

# 谈谈普朗克常数

聂元存

普朗克常数是现代物理学中最重要的物理常数之一，它成为区分宏观客体和微观客体的界限。普朗克常数的发现，在物理学的发展史上具有划时代的意义，它第一次表明了辐射能量的不连续性，这是现代物理学中富有革命性的事件。由于它的发现，物理学进入了一个全新的时代，这个理论物理学的新概念导致了量子理论的建立。

普朗克常数发现前经典物理面临的困难 19 世纪末 20 世纪初，物理学的各分支已相当成熟，建立起了系统的理论，在应用中发挥越来越大的作用。但是，在和实验进一步对比的过程中，也出现了一些经典物理的范畴内无法解决的困难。

黑体辐射 19 世纪末，人们用经典物理学解释黑体辐射实验时，出现了著名的所谓“紫外灾难”。虽然瑞利、金斯和维恩分别提出了两个公式，企图弄清黑体辐射的规律，但是和实验相比，瑞利 - 金斯公式只在低频范围符合，而维恩公式只在高频范围符合。

光电效应 由光照导致的电子从金属表面的发射，称为光电效应。对于表面光洁的金属材料，人们

积累了如下实验事实：(1) 饱和光电流与光强成正比；(2) 光电效应存在一个临界频率  $\nu_0$ ，当入射光的频率  $\nu$  低于临界频率  $\nu_0$  时，不论光的强度如何，都没有光电效应产生；(3) 光电子的动能与光强无关，但与入射光的频率成线性关系；(4) 光电效应是“瞬时”的，当入射光的频率大于临界频率时，一经光照射，立刻产生光电子。显然，这些实验结果是无法用经典电磁理论解释的，因为按经典电动力学，光是电磁波，电磁波的能量决定于它的强度，即只与电磁波的振幅有关，而与电磁波的频率无关。

原子的线性光谱 1889 年，里德伯把氢原子的所有谱线归纳为一个里德伯方程，即

式中  $\lambda$  为波长的倒数，称为波数，R 称为里德伯常数， $T(n)$  称为光谱项， $n = 1, 2, 3, \dots$ ，对于每一个  $n$ ，有  $n' = n+1, n+2, n+3, \dots$ ，构成一个谱线系。原子的这种线性光谱用经典理论也是无法解释的，因为按卢瑟福模型，原子中电子绕原子核运动，这是一种加速运动，按经典电动力学，电子应不断发出

(b) 所示，利用计算机技术让两张图相减，相同的部分骨骼像抵消掉，剩余的便是血管的像，见图 2(c) 和图 3。

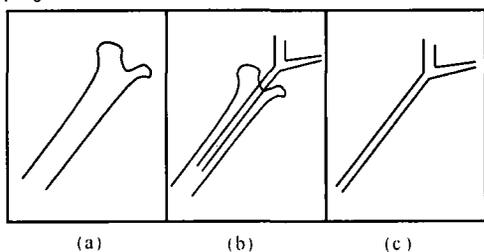


图2 DSA示意图

DSA 主要应用于血管相关性疾病的诊疗上。例如冠心病的冠脉造影，球囊扩张及放置支架。脑动、静脉畸形的栓塞等。

人类的四次技术革命都以物理学为先导，上个世纪，物理学诞生了量子力学与相对论，因此人们把 20 世纪誉为物理学的世纪。人们对诺贝尔生理学奖或医学奖进行了分析，发现 60% 的获奖者具有

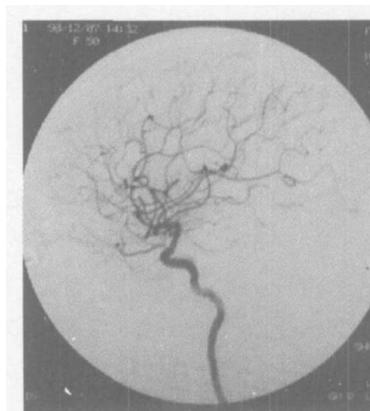


图3 头部血管像

物理学的背景。物理学上的重大发现都对医学产生极为深刻的影响，物理学的辉煌造就了现代医学的今天。

(河南新乡医学院物理教研室 453003)

辐射,并且不断损失能量;而且,加速电子发出的辐射的频率应是连续的,不可能产生线状光谱。

**原子的稳定性** 原子结构的卢瑟福模型在经典理论中是无法理解的,由上文可知,由于电子绕核运动且辐射能量,必然使它的运动轨道变小,最后“落到”原子核中去,也就是说,按经典理论,卢瑟福的原子模型是不稳定的。这种原子最后必然坍缩成一团,但现实世界中原子是稳定的,这一点,经典理论无法解释。

**比热** 与实验结果比较后发现,经典的比热理论存在着下述困难:(1)杜隆-珀蒂定律表明固体比热与温度无关,这个结果只在常温下与实验相符;(2)不能解释为什么原子中处于束缚态的电子对比热的贡献可以略去;(3)不能解释为什么绝大部分双原子分子,多原子分子在常温下振动自由度被冻结,对比热无贡献。

另外,经典理论也无法解释 1923 年发现的康普顿效应。

#### 普朗克常数的引入及其重要意义

1900 年,普朗克为了克服经典物理学对黑体辐射现象解释上的困难,创立了物质辐射(或吸收)的能量只能是某一最小能量单位(能量量子)的整数倍的假说,即量子假说。他引进了一个物理普适常数,即普朗克常数,以符号  $h$  表示,其数值为  $6.626176 \times 10^{-27}$  尔格·秒,是微观现象量子特性的表征。普朗克常数是普朗克在研究黑体辐射时引进的一个描述辐射能量的比例常数。他把黑体辐射的能量看成是一份一份不连续发射出来的,辐射能量存在着一个最小的单位能量  $h\nu$ ,人们现在把它称为能量子,把普朗克常数又称为能量常数或量子常数。普朗克从理论上导出了黑体辐射的能量按波长(或频率)分布的公式,称为普朗克公式。量子假说的提出对现代物理学,特别是量子论的发展起了重大的作用。由于普朗克发现了能量子,对量子理论做出了卓越贡献,他于 1918 年获得诺贝尔物理学奖。

1905 年爱因斯坦在解释光电效应时,将普朗克的辐射能量不连续的假设作了重大发展,提出光并不是由麦克斯韦电磁场理论提出的传统意义上的波,而是由能量为  $h\nu$  的光量子(简称光子)构成的粒子流。光电效应的物理基础就是光子与金属(表面)中的自由电子发生完全弹性碰撞,电子要么全部吸收要么根本不吸收光子的能量。据此,爱因斯

坦对光电效应做出了完美的解释。

1913 年,玻尔指出,如果原子能量是量子化的,就能解释原子的线性光谱。他假设:(1)原子能量不连续,它们对应着一组不连续的运动状态,称为定态,带电粒子在其中不辐射;(2)辐射和吸收光的机制是从一个定态到另一个定态的跃迁。这样就解释了组合规则,即  $\tilde{\nu} = T(n) - T(n')$ 。

卢瑟福用  $\alpha$  粒子在原子上的散射实验表明,原子中正电荷集中在一个很小的核上,负电荷则由电子携带绕核运动,这就是原子的有核模型。原子能量量子化的概念表明不连续的能量可以有一个最小值,处在相应定态(基态)中的原子不能再降低能量,因此不会掉进原子核。

爱因斯坦和德拜用量子概念计算了固体中振动能量随频率的分布,由此解释了固体比热在低温下趋于零的特征。后来,科学家们证明了康普顿效应是一种量子效应,是普朗克常数  $h$  起重要作用的量子现象,在经典极限下, $h$  趋于零,能谱由分立变为连续,X 射线被电子散射后波长不变,康普顿效应不存在,就物理本质而言,康普顿效应是指高能光子与低能电子碰撞时,高能光子把一部分能量传给了电子,变为低能光子,从而使光子的频率变小,波长变大。

光的量子性即光波的量子性,亦即光的波粒二象性,是对光的本质的深刻认识,正是表达式  $E = h\nu$  和  $p = h/\lambda$  把标志波动性质的  $\nu$  和  $\lambda$  同标志微粒性的  $E$  和  $p$  通过普朗克常数  $h$  定量地联系起来。在光的二象性的启发下,德布罗意提出了与光的二象性完全对称的设想,即实物粒子也具有波粒二象性的假设,粒子的能量与波的(角)频率、波矢量间满足德布罗意关系,1926 年薛定谔建立了物质波的波动方程,算出了氢原子的量子化能量,与实验完全符合。1927 年电子衍射实验直接证实了物质波的存在,这样,真地建立起了波动力学,成为微观世界的新力学——量子力学的一种形式,与此同时,海森伯等人继承了量子化、量子跃迁和对应原理(经典力学适用的条件下新力学应还原为经典力学的原理)等概念,对原子和分子光谱作分析,在 1925 年建立了量子力学的另一形式——矩阵力学,它很快被证明与波动力学等价。

#### 普朗克常数的测定

如果电子脱离金属表面耗费的能量为  $A$ ,则由于光电效应,逸出金属表面的电子的初动能为

式中 $m$ 为电子的质量, $v$ 为光逸出金属表面时的光电

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - A$$

子的初速度, $\nu$ 为光电子的频率, $A$ 为光照射的金属材料的逸出功, $\frac{1}{2}mv^2$ 是光电子没有受到空间电荷阻止时从金属表面逸出时的初动能。所以,入射到金属表面的光的频率越高,逸出光电子的初动能越大。由于光电子具有初动能,所以即使在加速电压 $U$ 等于零时,仍然有光电子落到阳极而形成光电流,甚至当阳极的电位低于阴极的电位,即 $U < 0$ 时也会有光电子落到阳极,直到加速电压为某一负值 $U_c$ 时,所有光电子都不能到达阳极,光电流才为零, $U_c$ 被称为光电效应的截止电压。这时有 $eU_c - \frac{1}{2}mv^2 = 0$ ,从而可得 $eU_c = h\nu - A$ (其中电量 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 库仑)。

对于给定的金属材料,逸出功是一个定值,与入射光的频率无关。具有临界频率 $\nu_0$ 的光子的能量恰等于逸出功 $A$ ,即 $A = h\nu_0$ ,所以 $U_c = h\nu/e - A/e = h(\nu - \nu_0)/e$ 。上式表明,截止电压是入射光频率的线性函数。当入射光的频率 $\nu = \nu_0$ 时,截止电压 $U_c = 0$ ,没有光电子逸出,上式的斜率 $k = h/e$ 是一个常数。可见,只要用实验方法做出不同频率下的截止电压与入射光频率的关系曲线——直线,并求出此直线的斜率 $k$ ,就可以通过式子 $k = h/e$ 求出普朗克常数的 $h$ 数值。

普朗克常数 $h$ 的发现,标志着物理学从“经典幼虫”变成“现代蝴蝶”,它在系统中所起的作用能否被忽略,成为区分宏观客体和微观客体的界限。在接近光速的高速领域,在普朗克常数起作用的微观领域,牛顿力学不再适用,在这样的领域,适用的是相对论和量子力学。但是在低速、宏观领域,牛顿力学仍然是适用的,牛顿力学并没有被推翻,而是成了包容在更广范围的相对论和量子力学之中的局部情况。

(江苏徐州市中国矿业大学理学院 0206 信箱 221008)

## 科苑快讯

### 以量子点为基础

### 全无机发光二极管

美国洛斯阿拉莫斯国家实验室维克多·克里莫夫博士及其同事研制成多色无机发光二极管,它是一种新型固体辐射仪器。在新型发光二极管中采用胶量子点(半导体纳米晶体),胶量子点被放置在氮化镓外壳内。洛斯阿拉莫斯国家实验室研究小组通报了在纳米晶体基础上全无机系统电致发光实验的首次

成功。新型发光二极管将会出现在市场上,成为具有宽幅变化辐射光谱的更有效光源。研究者改变量子点的成分和大小,成功地获得不同波长的辐射波。在原先的类似实验中将量子点连接到电压源是绊脚石,这一困难被采用纳米晶体周围的最薄氮化镓层所克服。当然,目前新型发光二极管尚未走出实验室,但很快将会出现在市场上。

(周道其译自《世界新闻》2005/5/20)

(上接9页)光产生的附加光程差为

$$\Delta\psi = 2\pi(n_0 - n_c)d/\lambda = 2\pi kE^2d = 2\pi k(V/h)^2d \quad (2)$$

在(2)中令 $\Delta\psi = -\pi$ ,则由(1)得 $I_{\text{透}} = I_{\lambda}$ ,即克尔盒可使通过 $P_1$ 的线偏振光振动面转过 $90^\circ$ ,故透过 $P_2$ 的干涉强度达到最大,克尔盒处于全开状态,此时克尔盒相当于一个半波片,其上所加的电压相当于一个半波电压 $V_{\lambda/2}$ ,由(2)得 $V_{\lambda/2} = h\sqrt{|2kd|}$ ;在(2)中令 $\Delta\psi = 0$ ,则由(1)得 $I_{\text{透}} = 0$ ,即克尔盒没有外加电场时没有光透过 $P_2$ ,克尔盒处于全闭状态。

总之,在外加电路中若 $V = V_{\lambda/2}$ ,则光路全开;若 $V = 0$ ,则光路全闭。这样我们可以利用阶跃电路方便的控制光路,其弛豫时间一般小于 $0.01$ 纳秒( $10^{-11}$ s),也就是说,每秒光路可开关 $10^{11}$ 次,当然这是理论的计算,实际中要受到阶跃电路时间常数的限制。

如果克尔盒的电极上加上调制电压,则透射光强将随所加电压而改变,克尔效应的延迟时间极短,在加上和撤去外电场的时间内即出现变化。因此,可利用克尔效应制成弛豫时间极短的“电控光开关”。光开关在高速摄影、影视制作和激光通讯等方面广泛使用。

随着光联网概念的提出,光开关技术已经成为未来光联网的关键技术,它不仅构成了波分复用光网络中关键设备(如OADM/OXC)的交换核心,本身也是光网络中的关键器件。电子计算机向光学计算机发展中,有可能先经过光-电混合型,如应用光互连集成回路、若干光学开关和存储器以及光电转换元件,可以解决诸如电子计算机由于电路中不可避免的电阻和电容、电信号和传递速度受到RC弛豫时间的限制,互连拥挤、电子信号很容易自身干扰等问题。

(陕西西安通信学院数理教研室 710106)