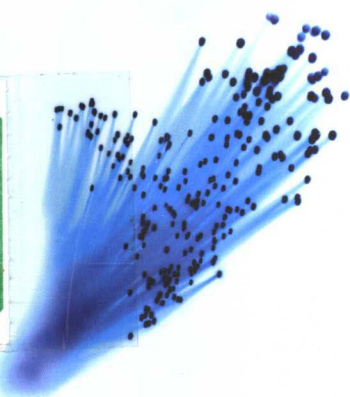




物理学照亮世界

*Physics Enlightens
the World*

主编 赵凯华 副主编 秦克诚



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

物理学照亮世界

Physics Enlightens the World

主 编 赵凯华

副主编 秦克诚



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

物理学照亮世界/赵凯华主编. —北京:北京大学出版社, 2005.9
ISBN 7-301-09695-X

I. 物… II. 赵… III. 物理学—基本知识 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 106981 号

书 名: 物理学照亮世界

著作责任者: 主编 赵凯华 副主编 秦克诚

责任编辑: 瞿 定 周月梅

标准书号: ISBN 7-301-09695-X/O · 0665

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn> 电子信箱: zpup@pup.pku.edu.cn

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 理科编辑部 62752021

印 刷 者: 北京中科印刷有限公司

经 销 者: 新华书店

890mm×1240mm A5 10.375 印张 300 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 0001—5000 册

定 价: 33.00 元

内 容 简 介

物理学是一门基础科学,提供了人们认识自然界的基础;物理学又是对其他学科起带头作用的学科;同时物理学的应用是当今众多技术进步的基石.本书中的 11 篇文章,从各个角度、以多种风格阐明了物理学的重要作用.

前 言

人们常说,阳光普照大地.其实在任何时刻阳光只照亮半个地球,另半个地球却沉寂在夜幕下的黑暗之中.在工业化之前漫长的岁月里,人们过着“日出而作,日落而息”的朴素生活.那时候,灯火辉煌照耀如同白昼的繁华夜景,是不可想像的.是什么照亮了另半个地球?是电!电的应用是物理学的重大发明之一.然而物理学对现代社会文明的贡献远不止于电,今天环顾我们的四周,从衣食住行到工作、学习、娱乐,从生存到发展,无处不闪耀着物理学的光辉.

2004年6月10日,联合国大会鼓掌通过决议,规定2005年为“世界物理年”.决议确认:

- 物理学是认识自然界的基础;
- 物理学是当今众多技术发展的基石;
- 物理教育为培养人的发展提供了必要的科学基础.

今天,在社会上对这样的观点恐怕远未达成共识,继续宣传这些观点仍然十分必要.这正是举办世界物理年活动的宗旨,也是组织编写本书的目的.

本书组织了十一篇文章,作者都是各方面的专家.这里,有的讲物理学对其他科学(如化学、生命科学、地学、经济学)的影响,有的写物理学与技术(如医学、材料科学、核武器、信息产业)的关系,还有的以历史的大视野看物理学与人类文明,有的则用物理学的原理剖析中华古文物瑰宝里的奥秘.文章的风格也各异,用美丽的邮票作插图来配合文字说明者有之,用我国物理学家以身许国的事迹感人者

有之,用作者本人参加工作的经历和体会告谕后生者亦有之.我们期待着本书会有广泛的读者群,并受到他们的欢迎.

世界物理年中有一项活动,叫做“物理学照亮世界”(Physics Enlightens the World),即通过通讯光缆并经过各地接力,将一个从普林斯顿高等研究所发出的激光信号在24小时内传到世界各处并返回原地. Enlighten 这个词除原义“照亮”外,还有“教导”、“启迪”的意义,这句话生动地表现了物理学在认识世界和在正确认识的基础上改变世界的作用,这也是本书的主旨.我们借用这句话作为本书的书名.

今年是世界物理年,北京市物理学会发起编写这本书来纪念它,并得到北京市科学技术协会的支持,作者在此表示感谢.

赵凯华 秦克诚

2005 年酷暑中

目 录

20 世纪物理学对科学、技术的影响	赵凯华(1)
物理学与诺贝尔非物理学奖	秦克诚 刘寄星(28)
地质学中的物理学	郑亚东(74)
物理学对医学发展的贡献	喀蔚波(99)
你知道生物信息学吗?	
——数学、物理学与遗传密码破译	陈润生(121)
经济物理学一瞥	张建玮 王正行(144)
固体物理学与材料科学	张 酣(168)
物理学家以身许国 驯伏天火壮我神州	
——记我国核武器早期发展历程	郑绍唐(184)
物理学与现代产业	宋菲君(210)
中华古文物“青铜三宝”神奇效应蕴含的物理	严燕来(246)
请君莫奏前朝曲, 听唱新翻杨柳枝	
——物理学的发展不断改变着人们的世界观	赵凯华(274)

20 世纪物理学对科学、技术的影响

赵凯华*

古希腊只有统一的自然哲学,科学学科的分化在欧洲文艺复兴以后,近代意义下的物理学肇始和成形于 16~17 世纪伽利略、牛顿时代,在力学和天文学方面取得辉煌成果.科学对技术的影响在 18~19 世纪工业革命以后才变得愈来愈显著,到了 20 世纪,这种影响加速增长,科学已成为技术进步的的决定性力量.

一、18 世纪的工业革命推动了热学的发展

18 世纪发生的工业革命是以机器代替人工繁重体力劳动的革命,是动力的革命.典型的动力机械起初是蒸汽机,后来发展为内燃机,统称热机.为了说明热机的产生和发展与物理学的关系,我们把有关的大事记列于表 1,在表中凡技术性的条目用黑字表示,属于物理学的研究则用蓝字刊出(本文中各大事记表格均本此例).

17 世纪末发明了巴本锅和蒸汽泵,18 世纪末瓦特给蒸汽机增添了冷凝器,发明了活塞阀、飞轮、离心节速器等,完善了蒸汽机,使之真正成为普适的动力机.其后蒸汽机被应用于纺织、轮船、火车.瓦特能取得伟大的功绩在于他对蒸汽的性能有着卓越的了解,他从经济有效性方面改进了蒸汽机.但是瓦特的直接后继者却致力于扩大机器的容量,尽管当时蒸汽机的效率仍然很低.扩大容量是实际工作者的倾向,而提高经济有效性则需要具有热学理论头脑的思想者,这个人便是一位年轻的法国炮兵军官萨地·卡诺(Sadi Carnot).

* 赵凯华,北京大学物理学院教授.

表 1 热机发展的大事记

1681	D. 巴本发明巴本锅 T. 萨弗里制造矿井内抽水的蒸汽泵	
1705	T. 纽可门改蒸汽泵为蒸汽机	
18 世纪 70~80 年代	J. 瓦特给蒸汽机增添冷凝器, 发明活塞阀、飞轮、离心节速器, 等等, 使蒸汽机成为普适的动力机械	
1785	蒸汽机用于纺织业	效率 $\eta \approx 5\% \sim 8\%$
1807	蒸汽机用于轮船	
1825	蒸汽机用于火车	
1824	卡诺原理: 理想热机效率 $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ (T_1, T_2 ——高、低温热源的绝对温度)	
1834	P. B. E. 克拉珀龙用示功图对卡诺理论作出表述	
19 世纪 40 年代	迈耶、亥姆霍兹、焦耳建立能量守恒定律	
19 世纪 50 年代	克劳修斯、开尔文建立热力学第二定律, 提出熵的概念	
1852	J. 爱迪生发明用空气推动活塞的高效热机	
1885	G. 戴姆勒发明汽油内燃机	
1897	R. 狄塞尔发明柴油内燃机	
20 世纪	蒸汽机 $\eta \approx 15\%$ 内燃机 $\eta \approx 40\%$ 燃气涡轮机(1400℃) $\eta \approx 50\%$	



萨地·卡诺

在那个时代人们对蒸汽的巨大威力已有充分的认识, 但蒸汽只是能量的携带者, 动力的真正来源是锅炉下面的火. 卡诺确切地把蒸汽机、内燃机等以“火”为动力的机械叫做“热机”, 他要探索的是如何利用较少的燃料获得较多的动力, 以提高热机的效率和经济效益. 热机的效率(通常用希腊字母 η 代表)定义为它输出的有用功与燃料所发的热量之比. 设热机内高温热源(锅炉、气缸)的绝对温度为 T_1 , 低温热源(环境、冷凝器)的绝对温度为 T_2 , 卡诺证明理想热机的效率最高为

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (\text{卡诺定理}).$$

此式表明, T_1 比 T_2 高得愈多, 热机的效率就愈高. 这指明了一条提高热机效率的道路. 从热机后来的发展(见表 1)可以看出, 内燃机的温度比蒸汽机高, 其效率也比蒸汽机高; 燃气涡轮机的温度更高, 其效率要高得多.

19 世纪热学领域中最重大的成就是能量守恒定律和热力学的建立, 其意义远超出了热机问题. 对整个物理学, 乃至整个自然科学来说, 它们都是普遍成立的基本规律. 能量守恒定律这样一条自然界普遍规律的确立, 是许多人、多学科共同完成的. 除了物理学家的严谨, 这里还需要与其他学科, 特别是生命科学的配合, 以开拓广阔的思维, 有生物学背景的科学家在此处起了不可磨灭的作用. 能量守恒定律的三个创始人中一半是生物学家, 一半是物理学家(迈耶是医生, 焦耳是物理学家, 亥姆霍兹是从生物学转到物理学的物理学家).

迈耶(R. J. Mayer)作为一位年轻的随船医生航行到爪哇. 给病人抽血时, 看到从静脉管流出的血液要比在德国时看到的鲜红得多, 此事给他深刻的印象. 迈耶从法国化学家拉瓦锡(A. L. Lavoisier)那里得知, 人的体温是靠血液的氧化来维持的. 在热带, 人体散热少, 血液氧化少, 故静脉血与动脉血的颜色差别小. 回到德国后, 迈耶一直专心致志地思考着这个问题. 一次, 他和朋友在路上看到四匹马架了一辆驿车奔驰而过, 他问朋友: “马的肌肉之力产生了什么物理效果?” 朋友说: “使车产生了位移.” 他反问: “若马拉车回到原地呢?” 在他看来, 马拉车最主要的物理效果是靠增加食物的氧化来作功, 通过摩擦使路面和轴承变热. 所以, 动物可以用散热和作功两种方式使环境变热, 热和功之间必然有确定的比例. 这个比值叫“热功当量”, 其精确的数值是由英国业余科学家焦耳(J. P. Joule)首先测定的. 能量守恒定律是跨学科的产物, 苏联的分子生物学家伏肯斯坦说: “我们可以稍微夸张地说, 如果物理学赠给生物学以显微镜, 则生物学报答物理学以能量守恒定律.”

回顾这段历史, 我们得到这样的印象: 起先是生产、技术的需求



J.P. 焦耳



R.J. 迈耶

推动了物理学的发展；物理学取得成果后，又反过来促进了技术的进步。用公式表示，就是

技术→物理学→技术

二、19 世纪的电磁学把人类社会带进了电气化时代

电磁学的研究是从实验室里开始的。库仑的扭秤实验，伏打发明化学电池，奥斯特发现电流使磁针偏转，安培对载流线圈之间相互作用的研究，法拉第电磁感应定律的发现，都是物理学家不以功利为目的的纯学术研究。按照前面的规定，这些在大事记表 2 中用蓝字列出。



M. 法拉第

1831 年法拉第的电磁感应定律是个里程碑，它开辟了广阔应用的前景，从下一年起发电机、电动机、有线电报的研究就蓬勃地开展起来了（见表 2 中黑字）。当初法拉第本人是怎么想的？当 1821 年法拉第得知奥斯特的发现后，法拉第并不满足于重复奥斯特的实验。他想：既然电会产生磁，那么磁是否也可能产生电？1822 年他在日记中写下了“磁能转化成电”这一光辉思想。为了证实这一想法，他经过无数次失

败,十年后终于获得了成功.据说在他最初公布这一重大发现时,一位贵妇人问他:“这有什么用?”他回答道:“请问一个初生的婴儿又有什么用?”这个“婴儿”很快地成长起来,大大地改变了世界的面貌.这是法拉第本人也没有料到的.

表 2 电气化历程大事记

1785	库仑定律
1800	伏打电池
1820	奥斯特发现电流的磁效应 安培定律
1826	欧姆定律
1831	法拉第电磁感应定律
1832	皮克西兄弟发明手摇永磁式交流发电机,单相、同步、多极交流发电机
1833	高斯、韦伯发明实验性电磁电报机
1834	雅可比、达文波特分别制成回转式直流电动机
1838	库克、惠斯通建成 13 英里电磁式电报线
1862	麦克斯韦建立电磁理论的方程组,预言电磁波存在
1867	西门子发明自激式直流发电机
1876	贝尔、格雷发明电话
1878	雅布洛奇科夫发明多相发电机
1879	爱迪生发明电灯
1885	费拉里斯发表旋转磁场理论
1886	特斯拉发明二相异步电动机
1888	赫兹用振荡偶极子产生电磁波
1889	多里沃-多布洛沃尔斯基发明三相异步电动机、三相变压器,三相制
1894	爱迪生发明电影
1895	马可尼、波波夫独立发明无线电 (1909 年马可尼获诺贝尔物理学奖)

若论 19 世纪最伟大的两位物理学家,毫无疑问应该是法拉第和麦克斯韦.法拉第没有受过很多数学教育,但他是一位具有深刻直觉能力的实验物理学家.他谙熟从 18 世纪后半叶开始几乎一个世纪内所有电和磁的基本实验规律,如库仑定律、安培定律,以及他自己发现的法拉第定律.法拉第不用一个数学公式,凭直觉创造出“力线”和“场”的概念,这是令人十分惊讶的.麦克斯韦比法拉第小 40 岁,出生于英国爱丁堡的世家,从小喜欢数学.麦克斯韦对法拉第的贡献非常

佩服,他在二十几岁时就下决心,要把法拉第的物理思想用数学公式量化地表达出来.当麦克斯韦把已有的电磁规律用几个方程式表达出来以后,发现其中有矛盾,只有加上他称之为“位移电流”的一项,方程式才是彼此相容的.这一点法拉第没有看出,大家也没有料到,连麦克斯韦自己事前也未曾注意到.然而就这样一项“位移电流”,却预言了另一项非常重大的发现——电磁波.26年后赫兹用偶极振子实验证实了电磁波的存在.19世纪末马可尼(意)、波波夫(俄)独立地发明了无线电,马可尼1909年获得了诺贝尔物理学奖.



H.R. 赫兹



J.C. 麦克斯韦

回顾这段历史,我们得到这样的印象:起初几乎所有电磁现象的研究都是纯学术性的,一旦出现应用的可能性时,技术性的研究便蓬勃发展起来,产生巨大的社会效益.技术的进步反过来对物理学的发展也给予了有效的支持.这与上述热机的发展不同,要用另一公式来表示:

物理学→技术→物理学

热机和电气化代表着物理学与技术转化的两种不同模式,在以后的发展中两种模式都存在,然而后一种模式愈来愈重要.特别在重大技术更新、建立崭新的产业部门方面,科学(物理学)总是先行的,起着主导作用.19世纪的电磁学奠定了20世纪全面(从动力、信息传递到生活)电气化的基础.

三、20 世纪核物理的成果迎来了原子能时代

科学的发展遵循着自己的逻辑,其主流是探索自然界的奥秘,满足人类的好奇心。

有关物质微观结构的探讨,19 世纪的化学家作出了重大的贡献。英语原子一词为 atom,源于希腊文 ατομο,其字头 α 代表否定,τομο 是由动词演化来的形容词,意思是“可分割的”,故 atom 的原意是“不可分割的”东西(atom 最早的中译名是“莫破”,见于严复译的《穆勒名学》)。总之,早年的原子论者把“原子”看做是物质坚不可摧的最小基元。1800 年前后化学家道尔顿(J. Dalton)发现某种物质和另外物质化合成其他物质时,它们的质量总成简单的整数比。譬如氢和氧化合成水时,两者质量之比总是 1 : 8。对这种现象最自然的解释是各种物质都是由原子组成的,不同物质的原子在质量上成简单的整数比。在道尔顿的“原子论”里已把原子和分子(molecule)区分开来。19 世纪的化学家发现:有的物质是可以用化学手段使之分解的,这种物质叫化合物;有的物质则不能用化学的方法使之改变,这类物质叫元素。化合物是由分子组成的,分子是由原子组成的,原子则不能用任何化学手段加以分割和改变。



J. J. 汤姆森发现电子

20 世纪物理学家从化学家手里接过接力棒,向物质结构的亚原子层次进军.1897 年汤姆森(J. J. Thomson)发现质量比原子小得多的粒子——电子,显然,“莫破”被击破了.1911 年卢瑟福(E. Rutherford)根据 α 粒子散射实验的结果提出:原子的质量几乎全部集中在很小的硬核里,即所谓原子核.按照库仑定律,电荷之间的作用力与万有引力一样,也与距离的平方成反比.人们很自然会想到,原子像个小小太阳系,原子核相当于太阳,电子相当于行星,电子绕着原子核旋转.这便是原子的有核模型.然而根据经典电磁学理论,加速运动的电子,其能量必因辐射而减少,最后掉到原子核上,这样的原子是不稳定的.为了“拯救”原子免遭此命运,玻尔(N. Bohr)于 1913 年为电子轨道设下了“量子化条件”,硬性规定它的角动量只能取某个基本份额.玻尔的量子化条件为电子设置了一系列定态轨道,无论经过怎样变化,电子只能回到某个定态轨道之上.这便是玻尔的量子化原子模型.



卢瑟福一家(左)和玻尔一家合影



居里夫人和她的女儿
伊伦·约里奥-居里

肯定原子有核,探索物质结构旅程的下一站就应该是原子核了.起先一种流行的看法认为原子核由质子和电子组成.1932 年查德威克发现中子,原子核由质子和中子组成的模型立即被普遍接受.

现在来看表 3 中的大事记,物理学在探索原子和原子核结构方面经过 40 多年(见表中蓝色条目),核物理才开始被应用.表 3 中以

红色小字标出的数字是有关项目获得诺贝尔物理学奖或化学奖的年代。居里夫人和她的女婿、女儿约里奥-居里夫妇，一家人共获得三个诺贝尔奖，真是一个科学世家。我们可以说，40 多年里经过众多科学精英几代人艰苦卓绝的努力，才为人类社会迎来了原子能时代。

表 3 核物理与核技术发展大事记

1896	A. H. 贝克勒尔发现铀的天然放射性 ¹⁹⁰³
1897	J. J. 汤姆孙发现电子 ¹⁹⁰⁶ E. 卢瑟福发现 α, β 射线 ¹⁹⁰⁸
1900	P. 维拉德发现 γ 射线
1902	居里夫妇发现更强的天然放射性元素钋和镭 ¹⁹⁰³
1905	爱因斯坦创立狭义相对论，得到质能公式 $E=mc^2$
1909	盖革、马斯登用 α 粒子轰击原子，发现大偏转角散射
1911	卢瑟福提出原子的有核模型
1913	玻尔建立量子的原子模型 ¹⁹²²
1914	弗兰克-赫兹实验 ¹⁹²⁵
1925~1926	量子力学建立 ^{1929, 1932, 1933}
1932	查德威克发现中子 ¹⁹³⁵ 海森伯、伊万年科提出原子核的质子-中子模型
1933	约里奥-居里夫妇发现人工放射性 ¹⁹³⁵
1939	哈恩等人实现重核裂变 ¹⁹⁴⁴
1941	费米实现核的链式反应
1945	原子弹
1952	氢弹
1954	第一座核电站建立
近半个世纪	现在美国的核电在整个能源中所占的比例超过 30%，欧洲一些国家核电超过 50%，法国高达 78%

科学家意识到核能的巨大社会意义是从 1938 年发现核裂变(德国化学家哈恩的实验,奥地利女物理学家迈特纳的理论解释)开始的。当时正处在第二次世界大战期间,第一个意识到其可怕后果的,是匈牙利裔物理学家西拉德(L. Szilard)。1933 年希特勒上台时西拉德在德国。因为自己的犹太血统,西拉德 1934 年去了英国,1938 年到了美国。西拉德清楚地构想出一种应称为“核弹”的东西有骇人的破坏力,深恐希特勒德国先造出这种炸弹,1939 年约了另外两位

逃亡在美国的犹太血统匈牙利物理学家一起去找爱因斯坦,劝说他共同签发给美国总统罗斯福的一封信,说明制造核弹的可能性,并极力主张美国不要让潜在的敌人先掌握这种武器。1941年12月6日,罗斯福总统决定组织一支庞大的研究队伍,秘密研制原子弹。曼哈顿(Manhattan)工程启动了。



O.哈恩

L.迈特纳



西拉德找爱因斯坦签名

费米(E. Fermi)于1938年已从法西斯统治的意大利迁居美国。在美国军方的支持下,费米领导了曼哈顿工程的第一项计划——试验性的原子反应堆。当时没有浓缩铀,费米的研究组就用金属铀和铀的氧化物作核燃料,因而所需的临界体积比较大。把核燃料装入作为减速剂的空心石墨块里,堆砌起来,直到临界大小。据估算,反应堆的临界体积之大,是任何现成的实验室都容不下的。费米小组最后看中了芝加哥大学足球场看台下的一块空间,那里原是一个网球场。为了