

浅说物质之间的相互作用

刘喜莲

(北京石油化工学院数理部 北京 102600)

人们自然会问,物质聚集起来,从微观粒子到巨大的星体,从细菌到人,这些自然界奥妙无穷,千变万化的物理现象都是怎样发生的?原理上,可以用“相互作用”这个概念来回答。20世纪物理学的重大成就之一是人们已经认识到物质世界千变万化的现象,归根到底是通过4种相互作用即万有引力、电磁力、强相互作用和弱相互作用而产生的。

万有引力是自然界中存在于任何两个物质之间的吸引力,它的规律由牛顿发现,称为引力定律。用 m_1 和 m_2 分别表示两个质点的质量,以 r 表示它们的距离,则引力定律的数学表示式是 $f = Gm_1m_2/r^2$, f 是两质点的相互吸引力, G 是引力常数其值为 $6.67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$ 。牛顿依据早期的天文观测资料,确定了万有引力定律,在这种观测中的精度并不高。以后在实验室对质量较小的物体,在不大的尺度范围内作引力测量,并未发现与引力定律的偏差。但在质量巨大的星体附近,万有引力并不严格地遵循平方反比律。随着尺度和质量的增加,万有引力逐渐成为占支配地位的相互作用。万有引力的性质及其作用,只有通过巨大的星体,及在质量巨大的空间中运动,才能比较明显地显示出来。地面上物体之间的相互作用力非常小,例如相隔1m的两个人之间的引力约 10^{-7}N ,对人的活动不会产生任何影响。由于地球质量非常大,使地面上的物体受到明显的地球引力。引力相互作用虽然是已知的相

互作用中最弱的一种,然而它在宇宙天体的构造和演化过程中却起了主要的作用。

电磁力是带电粒子或带电的宏观物体之间的相互作用力。两静止的带电体之间的相互作用力由库仑定律支配。若 q_1 和 q_2 分别表示两个点电荷的带电量,它们之间的距离为 r ,两点电荷间的作用力为 $f = kq_1q_2/r^2$, $k = 9 \times 10^9 \text{Nm}^2\text{C}^{-2}$ 。点电荷间为引力或斥力,这种力比万有引力要大得多。例如两个相邻质子之间的电力可达到 10^2N ,是它们之间万有引力(10^{-34}N)的 10^{36} 倍。运动电荷间的作用除了有电力作用外,还有磁力相互作用,磁力和电力具有同一本源。电力和磁力统称为电磁力。电磁相互作用是发生在荷电粒子之间的长程相互作用,它使原子核和电子能聚集在一起而形成原子。中性原子和分子之间也有相互作用力,这是因为虽然每个分子或原子的正负电荷数值相等,但它们内部正负电荷有一定的分布,对外部电荷的作用并没有完全抵消,所以仍显示出有电磁力的作用。中性分子或原子间的电磁力可以说是一种残余的电磁力。相互接触的物质之间的弹力、摩擦力、流体阻力,以及气体压力、浮力、粘结力等都是相互靠近的原子或分子之间的作用力的宏观表现,因而从根本上说也是电磁力。

在绝大多数原子核内不止有一个质子。质子之间电磁力是排斥力,但事实上核的各部分并没有自

种人、白种人和黑种人的不同影响。因为已经发现白种人在非洲高原地区易发皮肤癌。

虽然已从照明时间长短和周期(白昼)循环方面研究过环境照明对动物和人的影响,鉴于环境条件和遗传组成中的微小变化将会在人的反应上产生很大的变化,系统地研究这些变化的因素可以得到动物模型与人类中存在的生理或病理之间的密切联系。如照射紫外线的优劣,近紫外辐射和可见光透过人体时的吸收,光化学作用与光辐射的波长、强度

的关系,白炽灯或荧光灯的亮暗与照明环境的关系,什么波长的室内照明具有生物活性等。

光与物质相互作用的研究在物理领域已取得辉煌成果。面对人体这一特殊重要的研究对象,探查在人皮肤中及培养的人细胞中紫外辐射和可见光所可能引起的DNA的损伤,测定产生DNA损伤的不同波长太阳辐射的穿透深度,目的在于改善人类的照明环境和解决光化学致癌等医学问题。

动飞离,这是因为在质子之间还存在一种比电磁力还要强的自然力,正是这种力把原子核内的质子及中子紧紧地束缚在一起,使原子核牢固地保持为一个整体。这种存在于质子、中子、介子等强子之间的作用力称做强力。强相互作用是一种短程相互作用,力程仅为 10^{-15}m 量级,虽然在这样短的距离内,它可以强于两个粒子间的静电力(斥力),但它只能是相邻核子之间的相互作用。两个相邻质子之间的强力可以达到 10^4N 。在原子核中的质子数增加时,力程较大的静电力将随之增强,最终必将超过强相互作用,因此原子核的大小是有上限的。作为粗略的估计,最大的原子核只能容纳约 300 个核子。强子之间的距离超过约 10^{-15}m 时,强力就变得很小可以忽略不计;小于 10^{-15}m 时,强力占主要支配地位,而且直到距离小到大约 $0.4 \times 10^{-15}\text{m}$ 时,都表现为吸引力,距离再减小,则表现为斥力。

弱力也是各种粒子之间的一种相互作用力,但仅在粒子间某些反应中才表现出它的重要性。弱相互作用引起粒子之间的某些过程,例如中子和原子的放射性衰变,以及许多其他粒子的相互衰变。它的力程比强力还要短,而且力很弱。两个相邻的质子之间的弱力大约为 10^{-2}N 。

在物理学的发展过程中,最初人们认为微粒是物质存在的基本形式,微粒在空间占有一定的有限空间体积。为了描述微粒之间的相互作用,人们引进了场的概念,例如电磁场和引力场等。场是充满全空间的,没有不可入性。随着科学技术的发展,人们逐渐发现,场与微粒一样具有能量和动量,也具有不连续的微观结构。因此,人们把微粒和场看成是物质存在的两种基本形式。现在,量子场论则明确指出,物质存在的两种基本形式中,场是更基本的。量子场论所给出的基本物理图象是:每种粒子对应一种场,对于各种不同粒子的场互相重叠地充满全空间。所有的场都处于物理基态时为物理真空,场的激发态表现为出现相应的粒子和反粒子互换的两种物理状态,粒子之间的相互作用来自场之间的相互作用。按照量子场论,基本相互作用是通过在相互作用着的粒子之间交换某种粒子来传递的,这些粒子称为规范玻色子。理论预言传递引力相互作用的媒介粒子是引力子。但是,迄今为止在实验上还没发现引力子。光子是传递电磁相互作用的媒介粒

子。1983 年发现的 W^+ 、 W^- 和 Z^0 中间玻色子是传递弱相互作用的媒介粒子。量子色动力学预言,强相互作用的原始媒介是 8 种胶子,他们在夸克之间所传递的原始相互作用称为色相互作用,实验上已经得到胶子存在的证据,胶子的静质量为零,像光子一样,但是鉴于夸克禁闭,色相互作用的作用距离不超过强子的尺度。在实验上所观测到的在复合粒子—强子之间的所谓强相互作用,是色相互作用的剩余相互作用。把以上 4 种基本的相互作用的特征归结为下表,其中力的强度指两个质子中心的距离等于它们直径时的相互作用力。

4 种基本的相互作用				
类型	相互作用物体	媒介粒子	强度	作用距离
万有引力	一切质点	引力子	10^{-34}N	无限远
电磁力	电荷	光子	10^2N	无限远
弱力	大多数粒子	中间玻色子	10^{-2}N	10^{-17}m
强力	核子、介子等	胶子	10^4N	10^{-15}m

物理学家总是试图得出能统一理解一切物理现象的基本规律。1967 年,温伯格和萨拉姆在格拉肖理论的基础上,先后提出了电磁相互作用和弱相互作用统一的规范理论,并为随后的一系列实验所证实。因此,电磁相互作用和弱相互作用是同一种基本相互作用——电弱相互作用的两种表现形式。电弱统一理论的成功促使人们探索研究大统一理论,试图把强相互作用和电弱相互作用统一起来。目前,在粒子物理中引力所起的作用还不太清楚。然而,基本相互作用之间数学上的相似性,提示着存在一种更基本的统一的可能性,可能所有的相互作用是同一种基本相互作用的不同表现形式。或许整个自然界可归结为某种深刻的对称性。一些物理学家也试图找出这样的“超统一理论”,从而打破“物质”与“相互作用”之间的传统界限。

以上所讨论的 4 种基本相互作用在现代粒子物理标准模型的“规范理论”中,统称为规范相互作用。它们已得到了实验的验证。除了这几种规范相互作用外,标准模型认为还存在一种非规范相互作用,称为希格斯粒子汤川相互作用。它的媒介粒子是希格斯粒子,这种相互作用的力程比弱相互作用还要短,即小于 10^{-18}m 。到目前为止希格斯粒子还没有被直接观察到。