

克尔效应与光开关

肖胜利 朱 锋 郑好望

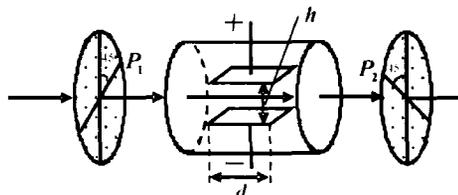
在电场作用下,可以使某些各向同性的透明介质变为各向异性,从而使光产生人为双折射的现象称之为电光效应。一般包括克尔效应和普克尔斯效应两种。

一、克尔效应

如图所示,一个有平行玻璃窗的小盒称为克尔盒,内封装着一对平行板电极,盒内充装着硝基苯(C₆H₅NO₂)的液体;两偏振片的透振方向相互垂直(P₁⊥P₂),极间电场方向与两偏振片的透振方向成45°夹角。当电极间不加电压时没有光线通过这正交的偏振片,这表明克尔盒内液体没有发生双折射现象;当电极间加上适当大小的电场(10⁶V/m)时,就有光线透过正交的偏振片。这是因为克尔盒内液体在强电场的作用下变为双折射物质,而使进入其中的光分解为寻常光和异常光,使它们之间产生附加相位差从而使透射光一般成为椭圆偏振光的现象称之为克尔效应。这是苏格兰物理学家克尔(J. Kerr, 1824~1907)于1875年首先发现的。

双折射现象在外电场中产生或消失的时间不超过10⁻¹¹s(有些物质甚至更小),所以就可以利用克尔盒作为甚至没有惯性的开关,同时具有高可靠、低损耗、小功耗,这是任何机械开关都无法比拟

的。但克尔盒也有很多缺点,如硝基苯有毒,易爆炸,需极高纯度和高电压。



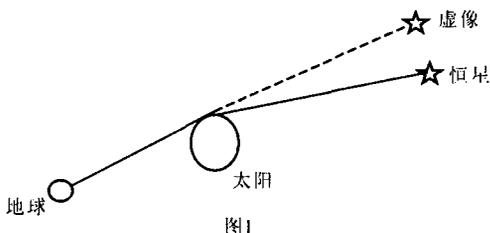
二、光开关

对于如图所示的装置,应用偏振光干涉理论可以证明进入克尔盒的光强与透出克尔盒的光强关系为 I_透/I_入=sin²(2θ)sin²(δ/2),其中θ为发生双折射后液体光轴与两偏振片P₁和P₂偏振化方向之间的夹角,在所给装置中θ=45°,δ为液体或晶体发生双折射后两束偏振光之间产生的附加相位差。于是

$$I_{\text{透}} = I_{\text{入}} \sin^2(\theta) \sin^2(\delta/2) \quad (1)$$

若寻常光和非常光的折射率分别为n_o、n_e,所加外电场强度为E=V/h,则实验已经表明n_o-n_e=kE²,其中k为一个与物质性质和温度有关的常数,且k<0,称之为克尔常数。由于克尔效应中折射率之差与电场强度的平方成正比,因此克尔效应也称为二级电光效应。经克尔盒后两束线偏振(下转17页)

论。这又是空间弯曲的一个佐证。



同样,在上述的参考系S中测得r处的时间为dt,在参考系S'中测得的时间为dt',由洛伦兹变换式,我们可以得出:dt=dt'/√(1-ω²r²/c²)

由广义相对论的等效原理:“在一个相当小的时空范围内,不可能通过实验来区分引力与惯性力,它们是等效的”。由于以角速度ω旋转的圆平面上的任一参考系S'都是加速运动的非惯性系,所以它可以等效为引力场中的惯性系。这样,上面提到

的dr和dt则成为引力场中的固有长度和固有时间间隔。通过上面的计算我们不难得出这样的结论:在引力场中发生的物理过程,在无引力场处观测结果是:“引力场中的时钟变慢,引力场中的长度收缩,而且引力场越强,时钟越慢、长度越短”。原来,我们的时空弯曲决定于引力场。

人们对时空弯曲的研究和实验仍在继续,为了得到对空间弯曲的直接测量结果,人们想到了引力特别强的地方——黑洞。黑洞是星体由于其本身的质量的相互吸引而塌缩成体积“无限小”而密度“无限大”的奇态。在这种状态下星体表现为非常强的引力场。在黑洞附近,空间受到极大的弯曲。天文学家认为我们的银河系以及其他星系可能存在着许多黑洞,我们可以利用这些黑洞来直接测量时空的弯曲。

(河北廊坊北华航天工业学院 065000)

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, ν 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 ν_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° ,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)