

$\frac{x_1}{x_2}$	1	2	3	4	5	6
1	2		4		6	
2		4		6		8
3	4		6		8	
4		6		8		10
5	6		8		10	
6		8		10		12

d) Soit encore la règle suivante (qui rappelle le cas d'une liaison rigide entre molécules):

Le dé 2 au lieu d'être effectivement un second dé *distinct* du premier n'est autre que le dé 1 lui même, dont on lit le point non plus sur la face supérieure, mais sur la face cachée, en contact avec la table.

Alors, on a toujours:

$$y = x_1 + x_2 = 7.$$

Il n'y a plus qu'un seul macrostat possible ayant la probabilité unité.

**5.** Ces exemples visent à montrer que, bien qu'on admette toujours que l'énergie du couple et la somme des énergies individuelles, on tient compte cependant de l'interaction par l'intermédiaire de la loi de probabilité conjuguée (ou *corrélation*) entre les deux individus.

G. DEDEBANT

PROF. CAT. UNIV.  
REP. ARGENTINE

## 8. DIVULGAÇÃO E VULGARIZAÇÃO

### COMO APARECEU INICIALMENTE A IDEIA DA QUANTIFICAÇÃO

Faleceu recentemente (4 de Outubro de 1947) na Alemanha o grande físico Max Planck a quem se deve a introdução na Ciência da ideia da quantificação da energia. Vamos indicar por forma muito elementar a origem desta ideia que tão largo desenvolvimento teve posteriormente e tão grande revolução fez nas ideias fundamentais não só da Física, mas da própria estrutura do conhecimento.

É de todos sabido que quando se colocam em presença corpos a temperaturas diferentes, os mais quentes arrefecem e os mais frios aquecem até que se obtenha uma uniformização de temperaturas. No estudo empírico do calor interpretava-se este facto admitindo que os corpos mais quentes cediam calor aos mais frios e que esta troca de calor cessava quando todos os corpos em presença atingiam a mesma temperatura.

Esta interpretação, extremamente simples, não resiste no entanto a uma crítica um pouco

mais profunda. Em primeiro lugar notemos que a igualização de temperaturas se dá mesmo que os corpos considerados estejam situados no vácuo. Ora, o calor que um corpo possui, é uma modalidade de energia que não é mais do que a energia cinética das suas moléculas. Esta energia não pode propagar-se no vácuo, por ausência de moléculas. A energia que se transmite através do vácuo tem o nome de *energia radiante*. Na Física clássica admitia-se que ela era constituída por ondas electromagnéticas, quer dizer por um campo electromagnético alternativo, propagando-se no espaço. A frequência deste campo alternativo, ou frequência da onda, podia variar dentro de largos limites e as propriedades da radiação dependiam dela. Daí o terem-se dado nomes diferentes à radiação cuja estrutura era a mesma mas a que correspondiam frequências diferentes e também processos de produção diferentes. Por

ordem crescente de frequência essas radiações, chamadas então radiações electromagnéticas, designação hoje substituída pela de radiações luminosas, receberam os nomes de: ondas hertzianas, raios infravermelhos, radiação visíveis, raios ultravioletas, raios X e raios gama.

Qualquer corpo pode absorver energia radiante e transformá-la em energia cinética das suas moléculas, quer dizer em energia calorífica, e vice-versa.

Razões que seria um pouco longo expôr levaram Prevost a admitir que qualquer corpo a qualquer temperatura está constantemente a emitir energia radiante para o espaço que o rodeia e simultaneamente a recebê-la dos outros corpos. Se há equilíbrio de temperatura entre o corpo considerado e os que o rodeiam, as quantidades de energia emitida e recebida por qualquer deles num dado intervalo de tempo são iguais e não há portanto variações de temperatura.

A quantidade de energia emitida num certo intervalo de tempo varia com o comprimento de onda da radiação com a temperatura do corpo e ainda com a natureza deste.

A energia  $dW_\lambda$  emitida no intervalo de tempo  $dt$  por um elemento de área  $ds$  da superfície do corpo situado num ponto  $A$  e cujo comprimento de onda está compreendido entre  $\lambda$  e  $\lambda + d\lambda$ , é evidentemente proporcional a  $dt$ , a  $ds$  e a  $d\lambda$  e teremos

$$dW_\lambda = e_\lambda dt ds d\lambda.$$

Ao coeficiente de proporcionalidade  $e_\lambda$  chama-se *poder emissivo* do corpo considerado no ponto  $A$ , para o comprimento de onda  $\lambda$ . Este coeficiente depende como dissemos da temperatura do corpo. No caso dum corpo homogêneo a temperatura uniforme, o poder emissivo é o mesmo em todos os pontos.

Da energia radiante que incide sobre um corpo uma parte é absorvida e outra parte é reenviada para o espaço por reflexão ou por difusão. Dá-se o nome de *corpo negro* a um corpo que tivesse a propriedade de absorver totalmente toda a energia que sobre ele incide. Posto que na realidade não haja corpos rigo-

rosamente negros pode facilmente realizar-se na prática corpos muito aproximadamente negros.

Sobre a repartição espectral da energia emitida por um corpo negro Wien conseguiu mostrar, pela simples aplicação dos princípios da Termodinâmica, que o poder emissivo de um corpo negro varia com o comprimento de onda e com a temperatura absoluta por forma que o produto  $E_\lambda \lambda^5$  é uma função exclusiva do produto  $\lambda T$ , isto é:  $E_\lambda \lambda^5 = f(\lambda T)$  Este resultado, confirmado experimentalmente, posto que importante, é o máximo que se pode tirar da aplicação dos princípios da Termodinâmica ao estudo da radiação térmica. Para ir mais além, isto é, para poder determinar a forma da função  $f$ , é necessário estabelecer hipóteses suplementares sobre o mecanismo da troca de energia entre a matéria e a radiação, quer dizer, sobre o mecanismo da transformação da energia radiante em energia cinética das partículas materiais e vice-versa.

A hipótese mais simples consiste em admitir que na matéria existem osciladores de dimensões atómicas capazes de emitir e absorver energia de frequência igual à do oscilador, e que a intensidade da radiação emitida, de determinado comprimento de onda é proporcional ao número de osciladores com a frequência correspondente à energia média destes.

O número de osciladores duma dada frequência pode calcular-se, independentemente de qualquer hipótese suplementar, pelo estudo dos modos de vibração independentes de um meio elástico contínuo. Chega-se à conclusão que no caso de vibrações transversais (caso das ondas electromagnéticas) o número de osciladores de frequência compreendida entre  $f$  e  $f + df$ , a que correspondem comprimentos de onda entre  $\lambda$  e  $\lambda - d\lambda$  é

$$8\pi\lambda^{-4}d\lambda.$$

Para ter a energia média de cada oscilador Raleygh admitiu que o princípio da equipartição da energia de Maxwell, que se aplica à energia cinética das moléculas de um gaz, era ainda aplicável à energia dos vibradores

atómicos. Esta hipótese conduz a atribuir a cada vibrador a energia média  $kT$  (em que  $k$  é a conhecida constante de Boltzmann). Concluímos pois que a potência radiada pelo corpo negro á temperatura  $T$  e de comprimento de onda compreendido entre  $\lambda$  e  $\lambda + d\lambda$  é por unidade de volume

$$8\pi\lambda^{-4}kT d\lambda \text{ (fórmula de Raleygh).}$$

Notemos que este resultado está de acordo com a lei de Wien. Com efeito a potência de comprimento de onda  $\lambda$  emitida é proporcional a  $E_\lambda$  donde

$$E_\lambda\lambda^5 = C8\pi k\lambda T.$$

sendo  $C$  a constante de proporcionalidade;  $E_\lambda\lambda^5$  é portanto função exclusiva de  $\lambda T$ .

No entanto a fórmula de Raleygh é grosseiramente errada. Dá resultados de acordo com a experiência para os grandes valores de  $\lambda T$  mas afasta-se enormemente nos resultados experimentais para valores pequenos de  $\lambda T$ . De resto a fórmula prevê que a potência emitida é tanto maior quanto menor fôr o comprimento de onda tendendo para infinito quando o comprimento de onda tende para zero o que é manifestamente contrário á experiência e mesmo logicamente absurdo.

A contradição entre o resultado teórico e os resultados experimentais podia ser atribuída ao facto de termos aplicado ao cálculo da energia média de um vibrador atómico o princípio da equipartição da energia, e concluiríamos então que tal princípio não é aplicável ao caso em questão.

Jeans tratou de calcular directamente o valor da energia média de um vibrador servindo-se da Mecânica Estatística sem nenhuma hipótese suplementar. É possível calcular pela Mecânica Estatística o número de osciladores cuja energia está compreendida entre  $q$  e  $q + dq$ . Calculando o número de vibradores de energia média nula (compreendida entre 0 e  $dq$ ), de energia média  $q$  (compreendida entre  $q$  e  $q + dq$ ), de energia média  $2q$ ,  $3q$ ,..., multiplicando o número de vibradores de cada energia pelo respectivo valor da energia e somando, temos a energia total dos vibradores; o cociente desta energia pelo número total

de vibradores dá a energia média de cada. Jeans obteve para valor da energia média de um vibrador a seguinte expressão

$$q : (e^{-q/kt} - 1).$$

Mas no cálculo nós só consideramos os vibradores cuja energia média tinha os valores discretos 0,  $q$ ,  $2q$ , ... Conforme as idéias clássicas a energia de um vibrador pode ter um valor qualquer ou o que é o mesmo, a energia dum vibrador varia duma maneira continua. Para termos o valor médio da energia dum vibrador devíamos procurar o limite da expressão anterior para  $q = 0$ . Ora esse limite é precisamente  $kT$ , como fãcilmente se reconhece.

Quer dizer, somos levados ao mesmo valor da energia média obtido por Raleygh e vamos portanto novamente cair na fórmula de Raleygh logicamente absurdo e contrária á experiência.

Mas agora não fizemos nenhuma extensão de um princípio a um caso novo. O resultado foi obtido pela aplicação da Mecânica Estatística clássica e são então os próprios princípios dessa mecânica que estão em jogo.

Foi precisamente Planck que resolveu a dificuldade avançando uma hipótese extremamente arrojada mas que a experiência vêm confirmar brilhantemente. Visto que quando se procura o limite para  $q = 0$  da expressão anterior se obtém o valor  $kT$  incompatível com a experiência, não procuremos esse limite e tomemos como energia média de um vibrador o valor

$$q : (e^{-q/kT} - 1).$$

Esta atitude corresponde afinal a admitir que a energia de um vibrador não pode tomar qualquer valor mas apenas aqueles que são multiplos inteiros de uma quantidade de energia  $q$ . Esta quantidade aparece-nos assim como um *átomo de energia*: A este átomo de energia chamou Planck *quanto de energia*.

Para que o produto  $E_\lambda\lambda^5$  obedeça á lei de Wien é necessário que entre  $q$  e a frequência do oscilados exista uma relação de proporcionalidade  $q=hf$ . A constante de proporcionalidade  $h$  chamado *constante de Planck* tem o valor  $(6,610\pm 0,015)\times 10^{-27}$  ergs.s.

Admitida a hipótese de Planck a lei de distribuição espectral da energia toma a forma

$$E_\lambda \lambda^5 = \frac{2\pi hc^2}{e^{hc/kT} - 1} \quad (\text{fórmula de Planck})$$

em que  $c$  é a velocidade de propagação da energia radiante no vácuo. Esta fórmula é plenamente confirmada pela experiência.

Para terminar devemos observar que a hipótese de Planck não implica propriamente uma estrutura atômica para a energia radiante.

Ela limita-se a admitir que a matéria não pode absorver nem emitir energia senão por quantos inteiros, mas nada diz sobre a maneira como a energia se propaga. Mais tarde, Einstein, para interpretar as leis do efeito fotoelétrico foi levado a admitir que a energia radiante é de facto formada por pequenos granulos de energia, cada um correspondendo a um quanto e aos quais deu o nome de fotões.

A. MARQUES DA SILVA  
EX-1.º ASSISTENTE DA FACULDADE  
DE CIÊNCIAS DE LISBOA

### AU SERVICE DE LA PHYSIQUE NUCLÉAIRE

A l'époque de la physique classique, c'est-à-dire avant le début du siècle, les phénomènes électriques étaient généralement considérés comme des processus relevant d'une substance continue.

Ce fut ensuite dans l'espace de quelques années cette suite d'observations capitales exigeant pour leur interprétation l'existence de charges élémentaires: l'électron et le proton étaient découverts. Presque simultanément s'ouvrait dans la radioactivité nouvellement découverte un vaste domaine plein d'éléments imprévus et surprenants. On reconnut rapidement que les radiations qui s'y manifestaient présentaient de très étroites relations avec les particules élémentaires. Dans le but d'étudier de façon plus avantageuse les effets, pour une grande part fort mystérieux, de ces rayons, les physiciens entreprirent leur création artificielle. Mais cela dura bien 30 ans jusqu'à ce que Cockroft et Walton purent annoncer leurs premiers succès. Et ce fut alors un rapide développement qui par des voies différentes conduisit à des appareils de beaucoup plus grands, si bien que la physique nucléaire n'eut pas grand peine à ravir à l'astronomie sa renommée de science onéreuse. La plus grande partie de nos connaissances actuelles a été acquise au moyen de telles machines.

Qu'il nous soit permis de présenter les prin-

cipaux types d'appareils utilisés en physique nucléaire en choisissant comme exemples les installations en usage à l'École Polytechnique Fédérale à Zurich et que nous connaissons pour avoir eu l'occasion d'en expérimenter le fonctionnement.

Le problème fondamental est toujours le même: il s'agit de communiquer à une particule chargée électriquement, que ce soit un électron, un proton (noyau d'hydrogène) ou une particule  $\alpha$  (noyau d'hélium), une vitesse aussi grande que possible.

Le chemin le plus direct consiste à produire une très haute tension continue destinée à accélérer la particule dans un espace où l'on maintient un vide poussé. La tension continue peut être obtenue de deux façons essentiellement différentes:

L'installation dite de Van de Graaff n'est au fond qu'une construction améliorée de la machine électrostatique vieille de plusieurs siècles et qui repose toutes sur le principe du transport mécanique des charges. Au lieu du disque tournant de verre ou d'ébonite on emploie des courroies de transmission de caoutchouc ou de soie, à haut pouvoir isolant, de grande largeur et se mouvant avec rapidité. Notre installation relativement modeste permet d'atteindre 600.000 volts pour un courant utile de 0,3 mA. On l'emploie pour l'accélération de protons qui servent à exciter