

# 惯性质量的内容及其与引力质量相等的机理（或原因）

张正华

**摘要：**在宇宙中不存在不受力的物体，也不会存在静止或作匀速直线运动的物体。惯性不是物体保持静止或匀速直线运动的性质，而是保持原来变速运动的性质。确认了这一点后容易看到，保持原来变速运动状态的是在每一层次物质系统中物体所受的引力和其轨道速度。对于处于同一个引力场中同一位置的多个物体，它们在每一层次物质系统中的轨道速度是相同的，所受的引力与其引力质量成正比，于是对它们来说惯性质量与引力质量之比必然是常数。

**关键词：**惯性质量的内容；惯性质量与引力质量相等的机理

## The Content of Inertial Mass and the Cause why Inertial Mass is Equal to Gravitational Mass

ZHANG Zheng-hua

**Abstract:** There are no objects in the universe that are not subject to forces, nor are there objects that are at rest or moving in a straight line at a constant speed. Inertia is not the property of an object to remain at rest or in uniform linear motion, but rather the property of maintaining its original accelerated motion. After confirming this, it is easy to see that what maintains the original variable speed motion state is the gravitational force and orbital velocity experienced by the object at each level of the material system. For multiple objects at the same position in the same gravitational field, their orbital velocities are the same at each level of the material system, the gravitational force they experience is proportional to their gravitational mass, so the ratio of their inertial mass to gravitational mass must be a constant.

**Keywords:** the content of inertial mass; the cause why inertial mass is equal to gravitational mass

### 1 引言

根据牛顿力学第二定律  $f = m_i a$ ，可以确定物体的惯性质量  $m_i$ 。根据牛顿引力定律  $f = G \frac{M_g m_g}{r^2}$ ，可以确定物体的引力质量  $m_g$ 。惯性质量是物体惯性大小的量度。惯性是物体保持原来运动状态的性质，它阻碍物体的运动状态被改变。引力质量是物体发生和接受引力的能力的量度。两种质量反映了物质的两种完全不同的性质，似乎没有什么联系。但是，物理学长期的研究表明， $\frac{m_i}{m_g}$  却是一个与物体的大小、组成无关的常数，即两者成正比。有时也表述为：在采用合适的单位时两者相等。关于这个问题有不少著名的研究，比如伽利略的思想实验、牛顿的单摆实验以及厄卓的扭摆实验，都证明了两种质量相等。但是惯性质量包含哪些内容以及惯性质量与引力质量相等的机理（或原因）一直未被揭示，本文希望给出一种分析。

### 2 关于惯性

不受力时物体会以原来的速度运动下去<sup>[1]</sup>，这样的思想在古希腊即有之；后来有伽利略、笛卡尔等人的研究和阐述。到了牛顿，根据《自然哲学的数学原理》中定义 3 和定律 I 的阐述<sup>[2]</sup>，可以知道牛顿认为惯性是物体保持静止和匀速直线运动的性质。后世的物理学也是持此观点。为了便于后面的讨论，需要提到牛顿力学第一定律（惯性定律）：“每个物体都保持其静止或匀速直线运动的状态，除非有外力作用于它迫使它改变那个状态。”这是现行物理学的一个重要的基础。但是已有作者指出过，这个“不受力时物体静止或作匀速直线运动”是不合理

---

[作者信息] 张正华。中国，山东，济南 250021，济南铁路公安局济南公安处。zhangzhsec@126.com。(ZHANG Zheng-hua. Jinan Police Division, Railway Police Bureau of Jinan, Jinan 250021, Shandong, China)

的。作者认为，“静止和匀速直线运动”可以说是物理学的一个“迷雾”，把相关问题引向了神秘。以下详细讨论。

伽利略通过实验得出结论<sup>[3]</sup>，一个获得速度的小球如果在水平面上运动，不受到加速力和减速力，就会保持原来的速度运动下去。但是，这是水平面的尺度相比地球半径极小时的情形。见图1。在不考虑平面与小球间的摩擦力和空气阻力时，即使小球在 A、B 位置能匀速运动，但是，当运动的尺度扩展到从 A 至 C 这样大的范围，地球对小球的引力的分力 $f_1$ 将使小球减速并停下来。

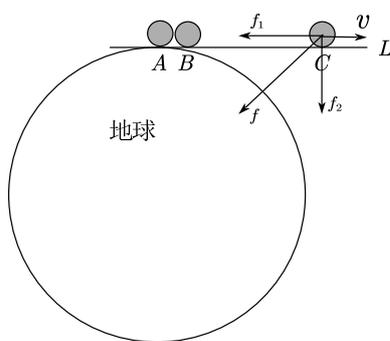


图1 地球表面一水平面上小球的运动

对这个分析无疑会有这样的质疑：伽利略已经明确说明是在没有加速力和减速力的情况下。作者的回答是：1. 我们不能在假设没有引力的情形下阐述自然规律，也不能局限在相比地球半径极小的尺度下阐述自然规律，因为引力无处不在，并且相比地球半径尺度极小的区域其代表性也是有限的。牛顿分析道：“抛射体如果没有空气阻力的阻碍和重力向下牵引，将维持射出时的运动。”<sup>[2]</sup>如果地球没有引力，其他天体的引力也不会存在，宇宙大约不能形成现在的样子。爱因斯坦对惯性定律的表述是<sup>[4]</sup>：“一物体在离其他物体足够远时，一直保持静止状态或保持匀速直线运动状态。”恰恰是，“一物体离其他物体足够远”这种情形并不存在。正像一位作者说的，如果一个物体不受力，那宇宙中一定只有它自己，没有参照物，也就不存在是否静止和是否是匀速直线运动的。

作者认为，这个“静止和匀速直线运动”是物理学的一团“迷雾”或说一个“魔咒”。当我们基于“静止和匀速直线运动”去思考时，会使相关问题走入神秘。如果我们放弃“静止和匀速直线运动”，立足于实际存在的物理现象，一些问题将会变得明晰起来。

这实际情形就是，宇宙间的所有物体都在受力，都在做变速运动。于是，只能有这样的表述：惯性是在不对物体施加新的力时，物体保持原来运动状态的性质，而原来的运动是变速运动。顺便提到，作者在此基础上已经找到了适用于牛顿第二定律的参照系。

此外一个问题是，惯性是物质的内禀性质，还是与周围物质堆积的某种影响有关。自马赫以来<sup>[5]</sup>，物理学家已经相信物质的惯性是与宇宙间物质的某种影响有关的。基于这一思想，并结合上面的讨论，两种质量相等的问题将变得容易解决。

### 3 惯性质量以及惯性质量与引力质量相等的机理（或原因）

当舍弃了“不受力”和“静止或匀速直线运动”这层迷雾，确认“惯性是保持原来变速运动状态的性质”后，对具体物体的运动进行分析，将很容易看到原来的运动状态是什么和是什么在保持或掌控物体的运动状态。

以地球的卫星为例，它们的运动有绕地运动、绕日运动和绕银心的运动，还可以沿着这个线索继续列举下去。首先看绕地运动，保持这个运动的状态的只能是地球的引力和其绕地轨道速度。保持其绕日运动的状态的只能是太阳的引力和其绕日轨道速度。同样，保持其绕银心的运动状态的，是来自银心的引力和绕银心的运动速度。……推至最远处，具体到宇宙深处的一

个天体，如果它的引力场已传播至地球卫星处，它的引力将对地球卫星有作用，地球卫星相对它的运动应该是月球在宇宙间的漂移速度，即用微波背景辐射确定的地球的“绝对速度”（忽略月球的绕地轨道速度时）。对于不属于这个归属系列的天体，比如地球之外的其他行星，比如与银河系毗邻的星系，只要它们对地球的卫星有引力作用，卫星相对于它们有运动速度，这个引力与运动速度的组合也会对卫星的惯性有贡献。也就是，我们认为物体的惯性是由物体的相关内禀性质，和每一个引力与运动速度的组合之总和决定的。

引力和速度是如何保持物体原来的运动状态的？可以看到，运动速度是要导致绕转体（比如上文中的地球卫星）远离中心体的，引力是要导致绕转体趋近中心体的，无疑两者之间存在一种“张力”（暂时借用这个概念）。这种“张力”可能是保持原来运动状态的原因或原因之一。但是，引力与运动速度的“耦合”（暂时借用此概念）其实是引力场的某种性质与运动速度的“耦合”。因此我们注意到，引力场的这种性质是以引力场的传播速度从中心体传播至绕转体所在处的。将这个速度记为 $C$ 。于是，绕转体相对引力体的这种性质有速度 $C$ ，还有一个轨道速度 $v$ 。因此，绕转体相对引力场的这种性质的速度是 $\vec{C} + \vec{v}$ 。于是我们认为，某一个绕转系统对绕转体惯性质量的贡献是

$$m_{i1} = kGf(v) \frac{M_{g1}m_g}{r_1^2} (\vec{C} + \vec{v}_1) \quad (1)$$

其中 $Gf(v) \frac{M_{g1}m_g}{r_1^2}$ 是质量为 $m_g$ 的绕转体受到的引力， $f(v)$ 指新引力理论加进的与 $v$ 有关的新内容， $k$ 是比例系数。上推至太阳系、银河系、本星系群、本超星系团以及所有相关质量，整个绕转体的惯性质量应为

$$m_i = \sum_{j=1}^n kGf(v) \frac{M_{gj}m_g}{r_j^2} (\vec{C} + \vec{v}_j) = m_g \sum_{j=1}^n kGf(v) \frac{M_{gj}}{r_j^2} (\vec{C} + \vec{v}_j) \quad (2)$$

从式(2)已经可以看出，处在同一个引力场中同一位置的两个物体，只有引力质量 $m_g$ 不同，其他部分都是相同的，因此 $\frac{m_i}{m_g}$ 必然是常数。

从式(2)可以看到， $m_i$ 与 $\frac{M_{gj}}{r_j^2}$ 成正比。于是会有一个令人惊讶的结果：以地面附近的物体为例，其惯性质量主要是由地球的引力和绕地速度决定的，而远处的质量所起作用极微。具体计算本文不再写出。

另外，不论地面物体随地球自转而运动，还是地球的卫星绕地运动、绕日运动，在这些运动都是近圆轨迹的意义上，式(2)可写成

$$m_i = m_g \sum_{j=1}^n kGf(v) \frac{M_{gj}}{r_j^2} \sqrt{C^2 + v_j^2} \quad (3)$$

由于引力和运动速度保持原来运动速度的具体机理还不清楚，因此在本文中我们还无法知道不同方向上的惯性质量是不是相同。但是速度会使惯性质量增加是必然的。对于引力理论来说，我们还没有确定的 $f(v)$ ，因此在本文中不再进一步分析 $m_i$ 与运动速度的关系。

无疑，本文还只是一个初步的研究。

## 参考文献

- [1] 郭奕玲, 沈慧君. 物理学史[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.
- [2] 牛顿. 自然哲学之数学原理[M]. 王克迪, 译. 北京: 北京大学出版社, 2006.
- [3] 伽利略. 关于两门新科学的对话[M]. 武际可, 译. 北京: 北京大学出版社, 2006.
- [4] 爱因斯坦. 狭义与广义相对论浅说[M]. 杨润殷, 译. 北京: 北京大学出版社, 2006.
- [5] 马赫. 力学及其发展的批判历史概论[M]. 李醒民, 译. 北京: 商务印书馆, 2014.