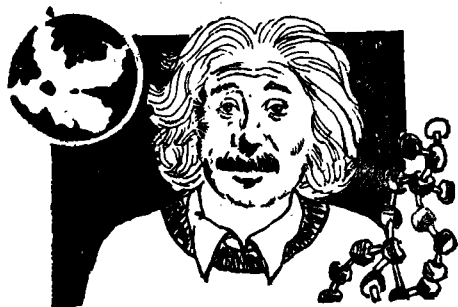




从前人们的生活很简单,科学不发达,要跟上物理发展的步伐并不难。今天要做到这一点,对我们大多数人来说,把全部精力和时间都投进去也是不够的。总之,我抓住这条理由,来辩解为什么没有对广义相对论在它从一种鉴赏品发展到一门硬科学的过程中给予关注。

40年来,广义相对论在物理学中一直处于这样一种独特的地位,它最为人们所知晓,却最少被实验验证。1919年,爱丁顿向全世界宣布他观察到了星光在太阳引力场中的偏折,广义相对论的神话就此诞生了。爱因斯坦立刻成了举世闻名的人物,广义相对论也被提高到神话般受人敬仰的宝座,但是光的偏折仅仅可以辨认。此外,还有另一条证据——水星近日点的进动,可以用来验证广义相对论。但其进动率很小,要想观测它,还必须扣除行星扰动的效应。离开实验,理论就不会发展,甚至百老汇大街的抒情诗人在唱片中提到广义相对论时也有这样的诗句:“你的魔力不似锡西**和她的猪;你的脑袋永远不及伟大的爱因斯坦”从科学上看,广义相对论仍然不比鉴赏品好多少。

对引力物理学的探索始于20世纪50年代后期。迪克设计了灵敏度极高的方法检验等价原理和检验不同引力理论的实验,从而开创了实验引力学的领域。邦德和雷布卡观察到地球场中的引力红移。韦伯开始探索如何测量引力辐射。根据广义相对论可以推知引力可使光延迟,夏佩罗利用新近开创的行星雷达的领域来研究引力理论,并用人造卫星、行星和恒星射电源对广义相对论效应进行实验。理论和实验是一致的,只是现象的范围很窄,效应也不明显。

1974年大自然突然开始夸奖广义相对论。阿雷西波的射电望远镜泰勒和赫尔斯依仗发现了射电脉冲双星 PSR1913+16,这颗脉冲双星似乎是专为研究广义相对论而设计的实验室。PSR1913+16是靠引力束缚在一起的一对中子星之一,每个的质量均约为太阳的1.4倍。这两个中子星在不大于太阳直径的轨道上快速互绕着旋转,周期为8小时。脉冲星在沿其轨道运行的同时标记时间,从而构成了一个精度极高的时钟。我们简直不能再要求更多的了。

6卷4期(总34期)

广义相对论的珍宝

克利普纳* 著 沈慧君
张运强 译 郭奕玲 校

脉冲双星已经不再是新闻了。假如您一直关注这些发现,对它的神奇也许不会感到诧异;如果不是的话,请看下面的介绍。

脉冲星每隔59ms发射一清晰的脉冲,持续时间为5分钟,分辨率达15μs。18年里一直记录一个分辨率为15μs的信号,所得精度是相当高的。例如:脉冲星频率为16.940539184253(1)Hz(括号中是最后一位数的不确定度),至少在1986年1月14日是这个数字。此频率正在缓慢变化,变化率稳定为 $-2.47583(1) \times 10^{-13}$ Hz/s。如果简单地把脉冲星看作一个时钟,它好得实在令人惊诧。表观上看,其精度不亚于最好的原子钟。原子钟是科学创造出的最准计时装置,显然我们的钟表制造者正面临强劲对手。

当脉冲星在其轨道上运动时,由于多普勒移位,其脉冲抵达率会有所增加或减少,而其视在脉冲星时间将周期性地提前和后退。其变化的幅度约为4秒。由于轨道的偏心和取向,延迟曲线受到严重的扭曲。通过分析曲线的形状和它随时间的变化,泰勒及其合作者所发现的正是您想要知道的有关轨道的各种特性。

描述一个开普勒轨道需要五个参数。对PSR1913+16来说,这些参数的精确度均已达百万分之一,甚至更高。例如,椭圆轨道的偏心率为0.6171308(4)。另外一个参数描述的是主轴的取向,也叫近星点,这是为了利用和谐的天文学术语。由于近星点的进动,脉冲抵达曲线的扭曲位相会随周期性运动变化。多年来通过对这种移位的观测,泰勒及其合作者以相当低的不确定度测定了这一进动率。

要追溯这一测量的历程,请先回忆一下水星近日点的进动。按照广义相对论,这一进动率应为每百年43弧秒。对比之下,脉冲双星的进动率竟比其大30000倍。泰勒测到的进动率为每年4.22662(1)°。这一数据是如此精确,以致于最顽固的地平学会信徒也可能同意这一效应是真实的。

测量到的进动率与广义相对论符合甚好,两个中子星的质量正是人们期望的数值,接近钱德拉塞卡极

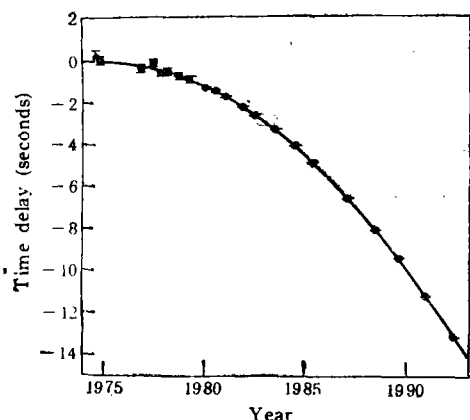
* 克利普纳(Daniel Klepper)是美国麻省理工学院物理教授,电子研究室副主任。

** 女妖锡西(Circe)是荷马史诗《奥德赛》中把人变成猪的妖妇。——译者注。

限,在轨道上应有每年约 4° 的进动率.通过对进动率、轨道时间延迟和引力红移等数据的综合分析,可以得出这两颗星的实际质量.结果是脉冲星质量为 $1.4410(5)$ 太阳质量,伴星质量为 $1.3874(5)$ 太阳质量.

使脉冲双星放出异彩的是它惊人地显示了引力辐射.这对广义相对论来说,真正是“第一次”找到了引力辐射的证据,脉冲星也因此成为独一无二的了.

双星系统的脉冲星是一种旋转着的质量四极子,并辐射引力能量.和所有束缚的二体引力系统一样,其轨道运行周期随能量的降低而减小.人们只要跟踪脉冲星扫过的总轨道角,并观测它随时间是怎样偏离线性关系的,就可以看到这一变化.假如加速度均匀,偏离应是二次方关系(如图所示).



脉冲双星 PSR1913+16 近星点时间延迟的历年累计.曲线是广义相对论根据脉冲双星的已知特性计算所得.

泰勒及其合作者花了几年时间才观察到轨道周期确实是在变化.首次测量过于粗糙,他们无法作出任何结论.有两件事帮了忙,第一件是记录脉冲的技术日臻完善,第二件是大量时间的流逝.在观测一个随时间二次方增大的效应时,观察和等待是必不可少的,泰勒就这样干了18年之久.

为了获得观察到引力辐射的有利条件,除了精确测量阻尼率外,还需做更多事情.首先,必须考虑到能

使周期改变的其它机制.对脉冲双星来说,似乎不允许任何其它机制,它是如此之接近于理想的二体系统,以致于无法找到合理的方案来说明为什么它会发射质量或者相反地为什么在其周期变化中它会改变自己的特性.其次,必须证明,在已测到质量和轨道参数的条件下,辐射率与广义相对论的预计是相符的.对于 PSR 1913+16,观测到的阻尼率和预期值的比值是 1.0032 ± 0.0035 .

由于脉冲双星不断表现出相对论现象,轨道进动和引力辐射仅仅是其中的一部分.另外还可提到:由于脉冲星变化着的势而产生的引力红移是清晰可见的,就象夏佩罗的时间延迟一样.地-月系统在太阳场中的引力红移也是看得见的.其实,时间计量是如此之精确,以至于只有当人们弄清该时间是对应于地球引力势、太阳系引力势、银河系引力势还是宇宙引力势中的观察者时,实际的数字才有意义.由于脉冲双星是一个引力辐射器,所以它也是一个引力吸收器.假如存在引力辐射的背景,脉冲双星将会显示出它的存在.看起来在其周围没有这类辐射.这样意味着,譬如说,要靠隐匿在引力辐射场中的质量-能量来解决宇宙质量损失问题似乎是不可能的.

脉冲双星是在对射电脉冲星的普查过程中发现的.对一个注重短期效益的社会来说,如果不能马上见效的话,进行天文普查似乎是既没有意义又令人乏味的.要说服国会和公众相信,耐心地进行多年枯燥无味的研究会有收获,也许是一件困难的事情.但是,脉冲双星的历史给出了一个令人刮目相看的例证.

泰勒在他的几个学生、博士后和合作者的帮助下,在阿雷西波研究所用最普通的仪器对 PSR1913+16 研究了将近20年.人们可以把它看成是在大研究所进行小科学研究最出色的一个范例.通过对数百颗脉冲星的研究,泰勒慧眼识出其中有一颗正是广义相对论的珍宝.真不知道在周围还有什么珍宝期待我们去发掘.

感谢泰勒教授有益的讨论.

本文译自美国《今日物理》第46卷第4期(1993年).

(上接第14页)

术的研究中取得重要进展,引起国内外科技界的普遍兴趣和关注.这种原子操纵技术在高密度信息存储、纳米电子器件、量子阱器件、新型材料的组成和物种再造,形成特定的表面原子缺陷和表面原子缺陷的修复、人造表面超晶格以及原子与原子群体在表面上的组装等领域有非常广泛的应用.

11. 顶夸克存在的实验证据

今年4月26日,美国费米实验室的物理学家们宣布,他们已经发现“顶夸克”存在的实验证据.报道这

一研究成果的论文有440多名合作者署名.论文的题目是“‘顶夸克’的证据”.他们测得顶夸克的质量大约为1740亿电子伏.

关于强子结构的夸克模型,是1964年由盖尔曼和兹韦格建立的.在这最早的夸克模型中,只含有3种夸克.发展到七十年代,人们已认识到至少有6种夸克存在,它们是上、下、粲、奇、顶、底,用符号表示依次为u、d、c、s、t、b.到1977年止,其中5种夸克的存在都得到了实验证实,唯独顶夸克难以发现.十七年来,

(下转第34页)