

· 科普园地 ·

引力的前世今生

从牛顿万有引力公式到爱因斯坦的广义相对论,人们对引力的认识经历了一个曲折的过程。随着今天引力波地发现,让我们回顾一下在这一个世纪里人们对引力发展的认识过程^[1]。

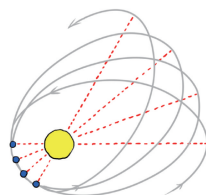
1687年:牛顿引力

艾萨克·牛顿在出版的《自然哲学的数学方法》一书中对引力进行了全面描述。这为天文学家预测行星的运动提供了精确手段,但它并非没有瑕疵,例如无法精确地计算水星的轨道。



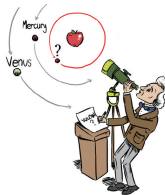
所有行星的轨道运动,在公转的近地点轨道上受到其他行星引力的拖行而产生微动。

水星的轨道问题在于其进动量与牛顿理论预测不一致,计算上这仅是一个很小的差异,但对于天文学家来说已经足够大到能够感知到它的存在了。



1895年:火星行星

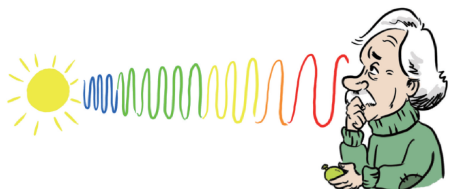
为解释水星的古怪行为,奥本·勒维耶建议选择一个看不见的行星——火星,其运行轨道接近太阳。他认为来自火星的引力会影响水星运动轨道。但是,通过反复观察,没有发现火星影响的迹象。



1905年:狭义相对论

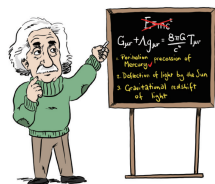
爱因斯坦的狭义相对论震惊了整个物理学界。此后,他开始将引力引入到他的方程中,这引发了他的下一个突破。

1907年:爱因斯坦预言引力红移



受广义相对论发展过程中的思想影响,爱因斯坦第一次提出了引力红移理论。所谓引力红移指的是在强磁场中原子发出的光逃脱引力时,光的波长会变长。变长的波使光子移动到了电磁光谱的红外端。

1915年: 广义相对论



爱因斯坦发表了广义相对论,首次取得的巨大成功是精确预测了水星的轨道,包括其以前难以理解的进动。该理论还预言了黑洞和引力波的存在,虽然爱因斯坦本人也很难理解它们。

1917年: 爱因斯坦的受激辐射理论

在1917年,爱因斯坦在发表的关于辐射量子理论的论文中表明受激辐射是可能发生的。爱因斯坦提出激发原子可以通过光子的自发辐射过程释放能量,从而返回到较低能量状态。

在受激辐射中,入射光子与激发原子相互作用,使它移动到一个较低的能量状态,释放与入射光子方向、相位及频率均相同的光子。这一过程对于激光的发展来说是可行的(光通过受激辐射发射放大)。

1918年: 参考系拖拽预测

约瑟夫伦泽和汉斯·蒂林认为一种处于转动状态的质量会对其周围的时空产生拖拽的现象,这种现象也被称作惯性系拖拽。

1919年: 首次发现引力透镜

引力透镜效应是光线经过大质量物体周围时产生的弯曲,例如一个黑洞,允许人们看到处于它背后的物体。在1919年5月日全食时,科学家观察到太阳附近的恒星轻微错位,这表明光弯曲是由太阳的较大质量所引起的。

1925年: 首次引力红移的测量

沃尔特·亚当斯观察了大质量恒星表面发出的光,并检测到红移,验证了爱因斯坦的预言。

1937年: 星系团引力透镜预测

瑞士天文学家弗里兹·扎维奇提出,整个星系团可以看作一个引力透镜。

1959年: 引力红移的验证



庞德(R. V. Pound)和雷布卡(G. Rebka)测量了哈佛大学杰弗逊物理实验室的塔顶和塔底的两个辐射源的相对红移,确切地验证了引力红移的存在。通过这个试验,他们精确测定了光从塔顶传输到塔底过程中能量的微小变化。

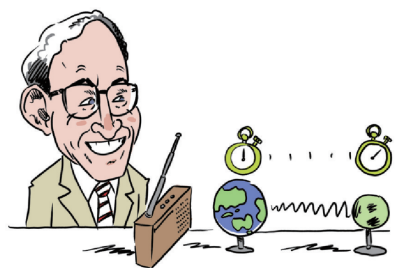
1960年:受激辐射的激光发明

加利福尼亚州休斯研究实验室的物理学家西奥多·梅曼,制造出了世界上第一台激光器。

20世纪60年代:黑洞的首个证据

20世纪60年代是广义相对论复兴的开始,此时才发现银河系是一个中心存在黑洞的星系,该星系被黑洞的巨大引力所吸引。目前证实所有大型星系中心都存在着质量较大的黑洞,当然也有一些质量较小的黑洞在星际间漫游。

1966年:首次观察到引力时间延迟



美国天体物理学家欧文夏皮罗认为,如果广义相对论成立的话,那么无线电波会受太阳的引力作用而减缓,从而出现时间延迟,因为信号在太阳系周围受到了反弹。

在1966年到1967年间,科研人员检测到从金星表面反射的雷达波束,并且测量了信号返回地球的时间。测量的延时结果有力的证实了爱因斯坦理论。

目前,研究人员将时间延迟应用在宇宙领域,通过观测在引力透镜图像间闪烁光的时间差来测量宇宙的膨胀。

1969年:引力波的误检

美国物理学家约瑟夫·韦伯的性格颇具叛逆,他声称自己第一个通过实验检测到引力波的存在,但他的实验结果永远没法重复。

1974年:引力波的间接证据

约瑟夫·泰勒和拉塞尔·赫尔斯发现了一种新型脉冲星:一个二进制脉冲星。脉冲星轨道衰减的测量显示它们失去的能量与广义相对论预测的数据一致。这一发现使他们获得了1993年诺贝尔物理学奖。

1979年:星系引力透镜的首次观测

观察者丹尼斯·沃尔什、鲍勃·卡斯韦尔和雷威曼观测到了两个相同的准恒星天体(或“类星体”),而它原来是两个独立图像的一个类星体,这样首个河外星系引力透镜被发现了。

80年代以来,引力透镜效应已成为宇宙中强大的探测器。

1979年:激光干涉引力波天文台(LIGO)获得资助

美国国家科学基金会资助建设激光干涉引力波天文台(LIGO)。

1987年:虚惊一场的引力波误报

误报源自约瑟夫·韦伯的直接探测,他设计出一种天线来检测引力波,这种天线是一根圆柱形铝棒,如果有引力波垂直扫过来,就会激发铝棒振动。这种振动虽然很微弱,但是它可以通过该棒中间附加的压电应变转换器转换为电信号而被检测到。他声称接收到了来自超新星 SN 1987A 的信号,但此后证明是错误的。

1994年:LIGO 开始动工建设

经过漫长的过程,LIGO 终于在汉福德、华盛顿和路易斯安那州开工建设。

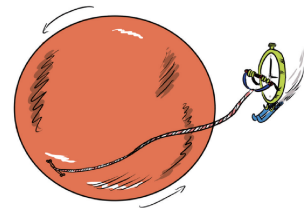
2002年:LIGO 开始第一次搜索引力波。

2002年8月,LOGO 开始搜索引力波的证据。

2004年:参考系拖拽探测

美国国家航空航天局发射引力探测器 B 来测量地球周围的时空曲率。探测器上装有陀螺仪,通过对陀螺仪自旋方向的探测,可以测量时空在地球的存在下是如何发生弯曲的,并进一步地测量出地球的自转是如何“拖拽”周围的时空随之一起运动的。

数据分析显示引力探测器 B 上陀螺仪按一定速度进动,这正好符合爱因斯坦的广义相对论。



2005年:LIGO 搜寻结束

经过5年的搜索,LIGO 的第一阶段以未探测到引力波结束。此后传感器经过临时改装以提高灵敏度,被称之为增强 LIGO。

2009年:增强的 LIGO

升级版的增强 LIGO 开始对引力波进行新的搜寻。

2010:增强 LIGO 搜寻结束

增强 LIGO 未能检测到引力波。此后经过一个关键的升级,全新的高级 LIGO 开始。

2014年:高级 LIGO 升级完成

全新的高级 LIGO 已完成安装及测试,并且准备好开始新的搜索。

2015年: # 3 引力波误报

美国哈佛史密松天体物理中心宣称他们在宇宙微波背景辐射中发现了B模式极化信号。他们指出,这可能是原初引力波留下的印迹,为宇宙早期的暴胀提供了首个直接的证据。然而,这一结果遇到了诸多质疑。此后他们在论文中承认,无法排除观测到的信号源自银河系中尘埃干扰(而非原初引力波)的可能性。

2015年:再次的LIGO升级

先进的LIGO开始引力波的新一轮搜索,其探测灵敏度是原始LIGO的4倍。在9月,检测到看起来可能是由两个黑洞相互碰撞发出的信号。

2016年:引力波被探测证实

经过严格的检查后,LIGO团队终于宣布探测到了引力波。

参考文献(References)

[1] Timeline: the history of gravity[EB/OL]. 2016-02-11. <http://theconversation.com/timeline-the-history-of-gravity-54528>.

感谢科学媒介中心授权供稿
编译/陈睿博
(编辑 田恬)