

多普勒效应在电和光方面的应用

闫夷升 李爱玲

(西安陆军学院物电室 陕西 710108)

凡是去过火车站的人都应该有这样的经验:当火车由远处开过来时,汽笛声的音调迅速变高(实际上是频率增大),而当列车离你远去时,汽笛声的音调会变得低沉(实际上是频率变低)。同样,坐过火车的人也会发现,当旁边的复线上有列车开过来时,汽笛声急剧变尖,十分刺耳。在大街上,当警车从你身旁呼啸而来时,你会发现警笛声调也有明显的变化。以上这些现象都说明,当声源或观察者相对介质运动时,观察者接收到的频率就会发生改变,而且频率的变化与声源或观察者相对介质运动速度的大小和方向有关。奥地利的物理学家克里斯琴·约翰·多普勒(C. J. Dopple)最早描述了这个现象,于是就称为多普勒效应。它虽然最初是由声源发现的,但对于其他的波动,比如电磁波和光波也同样存在,并且有着重要的应用。

一、雷达测速

“雷达”这个术语大家都很熟悉,它是由“无线电探测和测距”这一短语派生出来的。最初是用来对敌舰和敌机进行搜索,而比较和平的用途是跟踪天气扰动和超速行驶违犯交通规则的车辆。警用雷达的电子系统就是利用多普勒效应来监测车辆的速度。现代化的城市里常常可见“雷达测速区”的标牌。下面介绍一下雷达测速的工作原理。

雷达波实际上是天线发射的波长在微波段的电磁波。不过在雷达中,发射机仅开动很短一段时间然后就关上,稍停一会儿后再打开。这种发射方法就可以使波以短脉冲发送出去,因此它和声速是不同种类的波。与声速(约 $335\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)相比,雷达波的传播速度要大得多,约为 $3\times 10^8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

警车将雷达波束定向朝路面直线发射,道路上的车辆就会把雷达波反射到警车的接受器上。如果发射波的车辆不动,则返回波的频率和入射波的频率相同。若被监测的车辆是朝装有雷达装置的警车开过来的话,则相当于观察者不动,波源靠近观察者运动,由多普勒效应的公式可知雷达接收到的频率比发射的频率要高,而且还可以计算出频率的变化。

在已知雷达波波长的情况下,警车上的电子系统会很快将这一微小频率差转换成车速的读数。从而判定该车是否超速行驶。

雷达测速的原理也可以用于军事中。战场上的侦察雷达又称为地面活动目标侦察雷达,其原理就是雷达测速。在侦察中,一般雷达固定不动,若目标反射的回波脉冲频率等于雷达发射的脉冲频率,则表示目标相对于雷达不动;如果接收到的反射波频率增大,表示目标接近雷达;反之,若接收到的回波频率减小,则目标远离雷达。而且根据多普勒频移公式还可以计算出目标运动速度的大小。在侦察雷达中还装置了专门的电子系统将回波频率的变化在荧光屏上显示出来,并配以耳机声响,使观测者能很容易地鉴别目标活动的情况。

利用多普勒效应的原理探测目标的雷达常称为PD雷达,即脉冲多普勒雷达。由于受地面杂波的干扰,一般雷达的下视能力都比较弱,不容易辨认目标。而PD雷达基于多普勒效应,可把移动的目标与静止不动的地面背景分开,从而大大提高了雷达的下视能力,这对空战的意义十分重要。

二、导航

由于飞机的运动也会导致飞机发射的无线电波的频率发生变化,因此多普勒效应也可用以雷达导航。根据多普勒效应制成的多普勒导航雷达可以测量出飞机的速度和偏向角等。

多普勒效应也可用于卫星导航系统。1957年,前苏联发射了第一颗人造卫星。此后不久,美国的约翰·霍普金斯大学应用物理实验室的两位科学家吉勒和韦芬巴克,在用无线电跟踪人造卫星时发现接收到的电波频率随着卫星的运动而变化。他们很快就研究出了一种根据地面跟踪站的位置和测量到的频移来计算卫星轨道的方法。另两位美国的科学家麦克卢尔和什纳也受到启发,认为由已知的卫星轨道和测得的多普勒频移也能确定地面接收站的位置。从而产生了卫星导航技术。

正当美国海军为“北极星”核潜艇缺少理想的导

航系统而发愁时,物理学家们的设想马上变成了美国海军的导航计划。于是第一代卫星导航系统便应运而生。1960年4月,“子午仪”卫星导航系统被成功地送入了轨道。“子午仪”是由卫星系统、地面跟踪系统、舰船接收系统3部分组成。可用于测量卫星的轨道和进行地面跟踪。如今在茫茫的大海中航行的舰船,只要打开接收机就会听到“子午仪”在空间的呼叫信号,据此确定出自己的位置。

为了满足现代军事导航系统的需要,20世纪70年代中期,美国国防部开始发展并建立了第二代卫星导航系统,即全球定位系统,简称GPS(Global Positioning System)。它可以提供全球三维位置、速度和时间,是海、陆、空三军通用的导航定位系统。在这些系统中其基本的物理学原理就是多普勒效应。

多普勒效应还可用于导弹的引信技术中。导弹上装有无电线引信发射机,通过天线向目标发射连续的高频振荡。由多普勒效应可知,当导弹与目标接近时,频率增加。因此,在导弹追踪到目标时,多普勒频率最高,信号幅值最大。把引信引爆电雷管设计在这个位置上,就会击中目标。

三、天文学方面

1905年,爱因斯坦在相对论中指出在光波中也存在着多普勒效应。科学家们在研究从遥远星系射到地球上的光时,发现星系发出可见光的频率发生了频移。即光在引力场中传播时它的频率会发生变化。例如一个在太阳表面的氢原子发出的光到达地面时,我们会发现它的频率比地球上的氢原子发出的光的频率要低一点,即发生了红移(因为在可见光中,红光的频率最低,所以一般把频率降低的现象叫做红移,反之叫蓝移)。

随着大型望远镜对银河外星系的普遍观测,到1929年人们不仅发现了银河外星系普遍存在着红移现象,而且美国天文学家哈勃还总结出了一条规律:若星系距离我们地球越远其红移量也就越大,二者存在线性关系。即所谓的哈勃定律。

上述现象可以解释为由于星球运动而引起的多普勒频移。若把地球看成静止的观察者,则多普勒频移可以解释为遥远的星系正在离开我们地球而远去。根据这种解释,宇宙膨胀的理论现在已被很多人所接受。因此多普勒效应为“宇宙大爆炸”的宇宙学理论提供了有力的证据。这种理论认为:宇宙是由上百亿年以前在一个比较小的空间区域内发生了一次大爆炸而演化来的。关于宇宙膨胀的起因存在

着许多科学理论,但每种理论都必须解释这种“多普勒红移”。

在天体物理学中,谱线的多普勒增宽已成为一种分析恒星大气、等离子体物理状态的重要测量和分析手段。1960年激光问世以后,人们就考虑到利用激光的多普勒效应来测量物质运动的速度。科学家们已先后研制出了各种不同光路的多普勒激光测速仪。现在一般的大学物理实验室里都可以很容易地利用激光测量出光的速度。

关于光的多普勒效应,还有一个有趣的故事“物理学家闯红灯”。据说有个物理学家名叫乌德,有一次他把自己的汽车开得太快了,在红灯信号来不及停下。于是警察追上了他,并准备对他罚款。乌德就企图用“多普勒效应”为自己开脱责任。他告诉警察说,当车辆高速行驶的时候,由于多普勒效应,红色信号的光会被看成是绿色的。实际上用多普勒频移公式计算,当汽车的速度达到每小时13500万千米时,才会发生这种情况。如果车速达到这个速度,那么这位物理学家用1小时多的时间就能从警察身边驶到比太阳还远的地方去。据说那位交警根本不相信乌德的狡辩之词,最终还是因“超速”行驶对他进行了罚款。

多普勒效应在医学上也有着重要应用。比如现在在医院里普遍使用的“B超”技术就是利用超声波的多普勒效应来检查人体内脏、血管的运动和血液的流速、流量等。由此可见,多普勒效应在科学研究、工程技术、交通管理、军事和医疗诊断等方面有着广泛的应用,其例子早已不胜枚举。

• 书讯 •

《王术诗文集》出版

本刊刊友和作者、曾任中国科学技术大学精密机械系基础教研室主任兼中文教研室主任的王术教授,其遗作《王术诗文集》经周达宝主编,由北京燕山出版社于2001年3月出版。《人民文学》总编屠岸先生在该书的序言中写道:“我觉得‘多才多艺’还不足以概括他的全貌,应该说‘科学与诗的统一’才是王术的精神的本质。”

欲购者,请汇28.80元给“100013北京朝阳区和平街11区21-1-6王在”。