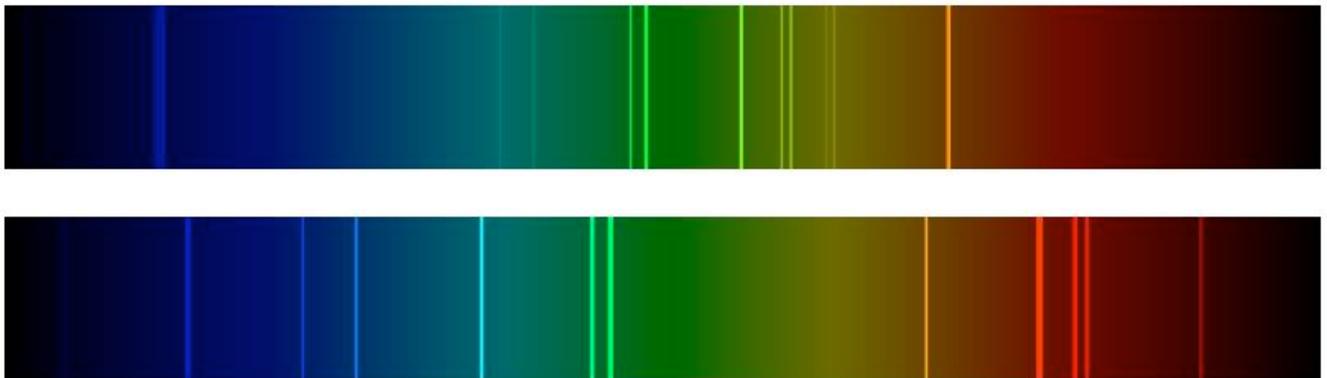




3ª sessão na área da Física de preparação para a EUSO2010



Espectros de riscas de gases sujeitos a descargas: em cima mercúrio e em baixo do cádmio.

1 OBJECTIVO

Identificação de substâncias por análise espectral na zona do visível. Observação dos espectro de riscas de gases sujeitos a descargas num espectroscópio de prisma e num espectroscópio de rede de difracção.

2 INTRODUÇÃO

2.1 A luz

A luz visível distingue-se de outros tipos de radiação electromagnética (como por exemplo microondas, ondas de rádio e raios x) por possuímos sensores sensíveis a este tipo de radiação – os olhos. A radiação electromagnética (genericamente referida como luz) exhibe alguns comportamentos típicos de partícula (por exemplo o efeito fotoeléctrico) e comportamentos ondulatórios (tais como a difracção e a interferência).

As ondas descrevem a propagação de perturbações que repetem um mesmo padrão no espaço e no tempo. A distância entre os dois pontos mais próximos do espaço onde, num determinado instante, a perturbação possui as mesmas características (está na mesma fase) é denominada comprimento de onda, λ . O intervalo de tempo que medeia a passagem da mesma fase da perturbação num determinado ponto do espaço designa-se por período, T . O comprimento de onda e o período das radiações electromagnéticas estão relacionados entre si através da velocidade de propagação da luz no vácuo, c :

$$\lambda = c T = \frac{c}{f}, \quad c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s.} \quad (1)$$

Na expressão anterior fez-se uso da definição de frequência, f , como o inverso do período. A velocidade de propagação da luz no ar é também próxima de c .

O olho humano é sensível a radiação electromagnética com comprimentos de onda entre os 400 nm (violeta) e os 700 nm (vermelho) aproximadamente.

Quando a luz encontra fendas ou obstáculos que possuem dimensões comparáveis às do seu comprimento de onda ocorrem fenómenos de natureza ondulatória que são estudados pela óptica ondulatória. Já quando as fendas ou obstáculos são muito maiores do que o comprimento de onda da luz (o que acontece por exemplo com um espelho ou uma lente) ocorrem fenómenos que, por poderem ser descritos geometricamente, são o objecto de estudo da chamada óptica geométrica. É habitual descrever um feixe de luz por um conjunto de linhas rectas com a direcção de propagação da luz às quais se sobrepõe uma seta que indica o sentido da propagação. Estas linhas são perpendiculares às frentes de onda e chama-se-lhes raios luminosos. Nos fenómenos descritos pela óptica geométrica os raios luminosos de um feixe de luz são aproximadamente paralelos (frentes de onda aproximadamente planas).

2.2 Refracção da luz

Quando um feixe de luz de determinado comprimento de onda (no vácuo) atinge a superfície de separação entre dois meios (interface) transparentes, uma parte do feixe é reflectida de volta para o meio de onde provinha (meio 1) e outra parte penetra no outro meio (meio 2). A direcção de um raio de luz que atravesse a interface é alterada como mostra os esquemas da figura 1.

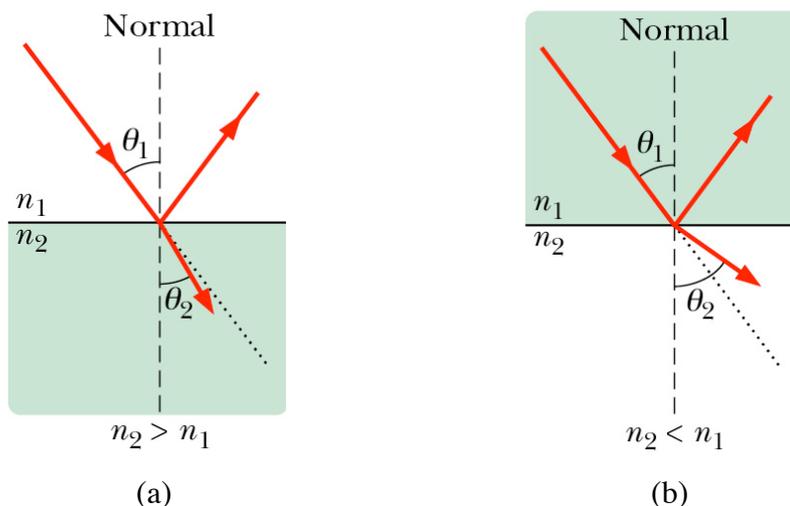


Figura 1- refração da luz na passagem de um meio 1 para um meio 2: (a) com maior índice de refração, (b) com menor índice de refração.

A esta alteração na direcção de propagação da luz dá-se o nome de refração. A refração da luz é governada pela seguinte lei da óptica geométrica:

$$\frac{c}{v_1} \sin \theta_1 = \frac{c}{v_2} \sin \theta_2 \Leftrightarrow n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2)$$

onde θ_1 e θ_2 são, respectivamente, os ângulos de incidência e de refração (ver figura 1), v_1 e v_2 são as velocidades de propagação da luz em cada um dos meios (1 e 2) e c é a velocidade da luz no vácuo. Às razões $\frac{c}{v_i}$ é costume chamar-se índice, n_i , de refração da luz no meio i . Como podemos concluir da lei da refração, este fenómeno ocorre (isto é θ_1 é diferente de θ_2) porque a velocidade de propagação da luz difere de um meio para o outro ou, dito de outra forma, porque os dois meios têm índices de refração diferentes.

A velocidade de propagação da luz num meio e, conseqüentemente o índice de refração, dependem não só do meio mas também do comprimento de onda da luz que o atravessa. Esta dependência do comprimento de onda não se verifica no vácuo onde, independentemente do comprimento de onda, todas as radiações electromagnéticas se propagam à velocidade c . O mesmo sucede aproximadamente no ar. Em geral, luz de diferentes comprimentos de onda viajam a velocidades diferentes num mesmo meio e a elas correspondem índices de refração diferentes nesse meio. Se o meio 1 for o ar e o meio 2 tiver índice de refração $n_2 = n$, a relação 2 virá:

$$\sin \theta_1 = n(\lambda) \sin \theta_2 \quad (3)$$

Assim, luz de diferentes comprimentos de onda será refractada de ângulos diferentes na interface entre o ar e o outro meio (vidro por exemplo). Como aos menores comprimentos de onda correspondem índices de refração maiores, a luz azul do espectro visível é menos refractada do que a luz vermelha. Estas diferenças na refração da luz de diferentes cores – dispersão cromática - dá origem à separação da luz solar (luz branca) em 7 componentes quando atravessa as superfícies de um prisma triangular ou gotas de água na atmosfera (originando o arco-íris). Nestes casos o efeito da separação é aumentado porque os mesmos raios de luz sofrem duas refrações sucessivas em duas superfícies, como se mostra na figura 2 para o prisma.

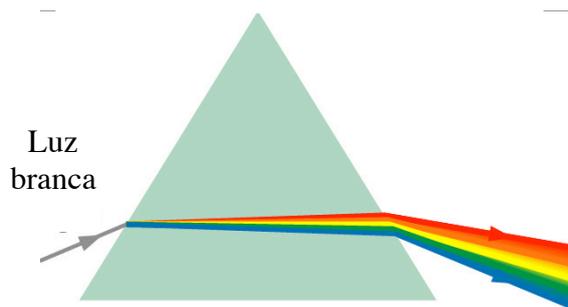


Figura 2 – Dispersão da luz branca (representada pela seta cinzenta) em cada uma das faces de um prisma triangular dando origem à separação das diferentes cores que a compõem.

Se luz um feixe de luz for composto por comprimentos de onda não muito próximos, da refração num prisma resultam riscas que se podem identificar distintamente num alvo.

2.3 Difrração e interferência da luz

A sobreposição de duas perturbações num mesmo ponto do espaço dá origem a uma perturbação que combina os efeitos das duas perturbações individuais. Desta sobreposição pode resultar uma intensidade da perturbação maior ou menor do que a de cada uma das perturbações individuais, consoante as perturbações se reforçam ou se contrariam. Como as ondas representam perturbações o princípio anterior pode ser enunciado em termos da sobreposição de duas ondas provenientes de duas fontes. Ao efeito resultante dá-se o nome de interferência, construtiva no caso dos efeitos individuais serem reforçados e destrutiva no caso contrário.

Quando um feixe de raios paralelos de luz de determinado comprimento de onda encontra um anteparo com uma fenda de pequenas dimensões, não se observa um simples bloqueio de parte dos raios luminosos como a óptica geométrica prevê. Em vez disso, a luz que passa para além da fenda dispersa-se para ambos os lados dos limites desta revelando num ecrã (alvo) colocado para além do anteparo um padrão de interferência com bandas iluminadas e bandas escuras (ver figura 3).

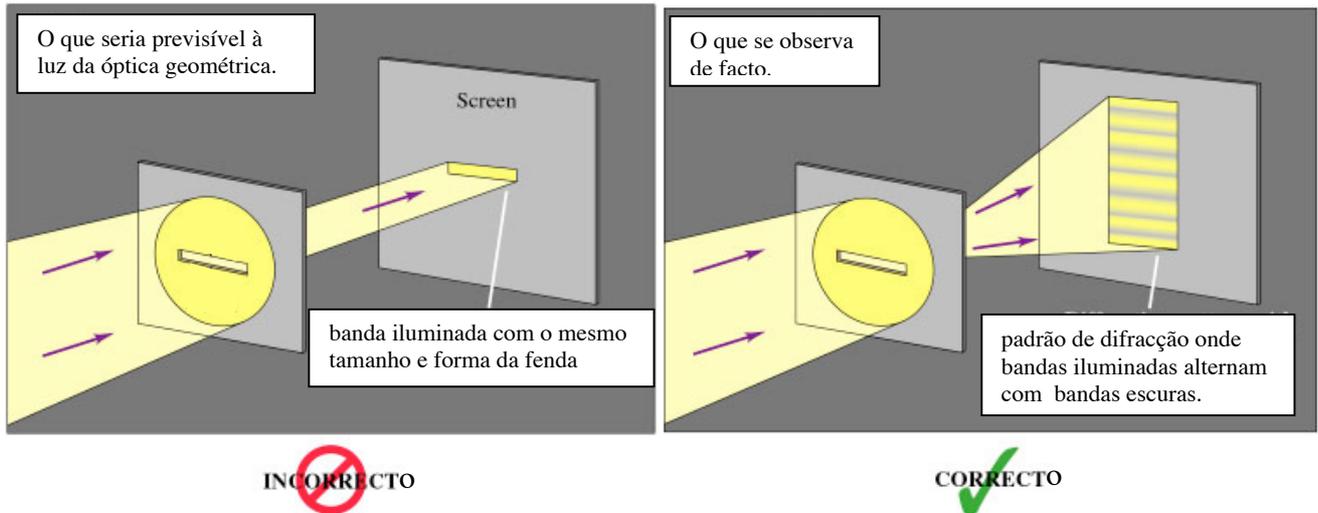


Figura 3 – O que sucede quando um feixe de raios paralelos de luz encontra uma fenda de dimensões comparáveis às do seu comprimento de onda?

A este fenómeno que pode ser explicado descrevendo o feixe de luz como um trem de ondas, dá-se o nome de difracção. Quando a luz difractada chega ao alvo, ondas de diferentes pontos da região da fenda dão origem ao padrão de interferência observado ao qual se chama padrão de difracção. A difracção ocorre quando a luz encontra fendas ou obstáculos de dimensões da ordem do seu comprimento de onda.

À semelhança do que sucede com uma só fenda se o feixe de luz for intersectado por um anteparo onde encontra múltiplas fendas, difracção e interferência dão origem a padrões que dependem do número de fendas e do comprimento de onda da luz. Quando temos fendas iguais, igualmente espaçadas num anteparo e em grande número por unidade de comprimento (da ordem dos milhares por mm), dá-se ao anteparo o nome de rede de difracção. O padrão de difracção de luz de um só comprimento de onda, λ , (luz monocromática) numa rede de difracção revela linhas de máxima intensidade luminosa localizada em determinadas posições (angulares) do alvo:

$$d \sin\theta = m \lambda, \quad m = 0,1,2,\dots \quad (4)$$

onde θ é o ângulo medido relativamente à linha que passa pelo centro do padrão de difracção e tem vértice no anteparo (ver esquema da figura 4) e d é a distância entre fendas. Ao número inteiro m , que enumera os máximos, é chamado número de ordem. Por exemplo o máximo central corresponde à difracção de ordem 0.

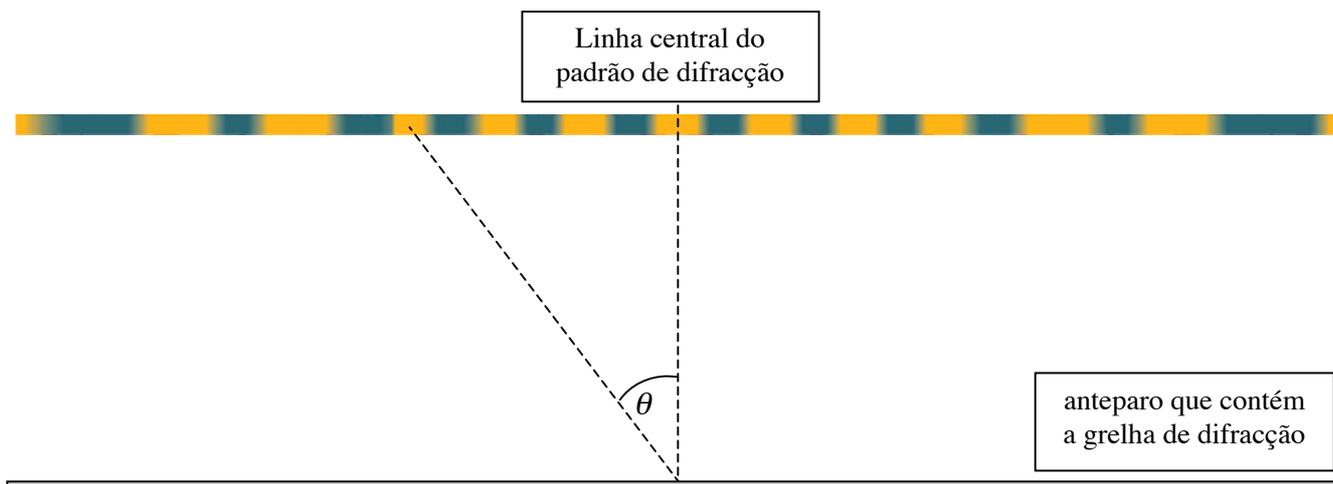


Figura 4 – esquema (não à escala) com a posição angular do máximo de ordem 3 ($m=3$).

Como o padrão de difração depende do comprimento de onda da luz, quando um feixe policromático é difractado numa rede de difração surgem padrões de riscas para cada uma das cores que compõem o feixe. Comprimentos de onda muito próximos darão origem a riscas muito próximas que poderão ou surgir individualizadas. Quanto maior for o número de fendas por unidade de comprimento da rede de difracção mais estreitas serão as riscas o que facilitará a individualização.

Acabamos de ver que tanto prismas como redes de difração permitem identificar num alvo riscas diferentes correspondentes a luz de comprimentos de ondas diferentes. Ambos podem ser usados num espectroscópio para determinar comprimentos de onda de luz emitida por fontes tais como lâmpadas ou estrelas. A figura 5 ilustra um destes aparelhos – o espectroscópio de rede de difracção. Substituindo a rede de difracção por um prisma teremos um espectroscópio de prisma.

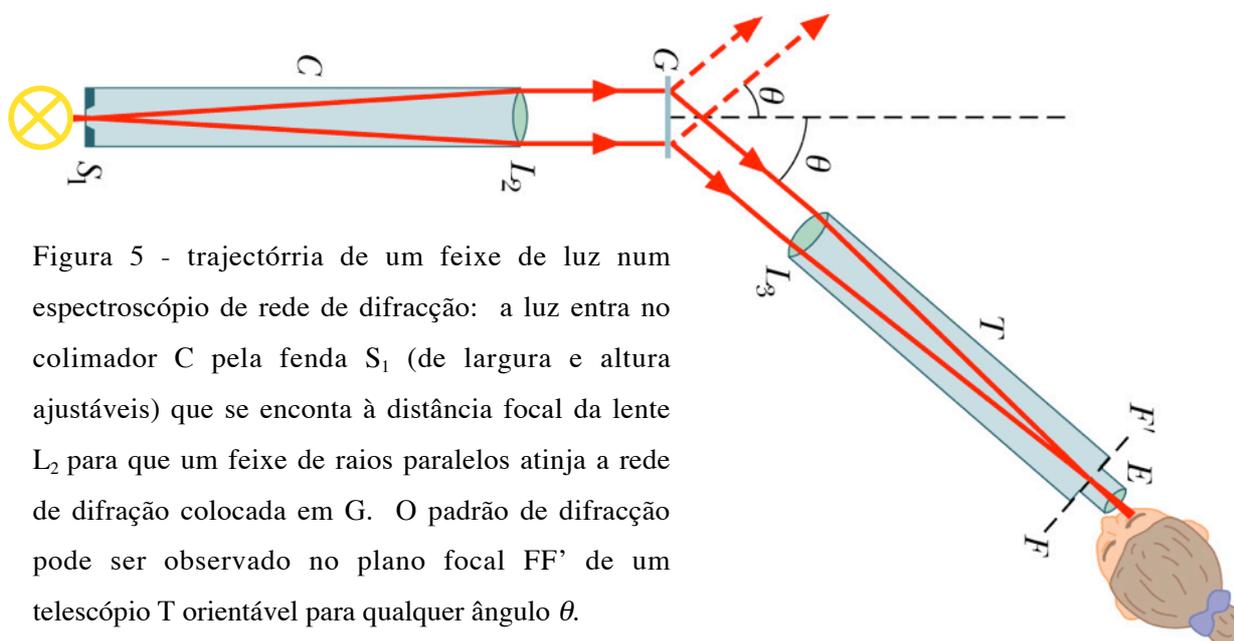


Figura 5 - trajetória de um feixe de luz num espectroscópio de rede de difração: a luz entra no colimador C pela fenda S_1 (de largura e altura ajustáveis) que se encontra à distância focal da lente L_2 para que um feixe de raios paralelos atinja a rede de difração colocada em G. O padrão de difração pode ser observado no plano focal FF' de um telescópio T orientável para qualquer ângulo θ .

2.4 Espectros de luz devidos a descargas em gases

Quando é estabelecida uma diferença de potencial numa ampola contendo um gás (lâmpada), a partir de determinado valor do potencial estabelece-se uma descarga e o gás ioniza passando a conduzir. As colisões entre os electrões da corrente e os átomos ou moléculas do gás produz a sua excitação (transições electrónicas de níveis mais baixos para níveis mais altos de energia). Ao voltarem ao estado fundamental (estado de mais baixa energia) os átomos ou moléculas emitem luz com comprimentos de onda característica da diferença de níveis entre os quais as transições ocorreram e que originam o chamado espectro de emissão.

A espectroscopia consiste na observação e interpretação da luz emitida (ou absorvida) em transições entre níveis energéticos (que podem acontecer devido a outros processos e noutros materiais). As características espectrais individuais, de cada elemento e composto, proporcionam um meio de conhecimento acerca do elemento ou elementos envolvidos bem como das suas ligações químicas. A espectroscopia na região do visível analisa transições que envolvam apenas luz visível. Espectroscópios de prisma ou de rede de difracção podem ser utilizados em espectroscopia do visível.

Enquanto gases monoatómicos (He, Ne, Ar, Kr, Xe) apresentam espectros de riscas tal como o hidrogénio atómico onde cada risca está bem separada, os espectros de moléculas, consistem de grupos de muitas riscas que estão bastante juntas. Estes espectros moleculares são conhecidos como espectros de bandas, porque eles aparecem como bandas em espectrómetros com uma dispersão pequena produzindo um espectro contínuo. Este facto está relacionado com os muitos estados energéticos possíveis em que as moléculas se podem encontrar.

2.4.1 Riscas características de alguns espectros de gases

Quando a luz, vermelha brilhante, emitida pelo **hidrogénio** sujeito a uma descarga é analisada num espectroscópio é possível identificar as componentes mais importantes do seu espectro de emissão na região do visível que surgem sob a forma de riscas. Estas riscas estão caracterizadas na tabela I e as mais intensas são visíveis no espectro da figura 6.



Figura 6- Espectro de emissão do hidrogénio onde são visíveis as riscas mais intensas da série de Balmer.

Foi J.J. Balmer (1825-1898) o primeiro a ter sucesso em estabelecer a fórmula para o

comprimento de onda desta série de riscas e ainda para outras cinco riscas que se lhes seguem na região do ultravioleta e que já eram conhecidas na altura:

$$\lambda = k \frac{n^2}{n^2 - 4}, \quad n = 3, 4, \dots \quad k = 4/R = 3645 \text{ \AA} .$$

A série de Balmer surge devido à emissão de luz que ocorre em transições electrónicas no Hidrogénio atómico, de níveis de energia caracterizados por valores de $n > 3$ para um nível de energia caracterizado por $n = 2$.

Na tabela I, para além das características de riscas da série de Balmer, estão indicadas as características de riscas do espectro visível de outros gases.

Tabela I

Gás	Cor	λ (Å)
Hidrogénio	violeta (H δ)	4101,7
	(H γ)	4340,5
	turquesa (H β)	?
	vermelho (H α)	6562,8
Hélio	violeta	4471
	azul	?
	turquesa	4922
		5016
	amarelo	5876
	vermelho	6678 7065
Sódio	amarela	5890 5896

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Material

- Suporte com alimentação para as lâmpadas espectrais
- Espectroscópios de prisma e de rede de difracção
- Lâmpadas de descarga com respectivas fontes de alimentação de vários gases
- Lâmpada auxiliar para iluminação da escala do espectroscópio
- Câmara escura

As ampolas espectrais devem ser colocadas no respectivo suporte que possui uma fonte de

alimentação de alta tensão capaz de provocar uma descarga eléctrica através do gás. A montagem com a ampola deve ser colocada num local escuro de modo a que o espectro da luz ambiente não se sobreponha ao espectro do gás.

ATENÇÃO: A radiação ultra-violeta pode provocar danos irreversíveis nos olhos. Para evitar eventuais danos causados por radiação ultra-violeta que possa ser emitida pelas lâmpadas que vai usar não deve olhar directamente para a luz por elas emitida.

Os eléctrodos dos tubos de descarga são sensíveis à sobrecarga ou ao uso permanente de correntes demasiado fortes, porque aquecem com o choque dos iões podendo fundir. Sendo assim, não se deve manter a lâmpada acesa mais tempo do que o necessário.

3.1 Análise espectral com o espectroscópio de prisma: calibração do espectroscópio e determinação do comprimento de onda de uma risca espectral.

O espectroscópio de prisma que vamos usar não dispõe de um sistema de medição de ângulos. Em vez dele, dispõe da possibilidade de projectar uma escala sobre o espectro de difracção. É nessa escala que são localizar as riscas do espectro, correspondendo a cada indicação da leitura efectuada na escala um determinado comprimento de onda. Para encontrar essa correspondência procede-se à calibração da escala lendo a posição de riscas espectrais de comprimentos de onda conhecidos.

- 1- Terá ao seu dispor uma lâmpada e a informação de quais os comprimentos de onda de algumas das riscas do espectro do gás nela contido. Registe esta informação na tabela RI.
- 2- Coloque a fenda do espectroscópio em frente à lâmpada onde o feixe de luz emitida é uniforme; controle a abertura da fenda sabendo que quanto menor a abertura maior a resolução (mais estreitas surgirão as riscas o que permitirá a sua melhor localização). Tenha ainda o cuidado de diminuir a luz ambiente.
- 3- Identifique as linhas espectrais de comprimento de onda conhecido.
- 4- Ilumine a escala de lado do espectroscópio com a lâmpada auxiliar; na tabela RI da folha de registos, tome nota dos valores da escala que coincidem com as riscas de comprimento de onda conhecido e registe a sua cor.
- 5- Considere uma risca do espectro da lâmpada de comprimento de onda desconhecido. Anote na tabela RI a sua cor e posição na escala do espectroscópio.

3.2 Análise espectral com um espectroscópio de rede de difracção: determinação dos comprimentos de onda das riscas espectrais.

O espectroscópio de rede de difracção que vai usar tem um medidor de ângulos associado. Assim, a partir dos ângulos de difracção medidos pode, recorrendo à relação (4), identificar o comprimento de onda das riscas observadas. É isso que irá fazer.

- 1- Ligue uma lâmpada e com ela ilumine a fenda do espectroscópio. Certifique-se de que a lâmpada está posicionada no eixo óptico do colimador.
- 2- A densidade de linhas da rede de difracção encontra-se indicada no suporte da mesma. Na folha de registos registe este valor.
- 3- Posicione a rede de difracção e alinhe o telescópio por forma a que a luz que passa através da fenda a atravesse e o espectro possa ser observado no telescópio.
- 4- Ajuste convenientemente a largura da fenda tendo em conta que, a resolução da leitura aumenta quando a largura diminui ao mesmo tempo que a intensidade da luz diminui.
- 5- Ajuste a posição do telescópio por forma a alinhar a linha vertical da referência (cruz) com a linha espectral de difracção de ordem zero ($m=0$) - máximo central (certifique-se que tem linhas espectrais semelhantes para um e outro lado desta linha). Com a ajuda das lentes ampliadoras, leia a posição desta linha espectral na escala angular (que inclui um nónio). Registe o valor na tabela RII da folha de registos.
- 6- Identifique outras riscas de diferentes cores. Para cada cor anote a posição angular das riscas de difracção de 1ª ordem ($m=1$).
- 7- Para uma das cores, procure a linha de difracção de ordem 2. Leia a sua posição angular e registe na tabela RII.

Folha de respostas

Espectroscópio de prisma

Tabela RI

<i>cor da risca</i>	λ _____	<i>posição na escala/</i> _____

Com os dados registados no ponto 4 do procedimento experimental, trace, na folha de papel milimétrico, a curva de calibração do espectroscópio.

A partir da curva de calibração, determine o comprimento de onda da risca considerada no ponto 5 do procedimento experimental. Complete a tabela.

Espectroscópio de rede de difracção

Densidade de linhas na rede de difracção:

A partir do valor da densidade de linhas na rede, determinar a distância entre as linhas:

$d =$ _____

Tabela RII

<i>cor da risca</i>	<i>Ordem de difracção</i> <i>m</i>	<i>posição angular medida na escala/</i> _____	λ _____ (valores a calcular)

Com a informação experimental já registada na tabela calcule o comprimento de onda das riscas observadas. Para uma das riscas, indique como efectuou o cálculo.

Complete a tabela com os valores dos comprimentos de onda de todas as riscas.

Para as riscas da mesma cor correspondentes a diferentes ordens de difracção, compare a posição angular que obteve para $m=2$ experimentalmente com a que esperaria obter a partir da medição efectuada para $m=1$.

Comente criticamente os resultados obtidos.