

高能物理学面临的两大难题

黄 涛

一、物质结构历史简述

大家知道,物质结构的研究已从早先的原子层次深入到夸克和轻子这一新层次. 1911年,卢瑟福实验证实了原子中原子核的存在并发现了质子,1932年查德威克的实验发现了中子. 中子的发现开创了人类认识物质结构从原子核进到质子、中子这一层次. 海森伯和伊凡宁柯立即提出了原子核由质子和中子组成的假说. 不久,这一假说获得验证并得到了有关原子核的正确认识. 原子是由原子核和绕核运动的电子组成的,而原子核由质子和中子通过强相互作用结合而成. 这样,随着核物理的发展,人类对物质结构的认识进入到基本粒子这一层次,即认识到自然界万物是由质子、中子、电子这些基本粒子构成的. 40年代初,原子核物理和波导理论的发展在第二次世界大战一些大的军事研究和发展计划中起到了决定性的作用. 反过来,在二战后许多国家政府对基础研究的大力支持促进了物理学的显著进展.

五六十年代加速器实验使得人们可以利用加速器手段加速粒子束流能量做核物理实验. 60年代初从加速器实验中发现了100多种基本粒子,于是产生了高能物理学(或粒子物理学).

这些基本粒子可以分为两类:一类是参与强相互作用的粒子,如质子、中子、 π 介子、奇异粒子和一系列的共振态粒子等,统称为强子;另一类是不参与强相互作用,只参与电磁、弱相互作用的粒子,如电子、 μ 子和中微子等,统称为轻子. 高能物理实验又进一步揭示上百种强子并不“基本”,是有内部结构的. 质子、中子、 π 介子

等强子是由更小的夸克组成的,夸克被看成是物质结构的新层次. 并提出了夸克模型理论. 这些强子是由3种更基本的夸克(上夸克u、下夸克d和奇异夸克s)组成的. 60年代大量的实验证实了夸克的存在. 1974年,丁肇中和里克特发现了第四种夸克——粲夸克c,1977年发现了底夸克b,1995年发现了顶夸克t,这6种夸克就是构成所有数百种强子的“基本”单元. 同时轻子的发现也达到了6种(电子、电子型中微子、 μ 子、 μ 子型中微子、 τ 轻子、 τ 子型中微子). 因此夸克和轻子就是目前阶段我们所认识的物质结构的新层次.

夸克、轻子通过电磁相互作用、弱相互作用、强相互作用和引力等运动规律就构成了自然界万物奥妙无穷、千变万化的物理现象. 19世纪末麦克斯韦成功地提出了电磁学理论,将原来分开的电学和磁学统一起来,预言了电磁波的存在,很快得到了实验的证实. 20世纪,电磁学规律已经对工业、农业、科学技术和军事产生了巨大的影响. 1967年,温伯格和萨拉姆提出了电磁相互作用和弱相互作用统一理论,并预言了弱中性流的存在以及传递弱相互作用的中间玻色子的质量. 1983年1月和6月分别发现了带电的和中性的中间玻色子. 实验上测到的中间玻色子的质量与理论预言惊人地一致. 这一发现证实了弱电统一理论的成功,其意义可以与将麦克斯韦电学和磁学统一理论的验证相比拟. 弱电统一理论与描述夸克之间强相互作用的量子色动力学理论合在一起统称为高能物理(或粒子物理)中的标准模型理论. 从20世纪70年代到现在,大量的高能物理实验证实了粒子物理中标准模型理论的成功,这一理论已经受到了实验检验并正在继续发展. 标准

中国科学院高能物理研究所 北京 100039

模型理论是近半个世纪以来探索物质结构研究的结晶,是20世纪探索微观世界规律的极重要的成就.这一成就可以与20世纪初的玻尔原子模型相比拟,正是有了玻尔原子模型,才有20世纪20年代末量子力学理论的建立.可以相信,标准模型理论的发展必将导致深层次动力学规律的发现和建立.

二、微观探索面临的难题

19世纪末,经典物理学大厦已经建成,经受了一系列的实验验证.当时,英国著名物理学家开尔文在晚年说过这样一段令人深思的话:“物理学已经可以认为是完成了,下一代物理学可以做的事看来不多了,但是,在物理学的晴朗天空的远处,还有两朵令人不安的小小乌云”.这两朵乌云就是迈克尔逊-莫雷实验和黑体辐射实验,这两个实验无法在经典物理学的框架内获得解释.今天我们知道,正是光速不随观测系统而变的迈克尔逊-莫雷实验导致爱因斯坦提出了相对论理论,也正是黑体辐射实验导致普朗克提出了量子理论.20世纪初发展起来的狭义相对论和量子力学成为整个20世纪物理学的基础.原子物理、原子核物理、高能物理、半导体物理、电子学、激光物理以及由此而发展起来的信息科学、材料科学和军事科学技术等高科技产物渊源于狭义相对论和量子力学.这两朵乌云就是19世纪末经典物理学所面临的两大科学难题.因此科学难题的提出和解决必将给人类带来巨大利益.

今天,我们正处于世纪之交,即将进入21世纪.高能物理学是探索物质结构的最前沿的科学,高能物理学发展到20世纪末也存在着两大科学难题:对称性破缺的本质和夸克囚禁.揭示它们的本质并寻找解决两大难题的途径将是物理学家在进入21世纪以后面临的艰巨任务,这很可能导致物理学中新的动力学规律的诞生并影响21世纪科学技术的发展.

1. 对称性破缺的本质是什么?

1956年,李政道、杨振宁首先提出宇称(左右)对称性在弱相互作用下是破缺的,即宇称不

守恒规律.这就打破了人们在历史上一贯认为的运动中对称性是守恒的基本规律.1964年人们又发现宇称和电荷共轭联合也是破缺的.因此,人们逐渐认识到对称性破缺才是自然界中的基本规律.

前面提到的弱电统一理论预言的中间玻色子质量得到了实验证实,其一致的精确程度是惊人的.这一预言的基础就是对称性破缺,破缺的机制是希格斯机制,或称为真空对称性自发破缺机制.在弱电统一理论模型中,电磁相互作用和弱相互作用分别通过传递光子和中间玻色子而发生,它们可以用一种统一的量子规范场来描述,这一规范场与相互作用的夸克和轻子遵从规范不变的内部对称性.然而精确的规范不变性要求光子和中间玻色子都是无质量的,这一点仅对传递电磁相互作用的光子是正确的.弱电统一模型理论通过引入真空对称性自发破缺机制使得中间玻色子获得质量,并预言了质量值的大小.在理论的指导下,实验找到了它们,此项成果获得了1984年诺贝尔物理学奖.弱电统一理论在精确预言了中间玻色子质量的同时,也预言了一种中性标量粒子,称为希格斯粒子的存在,但理论上无法预言它的质量.自弱电统一模型提出以后,人们一直在寻找它,从几个MeV一直找到几十个GeV都没有发现它,每一台新加速器建成以后都企图发现它,然而就是找不到,在目前加速器能量极限下只能给出希格斯粒子的下限是90GeV.这就成为近20年来粒子物理中的一个令人不解的谜——希格斯粒子在哪里?如果希格斯粒子不存在,那么对称性破缺的机制是什么?在西欧中心正在建造的大型强子对撞机(LHC).以几十亿美元、历时10年的投资,其物理目标之一就是回答对称性破缺的本质这一疑难.

在标准模型中,不仅中间玻色子的质量是通过对称性破缺获得的,而且夸克和轻子的质量也是通过引入希格斯机制破缺对称性给出的.然而轻子和夸克的质量谱从电子伏特(eV)一直到180GeV,可以相差11个数量级,即使同一层次的夸克也从几MeV到180GeV,相

差上上万倍,其质量的起源困扰着高能物理学家们。这样宽广的质量谱很可能反映了有更深层次物质结构。

前面提到的宇称(P)和电荷共轭(C)联合(CP)不守恒(如果自然界中(CPT)是守恒的,那么CP不守恒就意味着时间(T)反演不守恒),实验上是在1964年从K介子系统中发现的,其根源还不清楚。人们从中性B介子和反粒子之间大的混合推测CP破缺很可能在B介子系统中发生,20世纪末美国和日本将会有3个B介子工厂投入运行。为了寻找在B介子中CP不守恒现象,对于CP不守恒的根源从理论上推测有可能存在一种新的相互作用,也有可能是真空对称性自发破缺引起的。这样我们可以问,除了夸克系统外,在轻子系统是否也存在CP不守恒的现象?建议中的 τ -粲工厂将可能对 τ 轻子系统和粲强子系统的CP不守恒现象做精细的研究。

2. 夸克囚禁的疑难

在夸克模型理论成功建立的同时,科学家们也为实验上寻找不到自由夸克而困惑。前5种夸克(u, d, s, c, b)只存在于强子束缚态中,而最重的顶夸克t产生以后寿命极短,很快衰变为底夸克b。物质结构在新层次下的物理图像与先前原子、原子核的层次完全不一样,已不是太阳系在微观世界的重复。这表明支配下一层次新的物理规律决定了不同的物理图像和观念。1973年物理学家们提出了量子色动力学理论解释强子的物质结构和强相互作用。在量子色动力学理论中,每一种夸克含有内部空间(色空间)自由度,即有3种不同的色,不同色夸克之间的强相互作用是通过传递带色的胶子而发生的。轻子不具有内部色空间,它不参与强相互作用。

量子色动力学理论有一个显著的特点就是渐近自由,夸克之间通过传递胶子的相互作用在极高能的渐近区域内趋于自由。量子色动力学的渐近自由特点致使微扰理论得到了巨大的成功,然而微扰理论仅在高动量迁移下的物理过程中可以得到应用,对于低动量迁移的物理现象和强子结构,它无能为力。在量子色动力学框架里,虽然可定性解释了夸克囚禁在强

子内部的结构图像,但是要想定量地解释夸克囚禁疑难和强子结构图像仍是高能物理中一个重大的难题。

人们对这一难题的解决已经做了很多尝试,一个普遍的看法是认为夸克囚禁是由量子色动力学物理真空性质而造成的。微扰量子色动力学理论是建立在微扰真空的基础上,而量子色动力学物理真空完全不同于微扰真空。在物理真空中真空不空,它充满着夸克-反夸克对以及胶子,物质与真空中的夸克-反夸克对和胶子不断发生相互作用造成新的强子结构图像。因此揭示真空的本质将导致夸克囚禁疑难的解决。为此,本世纪末将在美国布鲁克海文实验室建成一个相对论重离子对撞机(RHIC),就是在极端条件下将夸克和胶子从质子和中子中解放出来,也就是实现从夸克的禁闭相到退禁闭相的跃迁。21世纪初实验和理论物理学家将为破解夸克囚禁之谜而找到真空本质的答案。

三、结语

前面简述了探索物质结构的两大难题:对称性破缺的本质和夸克囚禁。20世纪末和21世纪初建成的高能加速器都是与解决这两大难题相关的。概括起来说,高能物理学正向两方向发展:一是向超高能量发展,例如西欧中心的LHC和美国的RHIC;二是向高精度发展,例如美国和日本的B介子工厂、意大利的 ϕ 介子工厂,建议中的 τ -粲工厂等。这两大方向的发展相辅相成,目标在于深入研究现今这一层次的夸克、轻子及其相互作用的运动规律甚至可能揭示下一新层次的物理性质和规律。

弱电统一理论告诉我们,弱相互作用和电磁相互作用在能量远高于中间玻色子质量时,它们是统一的,在低能时弱电对称性自发破缺表现出两种不同的相互作用。人们很自然地要问,当能量更高时,弱电统一的相互作用与强相互作用是否会形成更大的统一理论?理论上回答是肯定的。这就是超对称大统一理论,对称性破缺构成低能现实世界的不同类型的相互作用规律。

遥感卫星图像特征分析

周海波 吴健平

一、引言

遥感是一门新兴技术,它随着空间技术、传感器、计算机与图像处理技术发展而迅速发展起来。在遥感卫星中,按照传感器的成像原理和工作方式,可以分为主动式和被动式两类。被动式传感器接收目标自身的热辐射或反射太阳辐射,如各种相机、扫描仪、辐射计等,这一类传感器又称之为光学传感器。从传感器的发展过程来看,光学传感器成像技术已比较成熟,其中以美国陆地卫星(Landsat)和法国SPOT卫星为典型代表;主动式传感器能向目标发射电磁波,然后接收目标反射的回波,主要指各种形式的雷达,特别是星载合成孔径雷达,其中以欧空局ERS卫星和加拿大RADARSAT卫星为典型代表。

由于两类传感器成像机理不同,卫星遥感

华东师范大学城市与环境考古遥感开放研究实验室 上海 200062

从以上的讨论可以看到,对称性破缺的本质可能来自于真空的不对称性产生真空对称性自发破缺机制;夸克囚禁可能是量子色动力学物理真空造成的。两者都很可能从真空中得到破解,因此关键在于揭示真空的物质本质。真空不是虚无,但绝不是充满19世纪的“以太”,而是由自然界物质间相互作用决定的物理真空。

为了揭示真空对称性自发破缺机制和夸克



图像的特征有很大的差异。在遥感应用的过程中,对这些遥感影像特征必须要有充分的认识了解,才能在具体应用过程中提出相应的方法。本文对以上传感器遥感图像的特征进行了分析研究。

二、光学传感器影像特征(以Landsat与SPOT卫星为例)

1. TM与SPOT影像的几何特征

征

陆地卫星(Landsat)是美国发射用以探测地球资源的卫星,到目前为止,已发射了七颗,其中Landsat-6发射失败,陆地卫星4、5号装载有专题制图仪(Thematic Mapper简称TM)。SPOT卫星是法国发射的高性能地球观测卫星,它搭载两台高分辨遥感器HRV(High Resolution Visible imaging system),具有通过斜视进行立体观测等优点,目前已成功发射了4颗SPOT卫星。SPOT卫星与Landsat卫星的空间分辨率及辐射量化等级如表示1所示。

从表中可以看出,TM影像除第6波段的

囚禁的本质,科学家们正在建造一系列的高能加速器实验去探索。然而由于能量提高极限和经费投资的限制,目前加速器原理已很难达到更高能量,科学家们正在计划通过直线对撞机和 $\mu^+ \mu^-$ 对撞机来实现超高能量的物理实验。此外,科学家们也在发展非加速器物理以弥补加速器物理之不足。我们相信,在21世纪,与破解物理学难题相伴随,探索物质结构的手段也会有革命性的突破。