

20 世纪的科学先驱——物理学

朱 洪 元

(中国科学院高能物理研究所,北京 100039)

本文扼要地综述了物理学研究在 20 世纪开始到现在所取得的主要进展以及物理学和自然科学其它学科在 20 世纪相互渗透的情况。简单地介绍了 20 世纪物理学研究所取得的成果和所发展的实验技术在自然科学其它学科的发展过程中以及在国民经济的产业部门的发展过程中所起的重要作用。

人对自然界的认识起源于实践。在历史上,人在实践中首先接触和观察到的是宏观的物体和现象。物理学就是从研究宏观的物理现象开始的,从而导致经典物理学的诞生和发展。经典物理学主要包括经典力学、经典电磁学、经典电动力学、热学和经典统计力学,它在 19 世纪下半叶趋于成熟。它所表现的规律在生产中得到广泛的应用,特别是电气化对经济的发展发挥了重大的作用。

在 19 世纪后期,物理学研究开始进入微观世界,人们对高速现象,主要是光的传播和干涉现象进行了深入的研究。这时,经典物理学的局限性开始显露出来,终于导致物理学在 20 世纪的重大革命。随着研究的范围的迅速扩大和内容的不断深入,物理学发展成为研究物质的基本组元及其基本相互作用和基本运动规律的学科。这些基本规律在自然科学的其它学科领域中都起作用。这就促使物理学和自然科学中的所有其它学科相互渗透,形成一系列交叉学科,从而也促使自然科学更快地向前发展。由物理学实验研究所发展起来的实验技术,在其它学科中也得到广泛的应用。20 世纪物理学的发展也导致技术的重大进步和创新,对社会和经济的发展产生了重大的影响。

一、狭义相对论和广义相对论

1987 年,迈克耳逊和莫雷运用光的干涉测

量“以太风”,得到否定的结果。人们早就知道用力学方法不能确定绝对静止参照系。绝对静止参照系在经典物理学中是一个基本的概念,所有的基本运动方程都是在绝对静止参照系中表达的,然而在实验上竟无法确定这种参照系。这一矛盾导致爱因斯坦在本世纪初提出狭义相对论,使人们认识到空间是相对的,时间也是相对的,根本不存在什么绝对静止参照系,只有时间和空间合起来作为一个整体的四维流形才是绝对的,所有的基本物理量必须形成洛伦兹群表示的基矢。物理学中所有的基本运动方程都必须具有洛伦兹不变性。

麦克斯韦提出的电磁场方程组的确具有洛伦兹不变性。经典力学的运动方程并不具有洛伦兹不变性,因此必须加以发展,这样就建立了相对论力学。实验证明,相对论力学正确地表达了宏观机械运动的规律。牛顿力学只能描述在速度远小于光速时的运动的近似规律,在速度高到趋近光速时便不能用了。实验表明,在机械运动速度和光速仅相差二百亿分之一的时候,相对论力学仍然正确地表达了宏观机械运动的规律。在相对论力学中,光速是机械运动速度的极限,不能逾越,当物体速度无限地趋近光速时,它的能量、动量、惯性质量都趋于无穷大。

狭义相对论的另一个重要结论是,一个具有质量为 m 的物体一定具有能量 E ,并有

$$E = mc^2,$$

其中 c 代表光速。假使质量是物质的量的一种度量, 能量是运动的量的一种度量, 则上式表明: 不存在没有运动的物质, 也不存在没有物质的运动, 物质和运动之间存在着不可分割的联系。对于静止的物体来说, E 代表它内部运动蕴藏的能量, 一克物质内部所蕴藏的能量相当于二万二千五百吨 TNT 爆炸时所释放的能量。这一规律已经在核能的研究和利用中得到证实。

狭义相对论给牛顿万有引力定律也带来了新问题。牛顿提出的万有引力是一种超距作用, 这种作用的产生和到达是同时发生的, 这同狭义相对论提出的光速是传播速度的极限相矛盾。而且, 在狭义相对论中, “同时”是一种相对的概念。因此, 必须对牛顿万有引力定律也加以改造, 改造的启迪来自厄缶的实验, 它以很高的精度证明了惯性质量和引力质量相等, 因此引力所决定的运行轨道和运行物体的质量无关。这个结论启发爱因斯坦设想, 万有引力是空间和时间弯曲的一种表现, 从而于 1915 年提出了广义相对论。根据广义相对论, 空间、时间的弯曲结构决定于物质的能量密度和动量密度在空间、时间中的分布; 而空间、时间的弯曲结构又反过来决定物体运行的轨道, 在空间、时间弯曲很小, 引力不强的情况下, 牛顿万有引力定律和牛顿力学定律的预言就和广义相对论的预言趋于一致。否则就有区别。不过, 这种区别常常很小, 难于在实验中观测到。自从广义相对论提出到现在, 已经过去 75 年, 至今还只有四种实验能检验出这种区别。这四种实验所得的结果都支持广义相对论而不支持牛顿力学和牛顿万有引力定律的结论。广义相对论对于研究宇宙演化的初期和星体演化的后期都非常重要。

狭义相对论和广义相对论对空间和时间的概念进行了根本性的变革。由于空间和时间是物质存在的普遍形式, 因此狭义相对论和广义相对论对大到宇宙, 小到基本粒子的研究, 都产生了广泛而深远的影响。

二、原子物理学和分子物理学

经典物理学在另一方面的局限性在物理学研究进入微观世界以后也开始暴露出来。1897 年, 汤姆孙发现了电子。这才使人认识到原子不是象以前所认为的那种不可分割的、永恒不变的物质的最终单元。1911 年, 卢瑟福发现原子核, 表明原子是由原子核和电子组成的, 这进一步暴露了实验和经典物理学之间存在着无法克服的矛盾。因此, 必须对经典物理学进行进一步的变革。在本世纪 20 年代, 德布罗意、海森伯、薛定谔、狄拉克、泡利、波恩创建了量子力学和量子电动力学。它们区别于经典力学和经典电动力学的主要特点是:

1. 物理量所能取的数值常常是不连续的。当然, 某些物理量在一定范围内也可以取连续的数值。
2. 它们所反映的规律不是确定性的规律, 而是统计规律。

这两个特点之间又存在着密切的联系。这突出地体现在微观客体的一个基本性质——波粒二象性之中。所有微观粒子如光子、电子、原子等, 都具有波粒二象性。对于所有微观粒子, 能量 E 和频率 ν 之间以及动量 p 和波长 λ 之间都有如下的关系:

$$E = h\nu, \quad p = \frac{h}{\lambda},$$

其中 h 是普朗克常数, 它表达了微观客体的粒子性和波动性之间的深刻联系。粒子和波是人们在宏观世界的实践中形成的概念。它们描写了迥然不同的客体。但是, 从宏观世界实践中形成的概念未必恰巧适合于描述微观世界的现象。现在看来, 需要粒子和波二种概念互相补充, 才能全面地反映微观客体在各种不同的条件下所表现的性质。粒子性是上述第一个特性的一种体现, 波动性是上述第二个特性的一种体现。

应用量子力学和量子电动力学研究原子结构, 原子光谱, 原子发射、吸收, 散射光的过程以

及电子和光子、电磁场的相互作用和相互转化的过程非常成功。理论结果和最精确的实验结果相符合。量子力学和量子电动力学产生于原子物理学研究，但是它们起作用的范围却远远超出原子物理学。量子力学是所有微观低速现象所遵循的规律，因此不仅应用于原子物理，也应用于分子物理、原子核物理以及宏观物体的微观结构的研究。量子电动力学则是所有微观电磁现象所必须遵循的规律，直到现在还没有发现它的局限性。

经典统计力学以经典力学为基础，因而也具有局限性，必须改进。在宏观世界中，看起来相同的物体总是可以区别的；在微观世界中，同一类粒子却无法区分。例如，所有的电子的一切性质都完全一样。在一个物理系统中，交换两个电子后，得到的还是原来的状态，因此进行统计时，必须将交换前和交换后的状态当作同一个状态来处理。

微观粒子还有其它特殊性。自旋为 \hbar 的半整数倍的粒子（如电子），服从费米-狄拉克统计，这类粒子统称为“费米子”，自旋为 \hbar 的整数倍的粒子（如光子），服从玻色-爱因斯坦统计。这类粒子称为“玻色子”。根据这些规律改造经典统计力学，就得到量子统计力学。宏观物体的一系列性质必须运用量子统计力学才能得到解释。

原子物理在 20 世纪 20 年代取得突破性的进展以后，仍在不断发展，所得成果的精度不断提高。原子钟已经取代地球绕日运动的周期作为时间的基准。利用囚禁电子的陷阱，已将电子反常磁矩的测量误差压低到小于一亿分之一。利用量子电动力学中的受激辐射机制所产生的激光，在科学技术中已经有广泛的应用，使光谱分辨力提高一百万倍以上。利用激光，已经可以观察原子如何碰撞以及如何发生化学反应。利用激光，已经可以用光在一定时间内所经过的距离代替光的波长作为空间长度的基准。激光以及由之推动的非线性光学，已经成为重要的研究领域。

分子物理学研究原子如何结合成分子，研

究分子的内部结构、内部的运动状态，以及它的电学性质、磁学性质和光学性质等。分子物理现象服从量子力学和量子动力学的规律。近年来，由于电子计算机技术的迅速发展，计算分子的结构波函数、能级以及其它性质取得了显著的进展。X 光衍射技术、中子衍射技术、激光技术、原子束技术、分子束技术等的发展，为研究分子提供了有力的实验手段，使分子物理实验研究不断取得进展。

在电子被发现后不久，在 20 世纪初即发明了电子真空管。它推动了无线电通信和广播事业的发展，它也是 30 年代开始发展雷达技术的基础。雷达首先在军事上得到重要应用，以后在导航、空中交通管理、气象观测等方面都有广泛的应用。60 年代开始时出现的激光器发展也非常迅速，激光应用的范围已经非常广泛，从工业、农业、医疗卫生、通信到科学研究，都有重要的应用。

三、固体物理学

由于宏观物体是由原子和分子组成的，从 20 世纪 30 年代起，宏观物体物理学的研究也得到飞跃的发展，其中首先是固体物理学的发展。固体物理学研究固体的性质、它的微观结构及其各种内部运动，以及这些微观结构和内部运动同固体的宏观性质（如力学性质、热学性质、光学性质、电磁性质等）的关系。每立方厘米固体中包含有约 10^{23} 数量级的原子，因此上述问题是多体问题。固体内部的结构和运动形式很复杂，这方面的研究是从晶体开始的，因为晶体的内部结构比较简单些，有明显的规律性，较易研究。以后又扩展为研究所有处于凝聚状态的物体。

固体由原子组成，而原子又是由原子核和电子组成，因此固体的内部结构和内部运动、转化都服从量子力学和量子动力学的规律。在晶体中原子（离子、分子）有规则地排列，形成点阵。20 世纪初，劳厄和布拉格父子发展了 X 光衍射方法，用以研究点阵结构。以后又发展了

中子衍射方法和高分辨率电子显微镜点阵成像技术,使晶体点阵结构的实验研究得到进一步的发展。

在晶体中,原子的外层电子可能具有的能量形成一段一段的能带。在晶体中,电子能量不可能具有能带以外的能量值。按电子在能带中的不同填充方式,可以把晶体区别为金属、绝缘体和半导体。能带理论结合半导体锗和硅的基础研究,高质量的半导体单晶生长和掺杂技术,导致巴丁、布拉顿和肖克莱于1947—1948年发明了晶体管。

电子具有自旋和磁矩,它们和电子在晶体中的轨道运动一起,决定晶体的磁学性质。作为一个整体的点阵,有大量的内部自由度,因此具有大量的集体运动形式,具有各式各样的元激发。晶体的许多性质都和点阵的结构及其各种运动模式密切相关。晶体内部电子的运动和点阵的运动之间相耦合,也对固体的性质有重要的影响。例如,开默林-昂内斯在1911年发现金属在低温下有超导电性;江崎玲于奈在1960年发现超导体的单电子隧道效应;1986年发现临界温度在液氮区的氧化物超导体。这些效应都和这种不同运动模式之间的耦合有关。

点阵结构完好无缺的晶体是一种理想的物理状态。实际晶体内部的点阵结构总会有缺陷,化学成分也不会绝对纯,内部会含有杂质。这些缺陷和杂质对固体的物理性质以及功能材料的技术性能,常常会产生重要的影响。大规模集成电路的制造工艺中,控制和利用杂质和缺陷是很重要的。晶体的表面和它们之间的界面具有和晶体内部结构不同的结构,因此具有许多独特的性质,会对许多物理过程和化学过程产生重要的影响。随着技术的进步,现在已经能够人工地使表面具有由不同原子组成的、具有原子尺度的层次结构。这类低维系统的属性和三维固体很不相同。所有这些都已成为固体物理研究中的重要领域。利用光电发射、低能电子衍射、扫描隧道显微术、同步辐射表面X光散射等方法研究表面的结构和性质,这方面的工作正在迅速发展。

物体内部由原子、分子形成的结构可以变化,在变化时,化学成分虽然没有改变,但物理性质却可以改变。从一种结构变到另一种结构称为“相变”。例如,晶体内部的分子可能形成不同的点阵,处于不同形式点阵的晶体的性质可能很不相同。相变也是凝聚态物理研究中的一个重要研究领域。这方面的研究已经取得了重要的进展。

固体物理对于技术的发展有很重要的作用。在晶体管发明以后,集成电路技术迅速发展,电子学技术、计算机技术,以至整个信息产业也随之迅速发展。其经济影响和社会影响是革命性的。固体物理学也是发展具有特定物理性质的材料的基础,这些材料对于工业技术的发展往往有重要的作用。

四、原子核物理学

原子核是比原子更深一个层次 的物质结构。原子核物理学研究原子核的性质、内部结构、内部运动、内部激发态、衰变过程、裂变过程以及它们之间的反应过程,它们和其它粒子(如光子、电子、介子、超子)之间的反应过程。1932年,查德威克发现了中子,使人们认识到原子核是由质子和中子组成的。质子和中子统称为核子。

在科学研究进入原子核层次以前,只发现了两种基本相互作用:万有引力相互作用和电磁相互作用。因为它们所导致的力是长程力,所以在宏观物理现象中就直接显示出来。在科学研究深入原子核层次以后,又发现了两种基本相互作用:强相互作用和弱相互作用。它们的力程非常短。强相互作用的力程比原子半径还要小四个多数量级,弱相互作用的力程还要小得多,因此它们是在科学研究进入原子核层次以后才被发现的。

在本世纪30年代初,建成粒子加速器,这才使人们有可能开始对原子核进行比较系统的研究。1938年,发现铀原子核裂变,从而揭开了原子能利用的序幕,同时也促进了原子核物

理研究的开展。加速器技术和探测技术的迅速提高,高中子通量反应堆的陆续建成,促使原子核物理研究迅速发展。已经综合成近千种地球上以前所没有的原子核。现在综合成的原子核的最高原子序数已高达 109,亦即核内含有 109 个质子。地球上原有的具有最高原子序数的原子核是铀原子核,它的原子序数是 92。还综合成许多原子序数在 92 以下,但中子数和地球上具有相同原子序数的原子核中的中子数不同的原子核。在宇宙线和高能物理实验中所发现的超子,也能结合在原子核中,含有超子的原子核称为超核。现在已经在实验中综合成几十种超核。所有这些人合成的、地球上本来没有的原子核都是不稳定的,都会通过衰变或其它过程转化为地球上本来就有的原子核。地球至少已经存在五十亿年。这种人工合成的原子核即使以前在地球上存在过,它们在漫长的岁月中早就通过衰变或其它过程消失了。

原子核由强相互作用将核子结合而成。高能物理研究发现,核子内部还有结构,是由层子和胶子组成的,而且原子核的半径和核子的半径都是 10^{-13}cm 数量级,很难将原子核的结构和核子的结构分开,因此原子核的结构很复杂。它们的内部运动也很复杂,具有很多种运动模式。各种运动模式之间又相互耦合。理论预计,在很高能的原子核碰撞过程中可能产生相变,出现由层子和胶子组成的“层子-胶子等离子体”。目前,正在计划建造能量很高的重离子对撞机,用以发现这种新的物质存在形式。

由于原子核主要由强相互作用结合而成,因此当原子核结构发生变化或原子核之间发生反应时,要吸收或放出很大的能量。例如,铀原子核在吸收一个中子之后,会裂变成为二个较轻的原子核,同时放出二个到三个中子和很大的能量。两个很轻的原子核也能熔合成为一个较重的原子核,同时放出很大的能量。这种原子核熔合过程叫做“聚变”。

原子核的一种重要的衰变过程—— β 衰变,是由弱相互作用导致的。在 β 衰变过程中,一个中子转化为一个质子,一个电子和一个反

中微子,或一个质子转化为一个中子、一个正电子和一个中微子。中微子是一种质量非常小(可能为零)、自旋为 $\hbar/2$ 的中性粒子。中微子只参与万有引力相互作用和弱相互作用,因此和物质的相互作用非常弱,直到本世纪 50 年代才在实验中被探测到。

原子核物理研究已经产生了重要的社会效果。一公斤铀裂变时所释放的能量相当于约二万吨 TNT 炸药爆炸时所释放的能量。这是原子弹爆炸和核电站中的关键物理过程。一公斤重氢原子核聚变为氦原子核所释放的能量还要大几倍。这就是热核爆炸的能量来源。海洋中有几乎取之不尽的重氢。假使能使重氢的聚变反应有控制地进行,那末能源问题就将得到较彻底的解决。由于放射性同位素所放出的射线穿透力很强,能产生各种物理效应、化学效应和生物效应,这些射线又容易探测,因此放射性同位素在工业、农业、医疗卫生和科学研究中已有广泛的应用。

五、等离子体物理学

等离子体物理研究等离子体的形成及其各种性质和运动规律。宇宙间的大部分物质处于等离子体状态。19 世纪对于气体放电的研究和 20 世纪初以来对高空电离层的研究,推动了等离子体的研究工作。从 20 世纪 50 年代起,为了利用轻核聚变反应解决能源问题,促使等离子体物理学研究蓬勃发展。

等离子体内部存在着很多种运动方式,并且相互转化着。高温等离子体还有多种不稳定性。因此,等离子体研究是非常复杂的问题,虽然知道了描述等离子体的基本数学方程,但这组方程是非线性的,非常难解,目前还很难用来准确预言等离子体的性质和行为。等离子体的实验研究,由于因素复杂多变,所以难度也很大,不过也已经取得了不少进展。现在正在大力进行这方面的研究,以期能够发展出一套方法,使等离子体温度升高到一亿度以上,并能控制它的不稳定性,在足够长的时间内将它约束

住,使热核反应得以比较充分地进行下去。

六、粒子物理学

目前,实验上所能探测到的物质结构最深层次的研究,称为粒子物理学,也称为高能物理学。在本世纪20年代,人们曾经认为电子和质子是基本粒子。后来发现了中子,同时在宇宙线研究和利用高能加速器进行的实验中,又发现了数以百计的不同种类的粒子。

研究了这些粒子,发现它们都是配成对的。配成对的粒子称为正、反粒子。正、反粒子的一部分性质完全相同,另一部分性质完全相反;另一个重要发现是,没有一种粒子是不生不灭和永恒不变的,在一定的条件下,它们都能产生和消灭。看来,粒子有正、反,都能产生和消灭,和空间有左、右,时间有过去和未来一样基本和重要。由于它们不是不生不灭和永恒不变的,所以现在不再用“基本粒子”这个词,而称它们为粒子。

在所有这些粒子中,光子是传递电磁相互作用的媒介,1983年发现的 W^+ , W^- , Z^0 中间玻色子是传递弱相互作用的媒介。但迄今还没有在实验上发现理论所预言的传递万有引力的引力子和传递强相互作用的胶子。

除了光子和 W^+ , W^- , Z^0 中间玻色子以外,可以按照是否参与强相互作用,将实验上已经发现的其它粒子分为两大类。不参与强相互作用的粒子统称为轻子。已经发现的轻子共有三代,每代两种,共六种。与之相应,存在着六种反轻子。参与强相互作用的粒子统称为强子。已经发现的几百种粒子绝大部分是强子。实验发现,强子有一定大小,在其内部存在着带点电荷的、可以相当自由地运动的东西。因此,强子具有内部结构。强子内部带点电荷的东西在国外称为夸克,中国的部分物理学家称为层子,因为他们认为,历史发展到这一阶段,所认识到的这种性质的物质,也并非物质的始元,不过是物质结构层次中的一个层次而已。理论预计,层子也有三代,每代两套,每套三种,共18种。与

之相应,存在18种反层子。已经发现的层子和反层子各有15种。轻子、层子、反轻子、反层子的自旋均为 $\hbar/2$,都是费米子。轻子和层子的性质有不同处,也有很多相似处。它们之间可能存在着深刻的联系。

虽然层子在强子内部可以相当自由地运动,但即使运用目前已建成的能量最高的加速器也没有能将层子和胶子打出来,使之成为自由的层子和胶子。将层子和胶子囚禁在强子内部是强相互作用所独有的性质。这种性质称为“囚禁”。

弱相互作用也有其独特性质。它的基本规律对于左和右,对于正、反粒子,对于过去和未来都是不对称的。

现在建立的所有关于微观、高速物理现象的基本理论都是量子场论,因为它能反映粒子有正、反且都能产生和消灭这两种普遍性质。最早建立的量子场论是量子电动力学,它是关于电磁相互作用的基本理论,已成功地经受了非常严格的实验检验。在本世纪60年代,格拉肖、萨拉姆和温伯格提出统一地描述电磁相互作用和弱相互作用的理论,称为电弱统一理论。这一理论在70年代已成功地通过了一系列实验的检验。1983年,在实验上发现这一理论所预言的 W^+ , W^- 和 Z^0 中间玻色子是一种关键性的检验。这是继麦克斯韦建立将电和磁统一起来的理论以后,向统一地理解各种基本相互作用的方向迈出的意义重大的一步。

量子场论取得了一系列成就,也碰到了困难,在用微扰论计算高次近似的贡献时得到无穷大的结果。这种困难称为发散困难。1948年,费因曼、施温格、朝永振一郎提出了一种能成功地处理这种发散困难的重正化方法。用这种方法处理量子电动力学问题,得到很好的结果。

量子场论的另一重要进展是1954年杨振宁和米尔斯提出的非阿贝尔规范场论,其核心思想是物理基本规律的定域对称性。对称性在物理学中占有很重要的地位。可以证明,假使物理基本规律具有某种对称性,那么与之相应,就有某种守恒定律;假使物理基本规律具有某种

定域对称性,那么与之相应,不仅存在某种守恒定律,而且一定存在某种基本相互作用。在当前的理论中,四种基本相互作用都来源于定域对称性。

粒子物理研究虽然已经取得了重大的进展,但仍然是一门年轻的、迅速发展的分支学科。

七、物理学和自然科学其它学科的关系

物质的各种存在形式和各种运动形式之间普遍存在着联系,随着科学的发展,这种联系逐步显示出来,于是不同学科之间互相渗透。由于在20世纪物理学已经发展成为研究宇宙间物质的基本组元、它们之间的基本相互作用和它们的基本运动规律的学科,这就促使物理学渗透进整个自然科学,产生了一系列交叉学科,如化学物理、生物物理、地球物理、海洋物理、大气物理、天体物理等。在物理学基础研究过程中形成的基本概念、基本理论、基本实验手段和精密的测试方法,已经成为其他许多学科的重要概念的基础和重要的实验手段,并产生了良好的效果。这对于宇宙学、天文学、地球物理学、化学、生物学、医学都是如此。

例如,在宇宙学方面,在原子光谱研究的基础上,在本世纪20年代天文观察发现,遥远的天体的谱线有系统的红移。这说明宇宙正在膨胀。其它星系正在飞离银河系,飞向更远的地方,而且飞离的速度和星系与银河系之间的距离大致成线性关系。由于微波研究的进展,在本世纪60年代发现宇宙间2.75K的辐射背景。这些发现导致大爆炸宇宙论的诞生。高能物理的研究成果将对甚早期宇宙的演化的理解起推进作用。

从本世纪40年代起,开始建造射电望远镜,在60年代以后,由于航天技术的发展,开始建造红外望远镜、紫外望远镜、X光望远镜,促进了天文观察的发展。这些新型望远镜的建成,和物理学的发展所促进的技术进步密切相

关。在原子核物理研究的基础上,贝脱在本世纪30年代提出太阳能源的具体原子核反应机制。在原子核物理学、量子统计力学和广义相对论的基础上,人们才有可能理解恒星的演化过程。天体物理已经开始受到高能物理研究的影响,现在已经探测到1987A超新星爆发时所发射出来的中微子,而这些中微子在爆发时所放出的光到达地球以前已到达地球。

在20世纪,物理学对地球科学的发展也作出了贡献。在电磁波传播机制研究中,阿普顿在本世纪20年代初发现大气电离层的存在。范艾伦在50年代探测高空宇宙线时,意外地发现了地球内辐射带,从而导致太阳风的发现。地球科学最近几十年来所取得的革命性的进展是板块构造学说的建立,而50年代洋底岩石磁性的研究在其中起了非常重要的作用。对地球的组成部分的性质的测量,常常应采用物理实验技术。例如,测量同位素以确定岩石的年龄,超高压下物理性质的测量技术、激光技术、精密雷达、各种遥感技术等都已在地球科学研究中应用。

在物理学研究进入原子、分子层次以后,它对生物学研究也起了促进作用。X光衍射、电子衍射、核磁共振、电子顺磁共振、电子显微镜、放射性同位素的应用,导致一系列生物学研究的重要成果,促使生物学进入分子的层次,从而导致生物学各分支学科的融合。例如,已经能够测量很大的蛋白质的分子结构,分辨率高达0.25nm;同位素已经用于许多生命过程,包括新陈代谢过程的研究;已经能够观察到脱氧核糖核酸的复制过程。高能物理研究中所用的电子贮存环放出的名为同步辐射的光的强度,比X光管发出的光的强度大一百万倍,具有从真空紫外到X光的连续光谱,确定的偏振、脉冲的时间结构。它在生物学研究中已经有重要的应用。

在原子物理和分子物理的发展过程中,化学和物理学之间的联系愈来愈密切。例如,早在本世纪初,莫塞莱在研究各种元素的X射线谱时,发现在早年的元素周期表中,氩和钾,钴

(下转第49页)