

# 多普勒、多普勒效应及其应用

李启明

因波源和观测者有相对运动而出现的观测频率与波源频率不相等的现象,叫做多普勒效应。多普勒效应的发现者是奥地利物理学家及数学家克里斯蒂安·多普勒(Christian Doppler, 1803~ 1853)。

## 多普勒和他的科学贡献

1803年11月29日,多普勒出生于奥地利的萨尔茨堡,其家族在萨尔茨堡经营石刻,生意兴隆,父母期望他能按照传统子承父业,可是他自幼体弱多病。多普勒在萨尔茨堡上完小学后进入林茨中学,1822年,他的父母接受一位数学教授的建议,让多普勒到维也纳理工学院学习。多普勒在数学方面显示出超常的水平,1825年他以各科优异的成绩毕业,之后回到萨尔茨堡教授哲学,后来又去维也纳大学学习高等数学、力学和天文学。1829年,当多普勒结束维也纳大学的学习时,被任命为高等数学和力学教授助理,之后他当过工厂的会计员,后来又去布拉格一所技术中学任教,同时担任布拉格理工学院的兼职讲师;到1841年,多普勒才正式成为理工学院的数学教授。多普勒治学严谨,曾经被学生投诉/考试过于严厉而接受学校调查,繁重的工作和沉重的压力使多普勒的健康每况愈下。1850年,他被委任为维也纳大学物理学院的第一任院长,可是3年后多普勒便在意大利的威尼斯去世,年仅49岁。

1842年,多普勒发表论文首次论述多普勒效应。他推导出当波源和观测者有相对运动时,观测者接收到的波长(频率)会改变,在运动的波源前面,波被压缩,波长变短,频率变高;在运动的波源后面,波长变长,频率变低。波源的速度越高,产生的这种频率变化越大。观测频率变化的程度,可以计算出波源沿观测方向运动的速度。

多普勒还曾试图用这个原理来解释双星的颜色变化。由于多普勒效应对双星的颜色影响极小,那时根本没有仪器能测量出这些变化。不过从1845年,有人开始利用声波进行实验,他们让一些乐手在火车上奏乐,请另一些乐手在月台上记录火车逐渐接近和远离时听到的音调,实验结果证明了多普勒效应。

多普勒的研究范围还包括光学、电磁学和天文

学,他设计和改良了很多实验仪器。他才华横溢、创意无限,经常有各种奇思妙想,尽管并不是都可行,却经常能给别人以启迪。

## 声波(超声波)的多普勒效应及运用

当一列鸣笛的火车经过某观察者时,他会发现火车汽笛的声调由高变低。这是因为声调的高低是由观察者耳膜振动频率的不同决定的,如果频率高,听起来声调就高,反之听起来声调就低,这就是声波的多普勒效应。当火车以恒定速度驶近观察者时,汽笛发出的声波在空气中的传播结果是波长缩短。因此,在一定时间间隔内进入人耳的声波频率就增加了,这就是观察感受到声调变高的原因;相反,当火车驶向远方时,声波的波长变大、频率变低,因此听起来就显得低沉。

定量分析可得观测到的波的频率  $f_c = (v_{\text{观}} / (v_{\text{源}} \pm v_{\text{源}})) f$ , 式中  $v_{\text{源}}$  为波源相对于介质的运动速度、 $v_{\text{观}}$  为观察者相对于介质的速度、 $v$  表示波在静止介质中的传播速度、 $f$  表示波源的固有频率。当观察者朝波源运动时,  $v_{\text{观}}$  前面取正号;当观察者背离波源运动时,  $v_{\text{观}}$  前面取负号。当波源朝观察者运动时,  $v_{\text{源}}$  前面取负号;当波源背离观察者运动时,  $v_{\text{源}}$  取正号。从上式易知,当观察者与声源相互靠近时,  $f_c > f$ ; 当观察者与声源相互远离时,  $f_c < f$ 。

近年来,一种超声脉冲多普勒血流测量技术在临床医学上开始广泛应用。当声源或反射界面移动时,所发射和散射的超声波频率会发生变化。比如,当红细胞流经心脏大血管时,从其表面散射的超声波频率发生改变,这种频率偏移可以指示血流的方向和速度。如红细胞朝向探头时,根据多普勒原理,反射的声频提高,如红细胞离开探头时,反射的声频则减小。将超声脉冲多普勒技术用于心脏研究,可以估计血流的血液动力学特征,如血流方向和血流性质等。

从20世纪60年代开始,利用多普勒效应和激光的相干性,激光多普勒血流测量技术广泛应用于血流信息检测及生物医学等方面。

## 电磁波的多普勒效应及运用

电磁波同样存在多普勒效应。但电磁波与声波

不同:一是声速远小于光速,不需要考虑相对论效应,但电磁波在真空传播时,无论相对于波源、还是相对于观察者,波速都等于光速  $c=310 \times 10^8 \text{m}$ ;二是电磁波的传播并不需要介质,因此对于电磁波而言,波源和观察者相对于介质的速度是没有意义的,有意义的只是波源和观察者之间的相对速度。

设电磁波源与观察者在同一直线上相对于观察者运动的速度为  $v$ ,则电磁波的多普勒效应公式为  $\nu_c = \nu \sqrt{(1 - v/c)/(1 + v/c)}$ ,只要能够测得波源频率  $M$  和观察频率  $M'$ ,便可以求出波源相对于观察者的速度。

**多普勒卫星导航定位系统** 1957年,原苏联发射了人类历史上的第一颗人造地球卫星,美国科学家在对其跟踪研究中发现,当卫星飞向他们的无线电接收机时,收到的电波信号频率增大;卫星离去时,收到的电波信号频率减小,这就是电磁波的多普勒效应。根据电磁波的多普勒效应,在卫星通过无线电接收机上空期间,利用测定的各个电波信号的频率变化量,就可以确定卫星的整个轨道。后来,另一位科学家逆向思维,提出了一个相反的想法:如果事先知道卫星的精确轨道,根据电磁波的多普勒效应,就可以确定无线电接收机的位置。这个设想很快被美国有关部门采用,天上的(交通警察0)))多普勒卫星导航定位系统应运而生。

多普勒卫星导航定位系统,在军用和民用过程中取得了极大成功,是导航定位史上的一次飞跃。但由于多普勒卫星轨道高度低、信号载波频率低,轨道精度难以提高,使其定位精度较低,难以满足精确测量的需要。为了提高精度,美国从1973年开始筹建全球定位系统(GPS)。在经过方案论证、系统试验阶段后,于1989年开始发射正式工作卫星,并于1994年全部建成、投入使用。

GPS系统包括24颗人造卫星,每12小时绕地球1圈,每个卫星都能发出包含其位置、时间数据编码的信号,精确度可达  $10^{-9}$ 秒,这些卫星按照一定方式排列,使地球上任何一点都至少能同时接收到4颗卫星发出的信号,无论地球的任何地方、任何时候、任何天气条件,地面接收者都可以通过解读这些信号准确确定出自己所处的位置。

**多普勒气象雷达** 多普勒气象雷达是目前世界上最先进的气象雷达,广泛用于气象、民航等部门。它根据其发射的电磁波与云雨区回波信号的强弱测

定降水强度,利用返回信号因多普勒效应产生的频率变化,测定云雨中降水微粒的移动速度。由于雷达天线可在不同的角度上作水平旋转,因此可测定三维立体空间中云雨区分布和云雨区中降水微粒的相对移动,这对研究降水的形成,分析中、小尺度天气系统,预报强对流天气具有重要意义。我国从1998年开始在江西南昌、赣州、吉安,广东番禺、湖北宜昌等地建成多普勒气象雷达站,大大提高了短时天气预报,特别是突发性、灾害性、强对流天气预报的准确率,增强了我国气象灾害监测、预警能力。

2001年7月,我国首部移动式多普勒天气雷达在湖北荆州启用。这台移动式多普勒天气雷达不仅能探测天气系统的宏观与微观特征,还可探测天气系统的气流分布,能对荆江流域常见气象灾害的发生、发展做出及时准确的预报,并且与宜昌的多普勒雷达形成双多普勒监测系统,消除了荆江流域雷达探测的盲区。

现在,交通警察常用测速雷达测量汽车的速度,判断汽车是否超速,其原理就是利用红外线的多普勒效应。

### 光的多普勒效应及运用

具有波动性的光(实际上就是电磁波)也具有多普勒效应。1848年,法国物理学家斐索(1819~1896)独立地对来自恒星的光波长偏移做了解释,提出利用这种效应测量恒星相对速度的办法,因此光的多普勒效应又被称为多普勒-斐索效应。光波与声波的不同之处在于,声波的频率变化表现为声调的改变,光波频率的变化则使人感觉到颜色的变化。如果恒星远离我们而去,则光的谱线就向红光方向移动,称为红移;如果恒星朝向我们运动,光的谱线就向紫光方向移动,称为蓝移。

20世纪20年代,美国天文学家斯莱弗在研究远处的旋涡星云发出的光谱时,首先发现了光谱的红移,认识到旋涡星云正快速地远离地球。1929年,哈勃根据光谱红移总结出著名的哈勃定律:星系的远离速度  $v$  与距地球的距离  $r$  成正比,即  $v = Hr$ ,  $H$  为哈勃常数。根据哈勃定律和后来更多天体红移的测定,人们相信宇宙在很长时间内一直在膨胀,物质密度一直在变小。由此推知,宇宙结构在某一时刻前是不存在的。1948年伽莫夫和他的同事们提出了大爆炸宇宙模型,20世纪60年代以来,大爆炸宇宙模型逐渐被广泛接受,以致被天文学家称

# 液体变焦透镜简介

王天武

关于电化毛细管作用的研究始于 1875 年,李普曼(G. Lippmann)在当时用相关理论来解释对浸在电解液中的水银滴表面施加电压时其形状发生变化这种现象。弗洛姆金(A. Froumkine)用同样的原理解释了解液体表面的净电荷会改变其与金属表面张角的现象,也就是所谓的电湿润过程。最近,一个巧妙的实验更加形象地展示了这种过程,从而将其应用进行了推广,并使用水银液滴对传感器和光学开关进行了测试。人们在电极和电解质之间插入一种绝缘体的时候,发现电湿润过程起到了很大作用,它使电极和电解质之间的接触角度改变了 50 多度,并且人们更进一步确定了电湿润过程的效果与所施加电压的二次方成比例,而且这种变化在非常大的角度范围内都是可逆的。人们对电湿润过程进行推广应用,开始使用液滴制作液体光学透镜。液滴接触角度的改变将导致两种液体接触表面的曲率半径的变化,从而改变透镜的焦距。确保液体透镜能够正常工作需要满足两个重要条件:一是要保证所用容器的器壁具有能使液体产生明显电湿润过程的倾斜角度;二是必须是两种互不相溶液体(如水滴和油滴)的组合。

许多光学系统都可以通过机械部件进行调整,然而基于变焦透镜大小、价格、反应速度的考虑,迫切需要一种能够改变传统透镜缺陷的新型光学变焦器件。一种解决办法是在透明可变的容器中注入液体,然而这需要一种外部动力装置,当前,可以利用液晶材料制作微型透镜,但是这使透镜尺寸受到限制,无法满足透镜微型化的要求。

变动光学(VARIOPTIC)公司研制的液体变焦透镜如同人的眼睛一样,能够自动适应所要拍摄的对象,而不需要机械装置的辅助,只要改变电压的大小就可改变两种液体的外形,从而达到自动聚焦和

自动变焦的目的。该公司以上文提到的电湿润过程的原理为基础开发出用以制造液体透镜的/电湿润法0技术,对比传统透镜,该公司的/电湿润法0技术有很多优点。利用该方法生产的液体透镜体积小、价格低、速度快、寿命长、成像质量好、无噪音,使电控自动变焦透镜的廉价大批量生产成为可能。下面对液体透镜的结构及工作过程作简单介绍。

## 一、液体变焦透镜的基本结构

液体变焦透镜的整体形状像一个圆柱体,它的上下表面由两片薄玻璃片构成,透镜的内侧壁分为两层:一层呈圆柱形、另一层呈圆台形,且上下两层均由金属电极组成,在两个电极之间涂有一层绝缘材料,以使两电极之间不导电,在变焦透镜的容器内

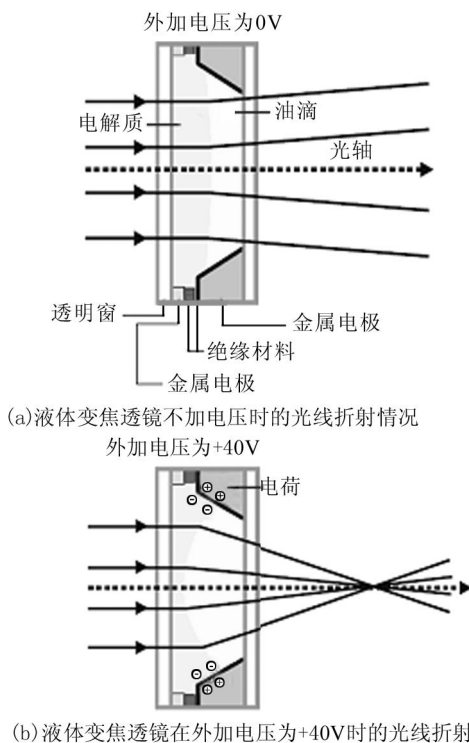


图 1 液体透镜基本结构

为宇宙的/标准模型0。

多普勒-斐索效应还使科学家们想到,用这个原理测量距地球任意远的天体相对于地球的运动速度:将地球上测得的某种原子发光频率作为波源频率,再测得星体上同一种原子的发光频率作为观测

频率,根据这两种频率的差别(红移或蓝移)就可以算出星体相对于地球的运动速度。1868年,英国天文学家 W. 哈金斯用这种办法算出天狼星的视向速度(即物体远离我们而去的速度)为 46 千米/秒。

(四川省双流县华阳中学 610213)