纪念伟大的科学家爱因斯坦诞辰100周年

谈谈广义相对论

章立源
(北京大学物理系)

牛顿曾写道:“从本质上讲,绝对空间是与任何外界物体都无关的,它永远是同一的,固定不动的……”,“绝对的、真空的、数学的时间本身,不论有无其它任何客体,永远均匀不断地流逝着.”在牛顿看来,空间和时间(以后称时空)是独立于运动着的物质而存在的,即使把物质全部移走,时空依然如故.时空好比演戏的舞台,戏演完了,舞台仍在那里.狭义相对论指出了空间和时间的内在联系,但仍然未表明时空与运动着的物质之间的不可分割的联系.广义相对论对牛顿的时空观提出了更深刻的挑战,爱因斯坦写道:“设想一件本身起作用而不能承受作用的事物(时空连续区域)是违反科学上的思考方式的”,充满时空的运动的物质会使时空几何性质偏离欧几里得几何学.另外,经典力学只考虑,在一切惯性参照系中自然界普遍定律的形式完全一样,那么相对于惯性系作非匀速运动的参照系又怎样呢?对上述两问题广义相对论则要统一地去解决.下面分几段给读者作一通俗介绍.

一、引力质量和惯性质量相等——万有引力场的一个基本性质

如果你在地面上拾起一块石头抛出去,为什么石头会落回地面呢?一个简单的回答是:石头被地面所吸引.但是地球是怎样给石块以作用力呢?近代物理学认为,地球在其周围产生了一个引力场,地球对石块的作用力是通过引力场传递的.这和电荷之间相互作用的电磁力是通过电磁场传递一样.电磁场对于一定电荷作用的电力大小取决于电场强度:

电力=电荷×电场强度

仿此可以引入引力场强度:

引力=引力质量×引力场强度. (1)

其中引力质量是表示物体感受引力场作用的能力的量度.

然而,从牛顿第二定律又有

力=惯性质量×加速度. (2)

在同一力作用下,惯性质量大的物体比惯性质量小的物体所获得的加速度小.于是惯性质量是物体“反抗”加速度的能力的量度,即物体力图保持其原来运动状态能力的量度.

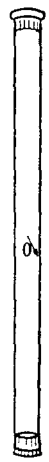


图1 抽成真空的管内的落体运动

万有引力场有一根本的性质.我们先来看一个实验.如图1,在抽成真空的玻璃管内,让鸡毛和铁片同时由静止开始下落,则可观察到鸡毛和铁片同时落到管底.若在高处让一块重铁块和一块木头向地面自由下落,如空气阻力可忽略,它们也是以同样的运动方式同时落地的.这些事实表明,如果物体是在一引力场的唯一影响下运动,则物体所获得的加速度与物体的性质无关.这一点使万有引力场和其它已知的场性质极不相同.我们总可以选择不带电的或未极化的物体来作试验物体,以使它所受的电磁力为零,但是,引力场对试验物体的效应却无法消除,因为,物体在引力场中的加速度与它的质量无关.

利用公式(1),(2)于引力可得:

引力＝引力质量×引力场强度

＝惯性质量×加速度.

由这公式看出，只有当任何物体的引力质量和惯性质量相等时，在给定引力场强度下，物体所获得的加速度才与物体的性质无关[1)]．因此，上述实验事实的另一表述形式是：任何物体的引力质量和惯性质量相等．这是引力场的一条基本性质，应该认为是自然界中一条特殊而重要的定律，它是有高度准确的实验证实的[1].

爱因斯坦抓住了这个关键规律，并认为，这个数值上的相等，来源于两种概念在真实性质上的等同，那么，这里究竟有什么更深刻的意义呢？

二、 引力与惯性力等效原理（或称引力场和加速场等效原理）

为探讨引力质量和惯性质量相等的进一步的含义，爱因斯坦提出了"升降机"理想实验．设一升降机远离地球和其它众天体的引力场之外，它原是一惯性系．现在有一"机器人"以恒力向上拉升降机的绳索，于是，升降机以匀加速度 A 直线运动"上升"．倘若一观察者在升降机外

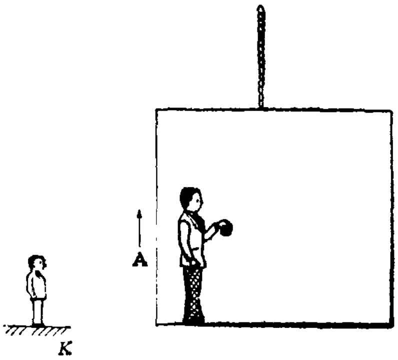


图 2 "升降机"理想实验

面站在没有被"机器人"拉动的参照物体上（惯性参照系 K），他将认为，这时升降机已是一个加速系统（或称非惯性系）了．然而，在升降机内的另一观察者又怎样看呢？在"机器人"未拉升降机之前，他只要轻轻碰一下地板，就会向天花板飘去；他们以一定初速度向任何方向抛出任何物体时，这物体都将按匀速直线运动．他并不能获得升降机外的情况，但他后来感到情况发生了变化，他自己的脚牢牢地踏在地板上，他松手放开的物体都以同样的加速度下落，向水平方向抛出的物体描绘出抛物线的轨迹．这个观察者看到：一切现象都表示出这升降机和地球上的静止房间一样，物体受到地球引力的影响，他可以把观察到的"表观"加速度看作是引力场的效应．并认为正是在第一节中所述的引力场特殊性质，使升降机内一切只受引力场作用的物体得到同样的加速度．（引力加速度）．然而，在升降机外的那个观察者确信，升降机处于无引力场空间，他解释说，由于升降机是一向上加速系统，所以升降机内任何物体都将有一个方向向下的、同样大小的表观加速度 A．与此相应，每一物体受到一个惯性表观力，方向向下，大小为 mA．（m 为物体质量）

这样，由于引力加速度和惯性表观加速度都和物体的特性无关，因此，人们无法区分引力加速度和惯性表观加速度．据此爱因斯坦提出：一加速参照系和在引力场内静止的系统完全同一，或者说，引力场和加速场是完全等效的．这是爱因斯坦基于引力质量和惯性质量相等的规律而提出的一个原理，称之为引力和惯性力等效原理，或称引力场和加速场的等效原理[2].

从这一观点看来，惯性系并无特殊之处，一个非惯性系和有引力场的惯性参照系之间，不应有本质差异．这两个参照系对于表述普遍的自然界定律是等效的

三、 光线经过大质量物体附近的偏折

利用等效原理，爱因斯坦研究了光线在引力场中的传播问题．仍以上述升降机为例，假设当升降机继续匀速"上升"时，一道光线从升降机旁壁的小孔穿入并射到对面壁上的一点 P

1）一般地说，是要求一切物体的引力质量与惯性质量之比都相同，也就是说，这个比为一普适常数．适当选取单位则可使这常数为 1．

(见图 3)、P 点的位置比小孔的地位略低一些. 从惯性参照系 K 看来，这光线是沿直线以光速 c 传播的，但当它经过两壁间时，升降机一直在加速“上升”，所以光线将射到对面壁上地位稍低的一点. 但是，从升降机(参照系 K')内的观察者看来，在经过两壁间时，这道光线走的是一条曲线(图3)，和在地面上水平射出的子弹所走的轨迹一样. 在升降机内的观察者不知道升降机在“上升”，他们认为自己是在一个引力场中静止着. 这样，他们将作出结论：光线在引力场中将沿曲线传播. 他们怎样解释这一结果呢？假如他们知道狭义相对论的质能关系式，

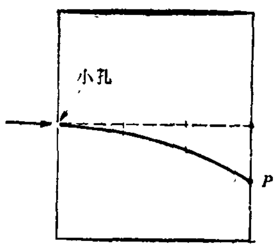


图 3 “升降机”实验中的光线传播

他们可以解释说，光也有质量 $m = (E/c^2)$，光和其它有质量的客体一样，在经过有不可忽略的大质量物体附近时，要受这物体引力的影响，从而沿一曲线运动. 由于我们无法区别引力场和加速场，所以我们没有理由对这一结果表示怀疑.

按照这一结果，星体所发出的光线，在经过太阳附近的引力场时必然向内偏折(图 4). 1919年 5 月 29 日日食时照像的实验结果表明，在实验误差范围内证实了爱因斯坦的预言.

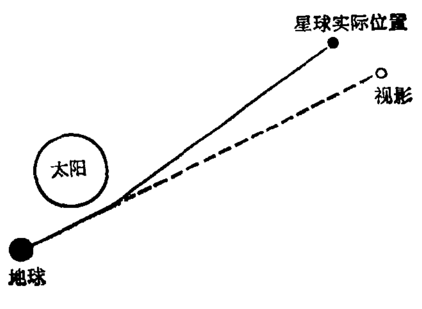


图 4 经过太阳时星光的偏折

四、 星光谱线的红移

设有一圆盘 K'，绕通过圆心且与盘面垂直的轴旋转，其角速度 ω 为恒定值，(相对于一惯性系 K 而言). 在与圆心相距 r 处的速率为

$$v = r\omega$$

离心位势为

$$U = -\frac{1}{2}\omega^2 r^2$$

这位势是由于在 r 处的物体受到一个沿半径向外的惯性离心力 $\omega^2 r$ 所致. 对于一个坐在圆盘 K' 上的观察者来说，他认为圆盘是静止的，根据引力和惯性力等效原理，他把作用在他身上的这种惯性离心力看作是一个(完全等效的)引力场效应，把 U 视为引力位势. 设想这个观察者在圆盘中心以及距圆心 r 处放上两个完全一样的时钟(时钟相对 K' 静止)，他想考察一下引力场对时间的影响.

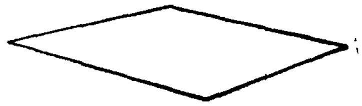
从惯性参照系 K 来看，放在圆盘中心的时钟(甲)是静止的，而另一个时钟乙则以速度 $v = r\omega$ 在运动. 按照狭义相对论的钟慢效应，乙钟比甲钟走得慢. 显然，坐在圆盘中心甲钟旁边的那个观察者也会看到这同样的结果. 但是，他把这效应归之于引力场的影响，他发现若在一点引力势 U 的大小越大，则在该点静止的钟就越慢. 引力场延缓了时间的流逝. 按照等效原理，我们实在无法区分惯性力与引力，所以，我们必然只能接受这个结论.

大家知道，可以把发出一定频率光谱线的原子当作一个钟，于是，一个原子所发出的光的频率与该原子所在位置的引力场位势有关. 例如，一个在太阳中发光的原子，应该比同样原子处在地球上的时候发出的光谱线的频率较低，即表示光波波长较长，这就叫星光谱线的红移. 天狼星的伴星是一颗质量密度极大的星体，其密度超过水几万倍，其表面引力位能比太阳大得多. 可以预计它的星光谱线红移效应较大. 光谱仪实验结果证实了爱因斯坦的预测.

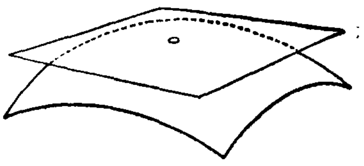
五、 关于时空弯曲

在第三节中谈到光线在引力场中沿曲线传播，并认为这是由于有质量的客体受到引力而被迫偏离直线运动．这里对引力的看法仍然采用了牛顿的引力论观点．爱因斯坦又进一步对引力提出了革新的观点，他认为，大质量物体(如太阳)将引起在其附近的时空几何学性质偏离了欧几里得几何学(称之为时空弯曲)．在欧几里得几何学中两点间直线最短，在非欧几里得几何中并非如此．而从弯曲的四维时空所服从的非欧几里得几何性质看来，光线的偏折以及其它物体运行所遵循的路径恰是沿非欧几何的“短程线”进行的．下面我们先简单谈谈非欧几何．

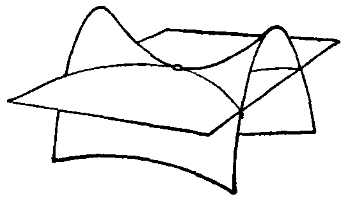
为形象起见，我们从两维曲面谈起．图5中表示三种类型的二维曲面．a是曲面的特例，



(a)



(b)



(c)

图5 (a) 平面，曲率为零；
(b) 球或椭球曲面的一部分，正曲率；
(c) 马鞍形曲面，具有负曲率

即平面，它的曲率为零；b是球形或椭球形曲面的一部分，具有正曲率；而马鞍形曲面c具有负曲率．大家知道，在平面上画的图形服从经典的欧几里得几何，比如三角形三角之和是180°，但是，在一个大的球面(如地球表面)上，欧几里得几何是无效的．图6表示以地球赤道上的两点为底，以北极为顶画的一个大三角形，从图上看到它的三角之和要比180°大．如果有人在地球表面上画一个很大的圆，他会发现圆周长与直径的比将比 $\pi = 3.1416\cdots\cdots$ 为小．这些与欧几里得几何的偏离是由地球面的弯曲引起的．

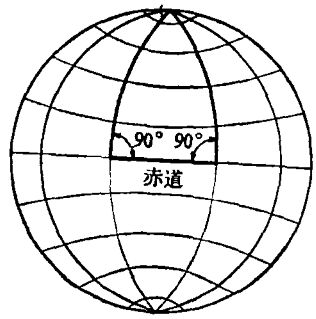


图6 大球面上三角形

应该注意，上述在地球面上所画的大三角形的每一边，并不是通常理解的直线(平面上两点间的最短路程线)．但是，这些边确实是在曲面上两点间的最短距离线，称曲面上的这些线为“短程线”，它与一般平面几何中的直线相当．

爱因斯坦为什么提出四维时空不服从欧几里得几何呢?在第四节讨论非惯性系K'(圆盘)时已经表明了引力场对时间流逝的影响，而由于空间和时间的内在联系，这就使人预期，引力场会改变时空的几何性质．若在一大质量物体附近的时空几何性质偏离了欧几里得几何学，我们就称之为四维时空的弯曲．在下一节，我们将较详细地说明事实确是这样，同时，自然要回答：在弯曲的时空中，如何求一物体所遵循的运动路径呢?

六、 相对论力学中的引力论

上面谈到引力场引起时空弯曲．爱因斯坦由此发展了与牛顿引力论完全不同的引力理论．这里简单地介绍一下这一引力论，为此，先

谈空间度规概念.

1. 空间度规

我们从二维平面谈起（在平面上欧几里得几何成立），平面是二维曲面的特例. 在平面上可取笛卡尔直角坐标(图7). 设 P_1, P_2 为平面

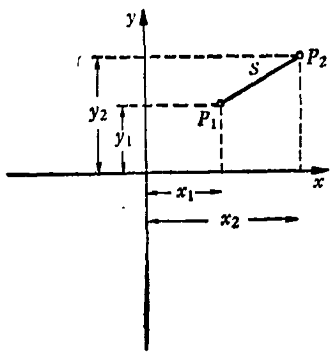


图 7　平面笛卡尔直角坐标

上任意两点，则 P_1, P_2 间的长度由下式确定:

$$S^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2.$$

当 P_1 与 P_2 无限靠近时，则两点间无限小的间隔 dS 由下式确定:

$$dS^2 = dx^2 + dy^2,$$

式中 dx, dy 分别表示当 P_1 与 P_2 无限靠近时，其横坐标与纵坐标的微量差（以后称之为坐标的微分）. 我们看到，在笛卡尔坐标系中，dS^2表示两个坐标微分的平方和.

但是，有的"空间"不能引用笛卡尔直角坐标，例如二维球面，在二维球面上只能引入曲线坐标，如图 6，在地球表面上可引用经度、纬度 φ, θ 为坐标，这时可以把球面上两个无限邻近点间的间隔表示为

$$dS^2 = R^2\cos^2\theta d\varphi^2 + R^2 d\theta^2.$$

现在，dS^2 已经不是坐标微分的平方和形式了，$d\varphi^2$, $d\theta^2$ 前面出现了与 φ, θ 有关的系数. 还可在二维曲面上取另外任意的曲线坐标 u_1, u_2（称为高斯坐标），这时 dS^2 一般地表示为

$$dS^2 = g_{11}du_1^2 + 2g_{12}du_1du_2 + g_{22}du_2^2,$$

其中 g_{11}, g_{12}, g_{22} 等是高斯坐标 u_1, u_2 的函数，这些函数的形式由曲面的性质和高斯坐标的选择有关，但是，不管选择什么样的高斯坐标，dS^2 总是坐标微分的一般齐次二次式，而这样的二维空间就是所谓黎曼二维"空间"了. 高斯证明，曲面的重要几何性质能由 $g_{ik}(u_1, u_2)$得到，称 g_{ik} 为度规项. 黎曼则进一步指出上述讨论不限于二维"空间"，而可以推广到任意的 n 维超曲面(或 n 维空间)，这时高斯坐标为 u_1, u_2, $\cdots$, u_n，而在这空间任意两无限邻近点间的间隔则表示为

$$dS^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} g_{ik}du_idu_k, \qquad (3)$$

其中 g_{ik} 等($i=1, 2, \cdots, n$, $k=1, 2, \cdots, n$)都是($u_1, u_2, \cdots, u_n$)的函数，这时的空间叫 n 维黎曼空间，它的几何性质服从黎曼几何学. 黎曼指出，经典的欧几里得几何是黎曼几何的特例. 例如，在三维情况下，若上式中 $g_{11} = g_{22} = g_{33} = 1$, $g_{12} = g_{13} = g_{23} = 0$，则 dS^2 表示为

$$dS^2 = du_1^2 + du_2^2 + du_3^2.$$

这正是在笛卡尔直角坐标系中应有的形式，它的几何性质当然就是大家熟悉的欧几里得几何性质. 为什么在我们日常经验内的实际空间中，度规项有这样特殊形式从而服从欧几里得几何呢? 黎曼当时已经推想: 物质的分布以及经由空间作用的力决定了几何性质，即认为几何场和物理场是密切联系的.

2. 世界点、世界线，狭义相对论的四维时空几何

在相对论中引入了一个虚构的四维空间，在这个四维空间的四个轴上有三个空间坐标和一个时间坐标. 大家知道，一个"事件"是由其发生的地点及发生的时间来决定. 显然，在时空四维"空间"内，事件可用一个点来代表，这个点称为"世界点"; 而对于一个运动的粒子来说，在这四维"空间"由一条线代表，称为"世界线"，这条线上的各点确定了该粒子在各时刻的位置. 根据光速不变原理，狭义相对论中得到一个重要的结论: 在时空四维连续区内，两个无限邻近的"世界点"间的间隔 dS，在所有惯性参照系里都是一样的，且等于

$$dS^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2. \qquad (4)$$

由(4)所规定的时空称为伪欧几里得时空. 有时引入 $x_4 = ict$ ($i \equiv \sqrt{-1}$)，且令 $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$，则上式可写为对称的形式:

$$-dS^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2.$$

3. 引力场导致时空度规的改变，引力场方程

如果我们变换到非惯性参照系，那么，易于表明：dS^2 将不再是四个坐标微分的平方和了。我们仍考虑以匀速率旋转的圆盘 K'。设圆盘绕 z 轴相对某惯性系 K 以角速率 ω 转动，则如图 8，易于看出

$$x = x'\cos\omega t - y'\sin\omega t$$
$$y = x'\sin\omega t + y'\cos\omega t$$
$$z = z'$$

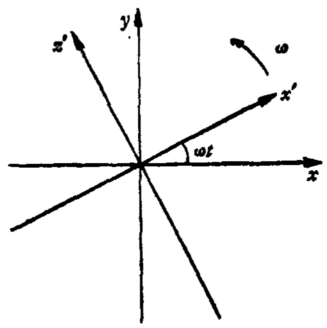


图 8　x y, z 与 x', y', z' 的坐标变换图示

将上式微分并代入(4)式，即得：

$$dS^2 = [c^2 - \omega^2(x'^2 + y'^2)]dt^2 - dx'^2 - dy'^2 - dz'^2 + 2\omega y'dx'dt - 2\omega x'dy'dt.$$

由此可见，在非惯性系 K' 中，间隔的平方不再是坐标微分平方之和，而是一般形式的二次齐次式。一般地可写为

$$-dS^2 = \sum_{i=1}^{4}\sum_{k=1}^{4} g_{ik}dx_i dx_k, \qquad (5)$$

其中 g_{ik} 是空间坐标 x_1, x_2, x_3 和时间坐标 $x_0 = ct$ 的函数，四维坐标 x_0, x_1, x_2, x_3 是曲线坐标[1)]。

按等效原理，非惯性参照系与一引力场等价，因此可以得出结论：引力场引起空间时间度规的改变，这改变由 g_{ik} 各量所决定。这就是上节讲的引力场引起时空弯曲的严格表述。事实上，在广义相对论的数学推演中，引入了一个黎曼曲率张量，它由度规 g_{ik} 及其微商决定，并证明了：黎曼曲率张量是零或不是零，恰恰对应四维时空服从欧几里得几何学或不服从欧几里得几何学。

爱因斯坦的这一观点表示：时空的几何性质(其度规)和运动物质有着不可分割的联系。时空不再是脱离物质的什么固有性质。另外，由狭义相对论公式 $E = mc^2$，质量和能量不可分割，所以爱因斯坦把空间的物质、辐射能、弹性能等一总包含入一个所谓“空间能含张量”中，并设想用下列方案来确定引力场方程：

代表时空几何的张量＝代表空间能含的张量。

据此，他提出引力场方程：

$$G^{\sigma\tau} = CT^{\sigma\tau}. \qquad (6)$$

其中 $G^{\sigma\tau}$ 叫里纪 (Ricci) 张量，$T^{\sigma\tau}$ 叫能量动量张量，C 为常数。限于数学工具较繁，我们对此方程的具体方面不再详谈，有兴趣的读者可参考文献[3]。

4. 短程线方程

大家知道，在欧几里得空间中，连接两点的最短线是直线。在牛顿第一定律中，一个不受外力的质点将永远作匀速直线运动，它所走的轨迹是欧几里得空间中的最短线（或称短程线）。在普遍的黎曼空间中，可能不存在具有直线性质的线，但是，一般地说，两点之间存在着一条唯一确定的最短连线。例如，在一个球面(二维曲面)情况下，这些线是大圆弧。在爱因斯坦引力理论中，从爱因斯坦引力场方程可计算出度规场 g_{ik}。如果有一小质点(此质点的质量很小，不影响已知的引力场）处于这度规场中，爱因斯坦假定它的运动轨迹是黎曼空间的短程线，在数学上这可写为下列变分问题：

$$\delta\int dS = 0. \qquad (7)$$

由于四维时间空间已不是欧几里得空间，所以它所走的短程线并非直线。

用上述方法，爱因斯坦研究了行星绕日运行时椭圆轨道的进动问题(图 9）他的理论计算得出，水星椭圆轨道长轴每一百年要转角 43″，这结果完全与水星轨道的观测相符，解释了天文学中长期存在的一个困难。

以上我们看到，爱因斯坦的引力理论和牛

1）由于 dS^2 已不再取平方和的形式，用虚的时间坐标 $x_4 = ict$，就不必要了，所以这里用实的时间坐标 ct。

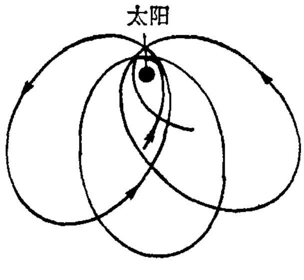


图 9　行星椭圆轨道的进动示意图

顿的引力理论非常不同．曾经有人打了一个比喻．设有一个橡皮球在凹凸不平的地面上运动（图 10），有两个观察者，甲站在地面上观察，乙站在很高很高的楼顶上观察．乙看到球走出一条曲折的轨迹，他认为这是由于有力作用在球上，这球在斥力及引力的作用下忽左忽右、忽前

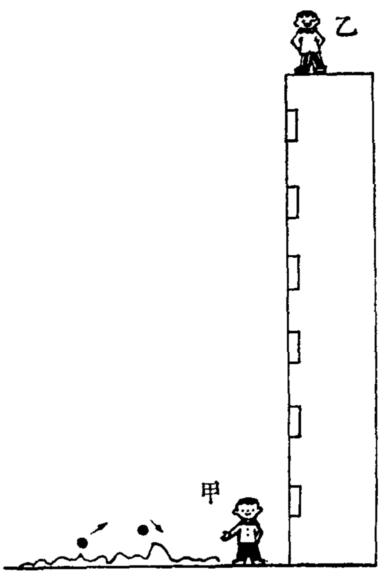


图 10　比喻示意图

忽后地曲折运动．而站在地面上的观察者甲可以认为，球之所以走出如此曲折的轨迹，完全是由于地面的几何形状（凹凸不平）所决定的．高楼上的观察者相当于牛顿，他用力、质量的概念，由万有引力定律及牛顿第二定律处理质点在引力下的运动；地面上的观察者相当于爱因斯坦，他绝不谈力，只是说在大质量物体附近引起时空弯曲，而质点沿非欧几里得四维空间中的短程线运动（相当于欧几里得几何中的直线运动）．两个理论尽管如此不同，但令人惊叹的是：当物体以比光速小得多的速度在微弱引力场中运动时，由 $\delta\int dS=0$ 导出的方程近似式和牛顿第二定律相合，而由引力场方程导出的方程近似式与泊松方程一致．泊松方程是

$\nabla^2\varphi=4\pi\gamma\rho$，（$\gamma$ 是牛顿引力常数，ρ 是质量密度）

这里，牛顿力学中的引力位势 φ 恰和爱因斯坦理论中的度规分量有关．因此 g_{ik} 也称作引力位函数．

爱因斯坦引力理论的革新绝不只是个方法问题，它动摇了经典牛顿力学对时间空间的根本看法．

七、 广义相对性原理

在狭义相对论中，首先假定存在着一个使惯性定律成立的参照系 K，这就是说，在这个系照系中任何一个不受外力的质点将依惯性作匀速直线运动．所有相对于 K 作匀速直线运动的参照系统称为惯性参照系，狭义相对性原理是：所有惯性参照系在表述自然界定律上完全等效．这里等效的意思是指，将空间时间变量 x，y，z，t 按洛仑兹变换到新的变量 x'、y'、z'、t' 时，表述自然界定律的方程的形式不变，但是在狭义相对性原理中完全不涉及相对于惯性系作加速运动的参照系，而在广义相对论看来，我们没有什么理由把加速参照系排斥在相对性原理之外，因为根据加速场和引力场等效原理，我们可以把加速参照系 K' 看作是静止的，但存在着一引力场，这个静止的参照系 K' 与其他各惯性系 K 相比应该没有什么太特殊的．相当于狭义相对性原理的广义相对性原理可写作：

所有的（即具有任何运动状态的）参照系在表述自然界定律上等效．

更严格的讲法是：所有的高斯坐标系对于表述普遍的自然界定律是等效的．

爱因斯坦指出，在广义相对性原理中所说的自然界定律应该用张量方程式表述．这样，上述广义相对性原理的意思是：对高斯坐标 x_1，

x_2, x_3, x_4 作任意变换，这些张量方程式经这变换后仍取同样的形式.

八、结　语

爱因斯坦在评述牛顿时空观时写道，牛顿时空观“主要之点是：人们曾设想不依赖于主观认识的‘物理实在’是由空时(为一方)以及与空时作相对运动的永远存在的质点(为另一方)所构成. 这个关于空时独立存在的观点，可以用这种断然的说法来表达：如果物质消失了，时空本身(作为表演物理事件的一种舞台)仍将依然存在”. 人们的经验易于接受这个观点,并在事实上这样去想问题. 然而，广义相对论认为,根本不能设想什么与物质分布无关的、绝对的空间、时间,而应该设想一种“可变形”的时空连续区;如果把时空比作海洋，那么，物质的运动会造成时空弯曲，就如同无数巨鲸在海中奔泳会激起惊涛巨浪一样. 另外,时空度规 g_{ik} 既是描写物质引力场的势，同时也描写时空几何性质,场和时空是统一的. 如果没有 g_{ik} 也就谈不到什么时间、空间,那就是说成为“绝对的”一无所有.

在宇宙中充满着物质，它们永不停息地运动、变化着,物质密度也是极不均匀的. 这种运动着的物质使宇宙时空处处发生极不相同的时空弯曲,宇宙在变化,犹如在猛烈的地震下海洋在动荡. 宇宙中的时空弯曲的形式必然是多种多样的,比如“黑洞”(如果存在的话)就是一种特殊的时空区. 广义相对论无疑将为研究各式各样的“惊涛巨浪”提供有益的前景.

参考文献

[1] Southorns, *Proc. Roy. Soc.*, 84A(1910), 325.
[2] B. A. 福克,《空间、时间和引力的理论》,科学出版社,(1965), 287—294. (本文献指出等效原理有局部性限制).
[3] Л. 朗道, E. 栗弗西兹,《场论》, 高等教育出版社, (1959), 270—387.
[4] R. Adler et al., ''Introduction to General Relativity'', New York, McGraw-Hill (1975), 2d. ed. Chap. 5, p. 145—184, Chap 10, p. 329—350.

引力波的第一个定量证据

邹　振　隆

(中国科学院北京天文台)

十年前，美国马里兰大学教授韦伯宣称他测到了“不能排除是引力波”的信号,引起了全世界科学家的注意. 之后,美国、英国、西德、意大利、日本、苏联等国的许多研究小组竞相用与韦伯相同或不同的方法，以相同或更高的精度试图重复他的发现，但迄今为止都没有得到肯定的结果.

正在这“山穷水尽疑无路”的时候,从最近在慕尼黑召开的第九次得克萨斯相对论天体物理讨论会上，传来了一个令人鼓舞的消息——引力波的定量证据找到了！不过，同科学史上的许多先例一样，突破口并不是在人们预先设想的地方.

天文学家早就知道，天空中存在着许多双星系统，两个成员星在引力作用下彼此互相绕转，按照广义相对论，其轨道周期会由于辐射引力波而变短. 周期越小，变化得越快. 目前已知周期最短的双星是猎犬座 AM，其周期只有17分半钟. 即使如此，在一年的时间内，其周期的变化也只有约万分之一秒. 这样细微的变化用传统的光学方法是很难觉察出来的. 幸而,四年前 J. H. Taylor 等人在天球上赤经