



地平说

与普遍的误解相反，中世纪教会并没有教导地球是平的，而且我们有很多方法可以证明地球是球形的。

重力是一种力吗？

地平说支持者试图否定引力是一种力，但他们却忽略了物理学中受相对论影响的由来已久的惯例。

地平论者喜欢引用著名物理学家的话来否定引力的存在，他们声称引力不是一种力。“什么？！”你可能会问。这种说法什么时候改变了？如果引力不是一种力，那它又是什么呢？据说，这种改变发生在一百多年前，当时阿尔伯特·爱因斯坦发表了她的广义相对论。然而，要真正理解这个问题，还需要一番讨论。

狭义相对论

米凯尔森-莫雷实验的阴性结果需要解释。

在最近的两篇文章中，我探讨了地心说。第一篇文章简要回顾了[人类运动概念的历史](#)，并列举了地球自转和公转的早期证据。第二篇文章描述了 20 世纪后期[现代地心说运动的兴起](#)，以及地心说支持者常用的一些物理学和圣经论据来支持他们的宇宙论。第二篇文章的讨论必然涉及到了阿尔伯特·爱因斯坦的狭义相对论。狭义相对论解释了 19 世纪末 20 世纪初各种干涉测量实验中出现的¹不一致结果。其中最关键的实验是 1887 年的迈克尔逊-莫雷实验，该实验试图测量光在不同方向上的速度。经典物理学认为，即使在真空中，光也需要介质才能传播。因此，物理学家提出空间中充满了一种他们称之为以太的机械介质。经典物理学预言，光速的测量值取决于测量方向，即沿地球公转方向或垂直于地球公转方向。迈克尔逊-莫雷实验检验了这一预言。令人震惊的结果是，光速在所有方向上都相同。现代地心说支持者认为，迈克尔逊-莫雷实验证明地球没有运动。然而，大量证据表明地球正在运动。因此，迈克尔逊-莫雷实验的否定结果需要解释。

爱因斯坦对这个问题的精妙解答源于他对电磁现象的一个观察，而其他人本应更早意识到这一点。早在迈克尔逊-莫雷实验的二十年前，詹姆斯·克拉克·麦克斯韦就发表了一组四个方程，描述了电磁现象的各个方面，将这两种不同的现象统一到一个连贯的理论中。

该理论的一个推论是，电磁现象具有运动不变性。例如，一根线圈相对于静止的磁体运动时会产生感应电流。然而，如果磁体运动而线圈保持静止，线圈仍然会产生相同的感应电流。力学（物理学中研究运动的分支）也是如此。力学具有观察者运动不变性，这意味着彼此相对运动的观察者对其他物体的运动的解释是相同的。电磁现象的运动不变性也包括观察者的运动。

迈克尔逊-莫雷实验的结果与其说是与物理学相矛盾，不如说是正确理解物理学后人们所预期的结果。

当同时求解麦克斯韦方程组的四个方程时，得到的结果是一束垂直于相互垂直的振荡电场和磁场所在平面传播的波，其传播速度与测得的光速完全吻合。麦克斯韦等人立即意识到这并非巧合，而是光传播的机制。因此，振荡的电磁场似乎为光的传播提供了介质。然而，在接下来的 40 年里，物理学家们仍然坚持以太作为机械介质的观点。爱因斯坦是最早充分认识到振荡电磁场才是光传播介质（而非机械以太）并将这一认识与电磁现象不变性结合起来的人之一。一旦他理解了这一点，就必然会认识到光速与光源或观察者的运动无关。如果光速取决于光源或观察者的速度，那么这将违反电磁现象的不变性。因此，迈克尔逊-莫雷实

验的结果与其说是与物理学相矛盾，不如说是正确理解物理学后人们所预期的结果。

在第二篇文章中，我简要提及了广义相对论，这是爱因斯坦在狭义相对论十年后提出的后续理论。我在第二篇文章中提到，狭义相对论处理的是匀速运动的物体，而广义相对论处理的是加速运动的物体。除此之外，我没有对广义相对论做更多阐述。例如，我本可以指出，广义相对论也包含了引力以及空间和时间的概念。本文将更全面地探讨广义相对论背后的原理。然而，本文并非技术性或全面的论述。

参照系

在另一篇文章中，我讨论了惯性参考系和非惯性参考系。参考系是一种坐标系统，我们可以用它来表示物理学中物体或事件的位置。笛卡尔坐标系就是这种系统的最佳例子，它的 x 轴和 y 轴相互垂直。这种坐标系是二维的，在描述许多物理情境时非常有用。如果需要第三个维度，我们可以添加一个与原二维坐标轴垂直的 z 轴，三个轴的原点位于同一点。由于我们生活在一个三维世界中，三维笛卡尔坐标系可以描述我们能想象到的任何情况。需要注意的是， x 、 y 和 z 这三个坐标都是时间的函数（这引入了第四个维度——稍后会详细介绍）。目前，我将讨论范围限制在二

维，因为我知道在必要时添加第三个空间维度相对容易。

坐标系的选择完全是任意的。参见图 1。假设我位于笛卡尔坐标系的原点，并且在 $t = 0$ 时刻观察到位于有序对 (x_0, y_0) 所指示点的物体。如果该物体以速度分量 v_x 和 v_y 运动，那么在任意时刻 $t > 0$ ，我都会在有序对 (X, Y) 处看到该物体，且

$$X = X_0 + V_x t$$
$$Y = Y_0 + V_y t。$$

这个笛卡尔坐标系是我的参考系。

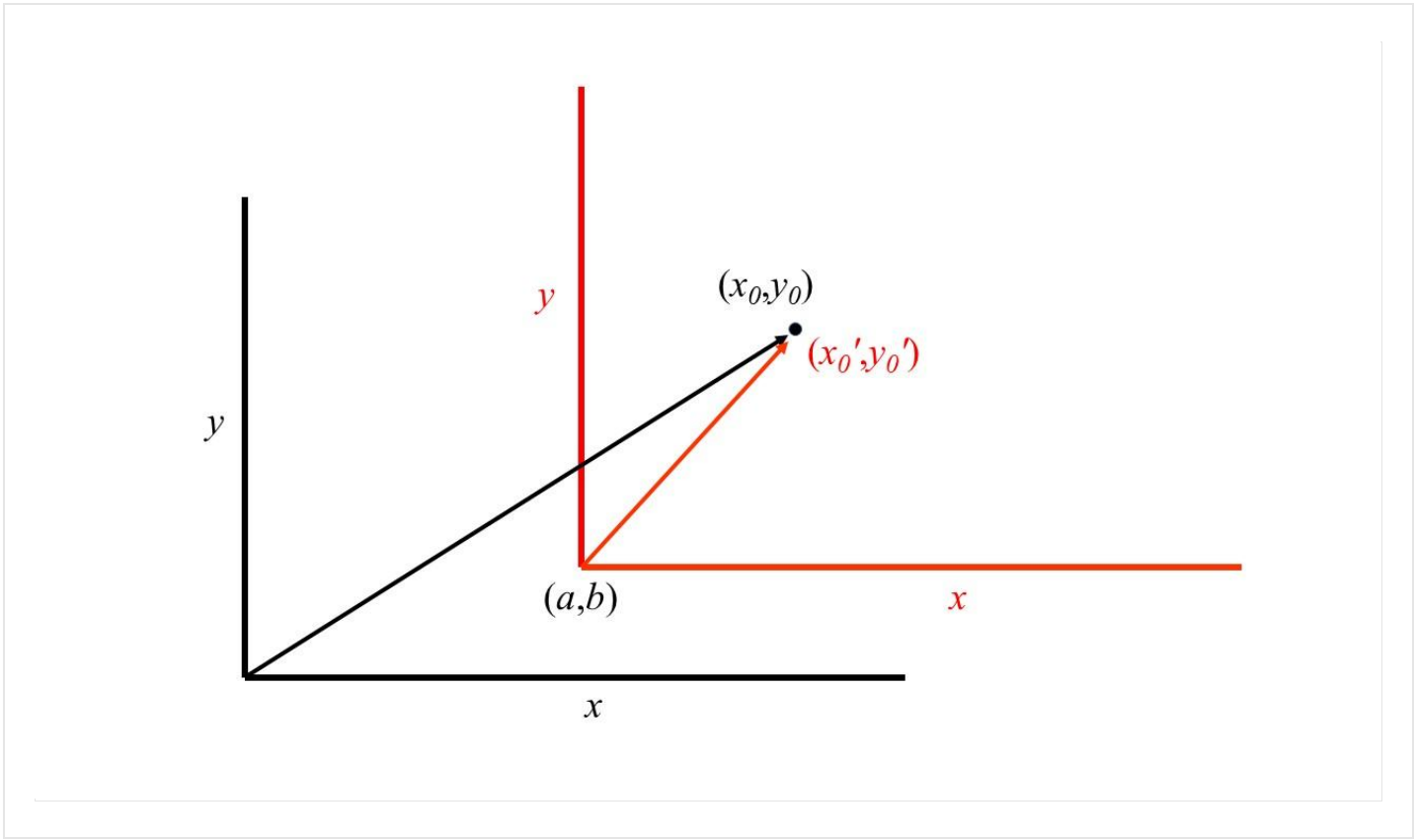


图 1. 示例坐标系

现在假设一位朋友位于有序对 (a, b) 处，并且他定义了一个以他所在位置为原点的笛卡尔坐标系。这就是他的参考系。设他坐标系中的有序对用撇号表示。因此，在他的坐标系中，物体在 $t = 0$ 时刻位于 (x_0, y_0) 处，在 t 时刻位于 (x', y') 处。

$$\begin{aligned}x' &= x_0 + v_x t \\y' &= y_0 + v_y t.\end{aligned}$$

我们可以通过以下方式将这两个参考系之间的坐标联系起来：

$$\begin{aligned}x' &= x - a \\y' &= y - b.\end{aligned}$$

我可以考虑物体加速度的可能性，将其视为物体加速度的两个分量 a_x 和 a_y 。如果是这样，那么

$$\begin{aligned}v_x &= v_{x0} + a_x t \\v_y &= v_{y0} + a_y t,\end{aligned}$$

其中 v_{x0} 和 v_{y0} 是 $t = 0$ 时刻的速度分量。类似地，

$$\begin{aligned}x &= x_0 + v_{x0} t + \frac{1}{2} a_x t^2 \\y &= y_0 + v_{y0} t + \frac{1}{2} a_y t^2.\end{aligned}$$

和之前一样，我们可以利用上面的第二组方程，从我的参考系变换到我朋友的参考系。如果我想反过来，从我朋友的参考系变换到我的参考系呢？我们可以对上面的第二组方程进行代数运算，得到

$$\begin{aligned}x &= x' + a \\ y &= y' + b,\end{aligned}$$

我可以从这里向相反的方向转变。

与其假设我的朋友相对于我静止，不如假设他以恒定速度运动。设我的朋友在 $t = 0$ 时刻在我参考系中的位置为 (a, b) ，他相对于我的速度分量为 $u_{x\text{_{}}}$ 和 $u_{y\text{_{}}}$ 。那么，我的朋友在我参考系中任意时刻 t 的位置将是

$$\begin{aligned}x &= a + u_x t \\ y &= b + u_y t.\end{aligned}$$

将这些最新的关系代入前面的方程式，就可以描述这两个参考系之间的所有变换。

惯性参考系与非惯性参考系

艾萨克·牛顿爵士推导出了三大运动定律。这三大定律是：

1. 静止的物体将保持静止状态，运动的物体将保持直线运动状态，除非受到外力作用。
2. 当力作用于物体时，物体将产生加速度，加速度与力成正比，与物体的质量成反比。
3. 每一个作用力都有一个大小相等、方向相反的反作用力。

研究这三大运动定律如何在现实世界中体现的学科称为力学。在力学中，我们使用哪个参考系并不重要——我们都会得到相同的结果。我选择参考系时尽量保持通用性，唯一的限制是两个参考系之间不能存在加速度。我们称这些参考系为惯性系，因为惯性（质量的另一种说法）的行为可以用牛顿运动定律来描述。如果一个参考系相对于另一个参考系存在加速度，会发生什么呢？我们将无法得到相同的结果。从非加速度参考系转换到加速度参考系需要引入与加速度参考系相关的额外项。

飞机外的静止观察者可以用牛顿三大运动定律解释他所看到的一切。然而，飞机内的乘客会感觉到有一种虚构的向后力在起作用，从而解释他们所看到的现象。

这里有一个经典的例子。假设你坐在一架正在加速起飞的飞机上。你会感觉到自己被推向座椅，你会将其

理解为一种力。这种情况如此频繁，以至于我们很少去思考它。如果飞机上有松动的物体，比如过道里的一个球，它看起来会在机舱内以越来越快的速度向后滚动。也就是说，这个球似乎在沿着过道向后加速运动。根据牛顿第二定律，我们可以理解这需要一种力。想必，这种力就是将乘客推向座椅的力。如果飞机外地面上有人能够观察这个球的运动轨迹，比如透过机舱的窗户，会发生什么呢？这位观察者根本看不到球在移动。他看到的是飞机向前加速，而球保持静止。这种情况会在机舱后部撞击到球时发生改变，迫使球最终加入到飞机其他部分的加速运动中。与此同时，机舱内的乘客会观察到，当球撞击到机舱后部时，它沿过道滑行的速度停止了。为了理解这一切，机舱内的乘客可能会认为存在某种力，这种力既解释了球的运动，也解释了他们与座椅靠背的接触感。他们会感觉到飞机上的所有物体都受到某种力的作用，这种力将一切向后推。而飞机外的人则会认为，飞机引擎产生的力推动飞机及其内部物品向前运动，这才是他们所看到的一切现象的真正原因。究竟谁的观察才是正确的呢？静止在飞机外的观察者可以用牛顿三大运动定律来解释他所看到的一切。然而，飞机内的乘客却会认为存在一种虚构的向后力，以此来解释他们所看到的一切。

另一个例子就更常见了。假设一个人驾驶敞篷车，敞篷打开，正转弯。驾驶员会感觉到一股“力”将他甩向转弯的反方向。驾驶员有各种反作用力阻止他飞到弯道外侧：安全带、座椅摩擦力和握住方向盘的力。然而，坐在他旁边的物体可能没有这些约束，因此会向外滑动。我们通常将其归因于离心力。但是，假设一名工人在转弯的敞篷车上方的吊篮里。他会看到座椅上的物体继续沿直线向前滑动，仿佛没有受到任何力的作用，这符合牛顿第一定律。另一方面，工人会看到汽车和驾驶员转弯，根据牛顿第二定律，转弯需要力的作用。对于汽车来说，轮胎与路面之间的摩擦力提供了这种力。对于驾驶员来说，是安全带、座椅摩擦力和握住方向盘提供了作用力。

如何判断我们是在非惯性参考系还是惯性参考系中？

请注意，在这两个例子中，车辆和车内人员都经历了加速度。飞机的加速度是线性的，即沿直线运动。敞篷车的加速度是圆周运动。处于加速参考系中的人必须通过引入一个在惯性参考系中不需要的虚拟力来修正牛顿力学。正是由于这种差异，我们将加速参考系称为非惯性参考系。我们如何判断自己处于非惯性参考系还是惯性参考系中呢？非惯性参考系需要引入[虚拟力](#)，这些虚拟力与质量成正比。这是因为牛顿第二

定律：在计算加速度时，质量会被忽略，从而使所有物体都经历相同的加速度。而正常的、非虚拟的力则不会这样运作。

由于地球每天自转，存在圆周加速度，因此地球并非真正的惯性参考系。然而，地球表面的向心加速度相对较小，因此在大多数情况下，我们可以将地球视为惯性参考系。地球并非真正的惯性参考系这一事实，仅在一些极其灵敏的实验中才会显现出来。科里奥利效应和傅科摆现象也体现了这一点。

广义相对论

与引力类似，非惯性参考系中的虚拟力与质量成正比。这表明引力可能是一种虚拟力。

注意，在非惯性参考系中，我们观察到虚构力与质量成正比。引力也是如此。有时我们说，根据牛顿第二运动定律定义的质量是惯性质量。如果我们想确定一个物体的惯性质量，我们会对物体施加一个力，测量由此产生的加速度，然后用力除以加速度来确定其惯性质量。我们说，根据牛顿万有引力定律定义的质量是引力质量。为了确定一个物体的引力质量，我们会称量它。我们观察到惯性质量和引力质量是相同的。这是为什么呢？在牛顿力学中，这两种质量是相同的。这很合理，因为物体无论质量如何，下落的速度都相

同，但这并没有理由说明它们必须相同。爱因斯坦认为这可能并非巧合。就像引力一样，在非惯性参考系中，虚构力与质量成正比。这表明引力可能是一种虚构力。然而，引力存在于通常被认为是惯性参考系的体系中，在这些体系中不存在任何虚构的力。这种认识被称为**等效原理**。

等效原理允许我们利用加速度来创造人造重力。假设一个空间站由一个弯曲成圆形的加压管组成。如果这个圆筒像车轮一样旋转，那么空间站中的宇航员将被甩向管内壁的外缘。这个外缘就相当于宇航员可以行走的地面。如果空间站的外半径为 R ，重力加速度为 g ，空间站的旋转周期为 T ，那么宇航员将感受到一个与地球上重力大小相等的离心力。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}.$$

这种人造重力与我们在地球表面感受到的重力几乎没有区别。这种情况类似于敞篷车转弯。那么线性加速度呢？例如飞机起飞时的加速度？假设一名宇航员在一枚加速的火箭上。如果火箭以地球上观测到的重力加速度（ 9.8 m/s^2 ）加速，那么宇航员会感觉自己像在地球上一样向下加速。这些例子表明，我们很难判断

自己感受到的是重力，还是仅仅处于一个加速参考系中。

根据等效原理，自由落体是一个惯性参考系。

等效原理的一个推论是，自由落体是一个惯性参考系。人们常说，绕地球运行的宇航员处于失重状态，仿佛不受重力影响。这种说法并不正确。正是重力使宇航员绕地球运行。然而，绕地球运行的宇航员始终处于围绕地球的自由落体状态。在持续下落的过程中，宇航员感觉不到任何重量。这种感觉与我们在地球表面的日常体验截然不同——地球表面限制了我们的自由落体。正是这种“失重”的感觉，让许多人在乘坐游乐园的某些游乐设施时短暂体验到愉悦感（尽管有些人会感到不适，甚至晕船）。国际空间站的自由落体参考系提供了一个极佳的惯性参考系，即使从地球上的视角来看，它正在加速运动。但再次强调，根据等效原理，自由落体是一个惯性参考系。这表明，在某种程度上，受重力影响但不会下落的参考系（例如，位于地球表面）终究不是惯性参考系。

这种推理使爱因斯坦认识到，引力可以（注意这里的条件词“可以”）被视为在非惯性参考系中产生的一种虚构力。如果自由落体的人处于惯性参考系中，那么站在地球表面的人则不处于惯性参考系中。因此，

站在地球上的人必须假设存在一种他称之为引力的虚构力。用数学方式表达这一点需要一个四维参考系，即由空间的三维加上时间维度构成的参考系。为了将这个四维空间与通常的三维空间区分开来，这个新的四维空间通常被称为**时空**。在这种观点下，不受合力作用的物体在时空中以恒定速度运动。这些直线路径被称为**测地线**。物质的存在会使时空弯曲。在弯曲的时空中沿着测地线运动的物体，在我们看来似乎是在加速运动。这解释了引力如何在比牛顿引力更根本的层面上运作。但广义相对论并没有告诉我们引力是什么。与牛顿引力理论一样，广义相对论仅仅描述了引力的行为方式。

结论：引力仍然非常活跃。

在广义相对论中，引力是一种虚构的力。那么，这是否意味着引力根本不是一种力呢？尽管地平论者欣喜若狂地宣称引力已死，但关于引力已死的说法被大大夸大了。¹ 如果你翻开任何一本普通物理教科书，你会发现引力在书的开头就被称为一种力，并在整本书中都被视为一种力。直到教科书的后半部分，你才会看到对四种基本力的讨论，而引力正是其中之一。因此，对于地平论者能找到的每一条物理学家声称引力不是一种力的引文，我大概都能找到至少一百条物理学家持相反观点的引文。这算矛盾吗？其实不然。在物理

学中，我们常常可以用多种方式看待问题。例如，我们经常用力和加速度来解决力学问题，但我们也常常可以用能量守恒定律来解决同样的问题。哪种方法更好呢？不过这并不重要，因为能量约束法通常更容易，因为能量是标量，而力和加速度是矢量。

或许，物理学家以两种截然不同的方式看待现象的一个更恰当的例子就是我们对光的理解。在经典力学中，物体可以是粒子，也可以是波，但不能同时是两者。然而，我们有充分的证据表明光同时具有波粒二象性。因此，在量子力学中，我们最终认定光既是波又是粒子。事实上，粒子，例如电子，也具有波粒二象性。这种波粒二象性在经典力学中是一个矛盾，但在量子力学中却并非如此。量子力学和广义相对论是现代物理学的两大支柱。虽然广义相对论不将引力视为一种力，但量子力学却将引力视为一种力。这正是引力被视为基本力的基础。基本力是通过粒子的交换来传递的。通过基本力相互作用的粒子会交换被称为规范玻色子的其他粒子。光子就是粒子用来传递电磁力的规范玻色子。

传递引力的假想规范玻色子是引力子。然而，与传递其他基本力的规范玻色子不同，引力子尚未被探测到。部分原因是引力是所有基本力中最弱的，因此引力子极难探测。但更大的问题在于，我们目前还没有可以

用来预测引力子性质的量子引力理论。发展量子引力理论面临诸多障碍。其中之一是，一个成功的量子引力理论必须同时包含广义相对论。目前尚无人知晓如何做到这一点。在实现这种统一之前，量子力学和广义相对论都是不完备的理论。既然这两个理论都不完备，我们就不应该将其中一个理论的某些方面（例如引力不是一种力）强加于另一个理论之上。在此之前，请放心，引力是一种力，即使在广义相对论中它不是一种力。

读完这篇文章，你心里是否有一些触动？有没有一些新的想法，或者值得你认真思考的问题？或许，你也开始重新思考自己的信仰和人生的方向。

如果你愿意，现在就可以向上帝祷告，打开心门，成为祂的儿女。祷告不需要华丽的言辞，只要一颗真诚的心。你可以这样祷告：

天父上帝，今天我来到你面前，愿意立定心志，宣告我相信耶稣基督是我的救主，是我生命的主。我愿意离开过去那些不讨你喜悦的生活方式，求你赦免我的过犯。靠着你的恩典，帮助我学习顺服你、爱人如己，活出你所赐的新生命。求圣灵每天引导我、扶持我，使我一生荣耀你的名。奉主耶稣基督的名祷告，阿们。

如果你已经做了这个祷告，愿你知道，你并不孤单。信仰的道路需要陪伴和成长。鼓励你在自己居住的地方，寻找一间合适的教会，与弟兄姐妹一同聚会、学习和成长。

如果你有任何疑问，或在信仰上需要帮助，欢迎随时写信与我们联系。我们愿意倾听，也愿意与你一同前行。