

计 量 与 物 理

蒋 学 华

(临沂师范学院物理系 山东 276001)

由于历史发展的种种原因,在不同时期、不同领域、不同地域,人们曾采用过不同的计量单位和单位制,这给社会发展、学术交流、商业贸易带来了很大的困扰和麻烦。鉴于国际交往和科技发展的需要,国际计量委员会和国际应用物理协会都曾提出,在国际交往中采用统一的计量单位制。经过几个世纪的努力,直到1960年第11届国际计量大会才正式通过了“国际单位制”。此后不断完善国际单位制,同时向全世界推广,目前已被大多数国家采纳和应用。

回顾国际单位制的形成、现代计量学的发展历程,不难发现,计量学与物理学有着密切的关系,可以说计量的发展历程就是物理学发展史的一部分。计量发展到今天,大体上经历了以下几个有代表性的单位制:米制、力学单位制、电磁单位制、国际单位制。

从16世纪开始,欧洲资本主义生产关系逐步形成,工业不断发展,从而推动了贸易的发展和科学技术的进步。系统的观察和严密的数学演绎相结合的研究方法被引进了物理学中,导致了17世纪主要在力学和天文学领域的科学革命,建立了牛顿力学体系,到18世纪,力学、光学、热学和静电学奠基性工程已基本完成。人们的测量范围也从简单的长度、质量、时间扩展到当时物理学涉及的所有力学量、电学量和光学量等。为了记录数据和学术交流的需要,科学家们便开始寻求一种合理的通用单位。

为了建立统一而合理的计量制度,需要考虑三个方面的问题:一是作为基本单位定义的自然物应是不变的;二是制作或复现标准器的材料应有很好的稳定性;三是同一种类的各单位之间的进位应简单划一。

一、米制

人们首先从最简单、最常用的长度单位开始,对于建立长度的基本单位,有两种有代表性的建议:其一是由法国天文学家莫顿和惠更斯提出的采用秒摆

摆长作为长度单位;其二是由法国科学院的一些科学家们共同提出的建议,采用与地球子午线长度相联系的一种基本单位。经法国科学院的推荐,法国国民大会于1791年采纳了只基于一个长度单位“米”的计量制。“米”被定义为地球子午线四分之一长度的一千万分之一。面积和体积的单位分别是平方米和立方米,质量的单位是1立方米的水在密度最大时(温度 4°C)的质量,由于这一计量单位制以米为基础,故称为“米制”。

在确定米制后,法国科学家从1792年到1799年测量了从法国敦克尔克到西班牙巴塞罗那间通过巴黎的子午线长度,根据这一测量结果制造了一根铂制端面基准尺。之后又仔细测量了1立方米的水的质量,制成了一个铂基准千克。用这两个基准原器体现米的长度和千克的大小,二者均保存在法国档案局内,故该基准称为“档案局米”和“档案局千克”。

随着时间的推移,接受米制的国家越来越多,为使米制基准统一,1869年在巴黎召开的“国际米制委员会”会议决定参考巴黎“档案局米”和“档案局千克”,制造新的国际米原器和千克原器,1872年会议又决定用铂铱合金制造原器的复制品。

1889年在第1届国际计量大会上正式批准了新研制的米原器和千克原器,并将复制品分发各参加国,作为各国的国家基准。

二、力学单位制

经典物理学在19世纪已发展成为严密的科学体系,众多的物理量可以通过若干物理定律或公式而建立起严密的逻辑体系。麦克斯韦等人提议建立一种由几个基本单位按系统建立起来的一贯单位制。在米制的基础上,最初选择了长度、质量和时间3个基本量,以厘米、克和秒作为基本单位,建立了厘米·克·秒单位制(CGS制)三个基本单位确定后,按照一贯性原则,就可以确定所有其他力学量的单位。类似的力学单位制还有米·千克·秒制

现代物理知识

(MKS 制)和米·千克力·秒制(工程单位制)等。

以长度、质量、时间 3 个基本量建立起来的力学单位制,被物理学家推广到电磁学单位中。由于电磁现象可以由两个互不相容的方程来描述,因此在电磁学中又出现了绝对静电单位制和绝对电磁单位制。

三、电磁单位制

以真空中两个点电磁的相互作用力 $f = kq_1q_2 / r^2$ 为基础可定义电量等一系列电学单位,称为绝对静电单位制(CGSE 制),以真空中两根通电平行直导线之间的相互作用力 $f = 2\mu I_1 I_2 L / d$ 为基础也可定义电流等一系列电学量单位,称为绝对电磁单位制(CGSM 制)。绝对静电单位和绝对电磁单位制的基本单位都是厘米、克和秒,由于导出单位选择的定义方程式不同,同一物理量在两种单位制中导出的量纲也不同。在 CGSE 和 CGSM 两种单位制中,介质电容率(介电常数) ϵ 和磁导率 μ 是两个相对应的物理量。在 CGSE 制中, ϵ 为无量纲的纯数,而 μ 的量纲为 $L^{-2}T^2$,在 CGSM 制中则正好相反。

为了解决绝对静电单位制和绝对电磁单位制的矛盾,高斯提出了混合单位制,其基本出发点是,所有的电学量都用 CGSE 单位,而所有的磁学量都用 CGSM 单位,于是在真空中取 $\epsilon_0 = \mu_0 = 1$,即 ϵ 和 μ 均为无量纲的纯数。对于同时包含有电学量和磁学量的公式,则需增加与真空中的光速 c 有关的系数。在高斯制中,全部的电学量和磁学量的量纲和单位都能符合其物理含义。

高斯单位制只选择了长度、质量和时间 3 个基本量,其导出单位的量纲式中经常出现分数指数,使用很不方便。尤其是高斯制中的一些量,如电感 L 和电容 C 的量纲与长度的量纲一样,而这是 3 个本质完全不同的物理量。物理学家们认为这是由于高斯单位制选择的基本量数目过少所致。

四、国际单位制

国际计量委员会于 1935 年选用安培作为第四个基本单位,这样用米、千克、秒、安培作为基本单位构成的单位制称为实用单位制(MKSA 制)。按照一贯性原则,在 MKSA 制中,除了克服高斯制带来的困难外,还较好地解决了涉及介质电容率(介电常数)和磁导率的有关问题,并在电磁学的有关方程中引入系数 4π ,而作了有理化处理。MKSA 制在 1948 年第 9 届国际计量大会上得到肯定,成为以后国际单位制的一部分。

13卷1期(总73期)

自 MKSA 制被科技界接受之后,为了使单位制能将物理学之外的学科单位也统一起来,国际计量委员会又经过 6 年的努力,在 1954 年第十届国际计量大会上提交并通过了以米、千克、秒、安培、开尔文和坎德拉为 6 个基本单位的国际单位制,1971 年第 14 届国际计量大会又将质量的单位摩尔定义为国际单位制的第 7 个基本单位。至此,单位制随着物理学的发展,经过几个世纪不断的更改和完善,终于确定了统一的国际单位制(SI)。

五、基本单位定义的不断完善

国际单位制中,有 7 个基本单位,对于 7 个基本量的标定与测试又成为物理学和计量学研究的一个重要课题,到目前,除千克还依靠国际原器作为实物基准外,其他 6 个基本量都已向自然基准过渡,即可依靠物理的自然现象来实现,根据自然界的永恒规律定义。

如基本单位米的定义经历了几次重大变更,1791 年根据地球子午线长度确定米的原始定义,1927 年国际计量大会把“米”定义为国际计量局保存的国际米原器。随着科技的发展,这个定义的准确度越来越无法满足精密机械制造和计量学发展的需要,1960 年国际计量大会决定废除国际米原器,将“米”定义为:氪-86 原子的 $2p_{10}$ 和 $5d_5$ 能级间跃迁所对应的辐射在真空中波长的 1650763.73 倍,准确度达到了 4×10^{-9} 米。与此同时,一种方向性好,相干性强的新型光源——激光问世,随着稳频和伺服技术的发展应用,到 70 年代激光输出频率的稳定性已达到了 10^{-10} ,复现性达到了 10^{-8} ,都比氪-86 基准高 1—2 个数量级,具备了用激光取代氪-86 基准的条件。其间用激光测得了真空中的光速值为 299792458 米/秒,其误差值不超过 4×10^{-9} 。在这种情况下,1983 年第 17 届国际计量大会将“米”定义为:光在真空中 $1/299792458$ 秒时间间隔内所行进路径的长度。新定义的米,可以通过时间法、频率法和辐射法来复现。目前,稳频激光器辐射频率的测量准确度仍在不断改进中,因而在光频范围内,米有可能建立频率标准,这必将促进原子物理学,分子物理学及高分辨率激光光谱学的发展。

同样,时间的基本单位——秒的定义也经历了由天文秒到原子秒的变迁,因为原子的能级非常稳定,因而跃迁的辐射信号的周期性也非常稳定,1955 年美国国家物理研究所研制了铯原子的跃迁装置,使得“秒”的原子定义成为可能,经过 10 多年的改进

迅速发展中的电子及光电子材料

刘宇虹 田勇军

(河南中原油田 濮阳 457001)

通讯、计算机和控制技术统称为信息技术,电子材料和光电子材料是现代信息技术发展的基础,它们是信息的获取、传输、存储、显示及处理和运算的各种材料。以电子为媒介而传递信息,因为电子的传输速度受其质量(静止质量 $m_0 = 9.1 \times 10^{-31}$ 千克)影响,有一定限度,所以,随着对信息传输容量和速度的要求不断提高,而光子作为更高频率和速度的信息载体就被应用,从而又出现了与电子技术、微电子技术交叉发展的光电子技术。

一、电子材料

电子材料包括半导体材料、介电材料、压电及铁电材料、磁性材料及某些金属材料、高分子材料及其他相关材料等,这里半导体材料尤其重要。

1948年发明了半导体材料的晶体管,使电子设备向小型化、轻量化、省能化发展,从而渐渐代替了电子管(晶体管的耗能仅为电子管的百万分之一。1958年出现了集成电路,它的发展带来了电子计算机的小型化,使人类进入了信息时代的新领域。制造集成电路的主要材料之一是硅单晶,其特征是强度高、结晶性好、成本低,可以拉出大尺寸的硅单晶,自然界中储量丰富。硅材料是大规模集成电路的基石。继硅之后第二种最重要的半导体材料是砷化镓。与硅相比,砷化镓具有更高的禁带宽度,因而可用于更高的工作温度。又由于与硅相比砷化镓具有更高的电子迁移率,所以可以用于要求更高的频率

使得这种原子能级跃迁装置,非常可靠。1967年第13届国际计量大会正式定义“秒”为:秒是铯-133原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应辐射的919261770个周期的持续时间。这一定义复现方便,所达到的准确度为 3×10^{-13} ,是目前各基本单位中,准确度最高的单位。

目前的国际单位制中质量单位是不能令人满意的,必须改变质量单位定义的实物基准,而采用自然界的不变量来直接或间接地定义。其他几个基本单

和更高的开关速度,从而成为制造高速计算机的关键材料。由于砷化镓的重要光电特性,可用于制造激光光源,这是实现光纤通信的关键。砷化镓材料正在不断发展中。

近来,在高真空条件下,采用分子束外延(MBE)、化学气相沉积(CVD)、液相外延(LPE)、金属有机化学气相沉积(MOCVD)、化学束外延等方法,在晶体衬底上一层叠一层地生长出不同材料的薄膜来,每层只有几个原子层厚,这样生长出来的材料叫超晶格。超晶格物理也称低维物理,它是研究低维(小于3维)电子系统的。它的电子态和各种相互作用过程与3维固体有着明显的不同,它可在原子尺度上对半导体的组分、掺杂进行人工设计,出现一般半导体根本不存在的物理现象,从而将固体电子器件应用推向一个新途径。微电子材料中微结构器件有可能导致电子工业的革命。维结构是人们利用现代技术制造一种微小的“盒子”使电子在1维、2维或3维空间受到约束的系统,其中至少1维尺度与电子波波长相当,必须用量子力学去描述电子态。一些科学家预计,下一代电子器件有可能被微结构器件替代。

二、光电子材料

1960年第一台红宝石激光器的出现,使光电子技术进入一个新领域。由于激光具有优良的方向性、相干性、单色性和储能性。有的激光光源的亮度

位也与米、秒的定义类似,已经进行了不变量定义。

基本单位定义的变迁,既反映了物理学发展对计量学的推动作用,也反映了计量学发展对物理学的反作用。计量学发展的目标是不断探索新的不变量作为基本单位的定义,并在保持量值一致的前提下,完善复现方法,提高复现的准确度,用相应的确定频率值和基本常数为基础来定义新的国际单位制体系,这是现代物理学和计量学发展的必然趋势。