

世纪伟人爱因斯坦 ——纪念爱因斯坦逝世七十周年

厉光烈

(中国科学院高能物理研究所 100049)

1955年4月18日,爱因斯坦在普林斯顿与世长辞。今年是他逝世70周年,特著文以作纪念。

新旧世纪交替之时,美国《时代》周刊将著名物理学家爱因斯坦选为世纪伟人,作为该刊1999年最后一期封面人物。

纵观爱因斯坦(Albert Einstein, 1879~1955)一生,5是他值得纪念的数字:1895年,写出第一篇论文,提出“追光”思想实验;1905年,创建狭义相对论;1915年,创建广义相对论;1925年,指出相对论场论会导致反粒子的存在;1935年,提出与“量子纠缠”有关的EPR(Einstein-Podolsky-Rosen)佯谬;1945年,他建议罗斯福研制的原子弹成功爆炸,日本投降;1955年,因病逝世。

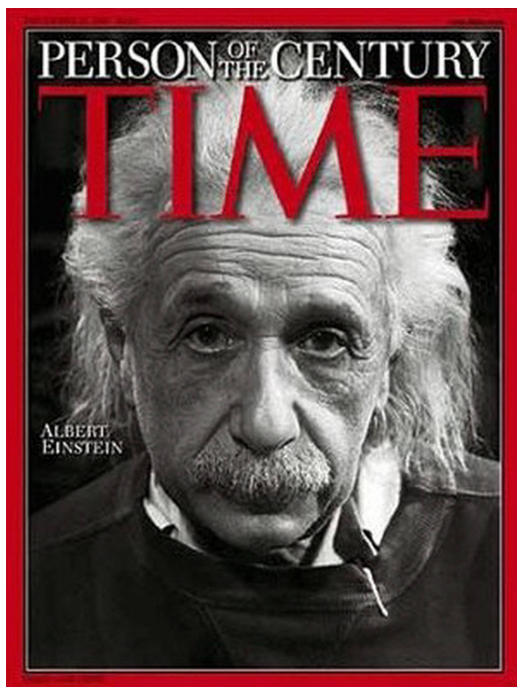


图1 《时代》周刊1999年最后一期封面

1895

1895年夏天,爱因斯坦撰写了他的第一篇物理学论文:《在静态磁场中检验以太的状态》,这是一篇检验电力、磁场和以太之间相互关系的文章。用他自己的话说:“这篇文章只是对这个难题的几点简单思考,至多是一个计划而不是一篇论文。”但是,正是他对“电磁波在以太中传播”的思考,使他提出了一个后来被人们广泛传播的“追光”的思想实验。60年后,爱因斯坦回忆这个实验时说:“如果一个人以光的速度追逐光波而行,那么在这个人面前就会有一个与时间无关的波场。但是现实似乎并不存在这种情况!这是第一次孩子气的与相对论有关的思想实验。”实际上,这个思想实验提出了一个佯谬:那个以光速追随光波运动的人应该看见电磁驻波,而麦克斯韦方程给不出这样的驻波。在随后的岁月里,正是这个佯谬不断地在爱因斯坦脑海里闪现,使他在10年后创建了狭义相对论;20年后又创建了广义相对论。

1905

1905年,爱因斯坦在权威性的《物理学年鉴》(*Annalen der physik*)上连续发表了五篇重要的科学论文,从三个不同的角度,向传统的物理学观念提出挑战,取得了突破性的进展。

3月,他发表了《关于光的产生与转化的一个启发性观点》,提出了关于辐射问题的崭新观念:“从点光源发射出来的光束的能量在传播过程中不是连续分布在越来越大的空间之中,而是由个数有限

并局限在空间各点的能量子所组成,这些能量子能够运动,但不能再分割,而只能整个地被吸收或产生出来”,从而论证了光的量子性质,解释了实验上发现的“光电效应”,这就是爱因斯坦的光量子理论。它的提出,为揭示光的“波粒二象性”和创立量子力学奠定了基础。因此,爱因斯坦荣获了1921年度诺贝尔物理学奖。

4月和5月,爱因斯坦发表了《分子大小的新测定法》和《热的分子运动所要求的静液体中悬浮粒子的运动》两篇论文。这是两篇研究布朗运动的论文。布朗(R.Brown, 1773~1858)是英国植物学家,他发现的液体中悬浮粒子的无规则运动被称为布朗运动。爱因斯坦用统计方法对原子、分子的布朗

运动及其与温度之间的关系进行了分析、研究,证明了热的分子运动论,并首创了测定分子大小的方法。他的这个理论,后来被称为“布朗运动的爱因斯坦定律”。三年后,法国物理学家佩兰(J.B.Perin, 1870~1942)通过实验完全证实了爱因斯坦的理论预测。至此,爱因斯坦以无可置疑的事实证明了原子和分子的客观存在,使否定和怀疑原子论的奥地利物理学家、哲学家马赫和德国化学家、唯能论者奥斯特瓦尔德不得不声称“改信原子论”,佩兰也因此获得了1926年度诺贝尔物理学奖。

6月,爱因斯坦发表了长达30多页,题为《论运动物体的电动力学》的论文,创立了狭义相对论。随后,他又根据相对论推导出物质质量与运动密切



图2 爱因斯坦1921年获得的诺贝尔物理学奖证书和奖章

相关。在《物质所含的惯性同它们所含的质量有关吗?》一文中,他提出了运动速度增加质量也随之增加的观点,并将其写成一个现在已广为人知的公式: $E=mc^2$,这里 E 、 m 和 c 分别为能量、质量和光速。前者,冲破了旧的牛顿力学体系,从根本上改造了经典物理学,揭开了物理学发展的新的一页;后者,向人们揭示了原子内部蕴藏着巨大能量的秘密,为人类开发利用核能展现了无限广阔的前景。

总而言之,1905年,对爱因斯坦来说,是不同寻常的一年,在不到四个月的时间里,他就在物理学的三个领域内取得了卓有成效的突破:光电效应理论、布朗运动理论和狭义相对论,创造了科学发展史上的奇迹。为了纪念这一奇迹年,联合国教科文组织特将2005年命名为“国际物理年”。

1915

成就与荣誉,并没有使爱因斯坦陶醉,反而以“科学不是也永远不会是一本写完了的书,它的每一个重大的进展都会带来新的问题,总要揭示出更深层次的矛盾”来要求自己,以更大的热情去进行

新的探索。

1913年,爱因斯坦仍在思考他的相对论问题,他深知狭义相对论还不是一个完备的理论体系,虽然它否定了静止的“以太”可以作为特殊的坐标系,拯救了麦克斯韦电磁理论,但是,狭义相对论把相对性原理局限在两个相对作匀速运动的惯性系里,仍然没有真正解决经典力学的古老难题:为什么惯性系如此特殊?为了揭示经典力学的这一未解之谜,爱因斯坦尝试将相对性原理的应用范围扩大到加速运动的非惯性系,利用在1906~1909年间提出的著名的“等效原理”,即一个具有加速度的非惯性系等效于含有均匀引力场的惯性系,并在他的老同学、数学家格罗斯曼的帮助下,引入高斯曲线坐标和黎曼几何学,于1915年完成了广义相对论的创建工作,并于1916年初发表了被誉为“20世纪理论物理学研究巅峰之作”的总结性论文《广义相对论基础》。在广义相对论中,爱因斯坦建立了引力场方程,完善了牛顿引力理论。

广义相对论得到了“光线在引力场中的偏转”、“水星近日点进动”、“光谱线引力红移”、“无线电波

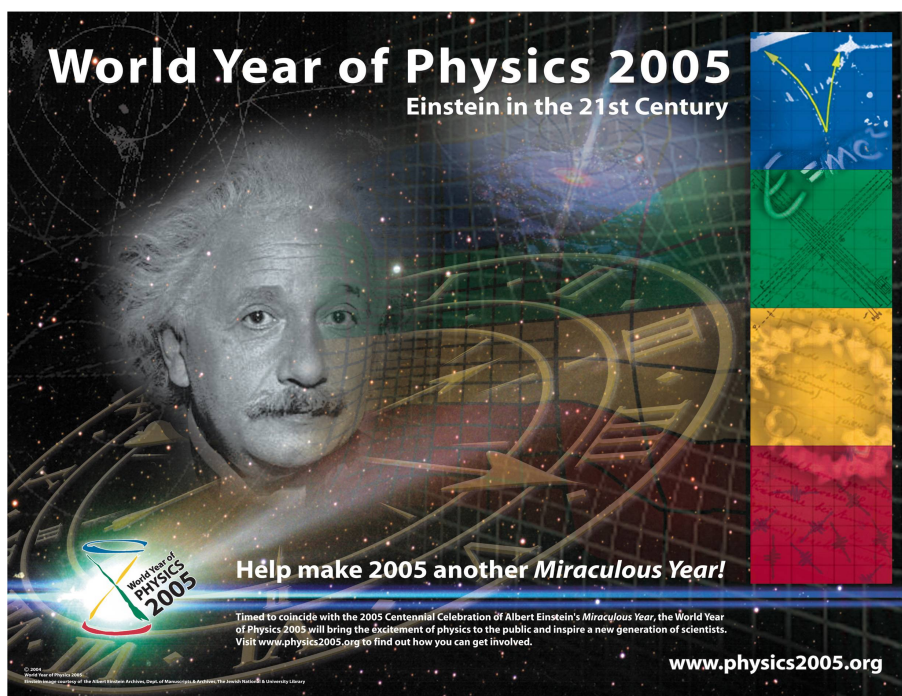


图3

延迟”等实验验证,特别是爱丁顿等的日全食观测,使爱因斯坦一举成为公众瞩目的人物,使狭义和广义相对论终于受到应有的重视。

百年之后,2016年2月11日,美国国家科学基金委员会在华盛顿国家新闻中心向世界宣布:加州理工学院、麻省理工学院和美国的激光干涉引力波探测器(LIGO)科学合作组斯坦福直线加速器中心(SLAC)的科学家利用设在华盛顿州汉福德的高级激光干涉仪引力波探测器H1和位于路易斯安那州利文斯顿的相同的实验设备L1发现了引力波存在的直接证据。2017年10月3日,瑞典皇家科学院宣布,将2017年诺贝尔物理学奖授予美国科学家雷纳·韦斯(R.Weiss)、巴里·巴里什(B.C.Barish)和基普·索恩(K.S.Thorne),以表彰他们为发现引力波做出的贡献。2019年4月10日21时,参与事件视界望远镜(Event Horizon Telescope,简称EHT)计划的科学家在比利时布鲁塞尔、智利圣地亚哥、中国上海和台北、日本东京和美国华盛顿通过协调召开的全球新闻发布会上以英语、西班牙语、汉语和日语公布了人类历史上首张黑洞视界照片(见图4)。

彭罗斯因发现黑洞的形成是广义相对论的有力预测,根策尔和盖兹因在银河系中心发现一个超大质量的致密天体,共同分享了2020年度诺贝尔物理学奖。

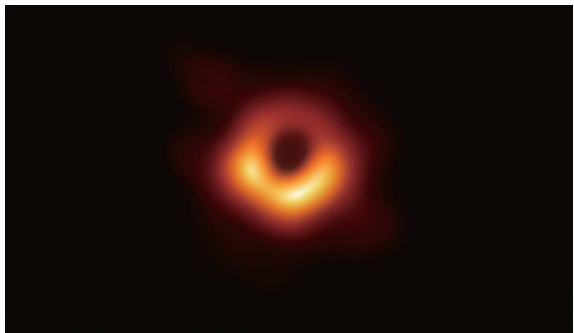


图4

1925

广义相对论创立以后,爱因斯坦为推广、应用广义相对论做出了巨大的努力,在1915~1918年间

发表了30多篇论文。例如,1917年,他发表了《根据广义相对论对宇宙学所作的考察》,这篇论文后来被认为是现代宇宙学的开创性文献。这段时间,爱因斯坦还在量子理论和其他物理学领域做出了重大贡献:他的《关于辐射的量子理论》,总结了量子论的发展,从玻尔的量子跃迁概念推导出了普朗克的辐射公式,提出了受激辐射概念,成为现代激光技术的理论基础;他设计了回转磁性实验,与荷兰物理学家德哈斯合作发表了3篇论文来描述他们在研究安培分子电流中所观测的现象,后来被称为爱因斯坦-德哈斯效应,这是爱因斯坦从事过的唯一的实验研究课题;他还利用德布罗意提出的“微观粒子的波粒二象性”来研究单原子理想气体的量子理论,并与印度物理学家玻色一起创立了玻色-爱因斯坦量子统计理论。

为了进一步推广广义相对论,20世纪20年代以后,爱因斯坦把主要精力投入统一场论的研究,以图建立一个既包括引力场又包括电磁场的统一场理论。1933年,移居美国后,在普林斯顿高级学术研究院,他呕心沥血30余年从事统一场论的研究,直到逝世前夕仍然在思索着这一理论问题,但始终未能取得物理意义上的重大突破。

值得一提的是,1925年秋天,爱因斯坦在一篇短文《电子与广义相对论》中提出:任何相对论场论,在空间反射和时间反演变换下,都应该保持不变,具体到统一场理论,这将导致以下结论:对应于任何一个与带正电荷的基本粒子有关的场,总会存在一个具有同样静态质量、带负电荷的基本粒子的场。用现在的话说,就是对应于任何一个质量为 m ,电荷为 e 的基本粒子,一定存在一个质量为 m ,电荷为 $-e$ 的“反粒子”。而在当时,物理学家只知道两种基本粒子,即带正电荷的质子和带负电荷的电子。前者的质量大约是后者的2000倍,显然,不能把电子看作是质子的“反粒子”。因此,爱因斯坦再一次陷入他的统一场论与物理现实相互矛盾的困惑之中。让爱因斯坦没有想到的是,数年之后,这个问题却让一位年轻物理学家一举成名:1930年,

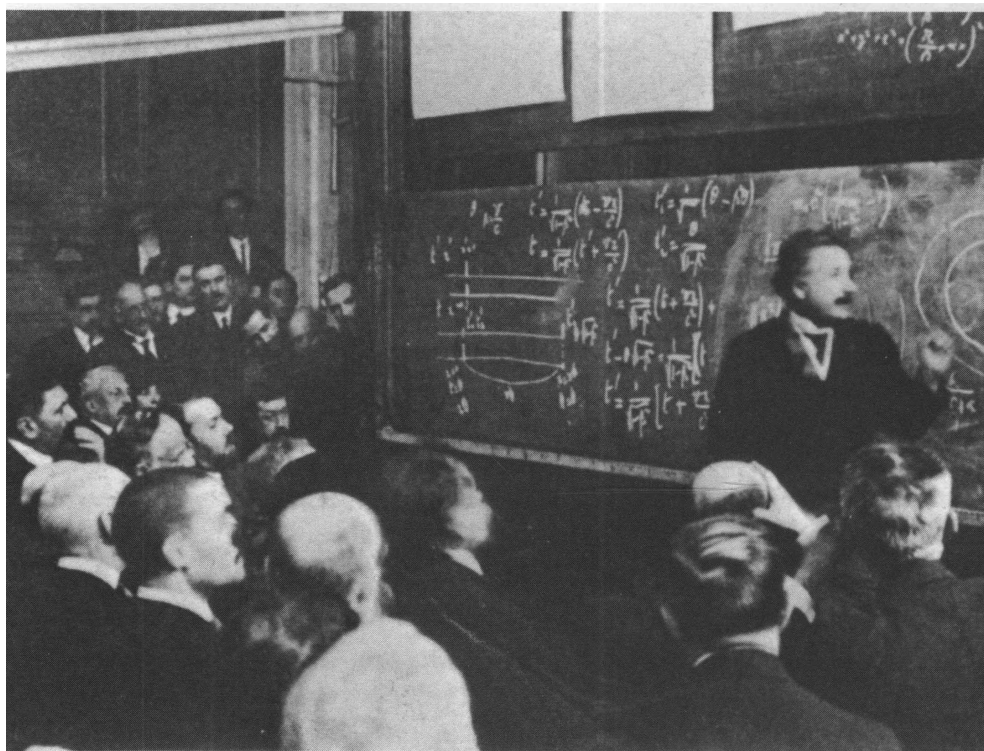


图5 1922年爱因斯坦在法国大学作关于统一场论的报告

英国物理学家狄拉克(P.A.M.Dirac, 1902~1984)创建了相对论量子力学,预言了电子的“反粒子”——正电子的存在。两年后,美国物理学家安德森(C.D.Anderson, 1905~1991)从宇宙射线中发现了正电子,证实了狄拉克的理论预言。1933年,狄拉克和薛定谔分享了该年度诺贝尔物理学奖;1936年,安德森与发现宇宙线的赫斯(V.F.Hess, 1883~1964)分享了该年度诺贝尔物理学奖。

1935

虽说普朗克的“能量子”和爱因斯坦的“光量子”为创建量子力学奠定了基础,但是,爱因斯坦并不认同玻恩对波函数 ψ 的统计解释和海森伯不确定原理。爱因斯坦认为,量子力学是不完备的,不符合自己根据相对论提出的因果决定论。1935年,爱因斯坦与波多尔斯基(B.Podolsky, 1896~1966)和罗森(N.Rosen, 1909~1995)在美国《物理评论》第47期上发表了题为“物理实在的量子力学描述能否认

为是完备的?”的论文,提出了著名的EPR(Einstein-Podolsky-Rosen)佯谬,论证了量子力学的不完备性。根据海森堡不确定关系,人们无法同时精确地测量微观粒子的位置和动量。于是,他们设想:两个总动量确定的相互作用粒子A和B形成一个EPR对,当它们分开相距很远时,测量A的位置可以得到精确值,同时,测量B的动量也可以得到精确值,鉴于总动量守恒,因此可以计算出A的动量的精确值,也就是说,可以同时精确测量A的位置和动量,这样便违反了不确定原理。同年,玻尔在同一杂志随后一期上发表了相同题目的论文,以测量仪器与客体实在的不可分性为理由,否定了EPR论证的前提——物理实在的认识论判据,从而否定了EPR实验的悖论性质。具体地说,由于粒子A和B共同组成一个纯的量子态(薛定谔称之为“量子纠缠态”),当你精确测量A的位置时,根据不确定原理,必然会影响到B,即无法精确测量B的动量,反之亦然。也就是说,EPR对的关联性可以在量子力学框架里得到合理的解释。

为了支持爱因斯坦对量子力学统计解释的批评,薛定谔在1935年发表的一篇题为《量子力学现状》的论文中提出了著名的“薛定谔的猫”佯谬。所谓“薛定谔的猫”,指的是:将一只猫放进一个不透明的盒子里,在这个盒子里,还有一个放射性原子核和一个装有毒气的实验装置。如果设想:这个放射性原子核在一个小时内有50%的可能性发生衰变,发射出一个粒子去触发这个实验装置,使其释放出毒气,杀死猫,那么,根据量子力学,未进行观察时,放射性原子核处于已衰变和未衰变的叠加态;猫既可能还活着也可能已死去,但是,在一个小时后,打开盒子观察时,只能看到“已衰变的原子核和死猫”或者“未衰变的原子核和活猫”两种情况。这便是薛定谔为了证明量子力学在宏观条件下不具有完备性而设计的一个思想实验,它巧妙地将微观的放射源和宏观的猫联系起来,用以否定宏观世界存在量子叠加态。

现今,EPR佯谬提出的量子纠缠态和被费恩曼认为是“量子力学核心”的“绝对不可能用经典方式解释”的“薛定谔的猫”佯谬所揭示的量子叠加态,都已在蓬勃发展的量子通信中获得了成功的应用。

1945

爱因斯坦一生热爱科学,同时也以满腔热忱关心着世界和平和人类进步,并为此而勇敢战斗。1914年8月,第一次世界大战爆发,德国20所大学93位著名学者签署了一份呼吁书《告文明世界宣言》,鼓吹德国高于一切,宣扬全世界都应接受“真正的德国精神”,为发动这场战争的德国政府辩护。当有人要爱因斯坦签名时,他断然拒绝,却在只有3人草拟的反战的《告欧洲人书》上签上了自己的名

字。同年9月,他还发起组织“新祖国同盟”,进行反战活动。1933年1月,希特勒执政。由于德国法西斯对他的迫害不断加剧,爱因斯坦被迫移居美国。为此,他公开发表了不回德国的声明,明确地表示要与法西斯主义战斗到底。

1939年1月,在西拉德的鼓动下,他致信美国总统罗斯福,建议美国应抢在德国法西斯之前研究原子弹。美国政府采纳了他的建议,开始了“曼哈顿计划”,于1945年8月制成了原子弹,最终结束了第二次世界大战。

1955

爱因斯坦晚年,不断受病魔困扰,但他仍在他工作的“吸引人的魅力”中度过,直至“最后一息”。1955年4月18日,爱因斯坦在普林斯顿与世长辞。遵循他的遗嘱,没有发讣告,没有举行任何的葬礼,没有建立坟墓,没有树立纪念碑。在火葬场的大厅里,只有为数不多的亲近挚友,默默地向他告别,并将其骨灰撒到不为人知的地方。爱因斯坦把一切都奉献给了人类探索自然奥秘的神圣事业,最后连自己的骨灰也回归大自然的怀抱。

爱因斯坦一生的科学成就,特别是他的相对论和量子论,已经成为现代科技,特别是物理学和天文学以及宇宙航行和核能应用的理论基础。他的科学成就和他为人类进步而战斗的献身精神,得到了社会的普遍赞扬。著名的英国哲学家罗素说:“列宁和爱因斯坦是分别代表社会革命和科学革命的‘当代两个伟人’”。2005年4月15日,在北京举行的“世界物理年纪念大会”上,诺贝尔物理学奖获得者杨振宁教授说:“爱因斯坦是20世纪最伟大的物理学家,他和牛顿是有史以来人类社会最伟大的物理学家。”