

力和能量概念关系的演变及思考

毛多鹭 王欣

力的概念和能量概念是物理学科赖以建构的两个基本概念,是学习者必须抓住的两条主线,这两个概念是相互联系不可分割,但又有区别,对两者本质的关系的认识是一个有趣的逐步发展的过程,而这一过程还在继续。对这一过程作一番审视,必将有利于我们对物理的学习,也有利于我们对物理概念及自然规律的理解和进一步的探索。

一、经典物理学中力和能量概念的建立

人类对力的概念的认识是经过漫长的历史过程,力的概念最早是从人体肌肉紧张这种体验得来的,因为人类生活的直接需要是狩猎,经常用力投掷石块或者别的器具以击倒野兽。远在2400年前,我国思想家墨翟对“力”做出那个时代可能有的杰出的表述,他在《墨经》中写到“力,形之所以奋也”,用现代的话说就是“力是物体运动的原因”,从运动的角度来认识力的本质。

古希腊的亚里士多德在他关于运动的理论中认为,天上的物体只能绕宇宙中心(地心)做天然运动,这是上帝创造出来的,进而圆是最完美的曲线,而在地上的物体要保持直线运动,就必须有经常作用于其上的力。例如,抛射体离开人手后,它在排开前方空气的同时,必定受到后方空气的推力,才能保持运动,如果推动者停下来或者和物体失去接触,物体就会立刻停止。在这个时期,也有原子论者认为,抛体运动凭着原先被授予的冲力便足以维持下去,而不需外界直接推动,但人们对力的概念的总体认识仍然是“力是维持物体运动的原因”,虽然物体的运动对应着某种能量形式,但鉴于生产力发展的水平和人们生活的局限性,尚没有关于“能量”的认识。

14世纪开始成熟的“冲力理论”提出物体运动不需要推力。而伽利略对物体在斜面上的运动的巧妙研究以及由此发端的人们对惯性原理的认识,显示了外界对物体运动的影响在于改变它的速度,亦即使它产生加速度,在此基础上,牛顿以其敏锐的洞察力,将这种影响明显地表述为“自然力”,他在前人实验的基础上,经过潜心研究于1687年出版了著名的《自然哲学的数学原理》,创立了经典力学体系。在这个时期,虽然“力”是什么的问题并未给出准确

的定义,如牛顿在《自然哲学的数学原理》中,将惯性称为“惰性力”,另外还有“运动力”、“加速力”、“绝对力”等提法,而基本上较明确地认为力是“运动速度发生变化的原因”。

这一时期,对能量的转移及转化的规律有了一定的认识,但尚未提出能量的概念,一并混谈为力。如德国哲学家莱布尼兹(1646~1716)提出活力的概念,并认为 mv^2 度量的“活力”在力学过程中是守恒的,宇宙的“活力”的总和是守恒的。法国科学家卡诺1830年的笔记中记到“自然界存在的动力,在量上是不变的,准确地说,它既不会创生也不会消灭,实际上是它在改变它的形式。”在1842年的文章《热的力学的几点说明》中得出结论:“因此力是不灭的,可转化的,不可称量的客体。……下落的力……可以用重量和高度的乘积来量度。”法拉第于1845年在论文中提到“物质的力所处的不同形式很明显有共同的起源,换句话说,是如此直接地联系着和互相依附着,以至于可以互相转换,并在其运动中,力具有守恒性。”

德国化学家李比希的学生莫尔(1806~1819)在文章中写道:“除了548种化学元素外,自然界还有一种动因,叫做力,力在适当的条件下可以表现为运动、化学亲和力和凝聚电、光、热和磁,从这些运动形式中的每一种可以得到一切其余形式”。

以上表述中,人们基本上同时认识到了物体相互作用中的能量现象及转化和守恒规律,但没有把能量从“力”的现象中区别开来,甚至是统一的,从后面的分析中,我们将发现这种统一是必然的。

大约到了19世纪下半叶,随着人们对力学现象及其规律的进一步认识和经典力学体系的完善,“力”这一名词专门用来表示使物体产生速度的外界影响。从不同的角度对力的定义主要有三种:①物体间相互作用;② $F=ma$;③ $F=\Delta mv/\Delta t$ 。同时,19世纪中叶,因为使用机器所引起的经济问题,使“功”的概念形成。1951年汤姆生提出了机械能的概念,1952年提出用动态能和静态能表示运动的能量和潜在的能量。至此,对能量的描述与力的概念开始有了区别。“能”的概念也逐渐在物理学工程学中

普遍形成,能量转化和转化定律也得到完善。

从此,力和能量的关系相对明晰,虽然“能量”并没有一个明确的定义,但这并不妨碍对能量现象及其规律的研究,也不妨碍对力和能量的区别和联系的认识。在此之后的很长时期内,人们认为力和能量是两个基本的概念,并且通常通过力来认识和表征能量。一般认为,功是能量转化和转移的量度,而功是力对时间的积累。

在任何一部物理著作中,作者都没有试图告诉读者“能量是什么”,一般地认为“如果一个物体能对外做功,我们就说这个物体具有能量”或“能量表示一个物体做功本领的大小”,显然这不足以说明“能量”的本质,它只是对能量的某方面特征的描述。并且这个特征是用力的特性来描述的,是建立在力的概念的基础之上。为了使人们了解能量概念,一般的物理著作或教科书中都是先提出力及其作用规律,再讲功的概念,紧接着才引入“能量”,可表示为:力→物体的运动→力和运动联系→功→功率→动能、机械能→能量

动能 合力 F 对原来静止的物体做功,使获得速度 v 时,其动能为:

$$W = FS = \frac{1}{2} m(v^2 - v_0^2)$$

重力势能 重物 m 以 $v_0 = 0$ 自由下落 h , 则有 $mgh = \frac{1}{2} mv^2 - 0$, 根据能量的转化和定恒定律可知,物体在 h 处具有某种能,称为“重力势能”。

弹性势能 拉伸或压缩的弹簧,拉开的弓对外做功能使物体获得动能,说明其具有能量,称之为“弹性势能”。

电势能 放在电场中的静止电荷在电场力的作用下加速,会获得动能,说明电荷在电场中具有某种能量,称之为“电势能”。

内能 分子运动及势能的总和。

核能 核反应对外做功,说明核内具有核能。

由上可知,每种形式的能量的存在,都可以用作功来引入并证明它的存在,形成了用力表示的能量的体系。

能量现象及规律的表述体系是以功为纽带来联系的,其一般结构可用图 1 表示。

不同性质的能量形式间转化多少都由对应的某种力的功来量度:如重力势能的转化由重力做功来量度,弹性势能的转化由弹力做功来量度,电势能的

转化由电场力的功来量度等等。

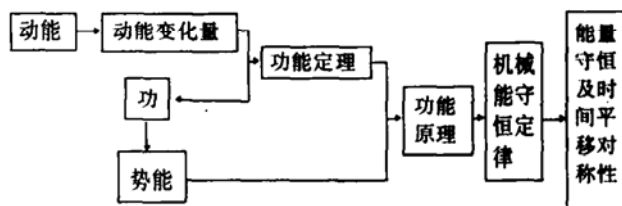


图 1

用力来表征能量体系,对物理学的建立和完善起着基础性作用,但同时科学界很早就发现能量转化中的一些规律无法用力及功来表示。如热能的辐射,压电效应、化学反应等等,这也意味着力和能量之间有某种特殊的关系。

二、近现代物理中力和能量概念的变化

回头审视对力的认识及对常见力的本质的认识过程(见图 2),不难看出,我们先发现重力是引力相互作用的一种表现形式,并发现弹力、表面张力、摩擦力、粘滞力这些宏观的直接的作用现象。进一步地认识,使这些力归属于分子力,而后来又发现分子力是电场力的宏观表现,而电场力和磁场力是电磁相互作用的宏观表现,而弱相互作用和强相互作用中就没有经典意义上“力”的现象,4 种相互作用的传递都依靠场来完成,传递的作用只能用能量、动量来表述。

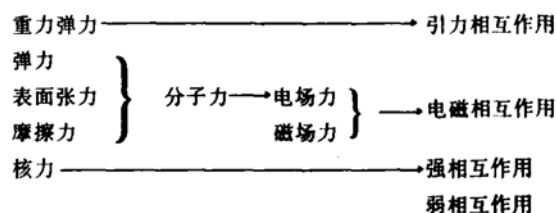


图 2

随着近代物理的发展及对经典物理力学的突破,力的概念逐步失去了在近代物理学中的基础性地位。近代物理学告诉我们,场作为物质存在的一种形式,是传递物质作用的一种主要方式。根据相对论,一切速率不会超过真空中的光速,若两个电荷中的一个电荷运动,其对另一个电荷的作用也会改变,但这种改变是靠电磁场的扰动而以光速传播的,即这一改变需按光速在一时间间隔后才影响另一电荷,在这种作用中,等值反向的作用力便不复存在。在这里用力作为基本物理量来解释物质的运动变化是无能为“力”了。相对论指出,不同惯性系里的空间和时间遵从洛仑兹变换,加速度在这种变换下是个变量,因此无法用加速行为去定义力以及质量。

而现代物理理论认为,在电磁场现象、粒子衰变、高能粒子碰撞,以及正、反粒子的产生和湮没等相互作用过程的研究中,力的概念已派不上用场,这样,力在描述高速运动物体及微观粒子间作用时也失效了。

相反地,用能量交换、能态跃迁来研究以上问题可迎刃而解。从分析力学或场论的拉格朗日形式出发,我们可以分别从时间和空间平移不变性推导出能量和动量守恒定律。而现代物理动力学方程的建立,很大程度上是由所考虑的基本对称性决定的,其表述可用动量概念和能量概念完成。

1959年,阿哈曼诺夫和玻姆首次提出了一种量子干涉效应即阿哈曼诺夫-玻姆效应(简称A-B效应),这个效应的被证实说明:基于能量概念要领建立起来的矢量势比基于力的概念建立起来的磁感应强度更能描述场的本质属性。显示了能量概念比力概念在描述运动及物质相互作用中更具有普遍性和优越性。

能量的传递导致了物体运动状态的变化。而运动状态的变化有很多宏观表现形式,如物体的形变(内部粒子运动状态变化)、压电效应、物体受热后的光学、热学等性质的变化,而加速度的产生只是其中的一种表现形式而已。在理想条件下物甲对物乙做功 W 时,物甲对物乙传递的能量为 $E+W$,其中 W 可使物体乙获得机械能,表现为力的作用。而 E 是其他形式的能量,无法用力的功来描述。当 W 远远大于 E 时,我们往往忽略 E ,因而大量粒子间相互作用产生的宏观效果就是产生加速度,进而粗略地认为物体间相互作用就是力现象。反过来当 E 远远大于 W 时,力的存在就无足轻重了。因此可以说,粒子间相互作用可用能量的变化描述,力现象是大量粒子间相互作用的一种部分宏观表现,“力”概念可描述物体间的相互作用,但不能描述粒子间相互作用。这样来看,力和能量现象几乎同时发现,并且力和能量概念曾经不加区别,这些历史现象的出现是必然的。

三、最后的问题和思考

物质形态的变化及物质之间的相互作用最终用能量的变化来量度,那么能量究竟是什么?每一个好奇的人都会这么问,我们难以直接回答这个问题,但我们可以从近现代物理的新发现获得一些启示。从近代物理及现代物理理论来看,我们惊奇地发现,能

量越来越与物质世界的本源相联系。

根据质能联系方程可知,一个质量为 m 的物体,蕴藏的全部能量为 $E=mc^2$,目前,能量的获取一般是通过化学反应、核反应(包括裂变、聚变)中结合能的变化而获取的。化学反应中,原子或分子的电子组态发生了变化,引起原子或分子的结合能发生变化;核反应中,反应前后的原子核结合的紧密程度不同,结合能也发生了变化,反应前体系的结合能小于反应后的结合能,反应才会放出能量。但我们也发现,正反粒子结合时会发生湮没,化为光子;由此可以设想,质量为 m 的物体理论上可以全部转化成能量为 mc^2 的光。

根据量子场论:①每种粒子都有相对应的场,场没有不可入性,对应各种粒子的场互相重叠地充满全空间。②某种场能量最低的状态称为该种场的基态。基态场不能通过状态变化释放能量,输出信号,从而不显示直接的物理效应。这表现为察觉不到粒子的存在。③场处于激发态时,表现为出现相应的粒子,场的不同激发态表现为粒子的数目和运动状态不同。④当所有的场都处于基态时,任何一个场都不可能释放能量而给出信号,都不呈现出粒子,这就是物质场真空。因此,真空是各种基态场的叠加。

物质世界的实体是由粒子组成的,而粒子又是场的一种能量聚集状态。场是物质世界的最基本形式,对场进行描述的最基本物理量就是能量。这不由得让我们想起中国最古老的哲学:“道生一,一生二,二生三,三生万物……”,“易有太极,是生两仪,两仪生四象,四象生八卦……”。

(西安市陕西师范大学物理学与信息技术学院
710062)

