

焦耳在能量转化与守恒定律建立过程中的实验创新

韦中燊

(北京市大兴区第一中学 北京 102600)

刘静

(北京市和平街第一中学 北京 100012)

(收稿日期:2022-04-21)

摘要:能量转化与守恒定律的确立与19世纪初期工业革命的蓬勃发展有着直接的关系,不同行业的进展为定律的确立提供了坚实的事实基础.但是,固有的思想惯性又成为新思想建立的阻碍,给新定律的建立者制造了许多的麻烦.迈耶和亥姆霍兹的探索,奠定了能量转化与守恒定律的理论基础,焦耳的热功当量实验以丰富的实验内容、精确的实验数据,为定律的最终确立提供了坚实的实验基础.

关键词:能量转化与守恒;热功当量;焦耳

能量转化与守恒定律是物理学,乃至整个自然科学领域之中最重要、最基础的定律之一,是19世纪物理学最伟大的概括.19世纪40年代以前,自然科学的发展已经为能量转化与守恒定律的建立奠定了坚实的事实基础.但是,依然有很多来自于思想惯性的困难阻隔在诸多科学家成功建立能量转化与守恒定律的道路上.焦耳,作为能量转化与守恒定律重要的确立者之一,用他设计巧妙、角度全面、数据精准的热功当量实验为能量转化与守恒定律的确立奠定了坚实的实验基础.

1 能量转化与守恒定律建立过程中的矛盾局势

1.1 工业革命引发的局势

工业革命引发的机械发展为能量转化与守恒定律的建立创造了有利的局势.

物理学的发展史上,能量转化与守恒定律几乎是唯一一个涉及到多学科领域的存在,它建立的准备基础也因此变得十分雄厚而坚实,显然,这样的坚实基础应该归功于那个特殊的时代和诸多有识之士的共同努力.

(1) 力学方面,机械能守恒是能量守恒在机械运动中的特殊形式

伽利略对斜面和摆的研究、斯蒂芬对杠杆原理的研究、惠更斯对完全弹性碰撞的研究,都涉及到了

机械能守恒,甚至能量守恒的问题.到了17世纪,德国哲学家莱布尼兹提出了活力(近似于现在的动能,数学形式为 mv^2)的概念,并提出了活力守恒原理.莱布尼兹认为力学过程中活力是守恒的,宇宙间的“活力”总量也是守恒的.1807年,英国物理学家托马斯·杨提出用“能量”代替“活力”这个概念.1829年,法国物理学家科里奥利建议在“能量”表达式前面加上 $\frac{1}{2}$,并将其改称为“动能”,很快就得到了认可.同年,物理学家彭塞利明确地提出了动能守恒原理.他指出“功的代数和的2倍等于‘活力’的和,在任何时候都不能从‘无’中产生功和‘活力’,功和‘活力’也不能转化为‘无’,而只能组成‘无’.”1835年,哈密顿发表了《论动力学的普遍方法》,提出了哈密顿原理,使得能量守恒定量及其应用成为当时力学的基本内容.

(2) 化学和生物学方面

法国的拉瓦锡和拉普拉斯发现了动物吃下去的食物发出的动物热与这些食物直接燃烧后放出的热近似相等.德国化学家李比希的学生莫尔则从理论上提出不同形式的“力”(当时把能量都称为力)都是机械“力”的表现.

(3) 热学方面的准备主要体现在对热质说的实验反驳上

18世纪末,伦福德伯爵做了一系列摩擦生热的实验,得出了摩擦可以生热的重要结论.1799年,英国化学家戴维在《论热、光及光的复合》一文中介绍了冰块摩擦实验,进一步证明了摩擦生热认识的正确性,也为热功当量认识的提出提供了有说服力的实验事实.

(4) 电磁学方面,大量基本规律的发现也启发人们朝着统一性和等价性的方向思考过去

尤其是法拉第,他尤为强调各种“自然力”的统一和转化.法拉第在一篇论文中写道:“物质的力所处的不同形式很明显有一个共同的起源,换句话说,是如此直接地联系着和互相依赖着,以至于可以互相转换,并在其行动中,力具有守恒性.”显然,法拉第提到的“自然力”,其实就是能量概念在当时的一种说法.法拉第的这个认识,对于能量转化和守恒定律的建立具有非常重要的意义.1821年塞贝克发现的温差电现象和1840年焦耳发现的电流热效应定律,更是给能量转化提供了定量的实验证明.

(5) 迈耶和亥姆霍兹的研究

对能量转化与守恒定律做出明确叙述的,首先要提到3位科学家.他们分别是德国的迈耶、亥姆霍兹和英国的焦耳.

迈耶是一位医生,他通过思考人静脉血液和动脉血液颜色不同的原因,认识到了生物体内能量的输入和输出是平衡的.1842年,迈耶在《论无机自然界的力》中提出了热和机械能的相当性和可转换性.1845年,他又在《有机运动及其与新陈代谢的联系》中系统地阐述了能量转化与守恒的思想.迈耶具体考察了另外几种不同形式的力,他以起电机为例说明了“机械效应向电的转化”.他认为:“下落的力”(即重力势能)可以用“重量和(下落)高度的乘积来量度”,“与下落的力转变为运动或者运动转变为下落的力无关,这个力或机械效应始终是不变的常量”.迈耶第一个完整地提出了能量转化与守恒定律.

亥姆霍兹的功劳是从多方面论证了能量转化与守恒定律.1847年,26岁的亥姆霍兹完成了论文《力的守恒》,充分论证了所有的“力”都应和机械“力”具有相同的量纲这个观点.历史证明,亥姆霍兹的这篇论文在热力学发展历史上有着十分重要的地位,因为他把能量概念推广到了所有变化过程,证明了

能量转化守恒的普遍性.

1.2 思想惯性带来的困扰

思想惯性给能量转化与守恒定律的确立带来的阻力与困扰.

客观地讲,焦耳进行热功当量实验所遇到的困难,其实并不是实验本身,而是在于当时外在的大环境.世界上的能量是可以转化的,世界上的能量是不变的,关于能量转化与守恒的朴素认识虽然很早就出现了,但是却并没有得到人们的重视.甚至,就是迈耶、焦耳和亥姆霍兹这3位在能量转化与守恒定律建立过程中起到了关键作用的人物,他们也没有能够逃脱被思想惯性阻隔的命运,有人被冷遇,有人甚至直接被忽视掉了.

(1) 迈耶的不幸

迈耶虽然被认为是第一个完整地提出了能量转化与守恒定律的人,但是他并没有能够在他活着的时候获得应有的重视和尊重.1842年,他成功地写出了论文《论无机自然界的力》.但是,当时波根多夫《年鉴》却拒绝发表这篇论文.后来,《年鉴》的李比希虽然同意发表了这篇文章,但是其中的观点却并没有引起人们的注意.而这篇文章中的重要观点就是世界上的能量是不变的,这其实就是能量守恒的一种表述.1845年,迈耶的第二篇论文更是自己掏了相关的费用才获得了发表的机会.但是,即便是这样,迈耶文章中的一些观点还是遭到了一些无情的讽刺和挖苦.一个叫做约里的人曾经用嘲讽的口气说,如果迈耶的理论是正确的,那么就意味着水能够被晃动而加热.迈耶曾因为自己的思想得不到认可而自杀,后来又被送进了疯人院.可以说,在当时的德国,真正肯定迈耶的人,极少极少.

(2) 焦耳的不幸与幸运

相对于迈耶来说,焦耳无疑是幸运的,虽然,他所做的热功当量实验和所得到的结论也同样遇到了曲折.焦耳从1843年开始进行热功当量实验并且很快有了结果,但是,一直到1847年的时候,他关于这方面的研究成果还面临着遭受冷遇的尴尬.1847年4月,焦耳曾经在曼彻斯特做了一个科普性质的演讲,所讲的内容就是有关能量的普适守恒原理.很尴尬的是,当地的报纸开始的时候对焦耳的这个演讲根本就没有理睬,甚至有一家报社还拒绝报道这件事情.1847年6月,相同的论题又被提呈到英国协会

的牛津会议上.大会主席居然建议让作者来做一个简要的报告就行了,没有必要就此问题展开进一步的讨论.说焦耳幸运,也是在这次会议上,恰巧年轻的威廉·汤姆孙正好在场,他敏锐地意识到了焦耳所提及观点的重要性,并果断地站出来为焦耳呐喊助威,一下子引起了众人对这个新思想的浓厚兴趣.结果,焦耳的这篇论文引起了轰动,焦耳本人也终于引起了科学界的注意.

(3) 亥姆霍兹的遭遇

1847年,当焦耳终于引起了科学界的关注的时候,亥姆霍兹也在德国柏林物理学会宣读了同样课题的论文.亥姆霍兹的论文题目是《活力的守恒》,讨论的也是能量的事情.当时的亥姆霍兹只有26岁,他的这篇论文宣读之后,被很多科学家认为是异想天开的思辨.曾经在1843年拒绝了迈耶论文的波根多夫《年鉴》这一次又拒绝了亥姆霍兹的论文.无奈之下,在朋友的支持下,亥姆霍兹只好自己掏钱把论文印成小册子散发出去,希望更多人有机会接触到它.但是,开始的一段时间里,效果并不是很好.1853年的时候,小册子还受到了克劳修斯的强烈抨击.后来,更是有人恶毒攻击亥姆霍兹,说他是一个不诚实的剽窃者,他的观点不过是从迈耶那里剽窃过来的.而事实上,亥姆霍兹和焦耳一样,他们在1847年的时候,都并不知道迈耶的工作.焦耳也是在1847年的牛津会议之后,在与汤姆孙的交流之中,才知道了迈耶和卡诺等人的工作的.

2 焦耳的伟大实验创新

面对能量转化与守恒定律建立过程中的矛盾局势,焦耳的伟大创新,或者说伟大的功绩就在于他坚持不懈地用将近40年的时间去不断地进行各种形式的热功当量实验,用铁一般的事实去支持和支撑着伟大定律的最终确立.正所谓凡事有果,则必然有因.下面,我们不妨循着这条因果线去了解一些焦耳进行热功当量实验的历史进程.

2.1 焦耳与焦耳定律的发现

焦耳是英国著名的实验物理学家,做实验是他最大的兴趣,他经常在自己家里做各种实验,这样的经历不仅为他顺利完成热功当量实验提供了经验支持,也成了他能够不断地创新实验手段,改进实验思路,实现精密测量的重要保障.

焦耳出生于1818年,1838年的时候,他刚刚20岁.从这一年开始,焦耳对革新动力设备产生了浓厚的兴趣,投入到了电气热潮之中,开始研究起磁电机来.从1838年到1842年期间,焦耳一共写了8篇相关的论文.在这些论文中,焦耳已经注意到了电机和电路中的发热现象,而且他还认为这种现象与机件运转中的摩擦现象一样,都是动力损失的根源.在这些发现的基础上,焦耳开始了电流热效应的研究.

1941年,焦耳发表了文章《电的金属导体产生的热和电解时电池组中的热》,介绍了研究电流热效应的实验,并得出了“在一定时间内伏打电流通过金属导体产生的热与电流强度的平方及导体电阻的乘积成正比”.

2.2 了不起的热功当量实验

电流发热、摩擦生热、燃烧放热等热现象的认知基础上,焦耳逐渐意识到这些热之间应该存在着等价性.这种等价性最有力的证据,正是热功当量实验的直接数据结果.

18世纪末,人们认识了热与运动有关.这为后来焦耳研究热与功的关系开辟了道路.焦耳认为热量和功应当有一定的当量关系,即热量的单位卡和功的单位焦耳间有一定的数量关系.热功当量是自然界中非常重要的常数,测定它的意义在于明确功与热之间的定量关系,起到的是构建桥梁的作用.定量关系的存在,是普适规律性的重要体现,它能够说明功与热这两者在本质上具有一致性.

1843年,焦耳从探索磁电机中热的损耗问题开始了他漫长的热功当量实验验证过程.在近40年的时间里,焦耳做了400多个不同的实验.

(1) 从磁电机线圈发热到堪称经典的桨叶搅拌法

焦耳在磁电机线圈的转轴上绕两条细线,如图1所示,相距大约27.4 m处安装两个定滑轮,细线跨过滑轮后挂着钩码,每个钩码约几磅重(1磅=0.453 59 千克),钩码的数量可以随意增减.磁电机的线圈被浸没在量热器的水中,利用插入水中的温度计的示数可以直接算出线圈放出的热量,利用钩码的重量与其下落距离可以算出所做的机械功.利用这组仪器,焦耳多次实验之后,得到了热功当量的第一个定量关系:能使1磅水的温度上升华氏1度所需要的热量等于把838磅重物提升1英尺所做的机械功.838磅乘以1英尺,相当于1 135焦耳,由此

得到的热功当量数值折合成现在的国际单位就等于 4.511 焦耳/卡,而现代公认的标准值则为 4.187 焦耳/卡,两者已经非常接近。

焦耳关于热功当量的实验探索并没有就此止步,1845年他又进一步改进了实验方案和实验设备。他在量热器中安装了一个带有桨叶的转轮,当两边通过滑轮悬挂的重物下降的时候,就会带动轮桨旋转,不断地搅动水从而使水升温。通过这个实验,焦耳测量到的热功当量数值相当于 4.782 焦耳/卡。

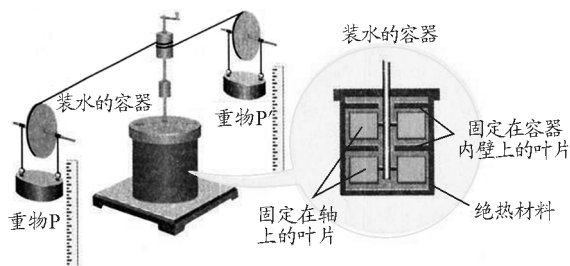


图1 桨叶搅拌法实验装置示意图

(2) 空气压缩与膨胀法

同样在 1845 年,焦耳又设计并进行了另外一个实验。如图 2 所示,把一个带有容器 R 的气压机 C 放在作为量热器的水桶 A 中。气压机把经过干燥器 G 和蛇形管 W 的空气压缩到容器 R 之中,然后测量空气压缩后的温度变化情况,进而从温度变化中计算出空气吸收的热量。气压从一个大气压上升到 22 个大气压,整个压缩过程可视为绝热过程,另外再计算出气压机所做的功之后,这个过程的热功当量数值就能够计算出来了。然后,焦耳又马上做了释放压缩空气的实验。压缩空气通过蛇形管被释放出来之后,量热器的温度就会随之下降。利用这个过程,焦耳又得到了一系列的热功当量数值。多次平均之后,焦耳借助这个空气压缩和膨胀实验得到了相当于 4.312 焦耳/卡的热功当量数值。

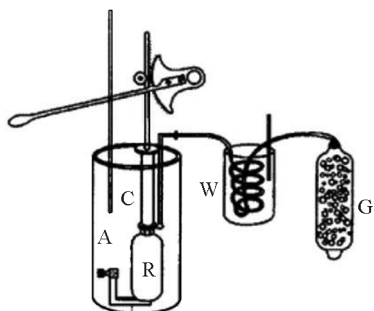


图2 空气膨胀和压缩法实验装置示意图

焦耳从 1843 年以磁电机为对象开始测量热功当量,一直到 1878 年最后一次发表实验结果,先后

做了 400 多次实验,采取了各种涉及到了不同原理的方法,殊途同归,以日益精确的数据,为热和功相当性提供了可靠的证据,为能量转化与守恒定律的确立提供了坚实的实验支持。焦耳在热功当量实验之中采用了多种不同的方法,这里当然包含了丰富的创新元素。但是,就焦耳的出发点而言,他并不是为了所谓的创新,而是为了能够得到更为精确的当量数值。除此之外,采用不同的方案,焦耳还有另外一层考虑,那就是希望借此证明功与热之间等价性的普适性,因为他始终坚信宇宙是和谐的、统一的这一哲学观点。

3 焦耳热功当量实验的历史启示与现实启示

焦耳热功当量实验的准确测定,为能量转化与守恒定律的确立奠定了坚实的基础。回归焦耳整个实验的过程,启示良多。

第一,兴趣是科学家从事专注科学研究的重要动力源之一。焦耳能够坚持 30 多年的时间,用 400 多个实验做同一个研究,其对科学实验的兴趣是支持下不懈地工作下去的重要因素。

第二,注重思想观念引领,体现科学的坚持精神和坚韧品质。能量转化与守恒定律的获得,是在宇宙是和谐的、统一的、简单的,自然界规律是可知的思想观念指引下实现的。同样也是这样的思想观念,引领焦耳不惜用 30 多年的时间,做了 400 多次同一目的的实验。

第三,善于尝试不同的实验方法,大胆进行自我革新和自我创新提升。焦耳的热功当量实验一共做了 400 多次,涉及的实验方案和原理种类繁多,即便是同一个方案之中,也会采用不同的材质进行相互的对比,以寻求最佳的实验结果。显然,焦耳这样做不仅是为了得到更加精确的实验结论,更是一种了不起的自我革新和自我创新精神的体现。

参考文献

- [1] 郭奕玲,沈慧君. 物理学史[M]. 北京:清华大学出版社, 1993:50-65.
- [2] 赵树智,宋汉阁. 科学的突破[M]. 北京:科学出版社, 2001:66-77.
- [3] 李艳平,申先甲. 物理学史教程[M]. 北京:科学出版社, 2003:151-158.
- [4] 卡约里. 物理学史[M]. 桂林:广西师范大学出版社, 2009:148-164.