

引力恒量——一个至今仍在继续的话题

黄建煌

美国纽约大学石溪分校哲学系教员罗伯特·克瑞丝和美国国家实验室的历史学家布鲁克海文于2002年在美国物理学家中作了一次调查,要求他们提名历史上最美丽的科学实验。9月份出版的《物理学世界》刊登了排名前10名的最美丽实验,其中的大多数都是我们耳熟能详的经典之作。而1798年英国科学家卡文迪许的扭秤实验位居第六名,因为该实验测定的常数是如此之微小,而所用的仪器是又是如此之简单,至今仍令人称道,使人不得不回想起引力恒量测定的发展历程。

一、早期的测定工作及方法

牛顿于1687年将万有引力定律发表在他所著的《自然哲学的数学原理》一书中。万有引力定律是物理学中一个最普遍的定律,它不但在天体力学中有辉煌的成就,而且其应用远远超出天体力学的范围。牛顿曾经设想过两种测量恒量的方法:一是直接测量两物体间的引力,再利用公式确定恒量的值;另一种方法是利用大山附近单摆的偏角测定恒量。限于当时的条件,牛顿未能使两种设想付诸实现。后来他错误地认为:由于引力极小,无论用哪种方法都无法测定;恒量的测定也没有多大必要。然而,这没有影响物理学家测定这一常数的浓厚兴趣。万有引力定律在天文观测中的运用证明了它的正确性,使得不少物理学家相信用实验方法测定恒量是可能的。早期的测定方法如下。

铅垂线偏向法 上面已经说过,这种方法是牛顿首先提出来的,而第一个用这种方法测定的人是法国数学家布格尔。1750年左右,他在南美洲厄瓜多尔的琴玻拉错山(6253米高)的旁边量度这座山的引力对铅垂线所产生的偏角,得到的结果并不很好。应该指出的是,布格尔的实验是在极恶劣的气候中进行的,而且这种实验方法的最大缺点是不能准确量度山的密度分布(或山的质量)。在布格尔之后,1774年英国天文学家马斯基林在哈里山,1856年詹姆斯和克拉克在苏格兰,1887年普里斯顿在夏威夷都曾应用这种方法测定引力恒量。

比较摆的周期法 这种方法的原理是观察摆在山顶和平地时的振动周期(或在矿井的出口和底部

观察摆的振动周期),由周期之比得到重力加速度之比来求恒量。1824年意大利科学家喀尔里尼把他在西尼山(位于意大利西北部,3170米高)上观察到摆的振动周期和法国科学家毕奥用相同的摆在玻尔多所得的周期相比较,求出恒量。后来门登霍耳于1880年在日本东京富士山上、普里斯顿于1892年在夏威夷岛上,都曾用过这种方法。1856年英国科学家爱里也在一煤矿井的出口和底部做了这个实验,并测得恒量的值,后来经过澳大利亚科学家斯铁纳克在1882~1883年间加以改善得到更为准确的值。这种方法因为准确度不够高,所以后来也就没有人再用了。

天平测定法 天平测定法是德国物理学家焦利提出的。焦利于1878年利用所谓“焦利天平”证明了在不同的高度,同一质量有不同的重量。换言之,重力是随高度的增加而减少的。1881年焦利利用这种天平测定地球的平均密度,从而测得恒量的值。这种方法有两个优点:首先,所用的工具——天平,本身就是非常灵敏的仪器;其次,用来比较的物体的质量可以很准确地量度,不像上述两种方法中山的质量全靠估计。因此,这种方法的准确度非常高。1884年德国科学家柯尼希和李查兹也设计了一个类似的实验,这个实验由李查兹和克里加·门切耳在1898年实践过。这种方法的准确度非常高,而李查兹和克里加·门切耳的实验技术又特别高明,所以他们得出的结果,是现在认为最准确的数值之一。此外,英国物理学家坡印廷于1891年还把焦利的方法加以改善,得到了更为准确的数值。

扭秤测定法 当然,扭秤测定法是测定引力恒量最常用、最准确的方法。现在我们知道,这种方法是英国科学家卡文迪许首次采用的。其实,这个著名的实验是他的朋友米克耳设计的。米克耳在1750年就发表了扭秤的原理,指出扭秤有较高的灵敏度,并且建议利用扭秤量度磁铁的引力和斥力,但是扭秤的重要性是库仑于1777年用来量度磁和电的引力及斥力之后才为科学家所注意的。当时,米克耳把仪器装置完成之后,没有得到机会利用就去世了。后来卡文迪许重新改造了这个仪器,并在

1797~1798年间用其做了许多次实验。毫无疑问,卡文迪许的实验结果在当时被认为是最准确的。经过100年之后,这些数值才有所改进。

1838年,德国科学家赖希重做卡文迪许的实验。他的实验和卡文迪许的主要区别是他采用镜尺法测定偏向角。1841~1842年,英国科学家倍利又重新用卡文迪许的方法做了许多实验。他用2000个由不同物质做成的球(其中有用陨石做的)做实验,结果只证明引力恒量完全和所用物质的性质无关。后来,法国科学家考纽和倍烈于1873年首先注意到改小仪器的尺度,以减少各种干扰。1894年,牛津大学教授波斯对卡文迪许的实验装置做了较大改进。他首先改用水晶丝作扭秤的悬丝,然后采取缩小扭秤梁和改变球的放置位置等做法。这使他的测量结果也成为现在认为最准确的数值之一。这种方法的改进并没有停止,澳大利亚科学家布劳恩在1896年不但把扭秤的尺度改小,还把它放在真空中。匈牙利科学家爱德瓦施也在1896年做了同布劳恩大致相同的实验。1902年,法国科学家布尔格斯为了使水晶丝能够担负更大重量而不致折断,很巧妙地使被吸引的球浮在水银池上,大大提高了实验精度。

二、近百年来的研究及展望

随着科学技术的发展,国际间的交流日益广泛和深入。恒量的测量精度有所提高,测量方法也进一步改善。但恒量测定所达到的数量级却是现有物理常数中最差的一个。自1798年卡文迪许采用扭秤实验之后到现在的200多年里,由于引力作用十分微弱、不可屏蔽,测量仪器的机械加工水平和测量水平还有限,对恒量的研究至今仍未结束。而且在20世纪初,有些学者曾对万有引力恒量是一个恒量表示怀疑。在1937年英国物理学家狄拉克提出的“大数假说”中,比值 $e^2/GM_p M_e$ 随宇宙的年龄在增加。他假设电子电量、质量和质子质量(即 e 、 M_e 和 M_p)是不变的,这必然导致恒量(G)值随时间在减小。对于恒量值的减小,有人从马赫原理处找到依据,认为该减小率与所观测到的宇宙膨胀率有关。

从70年代开始,一些物理学家就从理论和实践两个方面对恒量提出了挑战。1971年,日本东京大学教授藤伊安仪通过理论计算试图将基本粒子物理与万有引力联系起来,他的研究得出了一个出乎意料结论:引力恒量的大小与两个物体间的距离有

关。1976年美国东华盛顿大学的丹尼尔声称,以实验室的实验依据说明万有引力定律在近距离内是错误的。1981年7月,澳大利亚昆士兰大学的斯特塞和图克在实验室里做了一系列实验,也声称实验结果证明万有引力定律在近距离上是失效的,引起物理学界的强烈震动。此外,恒量值随时间减小,符合宇宙大爆炸理论,还可以解释月球运动中某些不可理解的加速度、星系和类星体的一般红移、奥伯斯佯谬、反常红移等。

随着航天技术的发展,人们将测定恒量的目光转向太空,寻找空间测量的方法。1992年,美国的桑德斯和迪兹提出卫星能量交换法,通过测量在几乎相同的地球轨道上的两颗卫星之间的引力,并用轨道摄动理论得出恒量的值。他们认为,卫星能量交换法能将恒量值的测量提高到更精确的水平。但该方法还面临诸多技术难题,仍在探索中。

这些研究尚无最后的判定性结论,这正反映出自然界中尚存在某些未知的规律,促使科学家必须继续完善引力理论,也推动着测量技术和实验条件的进步。所以说,物理学仍有广阔的未知领域有待探索,随着引力恒量的深入研究,物理学有可能会发生一场革命。在这一过程中,它的测量将继续在物理世界的探索中扮演重要的动人心弦的角色。

(福建省仙游县大济中学 351265)

科苑快讯

超常介质打造隐形斗篷

美国杜克大学(Duke University)的戴维·舒里格(David Schurig)和同事展示了第一件隐形斗篷,首次将伦敦帝国理工学院约翰·潘德利(John Pendry)去年上半年提出的理论概念付诸实践。

这个研究小组用10个由同中心的玻璃纤维环制成的“超常介质”做成一个罩。这个“斗篷”在微波范围内与电磁波相互作用,使斗篷和被它遮蔽的物体全都看不到了,眼前好像空无一物。它减少了斗篷和物体的阴影及其反射波,使入射微波发生弯曲,绕过物体,就像没有一丝涟漪的水流过光滑的石头。他们用的隐形“斗篷”有12厘米大,只能实现二维隐形。小组现在正为实现三维隐形而努力工作。目前,这一技术只能用于较窄的频率波段,不过以后会在波长更短的波段实现隐形。

(高凌云编译)

现代物理知识