

原子物理学教学与创新思维

王 德 云

(首都师范大学物理系 100037)

新世纪带来的思考

20 世纪是科学技术飞速发展的世纪,科学技术与生产实践相结合,为人类创造了巨大的物质财富和精神财富,极大地推动了人类社会的进步与发展,这一切将永远值得人们铭记与赞颂。

刚刚迈入的 21 世纪,将是一个科学技术更加辉煌的时代,一个知识经济全面崛起的时代。知识经济的发展必然要求人的知识化。知识是知识经济中真正的资本和宝贵财富,成为经济增长的首要因素和核心力量。社会越发展,知识的作用越加明显,新世纪里这一重要特征会日益突出。

创新是知识经济的前提和灵魂,站在新世纪的门槛上,可以预见科学创新将会迅猛地改变人们的学习、工作和思维方式。

新世纪带给人们的思考是深远的。为了适应新时代的需要,培养大批高素质人才的任务已迫在眉睫;而要培养出适应知识经济时代需要的具有较高政治素质、科学文化素质和能力素质的人才,必须从小学、中学到大学全面推进素质教育。

实施素质教育的核心是培养学生的创新意识、创新思维和创新能力。创造力是一流人才与三流人才的分水岭。

课堂教学仍是目前实施素质教育的主渠道。如何结合课堂教学对学生实施素质教育,尤其是培养创新能力,乃是当今深入探讨的重要课题。

“原子物理学”的建立与发展是众多杰出科学工作者创造性思维、创新能力的荟萃。许多典型人物和典型事例是引导与培养学生的创新意识、创新思维不可多得的范例。以史为鉴,从前人那里发现智慧,从前人那里受到启迪。在原子物理学教学过程中,结合知识的传授,抓住典型事例,有目的、有意识地引导学生深入思考,从中受到有益的启示,从而对学生进行创新意识、创新思维的培养,这也是实施素

质教育的具体体现。下面通过几个具有代表性的事例,谈谈自己的一些体会。

电子发现的启示

“原子是构成物质的不可分割的基本单元”,这一思想主宰人们对于物质微观世界的认识长达 2000 多年,直至 1897 年,电子的发现最终打破了古原子论长期以来对人们的桎梏,敲开了原子的大门,从而揭开了原子神秘的面纱,标志着人类对于物质微观结

构的探索进入了一个崭新的纪元。

电子是人类认识的第一个基本粒子,如今这个名字对世人已不陌生。然而,100 年前,发现电子确非一件易事,其中有许多发人深省的事例,至今仍有着教育意义和指导作用。

19 世纪中叶,正值阴极射线研究的热潮,这实际上是电子发现的前期准备。1890 年,英国曼彻斯特大学教授舒斯特,在研究氢气放电的实验中,通过对阴极射线在外场作用下偏转情况的测量,获得了组成阴极射线粒子的荷质比,其数值为氢离子的 1000 多倍,这是一个非常有价值的实验结果。当时,由于舒斯特依然坚信世间不存在比原子还小的粒子,他认为阴极射线粒子应当与原子的大小相当;另一方面,舒斯特尚未接受前人的实验事实,依然坚持电荷连续分布的陈旧观念。正是这些传统思想的束缚,使他对实验结果做出了错误的分析和判断,从而痛失发现电子的良机。

更令世人惋惜的莫过于法国学者考夫曼了。他在研究阴极射线的过程中,于 1897 年精确地测量出阴极射线粒子的荷质比 e/m ,其数值与现代值相比仅差 1%。然而,考夫曼对阴极射线是由粒子流组成的这一基本事实持怀疑的态度,不敢正视自己的实验结果。值得一提的是,考夫曼在实验中,还发现这个比值随射线速度的增加而减小,这实际上是微观粒子在高速运动的情况下,其相对论效应的一种表现。对于这些重要的实验成果,考夫曼却没有勇



气发表,直到1901年,他才公布于世,可早已晚了三秋。

这些人都属于恩格斯所描述的那些当真理碰到鼻子尖的时候,还是没有得到真理的人。

真正从实验上确认电子的存在的是英国著名的物理学家J. J. 汤姆逊。他对气体放电现象和阴极射线进行了多年潜心研究,终于在1897年精确地测定出阴极射线的荷质比 e/m ,并于当年4月30日,将测量结果在英国皇家学院星期五的晚会上,以《阴极射线》为题做了专题报告,随后在《哲学杂志》上公开发表。荷质比是描述每个粒子基本特征的重要参数,这个数值的测定,便标志着该种粒子被发现了。

汤姆逊测量的结果,比法拉第测量的最轻原子的荷质比还大2000多倍,这就意味着组成阴极射线的粒子比人们早已熟悉的原子小得多。面对这样的实验事实,汤姆逊不同于前面的那些人,他勇于冲破传统观念的框架,作出了自然界还有比原子更小的粒子这一正确的判断,第一个承认电子的存在,从而表现出一位科学创造者的胆略与卓识,被人们誉为最先打开通向基本粒子物理学大门的伟人,荣获了1906年度诺贝尔物理学奖。

通过鲜明的史料,运用类比的手法,引导学生不仅要学习汤姆逊那种严谨的科学态度;更应学习他那种敢于向传统观念挑战,积极探索,勇于创新的精神,这无疑对学生会产生潜移默化的作用,有益于他们创新意识培养。

电子自旋提出的胆略

1921年,斯特恩和盖拉赫为了验证电子轨道角动量空间取向量子化理论的正确性,设计了一个非常巧妙的实验,对原子角动量在外磁场中的空间取向,进行了首次直接观察。不论采用银原子,还是氢原子,实验观察到的结果与空间量子化理论之间都存在着尖锐的矛盾。按照理论计算,原子角动量在空间的取向是奇数个,而实验观察到的结果却是偶数个。这一矛盾现象,引起了物理学界广泛的兴趣。

为了揭开这个谜团,正在荷兰莱顿大学攻读学位的年轻的学者——乌伦贝克和古德斯密特,在大量实验事实的基础上,经过深入研究,在地球运动行式的启发下,于1925年大胆地提出了前所未有的假设:他们认为电子不是点电荷,电子除了围绕原子核运动以外,还具有一种重要的性质,这就是角动量子数为半整数的自旋运动。如同地球的运动一样,除了有围绕太阳的公转以外,还有一种自转运动。

电子存在自旋的假设,是20世纪初最重要的假设之一。而提出这个假设的确是两位名不见经传的年轻人,他们在众多著名的科学家面前表现出非凡的胆略。他们创造性地思维,提出了新的观点,创建了新的理论,为量子论的建立与发展做出了杰出贡献,也为青年人树立了典范。

乌伦贝克和古德斯密特把这种假设报告给他们的导师——荷兰著名的物理学家埃伦费斯特时,这位导师充分肯定了他们的想法,当即指出,这可能是一个非常重要的发现;也可能是完全错误的,并建议他们把这些想法写成论文发表出去。于是,他们二人将此假设写了一篇仅有一页纸的短文,发表在《自然》杂志上。这篇具有独到见解的文章得到著名物理学家海森伯、爱因斯坦、玻尔、托马斯等人的赏识与关注。在他们大力支持与帮助下,克服了许多困难和阻力,使电子自旋假设很快被物理学界广为接受。当初极力反对这一思想的泡利,也承认这种假设是有效的。泡利在给玻尔的信中曾风趣地谈及此事:对我来说,只好完全投降了。

电子自旋的提出,不仅使斯特恩——盖拉赫实验的结果与理论之间的矛盾得到了解决,而且,使困扰人们多年的光谱精细结构、历史遗留的元素周期表结构和反常塞曼效应等重大问题都获得了圆满的解释。标志着人类对物质微观结构的探索又向前跨进了一大步,具有里程碑的意义。

这段历史佳话,值得回味,从中会悟出许多有益的教诲。不论对于教师,还是对于青年学生都会受益匪浅。每当学习这段史实时,学生深受启迪,他们从乌伦贝克和古德斯密特的身上领悟到创新、开拓的内涵。正如牛顿所言:没有大胆的猜测,就做不出伟大的发现。另外,那些著名的物理大师的“伯乐精神”也为他们施展才华提供了机遇。

密立根油滴实验的探求精神

电子发现以后,有关电子电量的测定引起人们的关注。美国著名物理学家密立根为此做出了突出贡献。

密立根从1906到1913年,利用7年时间对不同带电油滴和同一油滴的不同带电情况进行了观测,这就是著名的密立根油滴实验,也是近代物理实验中具有代表性的实验之一。一次,为了精确测量油滴的带电值,密立根竟连续工作达30个小时,顾不上喝水、吃饭。从收集的大量数据中,他惊奇地发现,各种情况下油滴所带电荷数值总是某一最小电

量的整数倍。若用字母 e 表示电荷的最小值,那么,每一种情况下,油滴所带电量 Q 可表示为:

$$Q = ne$$

其中 n 为正整数。这是密立根开创性的实验成果。以前,人们一向认为物体所带电荷是连续的,而实验结果表明并非如此,只能取一些分立的数值。电荷这种量子化特性是与传统思维方式格格不入的。因此,密立根油滴实验曾轰动整个科学界,他也因此而闻名于世。密立根由于为电荷和光电效应的研究做出了重要贡献,荣获了 1923 年度诺贝尔物理学奖。

密立根这种积极探求、潜心研究的科学态度被世人传为佳话,成为后人学习的楷模。结合知识的传授,有意识地引导学生克服学习中的轻浮心理,努力培养踏实、刻苦、勇于探求的良好学风,积累“知本”,去迎接知识经济的严峻挑战。

建立原子模型的创造性思维

“揭开原子微观结构的秘密”,这一带有神秘色彩的课题,一直以巨大的魅力吸引着古今中外的科学工作者,尤其是近一个世纪以来,人们积极探索,敢于创新,建立了各种各样的原子模型。今天的原子结构学说是众多科学家集体智慧的结晶,也是他们创新意识、创造性思维展现出来的一幅幅画卷。

1898 年 J. J. 汤姆逊依据当时的一些实验事实,建立了历史上最早的原子结构模型:正电荷连续分布在原子内,电子嵌入其中,被世人称为“葡萄干面包模型”或“西瓜模型”。这种模型虽然把当时已知的实验现象和理论都包括进去了,但由于无法解释粒子大角度散射而被摒弃。

卢瑟福在前人工作的基础上,依据 α 粒子散射实验结果,类比太阳系的组成,大胆地提出了原子有核模型理论,确立了以核为中心的思想,从而将原子分为核内与核外两部分,为现代原子模型的建立奠定了基础。这种模型有成功的一面,但也遇到了不可克服的困难:无法解释原子的稳定性、同一性和再生性,无法解释原子的线状光谱。因而,需要进一步修正和完善。

1913 年,玻尔依据卢瑟福模型遇到的困难,在普朗克和爱因斯坦建立起来的量子论启示下,首先

把量子论应用于原子内部,提出了量子态的新观念,建立了关于氢原子的动态结构模型理论。玻尔的“定态假设”和“频率条件假设”是对经典理论的挑战,从而将人们关于原子结构的研究推向了崭新的阶段。

到了 20 世纪 20 年代,新量子论——量子力学的诞生,给核外电子的分布和运动规律赋予了统计思想的含义,使玻尔原子理论得到了进一步的发展和完善,形成了今天比较完整的原子结构模型理论。

原子摸不着,看不见,在探索原子微观结构的漫长岁月中,贯穿着探索与创新、继承与发展,在实验与理论两方面不断深入,逐渐贴近实际。结合这一内容的讲授,培养学生的创新意识、创造性思维。一方面要让学生了解各种模型之间的内在联系;另一方面,更要让学生认识到原子模型建立与发展过程中的创新之处,从而引导学生拓宽思路,在认识论和方法论两方面得到有益的启示。

只有继承与开拓,才能有所发现、有所发明、有所创造、有所前进!借助于这些活生生的范例,有意识地引导学生努力学习,深入思考,并从中受到激励,受到启迪。学习前人为了科学的进步与发展,敢于冲破传统观念的束缚,孜孜不倦地探求与创新。在未来的岁月里,为祖国科学技术的发展,为教育事业献出青春年华。在改革开放,科教兴国的今天,尤其需要这种求实、开创的精神。创造力是一个国家进步的必要条件,没有想象力和创造力的民族是没有希望的。

作者简介



王德云,工作于首都师范大学物理系。主要从事近代物理的教学工作,著作有《原子物理学》、《原子核物理与粒子物理概论》、《物质探源》等;量子力学方面的研究获得北京市科学技术进步奖,论文有“用超对称性和形可变量方法求解对形振子的能谱和波函数”、“Hartmann 势的超对称性和形可变量”(英文)、“有效屏蔽势的能谱和波函数”、“量子论的建立与发展”等 30 余篇。