

自然界的四种基本相互作用力能统一吗?

傅裕寿

(中国科学院力学研究所)

一、自然界中有四种基本相互作用力

关于“力”的研究是一门最古老的科学，同时也是现代最前缘的科学内容。

顾名思义，力学是研究力的一门学问。宇宙间没有孤立存在的“力”，它是在物质相互作用中表现出来的。最初，人们认识“力”的概念是从生产劳动和日常生活中开始的。人们观察到力是肌肉的伸缩，汉字“力”（篆文）字本身就是人筋的象形。我国古代有人称：“力，形之所以奋也。”这也就是说“力”是一种相互作用。

那么，在自然界中究竟有那些相互作用力呢？虽然宇宙界的物质繁杂纷纭，千差万别，以各种各样的形式处在相互依存、相互作用中，但科学家通过无数现象逐步地揭示了它的本质。到现在为止，就人们的认识水平而言，公认在自然界有四种基本相互作用力。它们被称为：引力、电磁力、强相互作用力、弱相互作用力。

在四种基本相互作用力中，强相互作用力最强，引力最弱。假如以强相互作用力的强度为1，其他相互作用力的强度比值在下表中列出。

力的名称	强相互作用力	电磁力	弱相互作用力	引力
强度	1	10^{-2}	10^{-13}	10^{-38}

从表中可以看出，它们之间的强度差别是相当大的，也正是这些差别使存在于宇宙中的物质具有多样性，并且互相联系着、依附着。

二、四种相互作用力的性质

人的认识是由简单到复杂、由低级到高级的。最早被人们发现的是引力相互作用。它的强度虽然小，但它是一种长程力，而且随着质量的增加而增加，所以质量大的物体之间，引力是很大的。古典力学的奠基人牛顿系统地对引力进行了研究。苹果落地就是引力的表现。牛顿不但研究了地球上发生的自然现象，而且研究了天体运动。他发现，月亮绕地球沿一定轨道转动，地球及其他行星绕着太阳转动，乃至更大的天体运动都是这种引力在维持。他把这些力经过理论分析，归纳统一，在十七世纪提出了著名的万有引力定律，并用数学形式表达出来，即

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

式中 F 为相互作用力； m_1 、 m_2 为相互作用的物体质量， r 为物体之间的距离， G 是万有引力常数。

十八世纪，库仑对由电子和原子核组成的原子的吸引力进行了研究，由牛顿的万有引力公式启发联想出了静电引力的表达式为

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

以后，库仑、法拉第、高斯、安培、麦克斯威沿着这条联想的道路继续开拓、探索，将电力与磁力统一起来，建立了电磁力的完整数学形式。

电磁力的强度比引力大得多。它虽然也是一种长程力，但有些宏观物体一般都是电中性的，所以在没有电磁场的宏观物体之间，电磁力显示不出它的威力。可是，对于宏观的“接触力”（如弹性力、绳子中的张力，摩擦力、粘性阻力等），则基本上是由于电磁力的反映。必须指出，在宏观世界中，除了重力以外，工程界最常见的力归根结底都是电磁力的相互作用的结果。

到目前为止，人们对电磁力认识得最清楚，它使带负电荷的电子围绕着带正电荷的原子核运动，从而组成了保持物质化学特性的最小微粒——原子、分子。那么，电子与原子核是怎样发生相互作用呢？原来带电的粒子不断向四面八方发射没有静止质量的光子，当另外的带电粒子接收到光子时，发射者和接收者之间就发生电磁相互作用。后来建立了描述这种相互作用的理论，称为“量子电动力学”。量子电动力学取得的成功是惊人的，以至到现在为止，还没有发现它们与实验有任何不符之处。

当研究深入到原子核后，发现了 β 放射现象。1898年，贝克勒尔发现 β 射线，在试验中，发现能量不守恒。这种现象，电磁力和引力理论都不能解释，所以，研究者们断定有一种新的相互作用。由 β 衰变的寿命推算，新的相互作用比电磁相互作用强度弱得多，大约只等于电磁力强度的 10^{-11} 倍。“弱相互作用”便由此而得名。弱相互作用是短程力，它随距离的增加按指数规律衰减。所以，它在宏观物体之间的作用微弱到可以忽略不计。

从能量守恒定律出发，人们判断有一个新的粒子，它把衰变中一部分能量带走了。后来为实验所证实。

这个新粒子称为中微子。

中微子是一种神秘的粒子,它没有静止质量,永远以光速行进,它的自旋量与动量方向相反,象一只左旋的螺丝钉一样不停地旋转。

中微子只参加弱相互作用,太阳内部的热核反应产生大量的中微子,这些粒子虽然很小,但其本领大得很,它可以不受任何阻拦地从太阳核心里跑出来,也可以毫无困难地穿过整个地球。

杨振宁教授、李政道教授 1956 年提出弱相互作用“宇称不守恒”的理论。后来获得诺贝尔物理学奖。

理论研究表明:弱相互作用的传递要靠一种媒介,这种媒介叫中间玻色子。中间玻色子的质量很重,约为质子质量的几十倍。目前正在建造能量极高的质子对撞机,企图把这一谜底揭开。

参与弱相互作用的微粒被称为“轻子”。

原子核酷似一个坚硬的钢球,需要高达 8 兆电子伏的能量才能把它敲碎。是什么力量使质子和中子如此牢固地束缚在一起呢?这仍然是一种力,这种力叫强相互作用力。

强相互作用力的力程很短,只有十万亿分之几厘米,它的强度比电磁力大 100 倍,是自然界中最强的相互作用力。参与强相互作用的粒子被称为“强子”,目前这种粒子已被发现 300 多种。强子中的大多数是用高能加速器人工产生,它们很不稳定,寿命很短,产生以后,很快就衰变为质子、中子、轻子和光子。

与上述几种力一样,从理论上分析,传递强相互作用力也应有它的媒介。人们科学预言,一种称为“胶子”的媒介就是传递这种力的。进入二十世纪七十年代,许多著名的科学家都在为寻找胶子忙碌着。1979 年 7 月在汉堡,诺贝尔物理学奖获得者丁肇中教授领导着一个实验小组(其中有我国科学工作者唐孝威等参加),他们利用电子回旋加速器发现了胶子,为量子色动理论提供了证明,为研究强相互作用力作出了贡献。这一事件轰动了世界科学界。

三、弱电统一理论

“话说天下大事,分久必合,合久必分。”这句话未必没有辩证法的成分。似乎在自然科学领域中也存在着分与合的规律。

科学的发展使人们对于各种个别现象进行研究逐步深入,得出了各自遵循的规律,到了一定的阶段,发现这些个别规律有着深刻的内在联系,这时,有些统一理论应运而生。这种统一在物理、力学史上是屡见不鲜的。十七世纪,牛顿把天体力学与地球上力、质量、速度、加速度等概念统一,创立了运动三大定律和引力场理论。此后,焦耳和梅亚建立了热能与力学的统一;法拉第、麦克斯韦将电学、磁学和光学等分支统一,提出了电磁理论。到了十九世纪、二十世纪又有了新的统

一:爱因斯坦将时间、空间、物质和引力统一起来,创建了相对论;薛定谔和海森堡实现了物理、化学和材料科学的统一,建立了著名的量子力学理论;狄拉克,海森堡对原子物理、核物理和基本粒子物理建立了统一模型,创立了量子场论。

纵观科学的发展,每一个统一性原理的发现都代表科学发展中一次具有重要意义的飞跃。从牛顿运动定律发展到现代的量子理论,每一次统一都把先前认为不相通的物理学科,先后被统一在同一领域中,并由此出发,提示了许多新的原理,促进了科学和生产的发展。

既然物质的运动都统一在宇宙中,那么,有没有一种理论把现有的四个基本相互作用力统一起来呢?这是当前科学前沿最活跃的思想之一。

在本世纪二十年代,爱因斯坦就企图建立当时统治宇宙的两种力——引力和电磁力的统一。他化费了后半生的全部精力,希望建立起大统一场论。虽然直到 1955 年逝世为止,没有取得结果,但他不畏艰辛的劳动和闪耀着真理的思想光华,却永远激励着后来的科学家继续前进。

力图用简单的语言描述自然,用少量的原理概括复杂的现象,这一向是物理学家的一种“癖好”。五十年代后期,一批年轻的美国物理学家又向统一理论发起了新的进军。他们继承了爱因斯坦的精神,但方向稍有不同,他们首先研究的是电磁力与弱相互作用力的统一。

1967 年美国的温伯格,巴基斯坦的萨拉姆分别提出了弱电统一理论的规范场论。在这个模型中,除预言了弱相互作用中存在着带电中间矢量玻色子 W^{\pm} 外,还预言存在着中性的中间玻色子 Z 。理论预计, W^{\pm} 的质量大于 39.8 Gev, Z 的质量大于 79.6 Gev。由于它们质量太大,所以当时的最大加速器都无法把它们轰击出来。

弱电统一理论成败的关键是能在实验中发现中间矢量玻色子或者由它所引起的可检测的弱相互作用,这就是所谓中性流。1971 年荷兰的胡夫特从数学上解决了模型中的无穷大困难后,弱电统一模型在理论上更加完善,余下的问题是寻找中性流。

物理理论的正确与否,要由实验来证实。1973 年夏末,从设在瑞士的日内瓦欧洲核子研究中心传来了可喜的消息,在长 5 米,重十吨的“加加梅尔”大气泡室中发现了中性流。接着,美国的实验室重复了这一实验,证明中性流确实是存在的,这就从实验上证实了弱电统一理论是正确的。1979 年 8 月,由美籍物理学家莫玮领导的实验小组(小组有我国的科学工作者王祝翔等)报告了他们的 μ 中微子和电子的弹性散射的实验结果。这个实验结果对温伯格-萨拉姆的弱电统一

(下转第 49 页)

轴对称弹性体非轴对称荷载通用程序简介

本问题在半解析有限元思想指导下,用 ALGOL-60 语言,于 719 机上编制。

一、范围 本程序的适用范围顾名思义,诸如,大型空腹桥墩、矿山井塔、机件轮盘、飞机轮毂、涡轮等一类旋转轴对称结构,在对称与非对称荷载作用下的应力均可计算。而此程序要着重解决的是非对称荷载作用下的三维问题。通过半解析途径,简化为二维问题处理,使之在内存容量不大的中小型计算机上解决比较复杂问题行之有效,节省了机时。

二、功能 本程序除了解决人们所关心的荷载问题外,由于采用六节点等参单元,故还能解决裂纹奇异性问题,从而求得强度因子。对于边界条件,固结点、自由点、半固结点(不论是径向、轴向、环向)皆可在同一方案中一道计算。非对称外荷载按富氏级数展开,一般取前三项或四项(包括 $l=0$ 项)就能达精度要求。刚度矩阵用七点哈默积分公式,其精度为 $o(h^3)$,六节点等参元与常规三角形元精度要大大提高,从而单元数可大为减少。

三、可靠性 本程序对受离心力作用而有理论解的等厚圆盘用较稀网格进行计算,其有限元解与理

(上接第 72 页)

理论也提供了强有力的支持。

温伯格、萨拉姆由于建立弱电统一理论取得的成功,获得了 1979 年度诺贝尔物理奖。

四、走向更进一步的统一

弱电统一理论的成功只是向四种基本相互作用力的统一跨出了第一步,许多物理学家正在为进一步的统一紧张地工作。他们在弱电统一的启发下,希望寻找可重整的统一的强作用理论。比较成功的可重整理论

论解能很好吻合,误差在 0.5% 左右,进而对某种飞机轮毂进行计算,其结果与实物电测值在应力分布规律上完全一致。此外,在程序对裂纹尖端进行奇异性处理后,我们把有理论解的裂纹圆柱体,分 100 个左右单元,进行强度因子计算,其结果与理论解误差为 5% 左右,而用常规三角形元要分 870 个单元才可达此精度。

(湖南计算中心蔡雪蛟 三机部六〇九所 何培恒 张燮年)

杆板组合结构有限元通用程序

本程序是采用有限元组合结构模式,进行高层建筑结构应力静力、动力分析通用程序。

程序中配备平面应力元是:三角形元、矩形元、四节点十四个自由度矩形元;以及杆元,梁元,柱元共六类十种基本单元。可以构成各种框架、剪力墙、框架-剪力墙、交叉梁系等多种结构计算模式,可以灵活处理剪力墙开洞、墙体不贯通、错层、跳层、用斜杆、边框加强等复杂情形。可以计算任意平面布置各类结构体系在地震、垂直方向上静、活荷载作用下进行内力组合、完成截面配筋设计。本程序有对原始数据进行自动检查处理功能。

本程序采用了多重子结构分层算法有效地扩大了程序解题能力,

提高了运算速度,本程序是用 ALGOL 语言,在 TQ-16 机上实现的。

本程序于 1976 年投入使用,曾经完成了 25 层 16 跨某工程结构应力分析。现已输入建工系统土建设计程序库。

(北京市建筑设计院研究所 董衍馨)

平面框架结构内力分析、组合及配筋通用程序

本程序运用杆件系统的直接刚度法,计算结构的变形和内力。结构的形状可以是任意的,即除了常见的矩形框架外,对于包含有斜杆、变截面杆、铰接杆或节点约束的框架,程序也能适用。

作用于框架上的外荷载可以有:恒载、活载、风载、温度影响、地震水平荷载及吊车荷载。

对于大型杆系结构,使用本程序时须考虑如下限制条件:杆件总数 $n_e \leq 220$,节点总数 $n_p \leq 126$,变截面杆板 $n_b \leq 20$,节点约束个数 $n_r \leq 20$,荷载个数 $n_l \leq 700$,每次计点截面总数 $p_0 \leq 125$,荷载组合组数 $n_s \leq 4$ 。

本程序使用 ALGOL-60 (709, 719, TQ-16) 语言。目标程序为 4000 W, 500 行。

本程序于 1975 年投入使用,曾为十三个单位计算了民用和工业建筑几百榀框架。

(上海市计算技术研究所 顾鼎铭)

是所谓量子色动力学。在这个基础上,试图首先发展把电磁作用、弱作用和强作用都包含在内的统一理论,通常称它为“大统一理论”,目前已提出了很多大统一理论的方案。大统一之后,等待统一的只有引力了。引力十分弱,在目前实验室的能量范围内还没有直接看到引力的量子效应。在理论上还有待于解决引力量子理论重整化问题。

理论物理学家的基本信念之一,就是相信存在着支配整个物理世界的统一规律。但是现在还没有找到这一规律,可能还要走很长,很长的路。