

为什么要研究物质结构

江向东

如果没有正确的元素概念及其科学的研究,人类就会局限在“水、土、气、火”或者“金、木、水、火、土”的圈子里,任凭炼金或炼丹术士的风箱和坩埚吞云吐雾;如果不了解空气的组成,人类就不知道自己赖以生存的氧气为何物,更谈不上气体的液化和由此引出的超导、超流现象,如果没有原子、分子论的建立,就无所谓认识生物大分子DNA(脱氧核糖核酸)的双螺旋结构,也就无所谓认识生命现象最本质的内容,如果不对原子和原子核做解剖,就不会发现“比一千个太阳还亮”的新能源,也就不会发现奥妙无穷的粒子世界。一言以蔽之,从物质的深层结构来看物质,是探索自然奥秘的一种基本而又有效的方法。

不论是刀耕火种的远古,还是星际遨游的现代,人类总是以无限的激情和不尽的欲望来积极从事所有可能的智力活动。而智力活动的方式,却是人类根据不同时期所能感悟到的物质的尺度而刻意选取的。因此,物质的

中国科学院高能物理研究所 100039

出的,真正实施是1986年,是在“光学粘胶”的基础上再添加一束聚焦高斯激光束。后又发展为“原子陷阱”与“光镊”,被拘捕在“原子陷阱”中的原子,可以以极高的精确度得到研究,可用于设计新型的原子钟与原子干涉仪等。新型原子钟精确度可提高百倍,原子干涉仪可以极其精确地测量引力。“光镊”可用于操纵活细胞和其他微小物体,对生物学和高分子聚合物的研究十分有价值,已有用这种技术控制DNA分子进行长时间细致研究的报道。

尺度可以用来衡量人类在各个时期的智力水平。

随着人类认知过程的进展,物质的尺度也向着一大一小两个方面延伸,一个是极大的宇观尺度,一个是极小的微观尺度。

宇观世界指的是整个宇宙,即总星系。总星系含有上百亿或说 10^{10} 个星系。较大星系的半径为 10^{18} 千米的数量级。我们熟悉的银河系只是一个不算大的星系。业已观测到的宇宙,若把它看做球状,其半径则大于 10^{23} 千米。

我们人类得以衍生和赖以生存的地球,不过是个半径为6385千米的小行星,它环绕着一颗半径约为70万千米的恒星(太阳)运行。太阳位于一个包含上亿颗星的巨大星系即银河系的边缘上。根据天文观测资料的证据和宇宙学标准模型的预言,银河系和其他星系正以每秒几百千米甚至几千千米的速度远离我们而去。这种速率与星系间的距离成正比,即相距越远的星系,飞离的速度也越大。不论是银河系还是宇宙,都像一个被不尽水流灌注着的湖面,它不停地向四周盈溢,日益辽远。

关于1985年诺贝尔物理学奖获得者克利青发现的整数量子霍尔效应与1998年诺贝尔物理学奖获得者施特默、崔琦等3人发现的分数量子霍尔效应和具有分数电荷的新型“粒子”以及1998年6月发现氧的金属态与超导态,都是与低温密不可分。

总之,随着科学技术的不断发展进步,人类在逼近绝对零度的进程中,会不断创造出令人震惊的新奇迹。

微观世界的国门是建立在原子的尺度界碑上的,它为 10^{-10} 米,略大于这个尺度的领域,例如纳米(10^{-9} 米)附近范围的,新兴了一门介观物理学,意指介于宏观和微观之间的物理学,为了观察微观世界,物理学家们采用了各种各样的方法,主要是利用粒子加速器来产生越来越短的波长,以便探测到越来越精细的东西。

比细菌的微米(10^{-6} 米)尺度还小4个数量级的原子竟有深层的内部结构,这点似乎不可思议。然而,在20世纪初期就已确认,原子是由电子和原子核构成的。原子核的半径虽然只有 10^{-15} 米,即大小仅为原子的十万分之一,却具有整个原子的几乎全部的质量。到了20世纪30年代,物理学家们得知原子核又是由质子和中子组成的,以为这就是微观世界的终极。可是,对来自外层空间的宇宙线的研究和通过强大有力的加速器实验,却在60年代发现了物质结构的更深层次,即发现质子和中子等所谓基本粒子大都是由叫做夸克的更小的粒子组成的。

不少科学家有这样一种看法,即认为科学原理之所以取其自身的这种形式,是因为更深刻的科学原理所导致的。而且还认为,所有这些原理都能一步步追溯到一套有着简单联系的规律。在这种看法或者说宇宙观中显然含有层次意识。所谓层次意识,就是逐级在越来越深的物质结构层次上解释自然现象。这样就可以将一些真理归并入其他更为深刻的真理。比如化学可以并入物理,从层次上看,前者不如后者基本。这样来看的话,探索自然规律的最基本的途径,莫过于研究基本粒子物理。

当代美国物理学家斯蒂芬·温伯格,曾以高温超导电性为例,来强调粒子物理比其他物理学科更为基本的观念。他认为,凝聚态物理学家想要弄清这样一个问题,即当温度远高于临界温度时,在某些铜、氧和稀有元素的混合物中出现的令人困惑的超导电性的持续性问题。与此同时,粒子物理学家想要弄清在标准模型中夸克、电子和其他粒子的质量来源问题。这两个问题恰好有着数学上的联系,它们都可以

归结为对称性破缺问题,即基本方程中哪些对称性会在方程的解中不复存在。这两个有着数学联系的问题,都将是21世纪的研究课题,也必将会被解决。凝聚态物理学家无疑会最终解决这个高温超导电性的问题而无需粒子物理学家的任何直接的帮助,而粒子物理学家弄清质量的起源时,也同样无需凝聚态物理的直接输入。解决这两个问题的区别在于,当凝聚态物理学家最终解释高温超导电性时,无论用什么样的新思想和新机理,最终这种解释必取这样的数学论证形式,即从电子、光子和原子核的已知性质推断这种现象的存在;与之对照,当粒子物理学家最终弄清了质量的来源时,必将是基于粒子物理自身领域的基本理论。之所以如此,是因为粒子物理不仅表征了人类知识的尖端部分,而且具有独一无二的基本性特征。

言及大自然的诡秘,19世纪俄国小说家陀斯妥也夫斯基说过:“大自然从不会听你的,无论她的规律让你中意还是不中意,她对你的意愿根本不在乎,你必须接受她,她就是她!”她究竟是个什么样子?她为什么是这个样子?发展到当今之世的人类智力,已敢于揭开这位骄纵的美人的面纱。人类集体的创造力建立起来的20世纪物理学,已经能够解释大自然的很多现象。从极大尺度的宇宙到极小尺度的粒子世界,这两个极端尺度之间的物质运动的很多细节都能得到合理的解释。关于宇宙的演化问题和物质的结构问题,原本以为是两个互不相干的研究课题。而当人类感悟到的物质尺度,大的如此之大,小的如此之小时,却发现极大与极小之间有着密切的联系。对宇宙的起源及其演化的解释,离不开物质的微观结构理论。例如,应用粒子物理知识,可以计算大约150亿年前宇宙诞生最初几分钟的化学元素的生成情况,而用任何其他方法都做不到这点。反过来,对粒子物理的探索,又常受宇宙学原则和天文观测资料的制约,广袤的天宇成了物质结构研究的天然实验室。很多人相信,对物质结构的深入研究,将使人类比较接近于对大自然的全面了解。