

# 弯曲的时空

官自强

在牛顿时代给出的绝对时空观中,时间与空间都是绝对的,彼此无关。即时间与空间都是彼此独立的,互不相关,并且不受物质和运动的影响。1905年爱因斯坦建立的狭义相对论时空观中,时间、空间和运动三者相互关联,它们都伴随着物质的存在而存在。但未能说明引力与时空的关系。

1915年爱因斯坦建立了广义相对论。它揭示了空间、时间、物质、运动的统一性,几何学和物理学的统一性,解释了引力的本质,也为现代物理学和宇宙学的发展打下了重要的基础。

广义相对论的一个重要结论,是我们的时空是弯曲的。广义相对论告诉我们,在引力物体的近旁,空间和时间要被扭曲。利用这种观点,我们还可以对统治我们宇宙的万有引力给出一个全新的描述:即引力来源于时空弯曲。行星的轨道运动并不是由于什么引力的作用,而是由于这种时空的扭曲。引力就是弯曲时空的表现。

我们的空间是三维的,我们很难想象出一个弯曲的三维空间是什么样的图像,但是我们能够检测到三维空间的弯曲。例如,对一个球体而言,我们可以通过测量它的表面上的圆的周长来测定这个球体空间是否为弯曲的,若测量出的周长不等于半径的 $2\pi$ 倍,则空间就是弯曲的。下面我们以地球为例证明如下:

设地球是半径为 $r$ 的球体,自转角速度为 $\omega$ ,以地球自转轴为参考系 $S$ ,在与地球自转轴垂直的半径为 $r$ 的圆平面上,每一点都取一个瞬时与该平面一起运动的参考系 $S'$ ,设在 $S$ 系中测量距离自转轴为 $r$ 处的圆弧弧长为 $dl$ ,在 $S'$ 系中测量该圆弧的弧长为 $dl'$ ,由洛伦兹变换式,我们可以得出:

$$dl = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} dl' = \sqrt{1 - \frac{\omega^2 r^2}{c^2}} dl'$$
$$l = \oint dl = \sqrt{1 - \frac{\omega^2 r^2}{c^2}} \oint dl' = \sqrt{1 - \frac{\omega^2 r^2}{c^2}} l'$$

这里 $l = 2\pi r$ 是 $S$ 系中观察者测量的半径为 $r$ 的圆周周长, $l'$ 是圆平面上的观察者测量到的累积周长。由于运动的物体其长度收缩只出现在运动方

向,故有 $r = r'$ 成立。那么, $l'$ 与 $r'$ 的比值为

$$\frac{l'}{r'} = \frac{2\pi}{\sqrt{1 - \frac{\omega^2 r^2}{c^2}}} > 2\pi$$

所以,运动圆平面上的观察者经测量得出这样的结论——空间是弯曲的;而且 $r$ 越大,空间弯曲越严重。

对于弯曲空间,广义相对论给出计算公式 $\Delta R \approx 4GM/3c^2$ ,其中 $\Delta R$ 为测出的球体的半径 $R$ 与周长除以 $2\pi$ 的差值, $M$ 是球体质量, $G$ 为万有引力恒量, $c$ 为光速。把上述公式用于地球,可计算出地球周长比 $2\pi R$ 约小5.9毫米,对于太阳来说,其周长比 $2\pi R$ 约小1966米。

我们还可以通过测量球表面上的一个三角形的三个内角和来测定这个球体空间是否为弯曲的,通过测量你会发现它大于 $\pi$ 弧度。广义相对论又给出计算公式,其中 $\Delta\theta$ 为三角形的三个内角和比 $\pi$ 弧度所大的弧度数值。把上述计算 $\Delta\theta$ 的公式用于地球时,可以计算出 $\Delta\theta \approx 1.0 \times 10^{-9}$ 弧度。对于太阳来说, $\Delta\theta \approx 3.0 \times 10^{-6}$ 弧度。

通过上述计算结果我们发现,太阳和地球的空间弯曲都太小了,几乎根本不可能通过直接测量来验证,但光线的引力偏折在自然界中是可以观察到的。例如,从地球上观察某一发光星体,当星体发出的光从太阳表面附近经过时,由于太阳引力的作用,光线将会发生偏折,这将使星体的视位置偏离它的实际位置。在1919年日全蚀时,天文学家就观测到了这个偏离。

光线偏折现象也从另外一个角度说明了空间的弯曲。由广义相对论我们知道,引力场中各处光的速率应当相同(从等效原理可得出此结论),但人们用雷达波测定出“光速在太阳附近速率减小”。人们曾向金星等星体发射雷达波并接收其反射波,发现当金星、太阳和地球三点接近于直线排列时,由于雷达波在往返的路上都要经过太阳附近,雷达波往返所用的时间比雷达波不经过太阳附近时往返所用的时间要长。这个事实说明:由于太阳附近的时空弯曲,因而使金星与地球之间的“距离”变长,应用光速率不变的特性,可得出往返所用的时间要变长的结

# 克尔效应与光开关

肖胜利 朱 锋 郑好望

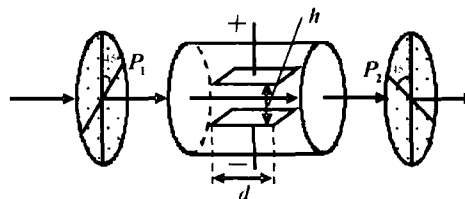
在电场作用下,可以使某些各向同性的透明介质变为各向异性,从而使光产生人为双折射的现象称之为电光效应。一般包括克尔效应和普克尔斯效应两种。

## 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( $C_6H_5NO_2$ )的液体;两偏振片的透振方向相互垂直( $P_1 \perp P_2$ ),极间电场方向与两偏振片的透振方向成 $45^\circ$ 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( $10^6 V/m$ )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 $10^{-11}s$ (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。



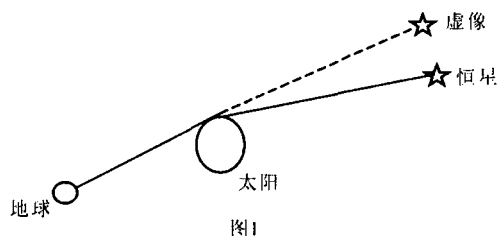
## 二、光开关

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 $I = I_0 \sin^2(2\theta) \sin^2(\Delta\phi/2)$ ,其中 $\theta$ 为发生双折射后液体光轴与两偏振片 $P_1$ 和 $P_2$ 偏振化方向之间的夹角,在所给装置中 $\theta = 45^\circ$ , $\Delta\phi$ 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

$$I = I_0 \sin^2(\Delta\phi/2) \quad (1)$$

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 $n_o - n_e = k\lambda E^2$ ,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: $dt = dt' / \sqrt{1 - \omega^2 r^2 / c^2}$

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 $\omega$ 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 $dt$ 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)