

光速的测量史

尹世忠 赵喜梅

(邢台师范高等专科学校物理室 河北 054001)

光速是指真空中电磁波的传播速度,它是物理学中最重要的常数之一。人们最初是通过测量可见光的传播速度测得它的数值的,目前国际公认值是 $c = 299792458$ 米/秒。

光速是人们最早测量的物理常数,对光速测量方法的进展,不仅标志着光速在准确度上的不断提高,还充分反映了近代物理及其实验方法的惊人发展。人们对光速的测量可以分为以下两个阶段。

1. 1676年~1929年的250多年

在这一阶段,人们确定了光速的有限性,并对光速进行了初步测量。

17世纪以前,天文学家和物理学家认为光速为无限大,宇宙中恒星发光是瞬间到达地球的。伽利略首先对上述观点提出怀疑,并在1600年前后做过粗糙的实验来证明光速的有限性,但未获得成功。

1676年丹麦天文学家罗墨利用木星的卫星蚀方法首次对光速进行了测量。因木星和地球的轨道运动周期不同,木星和地球之间的距离在不断地变化,最大距离与最小距离之差等于地球的轨道直径。

中,只有很少一些是真正的新发现时,我曾极度懊丧。”虽然如此,在非涅耳看来,没有什么比追求真理更为重要,他的研究成果能得到别人的证实,这也足以令他欣慰了,正如他在信中所说:“如果有什么使我感到安慰的话,那就是使我有机会认识一位伟大的科学家,他以大量的重要发现而丰富了物理学宝库。与此同时,所发生的这一切使我对我所研究的这一理论的正确性更加充满信心。”后来,菲涅耳还将自己的论文赠送给杨,并在公开的场合宣布杨的优先权。“我已在一些场合非常高兴地当众宣布了您的发现、您的观察结果、甚至您的假设的优先权。”这是菲涅耳写给杨的信中的一段话。菲涅耳就是这样谦虚而实事求是。

菲涅耳的巨大成功,使人们对光的波动性有了新的理解;随后,杨在13年前的实验和论文也得到学术界应有的重视。虽然杨早在菲涅耳之前已做出同一发现,但他仍然非常尊重年轻的菲涅耳,在给菲

罗墨发现卫星蚀的变化周期为13个月,这个周期正是地球从距离木星的一个最近位置运行到下一个最近位置的时间。从上述的一个位置出发可以估计6个半月后地球到达与木星最远距离时发生卫星蚀的时间。罗墨发现,在最远距离处与最近距离处卫星蚀发生的时间延迟了22分钟。他认为这是光速的有限性引起的,根据观测数据最先确定的光速值为214000千米/秒。51年后,英国格林尼治天文台的第三任台长布拉德来于1727年用光行差的方法测得光速。至此,天文学家用天文学的方法对光速的测量,完全确定了光速的有限性。

19世纪中叶,人们开始用物理学的方法测定光速。当时先后产生了测定光速的两种方法,旋转齿轮法和旋转镜法。旋转齿轮法是法国物理学家斐索在1849年发明的。装置如图1所示,光源S发出的光在半镀银的镜子G上反射,经透镜 L_1 聚焦到O点,再经 L_2 变成平行光束,经过8.67千米后通过 L_3 会聚到镜子M上,再由M沿原路返回到G后进入观测者的眼睛。置于O点的齿轮旋转时把光束切割成

涅耳的信中,他这样写道:“先生,我为您赠送我令人羡慕的论文表示万分的感谢,在对光学进展最有贡献的许多论文中,您的论文确实有很高的地位。”在一篇公开发表的文章中,杨还写道:“我首先非常高兴地在科学院会议上听到了菲涅耳先生的光学报告。虽然看来他是由于自己的努力而重新发现了光的干涉定律,而且通过精密计算把它们应用到了我几乎已感到没有希望用干涉定律作出解释的一些现象上,但在任何场合,特别是对理论作出清楚陈述时,他以最审慎的公正和最自由的坦率,承认我的研究具有无可争辩的优先权。”

就是这样,杨和菲涅耳的实验为光的波动说奠定了坚实的基础,他们以非凡的成就和高贵的品格赢得了共同的荣誉,成为光学史上齐名的科学家;这段有关发现优先权的故事,也已成为物理学史上的美谈。

许多短脉冲,他用的齿轮有 720 个齿,转速为 25 转/秒,这相当于每个脉冲往返所需时间为 $1/18000$ 秒,往返距离为 17.34 千米。他测得的光速 $c = (315300 \pm 500)$ 千米/秒。

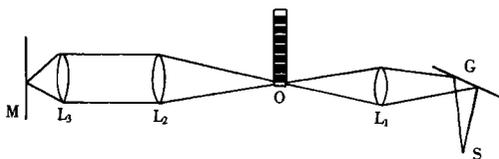


图 1

旋转镜法是法国的傅科于 1850 年设计的。他的装置是一个纯光学系统。利用一个平面镜的旋转可以把光往返于另一平面镜和一个凹面镜之间的时间测出来,从而测得光速。1862 年他发表的结果是 $c = (298000 \pm 500)$ 千米/秒。

以上两种方法,设计巧妙,属光速测量史上的开创之举,为后来光速的测量工作奠定了基础。

美国物理学家迈克耳逊从 1879 年开始用旋转镜法对光速进行了持续 50 年的测定工作。他在实验装备和技术上都作了很大的改进,创立了多面旋转镜法,延长了光路。提高了精度。1926 年他发表的测量结果为 $c = (299766 \pm 4)$ 千米/秒,其精度比傅科的结果提到了 100 倍以上。1929 年美国物理学家白尔济发表了题为“普通物理常数概然值”一文,全面分析了物理常数的理论和实验工作,第一次用最小二乘法对各个常数的实验值进行处理,他所得的光速值为 $c = (2.99796 \pm 0.00004) \times 10^8$ 米/秒,和迈克耳逊的测量结果基本一致,很快被人们接受为光速的公认值。自从 1676 年以来 250 多年,光速的测量告一段落。

2. 1929 年~1983 年的 50 多年

1929 年以后,对光速的测量进入了一个新的阶段。新的实验方法和新的实验技术不断涌现,使得测量精度不断提高,最终使光速成为物理学上的一个定义值。

1937 年和 1941 年美国的安德生两次用克尔盒代替斐索实验中的齿轮,利用克尔效应测定了光速,其结果分别为 $c = (2.99774 \pm 0.00014) \times 10^8$ 米/秒和 $c = (2.99776 \pm 0.00014) \times 10^8$ 米/秒。

1949 年前后,光速的测定又有了新的实验方法。一是阿斯拉克逊提出的,他在 1949 年用雷达测量电磁波往返两站之间所需的时间,其结果为 $c = (2.997923 \pm 0.000024) \times 10^8$ 米/秒。二是英国物理

学家埃森提出的,他在 1950 年利用共振腔测得超短波的频率,从而求得电磁波在真空中的速度为 $c = (2.997925 \pm 0.000010) \times 10^8$ 米/秒。三是瑞典物理学家伯格斯特兰提出的,用光电测距仪对光速进行测定,1951 年他公布的测量结果为 $c = (2.9979310 \pm 0.000032) \times 10^8$ 米/秒。

1952 年英国实验物理学家弗罗姆用微波干涉仪法测量光速,在精度上超越了以前的各种方法,得到的数值为 $c = (2.997930 \pm 0.000003)$ 千米/秒。1957 年,居孟和柯恩出版了《物理学的基本常数》一书,给出的光速值为 $c = (2.997930 \pm 0.000003)$ 千米/秒。1957 年国际无线电科学协会、国际大地测量学和地球物理学协会分别推荐上述结果为国际推荐值使用,一直沿用到 1973 年。

1972 年美国标准局的埃文森等人采用直接测量激光频率和真空波长值的方法。用两者的乘积得出真空中的光速值 $c = f\lambda$ 。他们建立了从铯频率基准经过一系列激光器直至由甲烷稳定的氦氖激光器的激光频率链,经过逐级倍频和差频的检测,最终得到甲烷谱线 v_3 带 $P(7)$ 支 $F_2^{(2)}$ 分量的频率值为

$$f(CH_4) = 88376181627 \pm 50 \text{ 千赫}$$

测量的不准确度为 $\pm 4 \times 10^{-9}$ 。由此可得 $c = (299792458 \pm 1.2)$ 米/秒。

1973 年柯恩和泰勒发表了“1973 年基本物理常数的最小二乘法平差”一文,给出的光速值为 $c = 299792458 (1.2)$ 米/秒。1973 年召开的第五届米定义咨询委员会和 1975 年召开的第 15 届国际计量大会先后确认上述光速值作为国际推荐值使用,它的不确定度为 $\pm 4 \times 10^{-9}$ 。

由于真空中光速值的准确测量以及激光频率稳定和精密测频技术的发展,促使米的定义发生了根本性的变化。1983 年 10 月召开的第 17 届国际计量大会通过了新的定义为:“米是光在真空中在 $1/299\,792\,458$ 秒的时间间隔内行程的长度。”在规定的 3 种复现方法中均明确指出,真空中光速的数值已是一个定义值,通过这个定义值,长度单位米是与时间单位无关的独立的基本单位。这时光速已成为定义值,它的不确定度为零,不需要再进行任何测量,从而结束了 300 多年精密测量光速的历史。

狭义相对论中的光速不变原理是指光在不同的惯性系中速度相同。科学家们在更高的精确度下去检验光速是否恒定的规律,进行光速恒定性实验是有更深刻的理论意义的。