



第五种力

朱沛臣

第五种力是指自然界可能存在的一种基本相互作用(力),它不同于早已得到人们普遍承认的另四种基本力:强相互作用(或核力)、电磁相互作用、弱相互作用及引力相互作用,是近二十余年对引力规律的研究中发现的。

大家知道,牛顿主要根据天体运动的经验规律,确立了引力定律:引力的大小与引力源的质量成正比,与距离的平方成反比。这一理论在取得辉煌成就的同时,一直受到人们反复的检验,特别是规范理论出现以后,更引起实验物理学家的广泛关注。

1967年,美国东华盛顿州立学院的 D. Long 根据自己的实验及 1891 年以来有相当可靠程度的七组实验结果宣布,在实验室尺度上,牛顿的平方反比引力定律和实验相比有一系统的偏差。它可以表示为引力常数随距离的变化。以后,对大量地球物理实验结果的分析证实了它的存在,并把它归结为存在一种不同于牛顿引力的新力,称之为第五种力。为了弄清这种新力的起源, E. Fischbach 重新分析了历史上著名的 Eötvös 实验,发现实验所用材料的不同成分,特别是它们的重子数或超荷不同,则实验结果显示存在一种与成分有关的中程力(而牛顿引力的力程是无穷大)。

由于自然界的基本相互作用是决定所有物质运动及其状态变化的依据,对人们认识自然界的基本规律有着根本的重要性,上述结果的宣布引起了物理学界的极大兴趣。然而,第五种力是否真的存在首先是一个实验的问题。所以近 25 年来人们在实验室,矿井中,电视塔上,悬崖旁,海底下做了大量的实验,设计了许多精密仪器,以便证实或否定它的存在。

探测第五种力的实验大致可以分为下列三类。一是把地球作为引力源,测量离地心不同距离处重力加速度的变化,以此和按平方反比定律算得的理论值相比较。这种方法受到人们对地球形状,物质分布,特别是测量点附近地层特性了解程度的限制,一般误差较大。但近年来测量精度有了较大的提高,而且测量规模的扩大也在相当的程度上增加了对地层结构的了解,减小了误差。例如墨西哥湾 1100 平方公里范围内海底海面的 703 个重力数据;澳大利亚西北昆士兰 14000 个钻孔提供的地层及重力数据;从这些资料算出的引力加速度要比实验室测得的大 1%。这就是第五种力存

在的地球物理实验证据。它可以用一个 Yukawa 型的力来解释,例如用引力势来表示:

$$V(r) = V_N(r) + V_F(r).$$

其中 $V_N(r) = -\frac{G_\infty M}{r}$ 是

Newton 引力势, G 是引力常数,与引力源的成分、距离

无关, M 是引力源的质量, $V_F(r) = -\frac{G_\infty M}{r} \alpha e^{-\lambda r}$

是相应于第五种力的势。地球物理实验对这种力相对于引力的强度和力程给出下列限制:

$$\alpha \approx -(7.2 \pm 3.6) \times 10^{-3}, \lambda = (200 \pm 50) m.$$

注意 α 是一个负数,这表明第五种力的方向和牛顿引力相反是一种斥力,强度小 2—3 个量级,力程是 10^2 米的量级,正好介于天体尺度和实验室尺度之间。这类实验还在高数百米的电视塔,烟囱上做过。结果也肯定了对 Newton 引力的偏离,但倾向于存在两种新力,一是排斥的,一是吸引的。

第二类实验是测量同一引力源(如大崖岩石)对质量相同而成分不同的物体的引力作用差别。其中最直观的是 Brookhaven 美国国家实验室的新型加速度仪,实验中浸在水中的悬浮铜球壳(内充满水),在高出 Hudson 河 161 米的 Palisades 崖壁的作用下产生了 $(8.5 \pm 1.3) \times 10^{-8} \text{ cm/sec}^2$ 的加速度,铜受到的力比水大 $(4.2 \pm 0.6) \times 10^{-4}$ 达因。表明确实存在一种与物体成分有关的力。还有扭称和自由落体实验。前者有静态法和动态法两种,实验结果都肯定了第五种力的存在,而动态法进一步认为这种力与核子的同位旋成正比。自由落体实验直接测量重量相同的两种材料(如铜和铀)做成的物体在地球引力作用下加速度之差,其结果是否定的。

第三类实验测量反物质——目前用的是反质子和正电子——在地球引力作用下的加速度,如果存在与重子数或轻子数相关的第五种力,则其加速度将和质子、电子的不同,实验计划已获批准,但还未取得结果。

在理论上,早在 70 年代人们就认识到,引力的广义协变理论可以包含一个有质量的标量场。实际上,正是这种理论上的预言触发了实验工作者去寻找其存在的证据。按照近代量子引力理论,传播引力的量子—引力子应该有相应的超对称伴子,这就是自旋为 1 的引力光子和自旋为 0 的引力标子,它们都和物质相耦合,其结果就是产生非 Newton, 非 Einstein 的引力现象,这也许就是第五种力的起源。

当然,理论认识是否正确,最后要经过实验的检验。尽管目前第五种力的存在有一定的事实依据,但尚需做更多、再精密的实验才能做出最终结论。