



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。

科里奥利效应、傅科摆与地平说运动

不过，我还是会再次探讨这个话题，试图纠正地平说信徒对科里奥利效应的误解。

科里奥利效应是地球自转的证据。由于地平说信徒经常要求提供地球自转的证据，我在我的著作《[彻底失败：对地平说的驳斥](#)》的第 181-187 页中讨论了科里奥利效应。自从去年出版这本书以来，我更加深刻地意识到地平说信徒对科里奥利效应的理解存在多么严重的缺陷。如果他们能认真读读我的书，或许会有所帮助。毕竟，我也阅读和听过他们大量的资料，所以这样做也算公平。尽管如此，我仍将再次探讨这个话题，试图纠正地平说信徒对科里奥利效应的误解。



+

图片由 Michael Rivera 提供，来自 [Wikimedia Commons](#)。

或许先演示一下科里奥利效应会很有帮助。假设你坐在游乐场的旋转木马上，大约在中心和边缘的中间位置。再假设从上方看，旋转木马正以恒定的速率逆时针(CCW)旋转。如果你把一个球滚向旋转木马的中心，你会看到球的运动轨迹会向右弯曲，偏离中心。如果你转身把球滚向边缘，远离中心，你仍然会看到球的运动轨迹向右弯曲。但是请注意，由于你已经转身，第二次的偏转方向与第一次相反——第一次偏转的方

向与旋转木马的旋转方向一致，而第二次偏转的方向则与旋转方向相反。

现在设想一个不在旋转木马上的人，比如说，一个栖息在上方树上的人。他看到的景象肯定与你不同。无论旋转木马是否转动，他都会看到小球沿着直线运动。最后，重复这个实验，这次旋转木马停止转动。你和树上的观察者会一致认为：小球沿着直线运动，没有发生任何偏转。这是怎么回事呢？

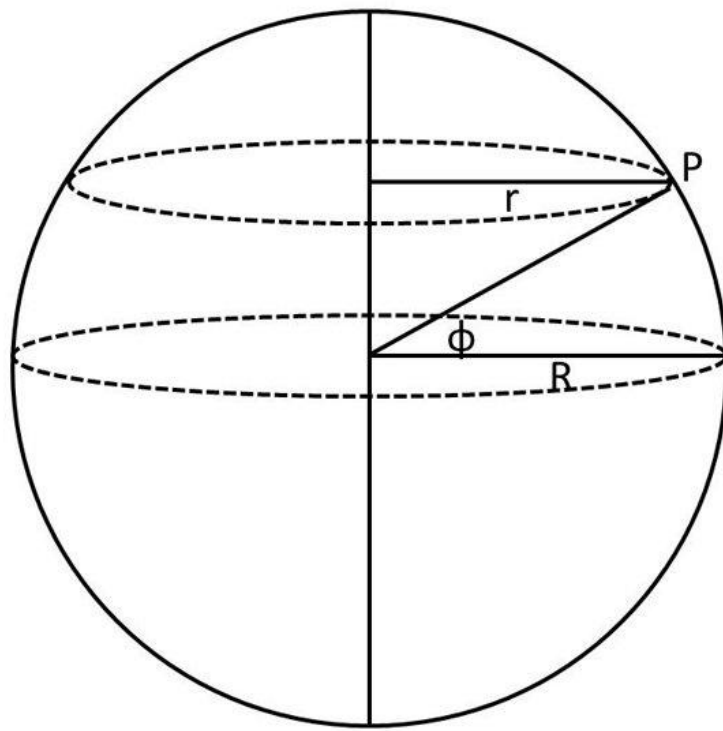
拍摄 1

理解科里奥利效应的方法不止一种，我们先从一个简单的例子开始。旋转木马可以像刚体一样旋转。这意味着旋转木马的各个部分在旋转过程中保持相对位置不变。我们可以说旋转木马的所有部分都以相同的角速度旋转。角速度的单位通常是弧度/秒，但我们也可以使用其他单位，例如度/秒、转/秒或转/分钟。另一方面，旋转木马的各个部分绕旋转轴的线速度并不相同。线速度的单位有很多种，但米/秒或英尺/秒是最合适的。根据经验，旋转木马边缘的线速度最大，而旋转木马的中心线速度为零。有一个表达式将线速度 v 、角速度（以弧度每秒衡量） ω （欧米伽）和半径 r 联系起来：

$$v = r\omega$$

注意，该方程与以下观察结果相符：在旋转木马的中心（ $r = 0$ 处）线速度为零，而在旋转木马边缘（ r 最大处）线速度最大。还要注意的，线速度的方向垂直于半径的方向。

当坐在旋转木马中心中间位置时，半径 r 是最大半径的一半，因此该位置的线速度是边缘最大线速度的一半。假设旋转木马的边缘以 2.0 英尺/秒的线速度逆时针方向运动。因此，中心和边缘中间的点将以 1.0 英尺/秒的速度运动。如果你从该点向中心滚动一个球，球将继续以 1.0 英尺/秒的速度垂直于中心方向运动，但旋转木马的中心是静止的。因此，球看起来会向旋转木马中心的右侧偏转。现在假设你向相反的方向，即边缘方向滚动球。由于边缘以 2.0 英尺/秒的速度运动，而不是球的 1.0 英尺/秒的速度，球看起来会向右偏转，落后于它最初被抛向的边缘点的旋转速度。另一方面，无论哪种情况，树上的人都会看到球沿直线运动。但是，树上的人看到的运动方向与旋转木马的半径方向并不相同。



+

图 1. 纬度为 ϕ 的 P 点的人，其半径为 $r = R \cos (\phi)$ ，其中 R 为地球半径。

我们可以用这个例子来理解科里奥利效应在自转的地球上是如何起作用的。赤道上的物体以近 1040 英里/小时的速度向东运动，每天完成一次自转。与此同时，两极的物体则完全静止不动。中间纬度的物体绕着地球自转轴做圆周运动，速度从赤道的 1040 英里/小时到两极的 0 英里/小时不等。这是因为物体到地球自转轴的距离取决于纬度。对于给定的纬度 ϕ ，到自转轴的距离 r 由下式给出：

$$r = R \cos \phi ,$$

其中 R 为地球半径（4,000 英里）。纬度 φ 处的旋转线速度 v 由下式给出：

$$v = 1,040 \text{ 英里/小时} \cos \varphi。$$

。

例如，在我居住的北纬 39° ，我们以近 810 英里/小时的速度向东移动。如果北半球的一团气团从低纬度向高纬度移动（向北移动），它会遇到陆地，而陆地向东移动的速度不如它快。因此，从地球表面（以及地球上的观察者）的角度来看，这团气团在向北移动的过程中会向右偏转（向东）。然而，从地球上参与地球自转的观察者的角度来看，这团气团是沿直线移动的。另一方面，如果北半球的一团气团从高纬度向低纬度移动（向南移动），它也会向右偏转，但这次是向西偏转。

与此同时，南半球的气团将向相反的方向偏转，即向左偏转。这意味着，向赤道移动的气团将向西偏转（与北半球的情况相同），而远离赤道的气团将向东偏转（与北半球的情况相同）。

对天气和气候的影响

许多人误以为科里奥利效应本身就能解释飓风、冬季风暴和龙卷风等风暴系统的旋转。然而，还有另一个

因素在起作用，我稍后会谈到。科里奥利效应直接影响的是不同纬度的盛行风。在热带地区，强烈的阳光照射加热地表，热量传递到空气中。受热的空气浮力更大，因此会上升。随着空气上升，温度降低，水汽凝结成雨。这就是为什么热带地区雨林如此普遍的原因。地面的空气需要补充，因此高纬度地区的空气会被推入。科里奥利效应使涌入的空气向西偏转，所以热带地区的盛行风向是自东向西。这些风被称为信风，因为在动力船出现之前，帆船航行时会利用信风。

热带上升气流到达数英里高空后，便会远离热带地区，向亚热带地区移动。最终，这股气流会下降到地面，其中至少一部分会以信风的形式返回热带地区。然而，也有一部分气流会远离热带地区，向温带纬度地区移动。这些风向会自西向东偏转。我们称之为盛行西风，它是温带纬度地区的主导风向。在极地地区，还存在另一股下沉气流。当这股气流返回低纬度地区时，科里奥利力会使其自东向西偏转，方向与信风相同。因此，科里奥利力导致了三种不同的风向，而这三种风向又取决于纬度。

有组织的风暴系统，例如飓风，还有一个额外的因素。

飓风等有组织的风暴系统还有一个额外的因素。在地面上，有组织的风暴系统中心气压较低。其他区域的高气压会迫使空气向低气压中心移动。在北半球，科里奥利效应会导致涌入的空气向右偏转，无论空气是向北还是向南朝向低气压中心移动。然而，风暴中心的地面气压仍然较低，而风暴中心以外的气压较高。这种高气压会持续迫使偏转的空气返回风暴中心，从而导致风暴中心周围发生逆时针旋转。那么北半球的高压系统又会发生什么呢？在地面上，空气会远离高压中心。科里奥利效应会使空气向右偏转，从而导致高压系统周围发生顺时针旋转。

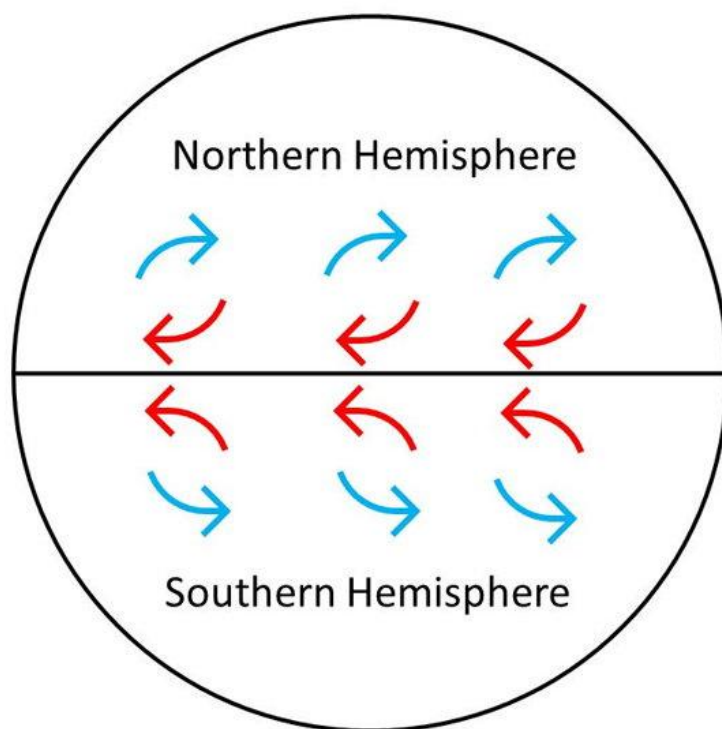


图 2. 北半球的气流运动倾向于向右弯曲，而南半球的气流运动倾向于向左弯曲。结果是，朝向赤道的气流向西偏转，而远离赤道的气流向东偏转。

与此同时，在南半球，科里奥利力偏转方向为左偏而非右偏。因此，南半球的低压系统（例如飓风）顺时针旋转，与北半球大型风暴的旋转方向相反。同样，南半球的高压系统逆时针旋转，与北半球的高压系统旋转方向相反。所有低压和高压系统都严格遵循这一旋转方向。这是由于这些系统相对较大。在局部范围内，科里奥利力非常微弱，但当这种微弱的影响在大范围内放大时，科里奥利力就会变得非常显著。龙卷风是低压系统，因此它们往往与各自半球的大型有组织风暴旋转方向相同。然而，由于龙卷风体积很小，它们偶尔（大约 2% 的情况下）会违反这一普遍规律。需要强调的是，在极短的距离内，科里奥利力的影响非常微弱。科里奥利效应通常只在相对较大的距离上才会显现出来，其局部微小的影响会在很大的距离上被放大。

这就引出了另一个问题：北半球的水槽和马桶排水时是否真的会逆时针旋转，而南半球的水槽和马桶排水时则会顺时针旋转？答案是，既是，也不是。在水槽和马桶的整个尺寸范围内，科里奥利效应非常微弱。拔掉水槽塞子或冲马桶时，水流几乎都会产生微小的

圆周运动，这种运动足以抵消科里奥利效应。事实上，在大多数水槽和马桶中，很容易人为地改变其旋转方向，使得拔掉水槽塞子或冲马桶时，水流会沿着预设的方向流动。如果排除所有其他因素，那么北半球的水槽和马桶倾向于逆时针旋转，而南半球的水槽和马桶倾向于顺时针旋转。然而，要完全排除所有其他因素的影响是很难的。

飞机是否受科里奥利效应影响？是的。但是，请记住，科里奥利效应在局部范围内非常微弱，只有在远距离放大后才会变得明显。与气流和洋流不同，飞行员或自动驾驶仪会不断调整飞机的飞行路径，以补偿湍流和风向变化等诸多因素。这些修正远远超过了微弱的科里奥利效应。子弹是否受科里奥利效应影响？是的，但由于其射程相对较短，偏转幅度很小，因此会被其他因素（例如风向变化）所掩盖。然而，在使用远程火炮（例如军舰上的火炮）时，必须考虑科里奥利效应。

第二遍

上文对科里奥利效应的第一个解释更多的是通过举例说明。当旋转平台上的物体移动到不同的旋转半径时，从旋转平台上观察，物体会发生偏转。虽然这是一个很好的解释，但它并没有完全揭示其背后的物理原理。动量是物体质量和速度的乘积。如果物体不受任何合

力作用，那么物体的动量守恒。这正是上文对科里奥利效应的相对简单解释所依据的原理。虽然本质上是正确的，但动量守恒更适用于非旋转的情况。然而，旋转的情况则要复杂得多。

在旋转系统中，必须考虑力矩和角动量。力矩是力与力作用半径的乘积。例如，用扳手拧紧螺栓，可以通过增加力矩或延长扳手手柄来增大作用半径。角动量是角速度与物体转动惯量的乘积。对于小质量物体，转动惯量可以近似为物体质量乘以运动半径的平方。我们可以用公式表示如下：

$$L = m r^2 \omega ,$$

其中 L 为角动量， m 为物体的质量。改变物体的角动量需要力矩。如果物体不受合力矩作用，则其角速度保持不变。由于上述例子中旋转木马上的小球不受合力矩作用，因此小球的角动量守恒。所以，随着 r 的变化， ω 的变化方向必须相反。也就是说，如果 r 减小，则 ω 增大；如果 r 增大，则 ω 减小。需要注意的是，如果旋转木马以匀速旋转，则其角速度保持不变。但是，由于小球的角速度会随着其与旋转木马中心距离的变化而变化，因此小球相对于旋转木马会发生偏转。它将如何偏转呢？如果小球向旋转木马中心滚动，其运动半径减小，这意味着其角速度增大。因此，小

球会朝着旋转木马的旋转方向偏转。反之，如果小球远离中心滚动，它就会朝着与旋转方向相反的方向偏转。这就是我们观察到的现象。

第三次

但看待这个问题还有更好的方法。牛顿三大运动定律能够非常精准地描述我们周围的世界。例如，牛顿第一运动定律指出，如果物体不受任何合力作用，它将保持静止或沿直线运动。牛顿第二定律指出，当物体受到合力作用时，物体将产生加速度，加速度与合力成正比，与物体的质量成反比。牛顿运动定律需要稍作调整才能适用于旋转的情况。即使我们可能没有完全理解牛顿力学的描述，我们也能凭直觉理解这些定律。此外，我们用哪个参考系来观察这些现象并不重要，只要我们使用的参考系不是加速运动的即可。最后一点是物理学的关键所在。什么是参考系？[这段视频有助于解释参考系](#)。例如，这段视频从大约 17:00 开始对科里奥利效应进行了非常好的解释。

如果参考系处于加速运动状态呢？牛顿定律在加速运动的参考系中就不那么适用了。例如，飞机起飞加速时，机舱内的所有物体除了向下运动外，似乎还在向机舱后部“下落”。任何松散且容易移动的物体（例如穿着溜冰鞋在过道里走动的空乘人员）都会沿着过道飞速滑下，撞到机舱后部。当然，为了防止这种情

况发生，起飞时要求空乘人员和乘客系好安全带，并将所有物品收好。坐在座位上的乘客会感到被向后推。既然牛顿运动定律要求这种加速度是由力引起的，那么究竟是什么神秘的力将物体推向飞机后部呢？对于静止在飞机外的观察者来说，并不存在这种神秘的力。如果机舱过道里有一位空乘人员穿着旱冰鞋，那么飞机外面的人透过窗户会看到这位空乘人员一动不动，而飞机却在她周围加速前进。

谁能正确看待这种情况？是飞机外静止不动的人。飞机内的人看到的物体在没有外力作用的情况下加速，这违反了牛顿第一运动定律。物理学家认为，飞机外静止的观察者处于惯性参考系中，而飞机上的乘客则处于非惯性参考系中。惯性参考系是指不发生加速度的参考系，而非惯性参考系是指发生加速度的参考系。但这并不意味着惯性参考系是静止的。匀速运动的参考系不发生加速度，因此它和静止的参考系一样，都是惯性参考系。这种区别至关重要，因为牛顿定律在非惯性参考系中必须进行修正才能适用。

旋转参考系，例如旋转的旋转木马或自转的地球，都是非惯性参考系，因为任何圆周运动都需要加速度。这是因为，根据牛顿第一运动定律，如果物体不受任何合力作用，它将沿直线运动。由于圆周运动并非直线运动，因此任何圆周运动都需要向心加速度（指向

中心的加速度)。力会产生加速度，因此产生向心加速度的力通常被称为向心力。对于系在绳子末端旋转的物体，绳子的张力提供了向心力。对于绕地球运行的月球，地球的引力提供了向心力。对于旋转木马和地球，它们的内部结构提供了向心力。对于旋转木马上的物体，物体与旋转木马之间的摩擦力使它们保持在旋转木马上。对于旋转木马上的乘客来说，或许正是他们抓住旋转木马的某个部件才使他们保持在旋转木马上。在自转的地球上，人体的一部分重量提供了向心力，使人体能够随地球一起旋转。

想象一下汽车转弯的情景。轮胎与路面之间的摩擦力提供了汽车转弯所需的向心力。与此同时，车内的乘客会被甩向弯道外侧。座椅上的物品可能会向外侧滑动。我们把这些现象归因于离心力。但是，离心力究竟是如何产生的呢？它似乎是一种神奇的力，每当我们转弯时就会出现。假设这辆汽车是敞篷车，车顶敞开，而一名线路工人正在车顶上方的升降车上作业。他不会看到这种神奇的离心力在起作用。相反，他会看到座椅上的物品会继续按照牛顿第一运动定律沿直线向前运动，除非物品与座椅之间存在足够的摩擦力，迫使物品随汽车一起转动。车内乘客感受到的那种甩动感，是由于他们的身体在受到车辆向心加速度作用的同时，又被迫保持直线运动而产生的。乘客所承受

的向心加速度，是由他们与座椅之间的摩擦力、抓握车内部件的力以及肩部安全带和腰部安全带的力共同作用的结果。同样，从惯性参考系来看，离心力并不存在。离心力是一种人为设定的力，当我们处于旋转（非惯性）参考系中时，为了解释我们所观察到的现象，我们必须引入它。

有时人们会把科里奥利效应称为“科里奥利力”，但这并不准确。并没有任何力会使运动的气团在自转的地球上发生偏转。这实际上是由于在自转地球的非惯性参考系中观察事物而产生的效应。位于地球上且随地球自转的观察者能够正确地观察到这种情况：气团沿直线路径运动。但对于随地球自转的观察者来说，向北或向南运动的气团在经过与其自转速度不同的地形时，看起来会发生偏转。

地平说信徒对科里奥利效应的误解

在最近的一篇[博文](#)中，我讨论了一群特别恶劣的“地平说”信徒，我称之为“BB 小组”。虽然最近网络上关于“地平说”的新内容似乎有所减少，“BB 小组”却依然活跃。他们对科里奥利效应进行了大量的讨论，而且他们关于科里奥利效应的论点很可能会成为“地平说”信徒中的主流观点。问题在于，“BB 小组”成员根本不理解科里奥利效应。他们引用的只是教科书和网站上关于科里奥利效应的入门级解释。由于对科

里奥利效应的误解，“BB 小组”曲解了这些资料的内容。然后，“BB 小组”利用他们对科里奥利效应的错误理解，试图驳斥地球是旋转球体的说法。由于他们对科里奥利效应的运用不当，他们的论证实际上是稻草人谬误。

BB 小组经常引用的资料之一是道格拉斯·A·塞加斯的《海洋科学导论》。BB 小组引用了该教科书第 481 页中的两个要点（共 8 个要点）：

当被赋予运动时，包括空气和水团在内的自由运动会沿着直线路径运动，而地球则继续独立自转。

由于自由运动的物体不会随地球自转而运动，因此它们会受到一种称为“科里奥利效应”的视偏作用。对于随地球旋转的观察者来说，沿直线运动的自由运动物体在地球上看起来会沿着曲线路径运动。

在解读这段引文时，这些地平说信徒犯了几个错误。他们的第一个错误是误解了引文第一点中“水体”一词的含义。他们正确地将“水体”之前的“空气”理解为地球大气层，但他们错误地将“水体”理解为云和空气中的水蒸气。“水体”指的是地球上的大片水体，即海洋。如果 BB 小组仔细阅读过他们喜欢引用的

这本教科书，就会发现这一点。例如，[在这本教科书最新版的第 181 页](#)，就有这样一段话：

首先，地球上任何运动的物体，包括水流中的水，都会受到科里奥利力的作用而发生偏转。

教材随后引用了上述两点论述的出处。在同一页上，还出现了这样一句话，同样引用了更详细解释科里奥利效应的章节：

这种偏转现象的发生是因为风吹动的水流受到科里奥利效应的影响。

第 183 页出现了这句话，其中同样提到了对科里奥利效应的更详细描述：

包括空气和水在内的所有流体，在水平流动时都会受到科里奥利效应的影响。

在这本教科书的第八章（关于海洋环流）中，有很多类似的句子。从 BB 小组对科里奥利效应的讨论中可以明显看出，他们并不理解气体和液体都是流体。既然流体的普遍特性是流动性，那么地球上的空气和海洋都是“自由运动的物体”。

教科书作者本可以把他的意思表达得更清楚一些，但我怀疑他是否想过会有人如此误解他的意思。

这些地平说支持者犯的第二个错误是他们错误地理解了所引用教科书中第一点中“独立”一词的含义。他们将其解释为空气不随地球旋转（顺便一提，坚持严格地心说的古希腊人也提出了类似的论点）。如果这些地平说支持者引用的教科书的意思是空气（和海洋）不随地球旋转，它就会直接说明。教科书的意思是，当空气或水从一个纬度移动到另一个纬度时，它不会自动失去原本的旋转线速度。相反，地球表面运动的流体由于地球自转而保持其原有的旋转线速度，而与它们所经过的地球表面区域的线速度无关。我承认教科书作者本可以把他的意思表达得更清楚一些，但我怀疑他是否想到过会有人如此误解他的意思。

地平说支持者的第三个错误建立在第二个错误之上。当他们看到引用的第二个要点开头写着“自由运动的物体不会随着地球自转而运动”时，他们再次假设自由运动的物体根本不随地球旋转。正如我已经解释过的，这并非作者的本意。作者的意思是，物体在地球上自由运动时，由于地球自转，其线速度保持不变，而与它们所经过的地形的旋转线速度无关。那么，什么物体不能在地球上自由运动呢？火车受到铁轨的限

制，因此它们不能在地球上自由运动。汽车在高速公路上行驶也是如此。路面和轮胎之间的摩擦力阻止了它们自由运动。

BB 小组引用了其他关于科里奥利效应的简要讨论，这些讨论描述了地球在运动物体下方旋转的现象。例如，CK-12 基金会成立于 2007 年，旨在为美国的初等和中等教育提供基于网络的 STEM 教育资源。[以下是他们关于科里奥利效应的页面上的部分内容：](#)

科里奥利效应会导致自由运动物体的运动轨迹看起来呈曲线状。这是因为地球在其下方自转。因此，即使物体的运动轨迹是直线，看起来也会是弯曲的。

请注意“自由运动的物体”这个术语，地平说信徒很容易误解它的含义。还要注意第二句话：“这是因为地球在物体下方自转。”如果理解正确，这句话在技术上是正确的，但措辞可能不太恰当，因为有些人可能会误解。这句话并非意味着空中运动的物体不参与地球自转。正如我多次提到的，它的意思是这些运动的物体继续以它们在地球表面开始运动时的旋转速度运动，而不是以它们运动的地面的旋转速度运动。从这个意义上讲，这些运动物体下方的地面以不同的线速度旋转（尽管物体和地面具有相同的角速度）。

故意歪曲事实？

基于这些误解，BB 小组轻率地着手证明地球不自转。他们首先错误地描述了科里奥利效应。BB 小组认为，既然自由运动的物体独立于地球自转，而地球在自由运动物体下方自转，那么自由运动的物体根本不会自转。他们接着论证，如果这个假设成立，那么任何升空的物体从地球表面看都会以发射点所在位置的地面自转速度向西飞去。例如，BB 小组声称，从赤道发射的无人机不会悬停在发射点上空，而是会以接近 1040 英里/小时的速度向西飞去。他们给出的另一个例子是，从北卡罗来纳州夏洛特飞往加利福尼亚州洛杉矶的飞行时间非常短。这两个城市都位于北纬 35° 附近，该区域的自转速度应该约为 850 英里/小时。如果将飞机的空速增加到 600 英里/小时，那么飞机相对于地球的飞行速度应该达到 1450 英里/小时。考虑到机场之间的距离为 2125 英里，那么飞行时间应该约为 1.5 小时，而不是通常的 4.5 小时。BB 小组进一步指出，热气球只需 3 小时即可完成这段旅程，方法是升空后等待洛杉矶上空的旋转。

显然，这里存在问题。地平说信徒会同意，他们认为问题在于地球自转的假设是错误的，从而证明地球不自转。然而，其实有一个更好的解释。地平说信徒假设物体一旦升空，就会立即失去所有水平动量。但这

需要一个水平力（暂且不提这种力需要一定时间才能使物体从地面起飞时失去所有动量）。牛顿第一运动定律指出，在没有合力的情况下，运动的物体将继续沿直线运动。当无人机或气球从地面升空时，除了风力之外，没有水平方向的合力。因此，无人机或气球将保持起飞前的向东旋转速度。由于地面也具有相同的速度，因此气球或无人机与地面之间不会存在净运动（同样，忽略风力）。飞机起飞时也不会神奇地失去旋转运动。如果他们真的这么做了，那就严重违反了动量守恒定律以及牛顿第一运动定律。

验证牛顿第一定律在这个问题上的适用性非常容易。试着垂直抛一枚硬币，让它向上飞行两英尺。硬币上升两英尺需要四分之一秒，落回你手中也需要四分之一秒，总飞行时间为半秒。现在，在以每小时 60 英里匀速行驶的车辆内重复这个实验。非常重要的是，实验过程中车辆不能加速。你会发现结果与你静止不动时相同：硬币会在空中停留半秒，然后落回你手中，从你的视角来看，它只沿垂直方向运动。这是因为这两个实验都是在惯性参考系中进行的，正如我之前提到的，物理定律在所有惯性参考系中都是一样的。但在这半秒内，车辆已经向前移动了 44 英尺。如果地平说信徒关于运动的论断正确，那么从车内观察者的角度来看，硬币应该向后飞了 44 英尺。但由于我们观

察到的并非如此，地平说信徒的说法必然是错误的。顺便一提，站在车外的观察者会看到硬币沿着一条抛物线运动，高度为 2 英尺，长度为 44 英尺。这条抛物线最终会转化为车内观察者看到的垂直上下运动。这是因为两个观察者都处于惯性参考系中。

地平说支持者通常会反驳说，如果把硬币放在平板卡车上做这个运动实验，硬币就会向后飞。但他们没有意识到的是，硬币在这种情况下的向后运动是由风阻造成的。风阻是一种力，一旦引入风阻，我们就进入了牛顿第二定律的范畴，该定律描述了物体在受到合力作用时产生的加速度。而地球自转时不存在风阻。

这种滑稽行为让我觉得 BB 小组（以及许多其他地平说领导人）并不是真的相信地球是平的，而是为了取乐而争论这个问题。

这时，BB 小组通常会哄堂大笑，嗤之以鼻。他们会重提科里奥利效应，反复强调“地球在物体下方自转”的论点。在他们扭曲的理解下，他们认为这意味着地球大气层不会随地球自转。事实上，我曾亲耳听到 BB 小组的成员在他们的 YouTube 节目中询问嘉宾大气层是否随地球自转。如果嘉宾回答“是”，他们就会再次哄堂大笑，并提及风。但认为大气层随地球自转的概念不能解释大气层内部的相对运动（也就是风）是

荒谬的。这种滑稽可笑的行为让我觉得 BB 小组（以及许多其他地平说的领军人物）并非真的相信地球是平的，他们只是为了取乐而鼓吹地平说。

请注意，地平说支持者在论证过程中，试图将科里奥利效应应用于静止物体，例如无人机和气球。然而，科里奥利效应的定义明确指出，它只影响运动物体。地平说支持者似乎忽略了这一事实。他们坚持认为科里奥利效应适用于静止物体，例如气球和悬停的无人机，这恰恰暴露了他们对科里奥利效应的根本误解。

对科里奥利效应的误解还体现在另一个方面。BB 小组的一位成员正确地指出，科里奥利效应需要两个参考系，一个是惯性参考系，另一个是非惯性参考系。他正确地指出，非惯性参考系是自转的地球，但他错误地将惯性参考系认定为地球大气层。由于大气层平均而言会随地球一起旋转，因此这种说法是错误的。正如我上面解释的，惯性参考系是不随地球一起旋转的参考系。可以推测，这个惯性参考系位于地球和大气层之上。

BB 小组再次展现了他们的无知，他们指着飓风的图片，图片显示北半球飓风逆时针旋转，南半球飓风顺时针旋转。他们声称科里奥利效应是一种“视偏转”，而飓风的旋转模式却是真实存在的。因此，飓风的旋转

不可能是科里奥利效应造成的。这些地平说信徒再次误解了“视偏转”的含义。在旋转地球的非惯性参考系中，这种偏转是真实存在的。之所以称之为“视偏转”，是因为并没有任何力导致它，而只是在非惯性参考系中观察事物的结果。此外，飓风的旋转模式并非仅由科里奥利效应造成。正如我之前解释过的，地球表面气压差也会产生作用力。正是这两个因素造就了飓风特有的旋转运动。在继续讨论之前，必须指出，地平论者通常无法解释为什么飓风和其他大型天气系统在平坦的地球上会呈现出这种运动轨迹。如果能够正确理解科里奥利效应，它便能有力地证明地球是一个旋转的球体。

傅科摆

1851 年，莱昂·傅科首次提供了地球自转的直接证据。这一点非常重要，我在 [《Falling Flat》](#) 一书的第 179-181 页对此进行了讨论。BB 小组在讨论科里奥利效应时有时会提到傅科摆。他们显然认为科里奥利效应是傅科摆岁差的成因。事实并非如此。

傅科摆由一根很长的金属丝和一个沉重的摆锤组成。当将金属丝从垂直平衡位置拉到一侧并松开时，摆锤会以一定的周期来回摆动。这种摆动定义了一个振荡平面。由于金属丝很长且摆锤很重，傅科摆可以摆动很长时间，直到风阻以及枢轴和金属丝上的摩擦损耗

使其停止。摆锤顶端的枢轴能够沿水平方向自由旋转至关重要。大多数傅科摆都不具备这一特性，而是限制了摆锤只能在一个平面内摆动。如果没有这种限制，傅科摆的振荡平面就会以一定的速率进动或旋转。

$$T = \left(\frac{T_0}{\sin \phi} \right)$$

其中 T_0 为恒星日（23 小时 56 分钟）， ϕ 为纬度。

为什么傅科摆会发生进动？作用在摆锤上的力只有重力和导线的张力。由于张力沿导线方向，且导线位于摆锤摆动的平面内，因此张力的大小和方向不断变化。在平衡位置的一侧，张力有一个指向平衡位置的分力；在平衡位置的另一侧，张力有一个指向平衡位置的反方向分力。正是线性动量和这个指向平衡位置的恢复力使摆锤保持摆动。由于张力分力的方向来回变化，摆锤在一个完整周期内所受的平均合力为零。因此，尽管摆锤来回摆动，但其其他部分保持静止。这一点至关重要，因为正如我前面讨论的，科里奥利效应只影响运动的物体，而且只影响运动一段明显距离的物体。因此，科里奥利效应不会导致傅科摆发生进动。

傅科摆之所以会发生进动，是因为角动量守恒。由于导线中的张力方向与摆锤的摆动半径方向一致，因此它对摆锤产生的力矩为零。摆锤的重量（由于重力）

会产生一个垂直于摆锤摆动平面的力矩。然而，在一个摆动周期的半个周期内，力矩的方向与另一个周期的半个周期相反。因此，平均而言，摆锤受到的净力矩为零。由于没有净力矩，角动量守恒。角动量的方向垂直于摆动平面，因此在没有力矩的情况下，摆动平面将保持静止。所以，如果地球不自转，傅科摆的摆动平面将保持静止。但是，如果地球自转，那么对于处于地球非惯性参考系的人来说，傅科摆的摆动平面就会发生进动。上述进动周期的推导超出了本文的范围。许多高等力学教材都会详细解释其推导过程。顺便一提，大多数摆中用于限制摆动平面的装置会产生一个微小的扭矩，导致该平面发生移动（从惯性参考系来看）。这就是为什么大多数摆不会出现进动现象，并且在制作傅科摆时必须格外注意消除这种限制。

科里奥利效应和傅科摆的进动有何不同？两者都源于在非惯性参考系中观察物体。科里奥利效应和傅科摆都基于角动量守恒。然而，科里奥利效应只作用于在旋转参考系中运动相当距离的物体。由于傅科摆的运动距离为零，因此不受科里奥利效应的影响。

结论

地平说信徒对科里奥利效应和傅科摆的错误解读，正是地平说运动的典型特征。BB 小组对物理学一窍不通。科里奥利效应和傅科摆都是地球自转的直接证据。难

怪地平说信徒反对这两项现象，因为如果他们接受其中任何一项的真实性，就会直接推翻他们关于地球是平的、静止不动的信念。

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。