a Statutory Commission and for the overriding of its own power of veto. As, however, his Grace the Duke of Devonshire asked for the opinion of the country graduates, and as one of them, Mr. Dembski, explained that the day of the meeting was one on which it was impossible for most of them to attend, we question whether the Government will yet be persuaded to bring in the Bill asked for by those who voted in the majority. We shall look forward with some curiosity to the expression of the Duke of Devonshire's views on the subject, and this will probably not be given until the meeting of Parliament.

PRINCE HENRY OF BATTENBERG.

THE news of the death of Prince Henry of Battenberg will have been received with extreme regret. He was a soldier, a sportsman, and an amiable gentleman, and the spirit of adventure which led him to Africa has been sadly rewarded. The Prince left this country apparently full of physical vigour and in excellent health, and his death is attributable to climatic causes. It will be remembered that he greatly felt the exhausting effects of the heat on his way up to Prahsu, and was shortly afterwards attacked with a malarious form of African fever of a severe type, rendering his return to the base necessary. It occasionally happens, especially in the case of young and healthy persons newly arrived on the Gold Coast, that when attacked with fever, the disease, instead of being of an intermittent, is of a continuous and severe, type, and runs a comparatively

THE NEW PHOTOGRAPHIC DISCOVERY.

Sunday Funds was sufficient to show to the public the merit of hospitals without the creation of a central body, as recommended by the Lords' Committee and as generally approved by almost every speaker on Monday. But the public sees little of the awards of the Funds and less of the data on which they are founded. The authorities, too, of the Hospital Saturday and Sunday Funds are regarded as not sufficiently representative in constitution to satisfy all parties, and are a little timid in the use of their critical faculties. They who give have the best right to be critical, and if a central board is not to be created for guiding public opinion in reference to

instance of the unfortunate Prince. That he received all the skilful attention which could be afforded goes without saying; we can only deeply regret that it was given in vain. We offer our respectful sympathies to the mother of his children and to the rest of the Royal Family in the great affliction and loss that they have sustained.

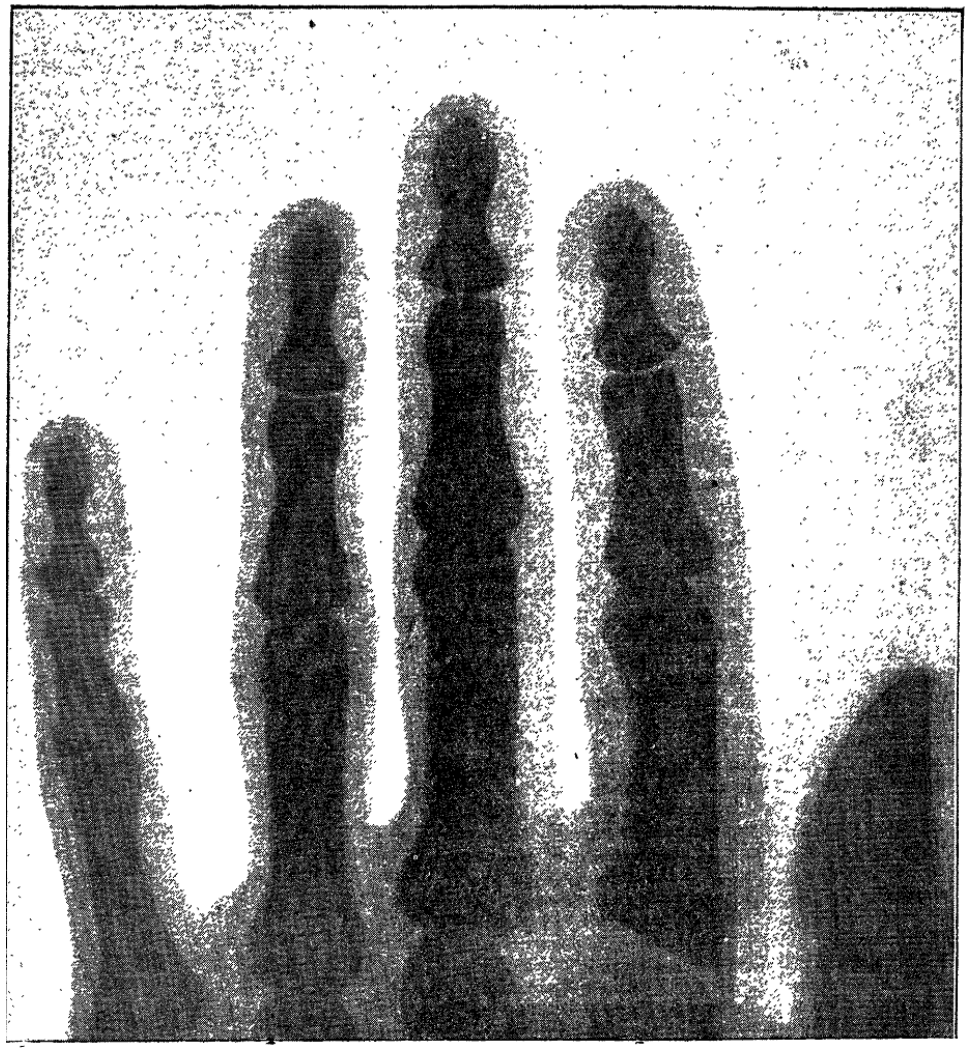
THE NEW PHOTOGRAPHIC DISCOVERY.

As we predicted last week, the developments of the new photographic discovery proceed apace. The remarkable results obtained by Professor Roentgen in Würzburg have been confirmed by Mr. A. A. C. Swinton so completely that we learn from him that lantern slides of photographs of the human hand and of other objects may shortly be

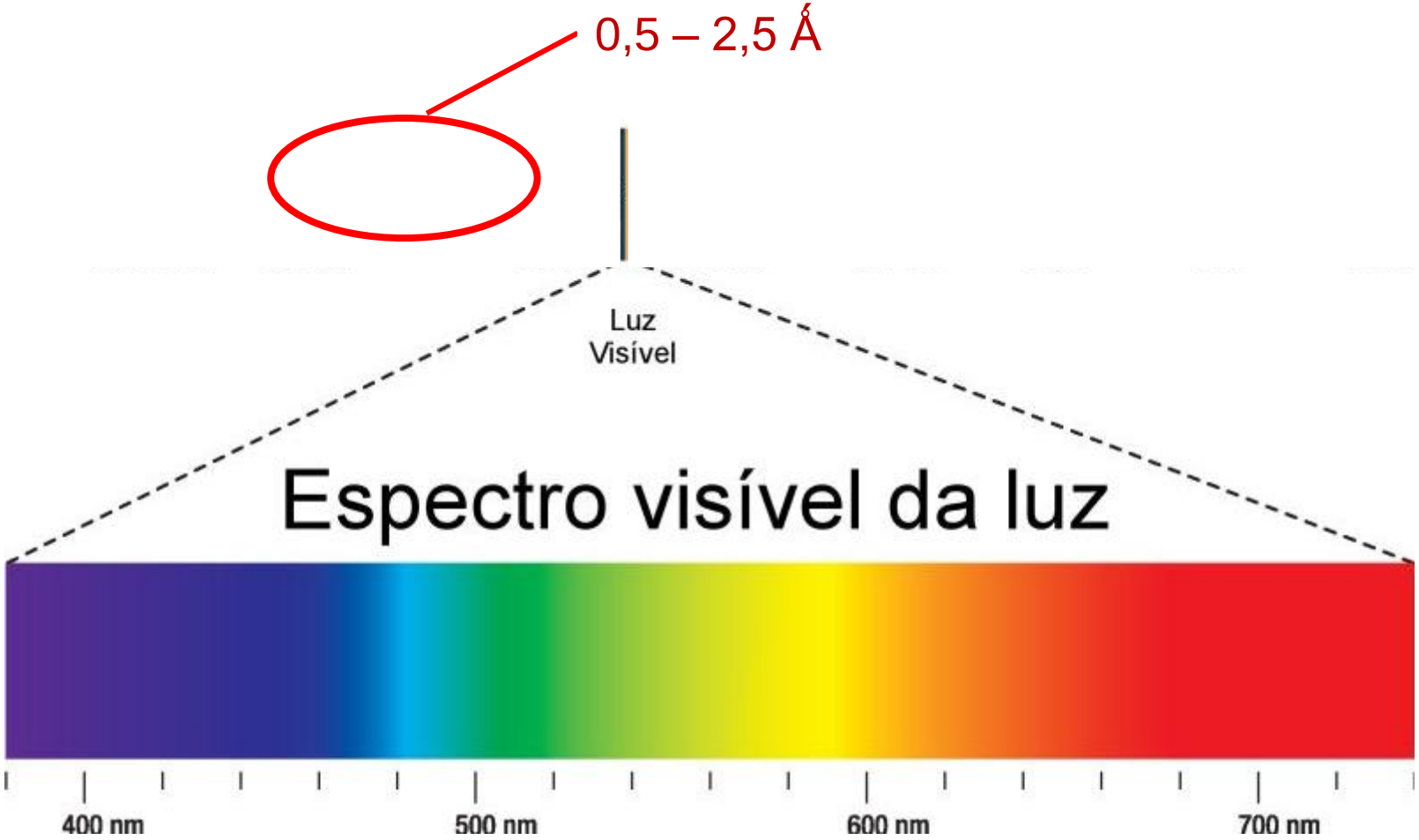
Mas qual a razão desses raios serem chamados de X?

ct nature
of the ra es which,
ordinarily nderstood.

Mas qual a razão desses raios serem chamados de X?



Radiação eletromagnética

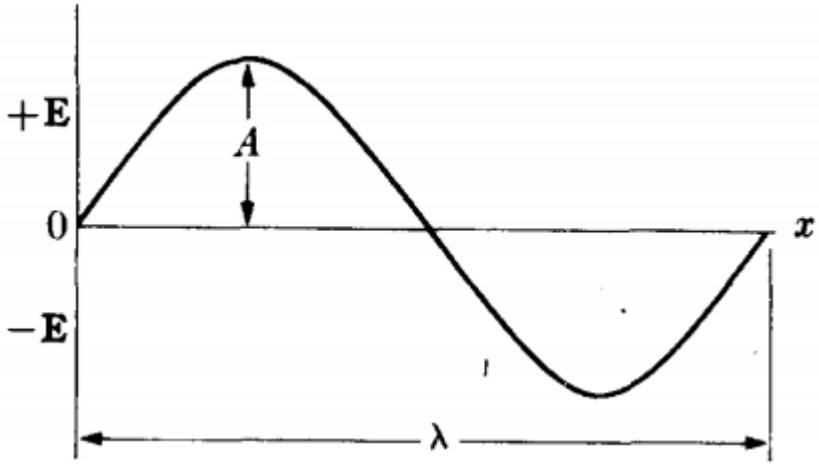


Frequência e comprimento de onda

- É bem conhecida a relação entre frequência e comprimento de onda;

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

- λ = Comprimento de onda;
- c = Velocidade da luz (3 x 10^8 m/s);
- f = frequência.



Exercício 01

- Considerando que o comprimento de onda de raios X é de 2 Å, calcule a frequência da mesma;

Definição de intensidade de raios X

- Toda radiação eletromagnética carrega energia;
- Taxa de fluxo dessa energia é chamada de intensidade;
- Entretanto, devido a complexidade da unidade dessa propriedades (joule/m^2/sec);
- A grande maioria das medições de raios X são consideradas com relação a algum parâmetro;
- Por essa razão, as mesmas são definidas com unidades arbitrárias.

Dualidade onda partícula

- Até agora, a difração de raios X foi considerada somente como uma onda;
- Entretanto, de acordo com a física moderna, toda onda também pode ser considerada como uma partícula;
- E nesse caso a mesma é chamada de "Fóton";
- É possível calcular a energia desses fótons (E);

$$E = hf$$

- h = Constante de Plank ($6{,}63 \times 10^{-34}$ joule.s).

Exercício 02

- Calcule a energia da onda apresentada no exercício 1;

Produção de raios X

- A geração de raios X ocorre quando elétrons com altas velocidades são desacelerados bruscamente;
- Para isso, estes elétrons são bombardeados em um metal que é chamado de alvo;
- Além disso, durante a desaceleração do elétron, somente 1% da energia associada a desaceleração de elétron é convertida raios X;
- Os outros 99% são transformados em energia térmica.

- Dessa forma, todo tubo de raios X precisa ter:
- 1) Fonte de elétrons; 2) Uma alta tensão elétrica; 3) um alvo metálico; 4) Um resfriador de água para o alvo metálico.

Tubo de raios X por filamento

- Tubo de vidro que está em vácuo;
- O catodo é composto por um filamento de tungstênio que é aquecido devido a passagem de uma corrente;
- Ao redor do filamento, existe uma capsula metálica carregada negativamente;

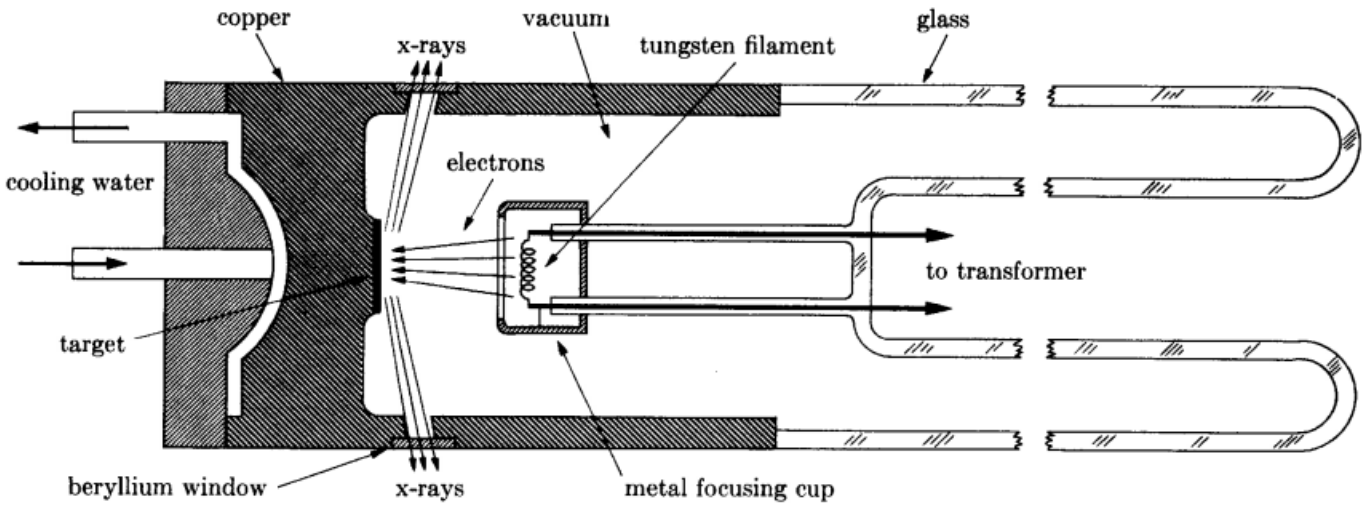


Fig. 1–15 Cross section of sealed-off filament x-ray tube (schematic).

Tubo de raios X por filamento

- Os elétrons bombardeiam o anodo que neste caso contem o metal alvo;
- Quando o elétron é desacelerado no alvo de metal, é neste instante que a radiação de raios X é gerada, sendo emitida para todas as direções;
- Cada tubo possui de uma a duas janelas que permitem que a radiação possa sair (geralmente é feita de Berílio).

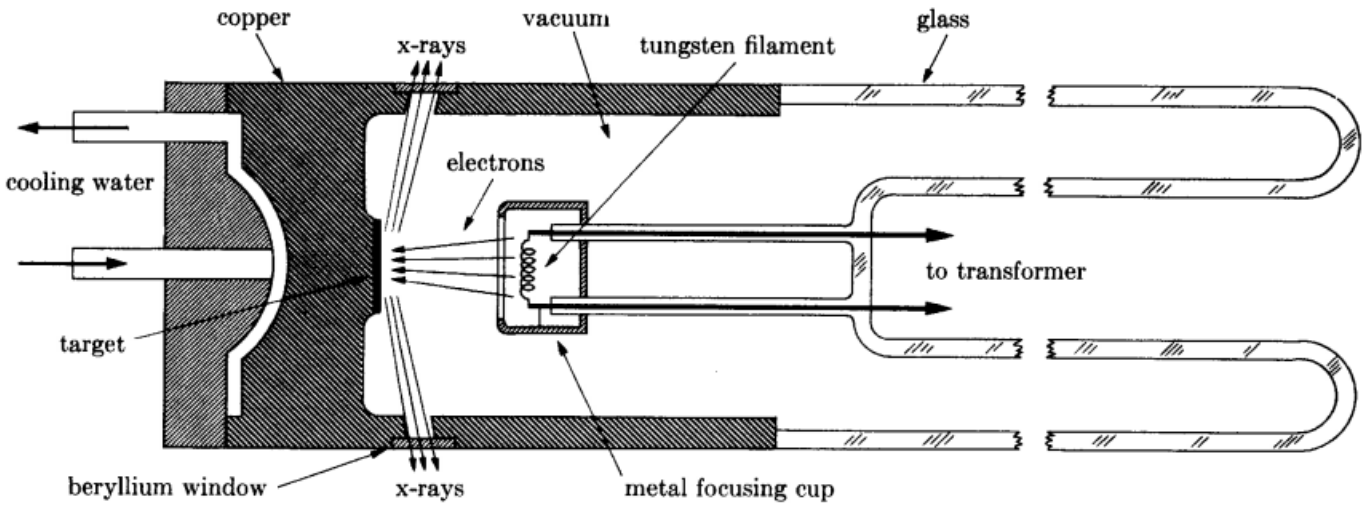


Fig. 1–15 Cross section of sealed-off filament x-ray tube (schematic).

Exercício 03

- Explique como é a geração da radiação de raios X. Use cada um dos elementos presentes na figura abaixo

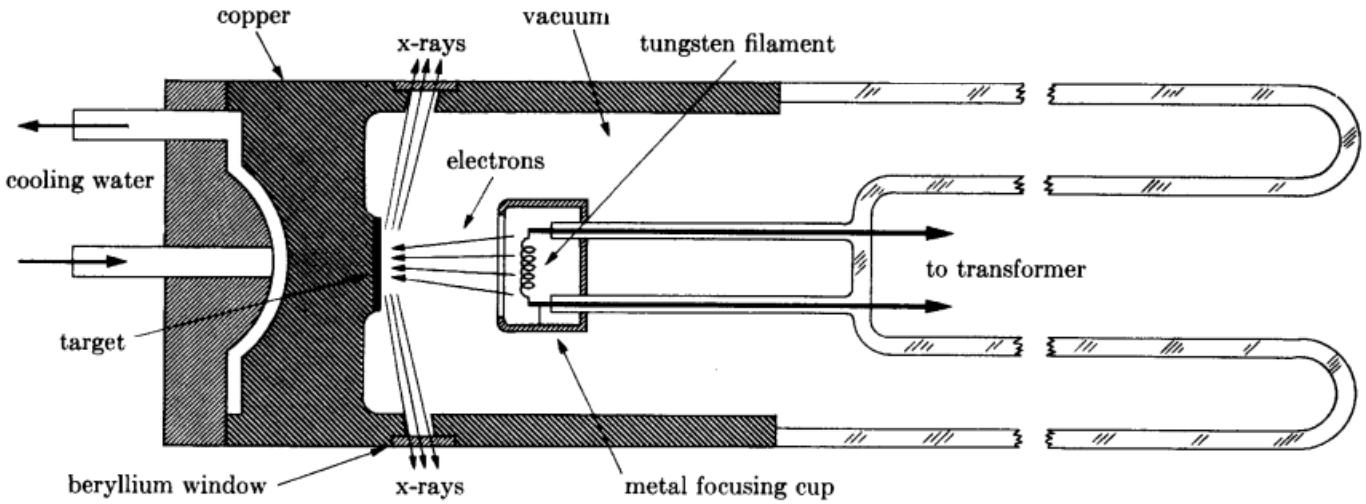
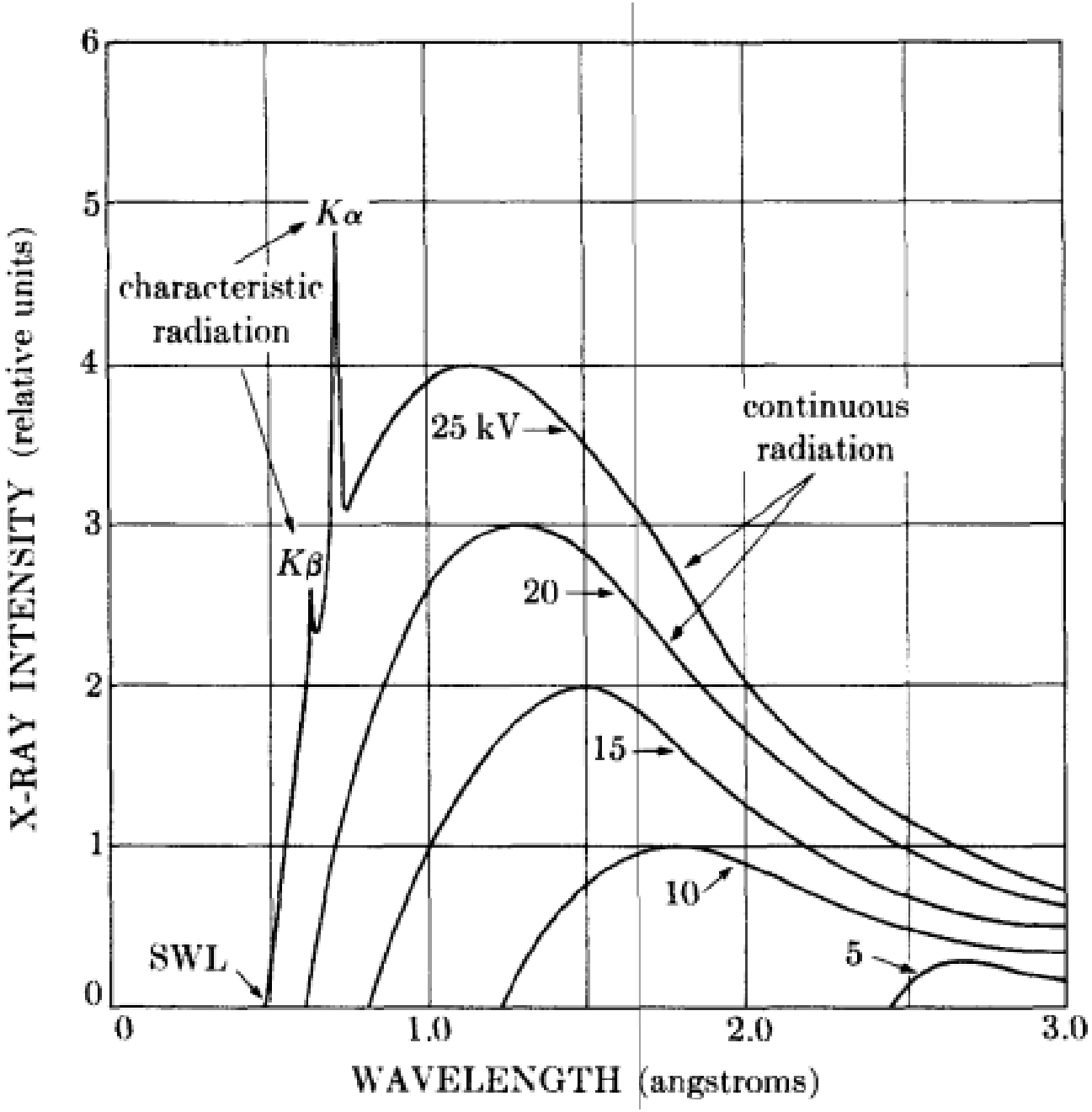


Fig. 1–15 Cross section of sealed-off filament x-ray tube (schematic).

Tipos de radiação emitidas pela lâmpada

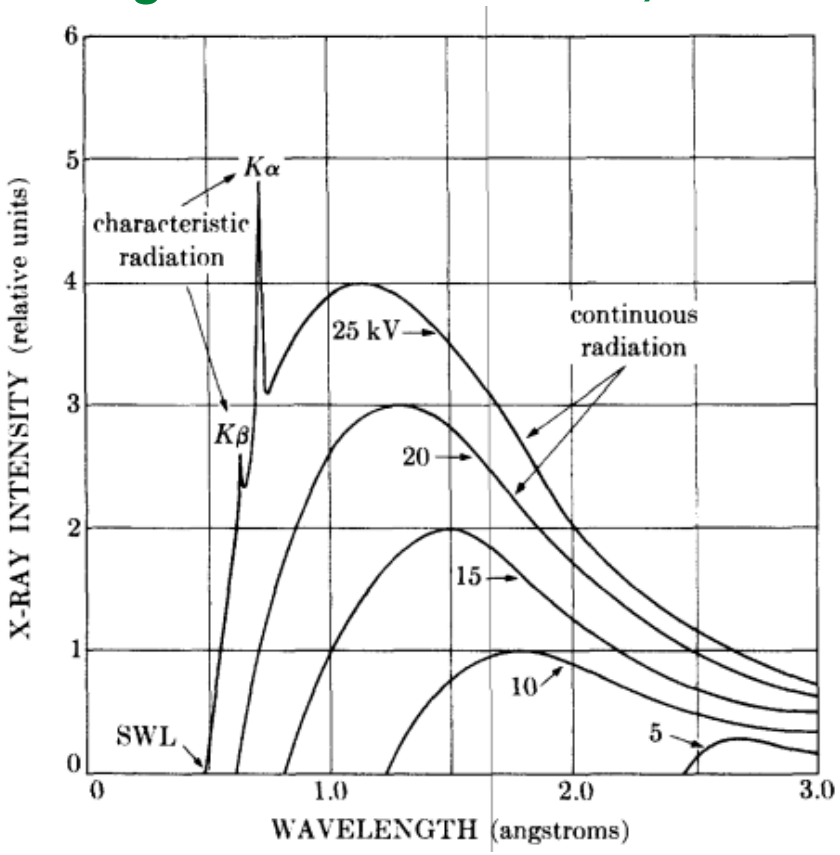
- Radiação contínua (branca);
- Radiação característica (raios X).

- Ela consis onde
a sua ir



Radiação contínua

- Essa radiação é gerada pela rápida desaceleração dos elétrons que atingem o alvo de metal;



- Entretanto, nem todos os elétrons irão desacelerar da mesma forma;
- Alguns elétrons sofrerão diversos impactos e perderão a sua energia gradativamente;
- Outros são desacelerados em um único impacto, gerando fotóns com a maior energia;
- SWL (short-wavelenght limit).

Parâmetros experimentais e teóricos da radiação X

SWL (short-wavelenght limit)

- Sabe-se que energia cinética associada a velocidade do fóton pode ser estimada por

$$E_k = eV = \frac{mv^2}{2}$$

- m = massa do elétron (9,11 x 10^{-31} Kg);
- v = velocidade do elétron no momento antes do impacto (m/s);
- V = Tensão elétrica entre os eletrodos;
- e = carga do elétron (1,6 x 10^{-19} C);

Exercício 04

- Calcule a energia cinética e a velocidade de um elétron que é acelerado em um tubo de raios X que esta sob uma tensão elétrica de 30 kV.

SWL (short-wavelenght limit)

- Considere que este elétron calculado no exercício anterior seja desacelerado em decorrência do impacto no alvo de metal.

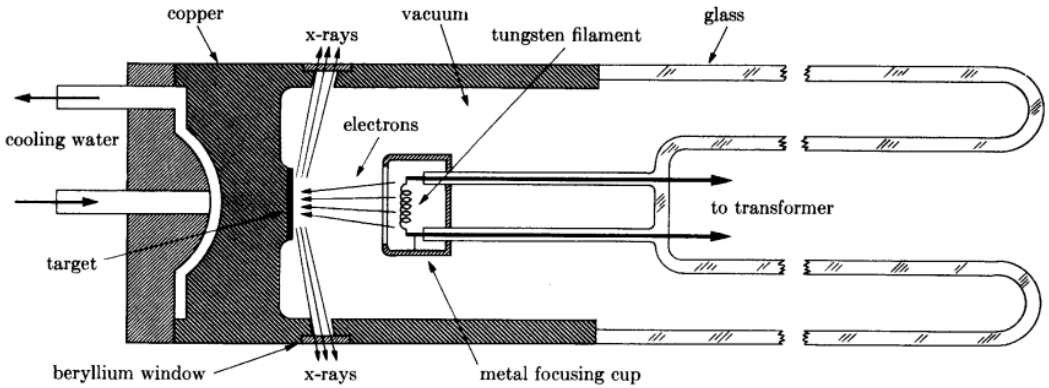
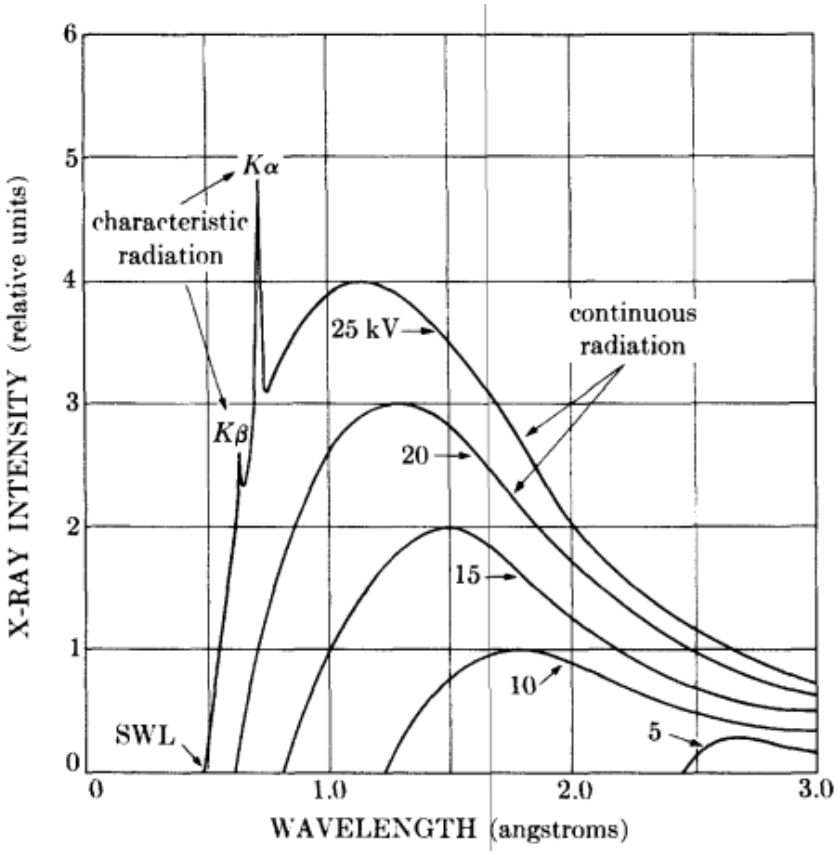


Fig. 1–15 Cross section of sealed-off filament x-ray tube (schematic).

- Sabendo que é possível calcular a energia do fóton, diga qual é o comprimento de onda de um elétron que é totalmente desacelerado no impacto com o alvo de metal:

Exercício 05

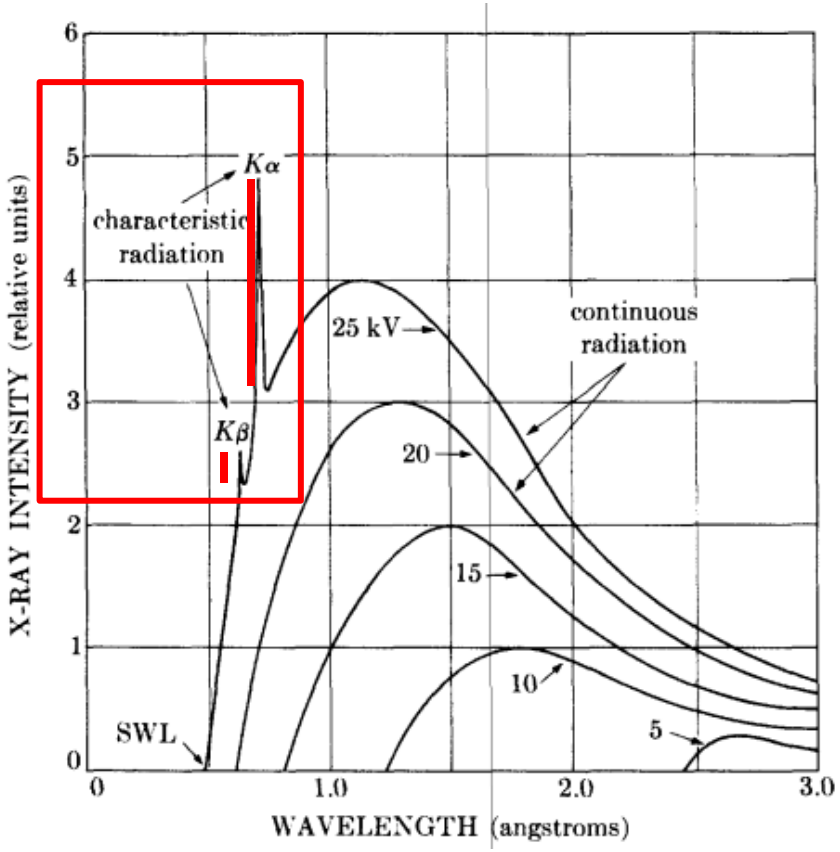
- Diga qual é o comprimento de onda de um elétron que é totalmente desacelerado no impacto com o alvo de metal, considerando que a tensão elétrica no tubo de raios X seja de:



5 kV; 10 kV; 15 kV e 20 kV. Compare o resultado obtido com o gráfico ao lado.

Radiação característica

- Quando a tensão no tubo de raios X é maior que um determinado valor;



- A radiação característica do alvo de metal começa a aparecer;
- Estes picos variam para cada alvo de metal;

Radiação característica

- Considere um átomo com um núcleo cercado por elétrons em várias camadas;
- As camadas K, l, M ... correspondem ao número quântico principal.

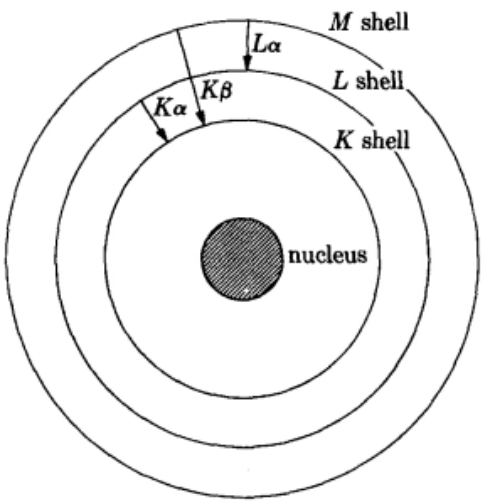


Fig. 1–7 Electronic transitions in an atom (schematic). Emission processes indicated by arrows.

- Um elétron acelerado pelo tubo de raios X;
- Pode se chocar com um elétron da camada K;
- Se a energia for alta o suficiente, o elétron da camada K pode ser arrancado e o átomo ficará excitado.

Radiação característica

- Algum elétron das camadas mais externas pode “cair” para ocupar a posição do elétron que foi excitado;
- Esse decaimento emite energia no processo;
- Dependendo de qual camada atômica o elétron decai;
- Diferentes radiações podem ser emitidas;
- Por exemplo: A radiação $K\alpha$ é emitida por um elétron que saiu da camada L e ocupou um espaço vazio na camada K

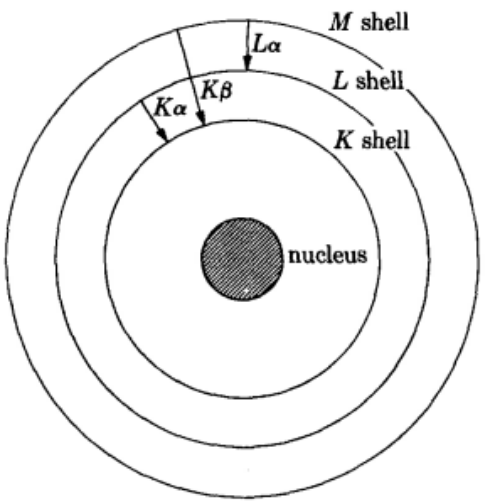


Fig. 1–7 Electronic transitions in an atom (schematic). Emission processes indicated by arrows.

Exercício 06

Explique como é o processo de geração da radiação de raios X característica. Além disso, explique a diferença entre a radiação $K\alpha$, $K\beta$ e $L\alpha$.

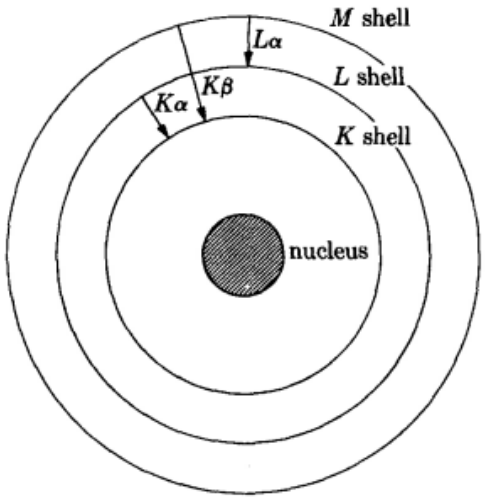


Fig. 1–7 Electronic transitions in an atom (schematic). Emission processes indicated by arrows.

Exercício 07

Considere um tubo de raios X de molibdênio. Sabendo que o comprimento de onda emitidos das camadas K ($2{,}84.10^{-15}$ J) e L ($3{,}98.10^{-16}$ J) são 0,7 Å e 5 Å, calcule a energia dessas ondas.

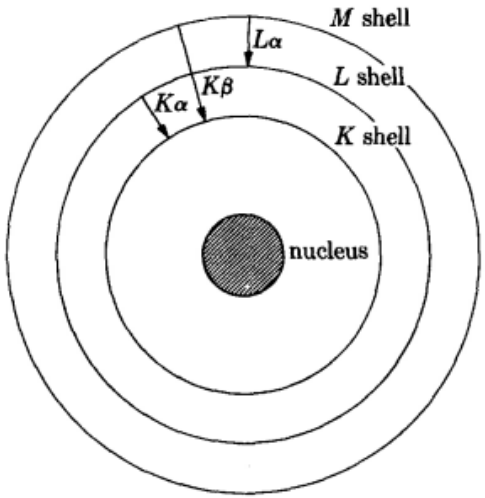


Fig. 1–7 Electronic transitions in an atom (schematic). Emission processes indicated by arrows.

Radiação característica

Se a radiação característica é gerada pelo decaimento atômico, qual a razão de não aparecer a radiação característica das outras camadas atômicas?

Radiação característica

- As radiações K são as mais importantes do ponto de vista da aplicação;
- As radiações da camada L (ou superior) possuem um comprimento de onda grande;
- Consequentemente, são pouco energéticas;
- Sendo facilmente absorvidas.

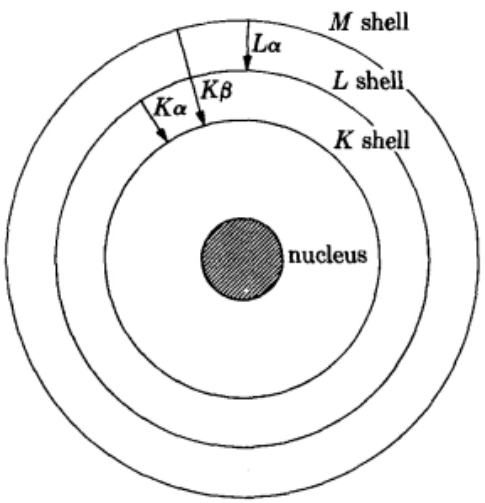
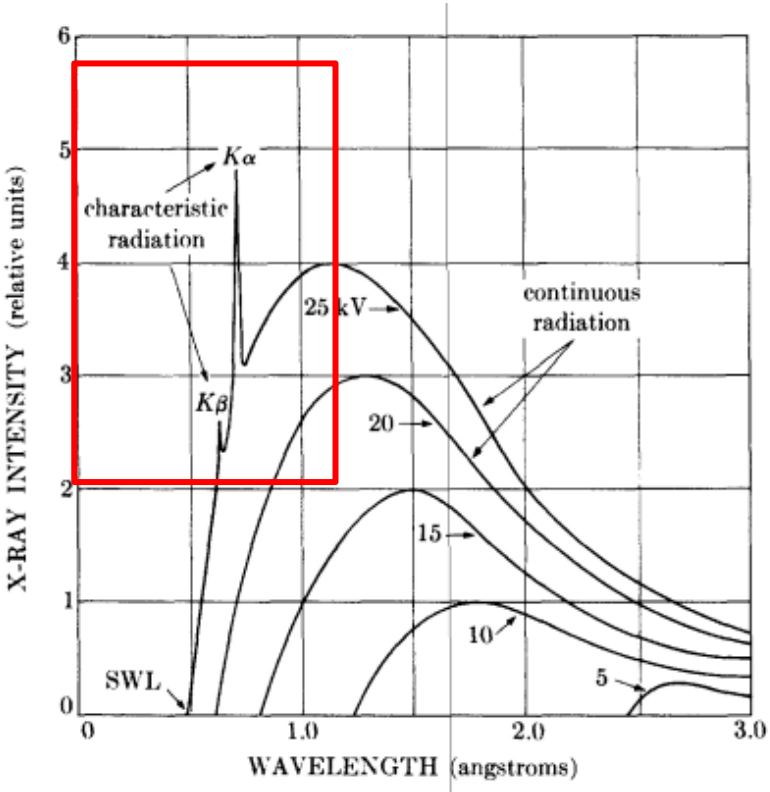


Fig. 1–7 Electronic transitions in an atom (schematic). Emission processes indicated by arrows.

Radiação da camada *K*

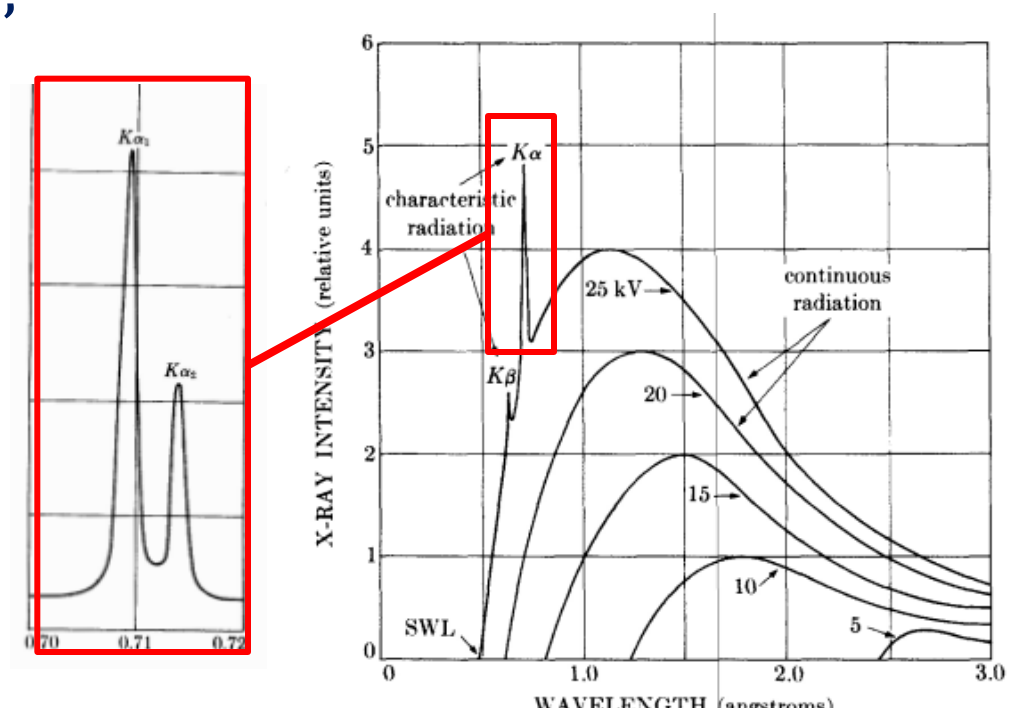
- Existem diversos picos de radiação característico produzidos pela camada *K*.
- Mas existem apenas 3 que possuem uma maior intensidade:
- *Kα e Kβ* ;



Radiação da camada $K\alpha$

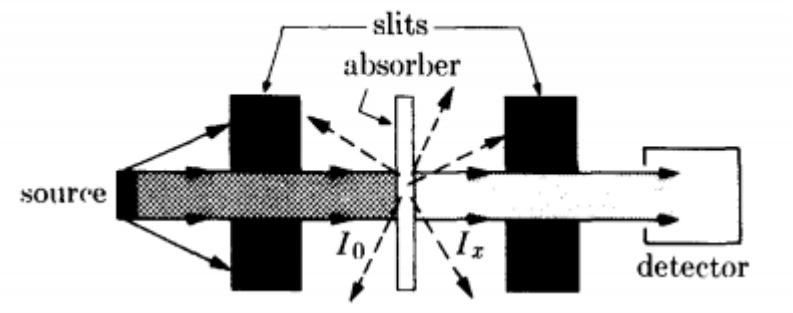
- A radiação $K\alpha$ é composta pelas radiações $K\alpha_1$ e $K\alpha_2$;
- Existem situações onde estas radiações não se separam (são chamadas de linhas de $K\alpha$);
- Existem situações onde as radiações se separarem (são chamadas de dubletos $K\alpha$);
- $K\alpha_1 = 2\ K\alpha_2$
- $K\alpha_1 = 5\ K\beta 1$
- $K\alpha_1$ = referência;

$K\alpha_1$:	0.709 Å,
$K\alpha_2$:	0.714,
$K\beta_1$:	0.632.



Absorção de raios X

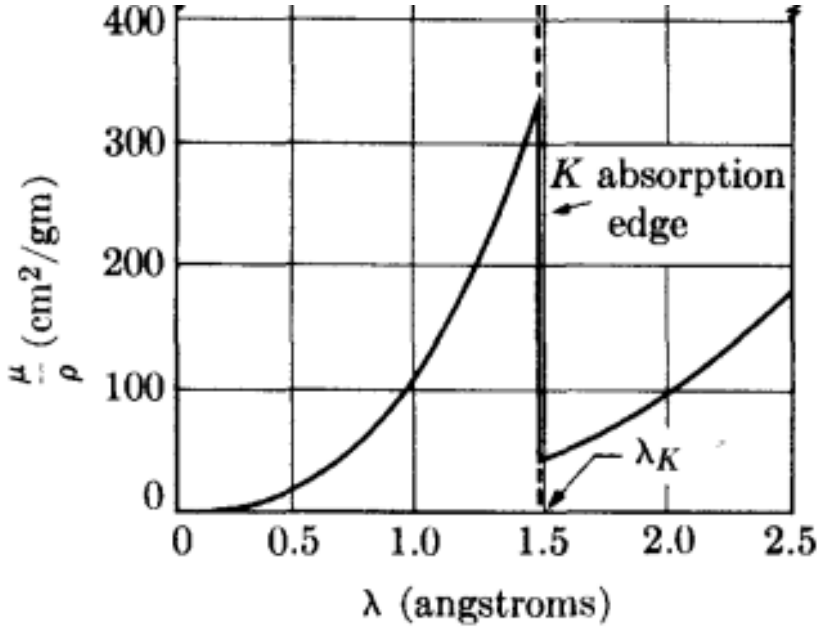
- A absorção ocorre devido a transição eletrônica;



- As ondas de raios X possuem uma energia que podem excitar os elétrons do material analisado;
- Dessa forma, pode ocorrer um decaimento de elétrons, emitindo uma radiação X do material analisado;
- A mesma é chamada de "radiação fluorescente".

Qual a importância da fluorescência?

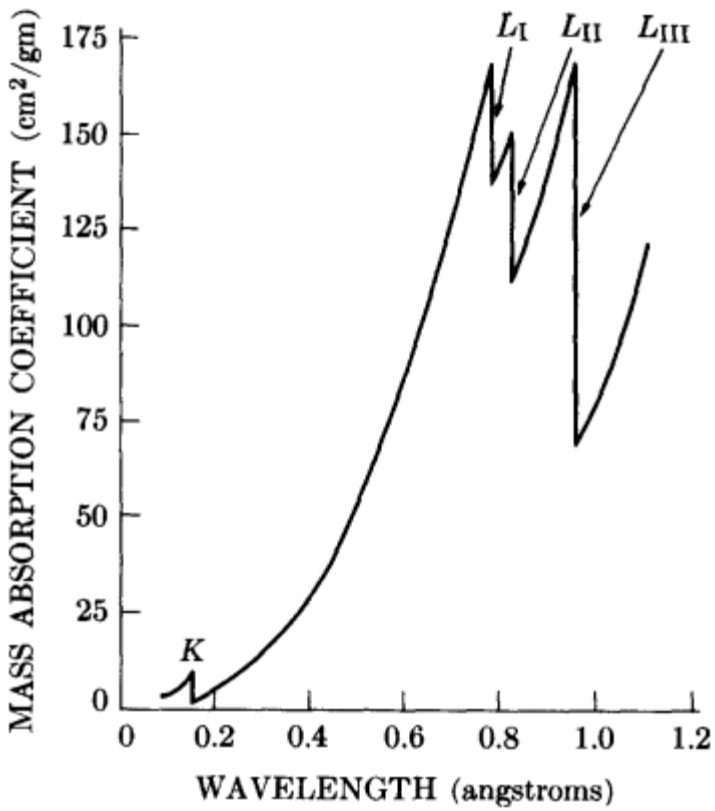
- μ = Coeficiente de absorção linear;
- ρ = Massa específica;
- μ/ρ = Coeficiente de absorção de massas;



- Quanto maior a energia da radiação, menor será a absorção total;
- Entretanto, para um determinado valor de energia, uma "banda de absorção" aparecerá.

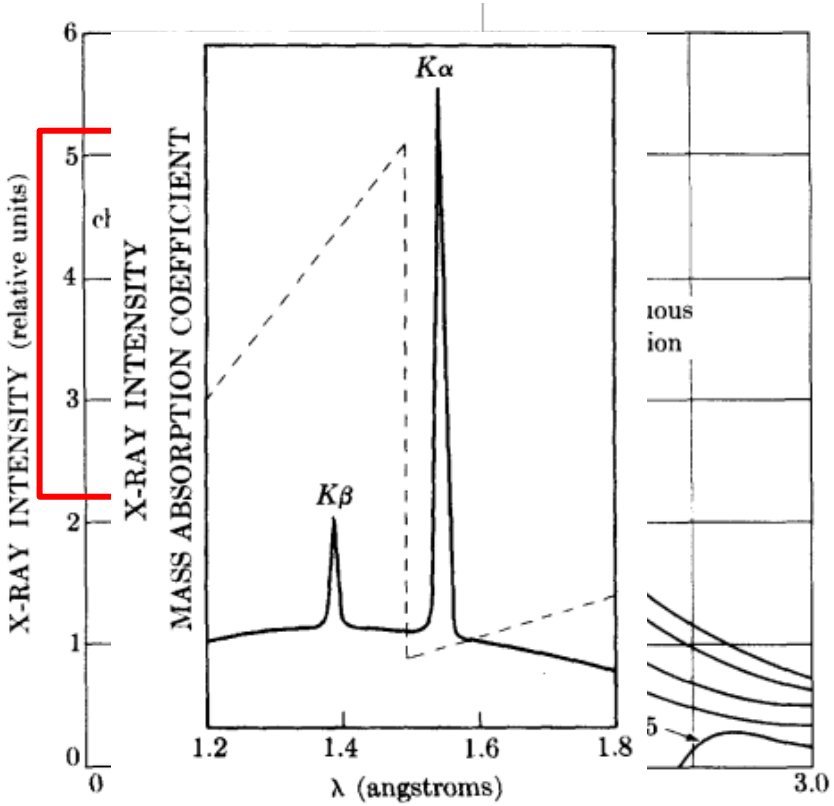
Qual a importância da fluorescência?

- O que é mais fácil, excitar um elétron da camada K ou L? L ou M?
- Assim, existem outras bordas de absorção;
  - Que correspondem a energia necessária para excitar um elétron de uma determinada camada.



Filtros

- A grande maioria dos experimentos de raios X necessita de uma radiação monocromática;

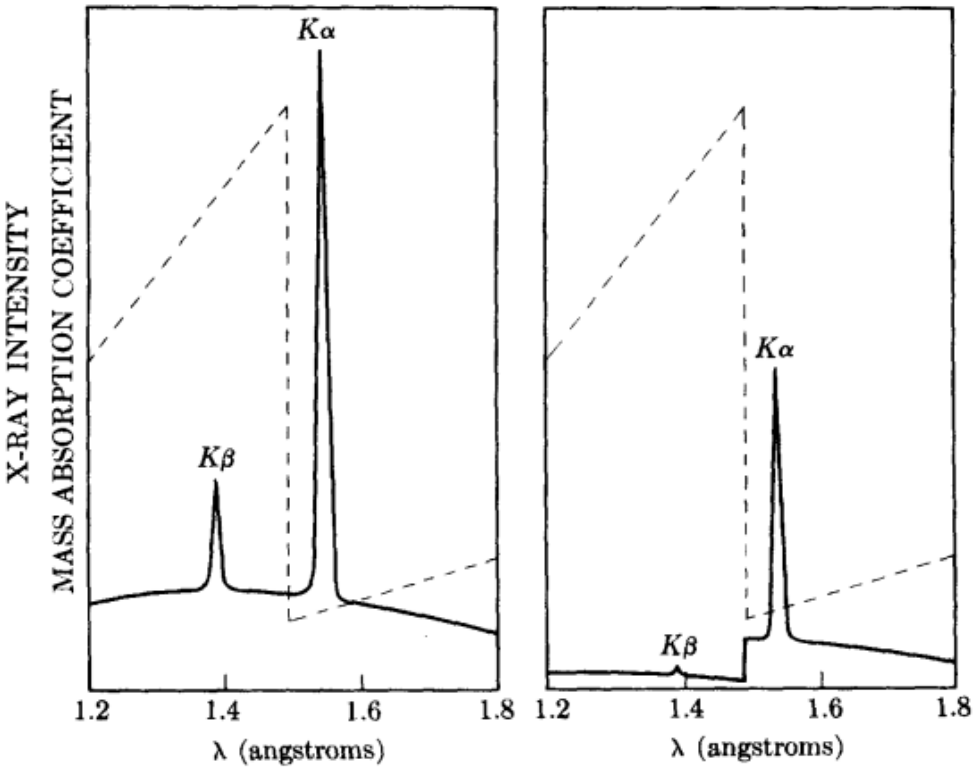


(a) No filter

- Contudo, a radiação emitida é composta pela radiação contínua, radiação $K\alpha$ e $K\beta$;
- Para maximizar somente a radiação $K\alpha$;
- Usa-se um filtro que possui uma borda de absorção entre os picos da radiação $K\alpha$ e $K\beta$;

Filtros

- Para cada tubo, deve-se usar um filtro de elemento diferente;



(a) No filter (b) Nickel filter

Table 1–1
Filters for Suppression of $K\beta$ Radiation

Target	Filter	Incident beam* $\frac{I(K\alpha)}{I(K\beta)}$	Filter thickness for $\frac{I(K\alpha)}{I(K\beta)} = \frac{500}{1}$ in trans. beam		$\frac{I(K\alpha)\text{ trans.}}{I(K\alpha)\text{ incident}}$
			mg/cm²	in.	
Mo	Zr	5.4	77	0.0046	0.29
Cu	Ni	7.5	18	0.0008	0.42
Co	Fe	9.4	14	0.0007	0.46
Fe	Mn	9.0	12	0.0007	0.48
Cr	V	8.5	10	0.0006	0.49

Precauções de segurança

- A radiação usada na difração de raios X é extremamente perigosa, pois é facilmente absorvidas pelo corpo humano;
- Os principais efeitos da exposição a radiação são:
- Queimadura intensa (pode não ser sentida imediatamente, o que agrava a lesão);
- Doença da radiação (envenenamento por radiação) – Degradação celular devido a danos no DNA, impendindo a reprodução das células;
- Mutação genética.