再次与你分享我初步理解相对论的激动

李早东

我参加了《现代物理知识》编辑部2008年组织的“我心目中的现代物理”科普征文活动，承蒙评委厚爱，拙作《与你分享我初步理解相对论的激动》一文获得优秀奖，并刊登在2009年第4期上。之后，我乘着激动和兴奋的心情，又学习了广义相对论的相关文章，收获匪浅，遂撰此文与大家分享。

相对论，关于时间、空间和物质三者之间关系的理论。它颠覆了牛顿的绝对时间和绝对空间观念，把时间和空间看成是不可分割的整体，称为四维时空。依据所描述的内容和所使用的时空背景不同，相对论有狭义与广义之分。狭义相对论描述的是时空与物质运动的关系，使用的是平直的闵可夫斯基时空；广义相对论描述的是时空与物质引力的关系，使用的是弯曲的黎曼时空。前者建立在“光速不变原理”和“相对性原理”基础上，研究范围是惯性系，即物体之间只能相对做匀速直线运动；后者建立在“等效原理”和“广义协变原理”基础上，研究范围是非惯性系，即物体之间可以相对做加速运动，甚至是非直线的。可见，囿于惯性系的相对论是理想化的、特殊而简单的，但有局限性，故名狭义；涵盖非惯性系的相对论是现实中的、一般而复杂的，但有普适性，故名广义。狭义相对论指出，时间、空间乃至物体的质量不是绝对的、固定不变的，而是相对的、随物体的运动状态变化着的，运动速度越快，它们的变化量越大。广义相对论进一步指出，时空随物质的引力变化着，引力越大，它们的变化量越大。我们知道，引力的大小与物质的质量呈正比，也就是说，时空随物质的质量变化着，质量越大，变化量越大。又根据质能关系公式$m=E/c^2$，质量的大小与能量成正比，这就可以再进一步等价地说，时空随物质的能量变化着，能量越大，变化量越大，以致导致弯曲！最后的结论是物质迫使时空发生弯曲，弯曲时空反过来左右物质运动状态。月亮并非由于地球的吸引作用在平直的空间中沿弯曲的轨道运动，而是在被地球弯曲的时空中沿直线（短程线）的轨迹运动，根本不存在万有引力，所谓引力，不过是弯曲时空中物体运动给人的一种错觉！因为我们被限制在四维时空中，不能站到更高维上去看清楚它的弯曲，而苹果落地现象给我们的直觉，经牛顿用引力解释后，由于其数学形式的简单和计算结果的高精度近似，特别是依其理论发现了海王星后，人们便信以为真、习非成是了。

惯性系与非惯性系 物体所固有的保持自身运动状态不变的性质叫惯性。呈惯性运动的物体被当作背景来描述其他物体的运动时，称其为惯性参考系，简称惯性系。然而，惯性系自身原有的运动状态——静止或匀速直线运动——是以绝对时间、绝对空间为背景的。现在，相对论否定了绝对时间绝对空间，惯性系也就成了无源之水无本之木。经典力学认为“不受力的系为惯性系”，然而要定义何为“不受力”时，又说“保持惯性运动状态叫不受力”，陷入逻辑循环，不能服人。现实生活中，我们对于惯性系和非惯性系并不陌生。坐过飞机的人都有这样的体会：起飞前，飞机在跑道上加速前进，一直到达某一临界速度时，才能离开地面，此时飞机仍将继续加速，才得以飞向高空。这一起飞过程，我们就处在非惯性系中。我们的感觉是身体变沉，被一股向下、向后的力拽扯，这股力就是惯性力$F_{惯}$，它正比于飞机前进的（也是我们的）加速度，而方向相反。一旦进入航线，飞行的高度和速度稳定下来，我们便做匀速直线运动，即进入惯性系。这时空姐就开始分送饮料和点心，她的所有动作都跟飞机停在停机坪时一样，我们的感觉也恢复到了跟在地面上一样，如果不向舷窗外观看，甚至感觉不到飞机在飞！快要到达目的地时，飞机便开始减速（减速过程也有加速度，负值而已）并下降，我们再次进入到非惯性系，身体感觉有股力在向上提拉，变轻了，似乎在飘，其实这又是惯性力使然。假如关闭飞机引擎，让其自由下落一段时间，则我们就真的飘起来啦，一点儿也感觉不到自身的重量——失重了！此时，惯性力完全克服了重力。

想当年，爱因斯坦没有坐飞机的体验，但有一天，他坐在伯尔尼专利局办公室的椅子上忽然想到：假如一个人乘在电梯中，而系电梯的钢绳突然断开，电梯自由地下坠（奥迪斯插栓技术，使现代电梯无

自由下坠之虞，请放心乘坐)，则里面的人将处于失重状态，即惯性力完全抵消了重力。这样一个思想实验给爱因斯坦带来了灵感：一个物体的惯性质量等于它的引力质量！

惯性质量与引力质量　等效原理与广义协变原理　在牛顿物理学中，质量是指“物质的量”，即物体内含物质的多少。但在相对论中，质量不再意味着物质的多少，而是指物体惯性的大小。在容易歧义时，我们将牛顿物理中的质量叫做“静止质量”，相对论中的质量叫做“惯性质量”（曾有人建议前者仍叫质量，后者改叫惯量，窃以为是高明之见)。“引力质量”就是我们平日里所说的重量，即物体受到引力的大小（怪，既然重量是物体受到的引力，衡量其大小的单位应该是“牛顿”才对，而现在标在秤杆上的却是“千克”，约定俗成也)。请看，惯性质量 m_I 被定义在牛顿第二定律中：$F_{惯}=-m_Ia$，引力质量 m_G 被定义在万有引力定律中：$F_{引}=GMm_G/r^2$（G 为万有引力常数，M 为地球质量，m_G 为乘电梯者的重量，即引力质量，r 为乘电梯者到地球中心的距离)，兹将地球看成均匀球体，并忽略其实际转动，则 GM/r^2 是个常数，即 g，如此，则 $F_{引}=m_Gg$。现在，$-F_{惯}=F_{引}$（负号表示方向相反)，即 $m_Ia=m_Gg$，在自由落体运动中，$a=g$，则 $m_I=m_G$。爱因斯坦把惯性质量与引力质量的相等性作为广义相对论的一个基本原理，称为等效原理。让我们再从另一个侧面来理解这个原理。假设我们乘坐在封闭的宇宙飞船里遨游太空，远离任何星体，没有任何引力，即以失重状态匀速直线飘动在太空里（借助有关国际空间站宇航员的视频，想象)。现在给燃料舱点火，飞船获得加速度 a，使它正好等于一个 g，即等于地球引力场中重力加速度，则我们的所有感觉跟在地球表面是一样的：松开手中的笔，它会自由的落到飞船的地板上（实际上是因为笔有保持原来状态的惯性，呆在原处——相对于飞船——未动，而飞船加速向上运动使地板碰到了笔，我们在飞船里的感觉是笔以一个 g 的加速度“落”到了地板上)；投掷铅球，铅球也会沿抛物线运动，然后落到飞船地板上，而且成绩与在地球运动场上一样。也就是说，一个有引力场作用的参考系就有一个引力加速度（或叫重力加速度)，一个没有引力场作用的参考系，如果它以一个加速度——与有引力场作用参考系的引力加速度相同的加速度——运动，则两个参考系的物理过程是等效的。

注意！等效原理中的“等效”是有前提条件的，即在一个无限微小的区域内等效，在一个有限大小的区域内就不那么等效。因为引力场中的引力有一个点源——物体的质点，不同区域引力向质点汇聚，而惯性力却无点源，惯性力各处是平行的，所以只有在无限微小的区域内，才可认为引力是近似平行、与惯性力等效的。一个非惯性系与一个引力场等效，意味着研究引力场的时空效应即是研究非惯性系的时空效应。这样的话，我们就可以把引力场中惯性系里的物理规律推广到非惯性系，即所有参考系，不论它的运动状态如何，对于描述物理规律是等价的，此即为广义协变原理，它突破了狭义相对论的惯性系束缚，并摆脱了惯性系无法定义的尴尬。所谓协变，就是协调变化的意思，一个方程在坐标变换时，每一项都按照相同的规则变换，从而使其在新的坐标中继续成立，称相应的变换为协变：牛顿的绝对时间绝对空间方程，在伽利略变换下协变；狭义相对论的四维平直时空方程在洛伦兹变换下协变；广义相对论的四维弯曲时空方程在广义变换下协变。

欧氏几何与非欧氏几何　早在中学时我们就学习了平面几何与立体几何，知道点、线、面、体，点动成线、线动成面、面动成体，线线平行与垂直、线面平行与垂直、面面平行与垂直，等等。所有这些，都建立在欧几里得几何五条公理之上（请允许我把它们罗列出来)：1. 任意两点可通过一条直线连接。2. 任意线段能无限延伸成一条直线。3. 给定任意线段，可依其一个端点作为圆心，以该线段作为半径画一个圆。4. 所有直角都全等。5. 若一条直线与另外两条直线相交，当有一侧的两个内角之和小于两个直角时，则这两条直线就在这一侧相交。

那时，我以为这就是几何学的全部了。岂料，数学家们发现欧几里得几何在公理系统和逻辑严谨性方面还存在些许瑕疵，特别对第五条公理（又称平行公理）不依不饶，认为它文字冗长，且不像其它公理那么显而易见。所以从《几何原本》出版后，人们一方面努力寻找一条容易接受、更加自然的等价公理替代之，另一方面试图证明它不必单独成为公理，而可以由其他四条公理推导演绎出来。前者，替代公理找到若干条，以普莱菲尔的最为有名：过

已知直线外一点，能且仅能作一条直线与已知直线平行。然而后者，截至今天也没有成功，但却有了意外的、更大的收获——推导出了与平行公理等价的一系列命题，发现了与欧几里得不一样的几何。由罗巴切夫斯基和黎曼分别建立的双曲几何和椭圆几何，与欧几里得几何并驾齐驱，被称为非欧氏几何，为了区别也为了纪念发现者，又分别被称为罗氏几何和（狭义）黎曼几何。

现在看来，几何学就是由公理推演而成的一套逻辑体系。可以预言，只要公理是不证自明的，推理是逻辑的，演绎是自洽的，还可能诞生某种新的几何。上述三种几何的区别仅在于对平行公理的表述不同，让我们再一次对它们进行比较：欧氏几何的表述是“过已知直线外一点，能且仅能作一条直线与已知直线平行”，双曲几何则“过已知直线外一点，至少可以作两条直线与已知直线平行”，而椭圆几何却“过已知直线外一点，不可能作一条直线与已知直线平行”。现在人们认识到，这三种表述都是真实的。用二维的视角看，欧氏几何在平面上成立，双曲几何在伪球面上成立，椭圆几何在球面上成立。它们的三角形内角之和不一样，分别等于、小于和大于 180°；圆周率也不一样，分别等于、大于和小于 π。黎曼用微分学的方法统一了三种几何，建立了（广义）黎曼几何，从广义黎曼几何的角度看，三种几何的区别在于它们的截面曲率（也叫高斯曲率）不同，是分别对着三种不同的空间而言的：欧氏几何的截面曲率等于 0，说的是平直空间——我们日常生活的空间，相对宇宙充分小的、近似均匀的空间（可这样比拟与联想：地球是椭球体，表面是弯曲的，但我们立足之点周围很小区域可看成是平直的）。双曲几何的截面曲率小于 0，说的是开空间——有排斥力存在的空间。宇宙正在膨胀，说明斥力占上风，宇宙大尺度空间似乎符合双曲几何。椭圆几何的截面曲率大于 0，说的是闭空间——所谓吸引力存在的黎曼弯曲空间，即我们的现实空间，与平直空间没有严格的分界线，但其所指范围应该更广大一些。读者朋友，我请你来烟台看大海吧，极目远眺，你会惊讶海平面不是平的，而是弯的，似应叫海弯面更恰当！我们就生活在闭空间中，习焉不察而已。

曲率 世界线 测地线 用微积分方法研究空间形状及其性质，目的是化空间中曲线或曲面整体为局部，化局部为点，通过点及其邻域的性质看曲线或曲面局部乃至整体的性质。曲率（k）就是由曲线方程微分再微分给出的，用于描述空间曲线的弯曲程度，其值越大，曲线越弯。它的倒数（$1/k$）叫曲率半径，也用于描述曲线的弯曲程度，其值越小，曲线越弯。曲面的弯曲程度用两个数值来描述，分别是法曲率的最大值（k_1）和最小值（k_2），二者的平均值叫中曲率：$H=(k_1+k_2)/2$，二者的乘积叫全曲率：$K=k_1k_2$，也就是前文所说的截面曲率或高斯曲率。曲面上的曲线的弯曲程度用测地曲率描述，它是曲面上的曲线在曲面切平面上的投影线的曲率，如果投影线的曲率为零，则曲面上的这条线叫做测地线。

这里，我想再辨析一下空间的概念，以便更好地理解世界线测地线。三维空间我们已经明了，闵可夫斯基把时间作为一维，与三维空间一起构成四维的闵可夫斯基空间（也称伪欧几里得空间，以区别三维欧几里得空间。不管是三维还是四维，只要是欧几里得空间，就是平直的，三维的适用于牛顿理论，四维的适用于狭义相对论）——时空，这为数学表达狭义相对论提供了适用模型，并为通向广义相对论架起了桥梁（因广义相对论使用的也是四维时空，但，是弯曲的）。在三维空间中的质点，哪怕是静止的，在四维时空中也会描出一条线，即时间的轨迹线（因时间从不停止），又因为时间 t 是个常量，所以这条线是与时间轴平行的斜率为零的直线。如果质点做匀速运动，则其运动方程是一次函数 vt，轨迹就是一条具有斜率的直线。如果质点做匀加速运动，则其运动方程是二次函数 $vt+\frac{1}{2}at^2$，轨迹就是抛物线。在相对论中，质点被叫做世界点，相应的，以上那些线被称为世界线。其中做惯性运动（静止或匀速运动）的世界点所描出的世界线称为测地线，也叫短程线，即两点之间最短的线，它在平直时空中是直的，在引力场中是弯的，因引力场时空背景弯曲，如果用黎曼几何的视角去看的话，其实它也是直线。你看，引力场中惯性运动的质点所描出的测地线，与非引力场中加速运动的质点所描出的抛物线一样，都是弯曲的，这再次佐证了等效原理。

度规张量与仿射联络 计量长短谓之“度”，约定的计量准则谓之“规”，度规就是度量距离的准

则。在欧氏几何二维平面上，点 p（x，y）与 q（x+dx，y+dy）间的距离（ds）度规为 $ds^2=dx^2+dy^2$（即勾股定理）；在欧氏几何三维空间中，点 p（x，y，z）与 $q(x+dx, y+dy, z+dz)$的空间间隔度规为 $ds^2=dx^2+dy^2+dz^2$，依据爱因斯坦求和约定，上式可写成 $ds^2=\delta_{ij}dx^idx^j$。式中，i，j=1，2，3；δ_{ij} 代表三维空间度规张量，其分量可表示为一个 3 × 3 的单位矩阵，即当 $i=j$ 时，$\delta_{ij}=1$，当 $i\neq j$ 时，$\delta_{ij}=0$；dx^i 和 dx^j 分别是阵元为 dx、dy、dz 的行矩阵和列矩阵，即

$$ds^2=\delta_{ij}dx^idx^j=\begin{bmatrix}dx & dy & dz\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\0 & 1 & 0\\0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}dx\\dy\\dz\end{bmatrix}。$$

在闵可夫斯基四维时空中，点 p（ct，x，y，z）与 $q(ct+cdt, x+dx, y+dy, z+dz)$的时空间隔度规为 $ds^2=-c^2dt^2+dx^2+dy^2+dz^2$（式中 c 为真空中光速），按求和约定简写成 $ds^2=\eta_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu$。式中，$\mu$，$\nu$=0，1，2，3；$\eta_{\mu\nu}$ 为四维平直时空的度规张量，其分量可表示为对角阵元为−1，1，1，1，其余阵元为零的 4×4 矩阵，即当 $\mu=\nu=0$ 时，$\eta_{\mu\nu}=-1$，当 $\mu=\nu=1$，2，3 时，$\eta_{\mu\nu}=1$，当 $\mu\neq\nu$ 时，$\eta_{\mu\nu}=0$；dx^μ 和 dx^ν 分别是阵元为 cdt、dx、dy、dz 的行矩阵和列矩阵。即

$$ds^2=\eta_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu=\begin{bmatrix}cdt & dx & dy & dz\end{bmatrix}\begin{bmatrix}-1 & 0 & 0 & 0\\0 & 1 & 0 & 0\\0 & 0 & 1 & 0\\0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}cdt\\dx\\dy\\dz\end{bmatrix}。$$

在广义黎曼弯曲时空中，点 p（ct，x，y，z）与 $q(ct+cdt, x+dx, y+dy, z+dz)$的时空间隔度规为 $ds^2=g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu$。式中，$g_{\mu\nu}$ 为弯曲时空的度规张量，其分量可表示为各阵元一般不为零的 4×4 矩阵，即

$$ds^2=g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu$$

$$=\begin{bmatrix}cdt & dx & dy & dz\end{bmatrix}\begin{bmatrix}g_{00} & g_{01} & g_{02} & g_{03}\\g_{10} & g_{11} & g_{12} & g_{13}\\g_{20} & g_{21} & g_{22} & g_{23}\\g_{30} & g_{31} & g_{32} & g_{33}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}cdt\\dx\\dy\\dz\end{bmatrix}。$$

不仅要度量距离，还要比较空间两点上矢量的大小，甚或进行加减、数乘运算。但弯曲时空中不存在平行线，矢量无法平行移动且线性无关，故其大小也就不能肩并肩地比较和运算。利用微分思想，在弯曲时空的微域可认为近似地存在平行线，矢量可以进行近似平行的移动。这种“由微求彰”的计算比较法则叫做仿射联络。特别的，在无挠性的黎曼弯曲时空中，被叫做克里斯托菲联络，数学表达式是

$$A_\mu(p\to q)=A_\mu(p)+\Gamma^\mu_{\alpha\beta}(p)A_\alpha(P)dx^\beta。$$

式中，A_μ（p）为点 P 的协变矢量；A_μ（$p\to q$）为点从 P 移动到 q 后的协变矢量；$\Gamma^\mu_{\alpha\beta}$ 为联络系数，它由度规张量确定：

$$\Gamma^\mu_{\alpha\beta}=\frac{1}{2}g^{\mu\sigma}\left(\frac{\partial g_{\alpha\sigma}}{\partial x^\beta}+\frac{\partial g_{\beta\sigma}}{\partial x^\alpha}-\frac{\partial g_{\alpha\beta}}{\partial x^\sigma}\right)。$$

即，矢量在黎曼弯曲时空中按克里斯托菲联络移动，一路上伴随着联络系数的修正，时刻保持着前后平行，这样就可以与所到之点的矢量进行比较和运算啦。由此及彼推而广之，对处于弯曲时空中各点的物理量，通过联络系数便建立起了联系。

引力几何化　其实早在中学时，我们用平行四边形定则演算力的分解与合成习题就已经将力几何化了，只不过用的是欧几里得几何，解决的是惯性系里的问题而已。现在我们知道，欧氏几何是在区域和引力都充分小的情形下对空间的一种近似描述，正像牛顿第二定律是在速度很低（相对于光速）的情形下对物体运动规律的近似描述一样。

伽利略的落体定律告诉我们，不管是铅球还是羽毛球，只要同时释放，它们就会以同样的速度和加速度，走过同样的路径，最后同时落地（不计空气阻力的话）。这，表面上看，是自由落体的运动方式与它们的重量、形状乃至构成材料无关，更深刻的，则揭示了时空的几何效应：质点——抽象化了的物体——不论质量大小，在时空中运动，都被某种无型的模具约束着，表现出相同的行为。对此，你感觉不好理解的话，可能是因为时空几何看不见摸不着的缘故（对，这里需要想象，并且建立“存在未必一定眼见”的思维方式。还有就是，对时空的理解，一定要用动态的、连贯的、过程的思想。三维空间是死的，四维时空是活的，活就活在“时间维”上，因时间从不停歇；如果对三维空间之形你能有直观感觉，那么对四维时空之状你就只能是心领神会了，因“时间维”是个过程，只有联想过程，才能悟到形状）。请再看看赵峥教授是怎么说的吧：在真空中斜抛金球、铁球和木球，只要抛射的初速度和倾角相同，这三个球都将在空间描出相同的轨迹。这就是说，质点在纯引力和惯性力作用下的运动，与它的质量和化学成分无关。于是，爱因斯坦做出了物理思想上的一个重大突破——引力效

应可能是一种几何效应，因为几何效应可以与物体的质量和组成成分无关。进一步，万有引力可能不是一般的力，而是时空弯曲的表现。鉴于引力起源于质量，他进一步猜测时空弯曲起源于物质的存在和运动。当没有物质存在时，时间是均匀的，空间是平直的；当有物质存在时，时间和空间的性质发生了变化，变得不均匀、不平直，大质量物体的周围时空要发生弯曲。

光线偏折与引力红移 时空弯曲？！爱因斯坦不仅提出了这个诡谲而深奥的猜想，而且还指出了验证方法。他认为遥远星光掠过太阳时，会沿着太阳周围弯曲的时空发生偏折，并计算出我们见到的星像比其实际位置偏离 1.75″。1919 年 5 月 29 日日全食，月亮挡住了太阳的光芒，人们得以瞧见其背后的星星，为验证这个猜想和预言提供了良好机会，由克罗梅林和爱丁顿领导的两支观测队，分赴巴西索布拉尔和西非几内亚湾的普林西比岛，进行了实时拍照，经与数月后太阳不在那个星场时的同一星体的照片比较，光线真的偏折了！克罗梅林观测值偏折 1.98″，爱丁顿观测值偏折 1.61″，与爱因斯坦预计值在误差允许范围内吻合，广义相对论得到了事实的确认！

不单是光线路径偏折，引力场中光的频率和波长也发生改变。光子运动使其具有惯性质量，根据等效原理，也必有引力质量。在逃逸过程中，光子要克服引力消耗一定的能量，而光子的能量 E 与频率 ν 成正比：$E=h\nu$。能量损失，频率就降低，频率降低，波长 λ 就加长（因光速 c 恒定，且 $c=\nu\lambda$），其谱线就向红端移动，即所谓的光频引力红移，这也被天文观测和地面实验证实。

十年殚精竭虑，爱因斯坦在弯曲时空中逐一找到了与引力场中物理量相对应的黎曼几何数学量。引力，如果我们还使用这个概念的话，它唯一的效应就是引起时空弯曲。引力场不过是被质量弄弯曲了的时空的体现，相当于弯曲时空的度规场，引力势相当于度规张量，引力场强度就是时空弯曲的程度，相当于仿射联络，引力场越强，时空弯曲越烈，曲率越大；质点到引力场源的距离就是质点处密切圆的半径，即曲率半径；引力场中质点的运动是弯曲时空中质点的自由运动，运动路线是短程线，轨迹方程是测地线方程。地球及其他行星并不是因受太阳的吸引力而绕日运动，而是因为太阳的质量弯曲了其周围的时空，行星们在弯曲时空中沿着短程线做自由运动而已。

时间膨胀 住得越高老得越快 爱因斯坦推断时间流逝速度取决于所处位置：时钟距离引力场源越远，运转越快；反之，距离引力场源越近，运转越慢，所谓时间膨胀。据报载，美国科学家依照这一理论，借助超级精准时钟测量处于不同高度时钟的速度变化，结果证实所处位置越高，时间过得越快，这或可理解为，人住得越高，“老”得越快。有好事者计算，一个寿命为 79 岁的人，住在上层楼比住在下层楼，一辈子少活 1 千万分之 9 秒。如果他一辈子都住在 102 层帝国大厦顶楼，将比他住在纽约大街上少活 1 百万分之 104 秒！

在理解了非惯性系和等效原理后，“住得越高老得越快”就是明摆着的事啦。让我们再回到宇宙飞船上，看看在非惯性系里发生的事情：现有甲、乙两只钟分别放在飞船的前端和后端，你坐在后端的钟乙旁边。设想钟甲每秒发一次闪光，而坐在船后端的你将到达的光信号与钟乙的指针进行比较。第一次闪光从甲到乙传播的距离为 L_1，第二次闪光从甲到乙传播的距离为 L_2，则 $L_2<L_1$，因为飞船正在加速，在发出第二次闪光的时刻它已经具有了（比第一次闪光）更大的速率。于是，不难想象，如果钟甲每两次发出的闪光时间间隔为 1 秒，则它们到达钟乙的间隔要比 1 秒稍微短一点，因为第二次闪光在路上（这段路因为飞船的加速而变得短了）并不要耗费像第一次闪光那么多时间，对所有以后发出的闪光来说，也会发生同样的情况。所以坐在船后端的你就会得出结论：钟甲比钟乙跑得快。如果你打算反过来——使钟乙发出闪光而在钟甲处接收——则你会得出结论：乙比甲跑得慢，一切都相互符合，一点也不奇怪。

时间膨胀，霍金教授的解释更是精辟透彻：因为光的频率与它的能量成正比，能量越大，则频率越高。当光从地球的引力场往上行进，它失去能量，因而其频率下降，导致两个相邻波峰之间的时间间隔变大，所以在上面的观察者看来，下面发生的每一件事情都显得需要更长的时间。嗯，这不是光频引力红移的翻版吗？

好，现在我们来看静止在地球重力场中帝国大厦的情形。如果你带着一只钟坐在大街上，并看着

癌症、肿瘤抑制基因及纳米技术在癌症预防和治疗的应用

王　喆　秘晓林

一、什么是癌症

癌症（cancer）是发生于各个年龄段、多种器官和组织、导致严重后果的疾病。根据世界卫生组织的统计，2007 年全世界有 790 万人死于癌症，占所有死亡人数的 13%，据估计到 2030 年该数字将上升至 1200 万。每年花在癌症病人治疗和护理的费用超过 2000 亿美元，给社会和家庭带来了巨大的经济负担。根据细胞类型，癌症可以分为四类，内外表层细胞发生癌变形成的肺癌、乳腺癌和结肠癌等（Carcinoma）；支持组织和连接组织，如骨、软骨、脂肪和肌肉等形成的肉瘤（Sarcoma）；淋巴和免疫系统形成的淋巴瘤（Lymphoma）；以及循环系统形成的白血病（Leukemia）。

不同类型的癌症都具有一个共同特征，即细胞生长失去控制而无限增殖。在正常组织中，新生细胞的生长和衰老细胞的死亡之间保持一种动态平衡。在癌组织中，由于细胞生长失控或失去了程序性的细胞死亡——凋亡机制，具有分裂能力的细胞逐渐增加，形成了一种叫做肿瘤（tumor）的组织。根据肿瘤是否能够通过侵入和转移的方式在体内扩散，可以将其分成良性肿瘤和恶性肿瘤。良性肿瘤只在原位生长，不能扩散。恶性肿瘤能够扩散，被称为癌症，癌细胞可以通过侵入方式直接迁移和渗透进入附近的组织，或通过淋巴和血液循环系统传播，侵入到其他正常组织。

经过多年研究，人们认识到癌症的发生是基因突变累积的结果，癌症的一个显著特点即基因组的不稳定性（图 1）。基因突变主要包括以下三类，原癌基因异常激活，导致细胞过度增殖；肿瘤抑制基因失活，细胞周期调控和细胞凋亡等功能缺陷或异常；DNA 损伤修复基因突变，受到损伤的遗传物质不能被有效修复。癌症的发生是多因素事件，癌细胞中常常存在着多种基因突变，并受到遗传和环境因素的影响。在不同类型的癌症中，基因突变不完全相同，同一类型癌症的不同个体间也存在差异，为癌生物学的研究带来了很多困难，对癌症的诊断、治疗也提出了巨大的挑战。

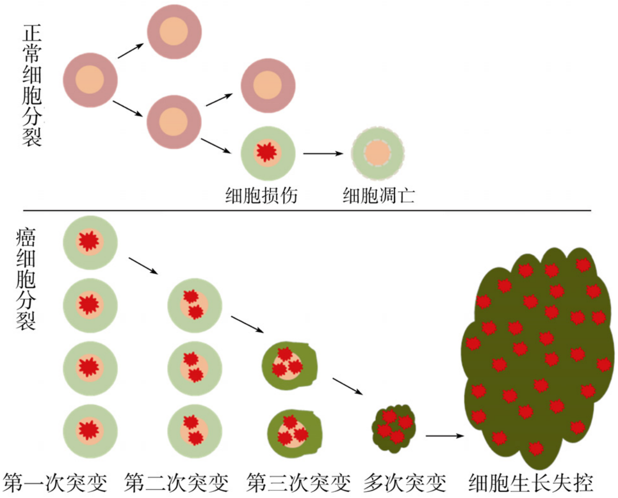

图 1　突变导致的细胞生长失控与癌症

二、肿瘤抑制基因

肿瘤抑制基因是一类具有正常生物功能的基因，它们与癌症的发生有着密切关系。肿瘤抑制基因编码的蛋白，即肿瘤抑制因子，可以调节细胞的生长和分裂。目前，大量的肿瘤抑制基因被发现，

放在大厦顶层的另一只钟，它将显得比大街上的钟跑得快！你可能纳闷：既然没有加速度，钟就没有理由显得步调不一致呀！但是如果你相信了等效原理，那两只钟就必然不会同步。否则，你就有可能知道引力场与加速参考系之间的差别，那，你就伟大啦。时间能够随处变化的概念虽是一个困难的概念，但它是爱因斯坦使用的概念，它是正确的，我们不得不信。在此，我建议你购房时考虑平房或一楼，以期自己能长寿，哈哈！

（烟台市农业技术推广中心　264001）