

Rethinking the restraint mechanism between the Earth and Moon

Jian Ding

Retired, Integrated Electronic Systems Lab Co. Ltd., Jinan, China
Email: jian dus@163.com

Received: Apr. 21th, 2019, published: Apr. 25th, 2019

Abstract

The Moon is always with the same face toward the Earth. However, the prevailing theory to explain this phenomenon, there is a dead angle. That is why the Moon does not rotate around the axis which is a straight line between the Earth and Moon to connect to their mass centers. Because many of meteorite impact craters on the lunar surface have indicated that the Moon was entirely possible to obtain momentums to rotate around the axis. In this paper, we propose a plain explanation which is the universal gravitation between the Earth and Moon as well as the Earth's magnetic field to have formed a trinity restraint mechanism about the Moon to be locked. According to this explanation, the Moon's rotation can be locked, the mechanism of lunar libration has been revealed out, which can confirm mutually with the natural phenomenon that the Moon seek a balance in the swing. In addition, with the help of all kinds of detection data from the Apollo moon landings and other circumlunar spacecraft to detect, as well as the studies of lunar soil samples, the conclusion is that as a whole for the Moon, which belongs to the paramagnetic substance, its relative permeability is between 1.008 and 1.03. Although the magnetic flux density of the Earth on the lunar orbit has been dropped below 6.5×10^{-5} nT due to the influence of the solar wind, but it can become a reason to lock onto the moon and not rotate around the axis that is a straight line between the Earth and Moon to connect their mass centers. If you cannot find another main reason which can cause the existence of this fact, for the Earth's magnetic field on the lunar orbit, even if the magnetic flux density is very small, also shouldn't be easily ignored. In this regard, we can artificially change the intensity of the Earth's magnetic field, and carefully observe the changes in the lunar libration and in distance between the earth and the moon, to verify the arguments in this paper.

Keywords

Moon; Earth; tidal locking; dipole magnetic field; solar wind; moonfall

反思地月之间的约束机制

丁 健

积成电子股份有限公司（已退休），济南，中国
Email: jiadus@163.com

收稿日期：2019年4月21日；发布日期：2019年4月25日

摘要

月球总是以同一个面朝向地球，而解释这种现象的主流理论存在一个死角，即无法解释月球为什么没有以地月质心之间相连的直线为轴而自转。因为月面上众多的陨石撞击坑表明，它完全有可能获得动量，并以此为轴而自转。本文提出一个朴素的解释，那就是地月之间的万有引力，以及地球的磁场，对月球形成了一个三位一体的约束机制。依据这一解释，月球的自转可以被锁定，并且月球天平动的机理也被揭示出来，它还可以与这种月球在摇摆中寻求平衡的自然现象相互印证。此外，借助阿波罗登月和其它航天器环月飞行等各类探测数据，以及对月壤样品的研究分析，结论是：就月球整体而言，属于顺磁类的物质，它的相对磁导率在1.008和1.03之间；尽管由于太阳风的影响，地球磁场在月球轨道上的磁感应强度已经降低到 6.5×10^{-5} nT以下，但它可以成为锁定月球不以地月质心之间的连线为轴而自转的理由。如果无法找到另一个导致这一事实存在的主要原因，地球磁场在月球轨道上的磁感应强度即使再小，也不应该轻易忽略。对此，我们可以人为地改变地球磁场的强度，并仔细观察月球天平动和地月之间距离的变化，以验证本文的论点。

关键词

月球；地球；潮汐锁定；偶极磁场；太阳风；登月

1. 引言

月球是离地球最近的天体，也是地球唯一的天然卫星。它的直径为 3476 千米，体积相当于地球的 1/49，而质量却只有地球的 1/81。因此，平均密度较小，只相当于地球的 3/5。月球绕地球公转的周期为 27.3 个地球日，轨道呈椭圆形，近地点为 363300 千米，远地点为 405500 千米，平均轨道半径大约为 384400 千米。

在地球上，我们只能看到月球的同一个面，而另外的半个月面总是背向地球。据此，我们把月球朝向地球的一面称之为正面，另一面则为背面。反之，若站在月球的正面看地球，除了自转以外，它在天穹上的位置总是恒定的，就像我们站在房间里观看书桌上的地球仪那样。当然，如果我们站在月球的背面，就不会看见地球。

2. 潮汐锁定的理论存在一个死角

月球自转和公转周期是相同的，所以它总是以同一个面朝向地球。这种现象被称之为“同步自转”，并辅之以“潮汐锁定”的理论予以解释[1]。即早期的月球以较快的速度绕地球公转，并非总是以同一个面朝向地球。由于地月之间存在潮汐摩擦作用，部分地球自转的角动量被转移到月球，导致月球绕地的轨道半径略有增加。当然，地球自转速度也有所减慢。经过漫长的岁月之后，最终达到月球总是以同一个面持续地对地球。

所谓潮汐摩擦作用，只能是通过万有引力在地球和月球之间进行传递。正因为如此，这种潮汐锁定

的理论存在一个死角，那就是它无法锁定月球以地月质心之间相连的直线为轴而自转。为什么要选这条直线为轴？因为所传递的潮汐摩擦作用力，相对于该轴的转矩应该为零。即使不为零，要想锁定月球因获得外来的动量而绕该轴自转，也需要漫长的时间。

我们都知道，在月球表面存在众多的陨石撞击坑，这说明月球完全有可能获得外来的动量，并以此作为轴而自转。也就是说，当月球表面的某处获得一个随机的外来动量时，该动量可以分解为三个分量。第一个分量作用在月球的质心，只能使得该质心移动。第二个分量与该轴垂直，从而形成了相对于该轴的转矩。第三个分量平行于该轴，它与第二个分量合成的效果，使得我们可以看到一些月球背面的信息。

如果月球存在以地月质心之间连线为轴的自转，再辅之潮汐锁定的理论予以解释，我们看不到月球背面的机理或许可臻完善。而事实上，我们只是观测到月球以此为轴在摇摆中寻求平衡，并没有达到自转的程度。这说明地月之间还存在着其它作用力。因此，我们就有必要反思地月之间的约束机理。

3. 朴素的解释与权威的论断

我们需要解释的问题是，为什么月球并没有以地月质心之间相连的直线为轴而自转？对此，本文提出一个朴素的解释，那就是地月之间的万有引力以及地球的磁场，对月球形成了一个三位一体的约束机制。由于月球本身的特点，即月球的质心相对它的形心朝着地球方向偏移了大约 2 千米[2]，所以月球的质心并不在其两个磁极的连线上。就是这种三角形的约束机制，使得我们只能看到月球的同一个面。

在这样一个三位一体的约束机制下，一旦月球获得一个随机的外来动量，除了造成它的质心有所偏移外，还会产生一个以地月质心之间的连线为轴的转矩，而发生自转。这时，就必然会引发该机制产生一个相反的力，来纠正月球质心的偏移，同时还产生一个相反的力矩，来阻止月球绕该轴而自转。同理，另外还有一个垂直于该轴的转矩，也会被该机制阻止。因此，作为一种自然现象，月球只能在摇摆中寻求平衡。这就是所谓的月球天平动（Libration），或称之谓天秤动。早在十七世纪，就已经被天文学家观测到了。由于天平动，人们在地球上能看见的月面可达到 59%，只有其余 41% 看不见。

对于这种三位一体的约束机制，有一个前提，那就是月球必须像地球那样，具有一个全球性的偶极磁场。但非常遗憾，依据上世纪阿波罗登月以及其它环月飞行探测所得到的资料，科学家们有一个共识，即现代月球没有全球性的偶极磁场[3]。

阿波罗 15 和 16 的子卫星、Luna 10 和 Explorer 35，以及 Lunar Prospector 等航天器环月飞行探测所得到的资料显示，整个月面磁感应强度的平均值大约为 4 nT，且不同地区的磁感应强度也相差较大。如月球正面一般为 0.75~6 nT，个别地区甚至大于 100 nT。阿波罗登月计划共进行了 6 次载人登月，先后有 12 位美国宇航员登上月球。也就是说，如果每个宇航员都持有可以适用于 0.75~100 nT 磁感应强度的指南针，当他们处在月球上的不同地区时，指南针所指示的方向并不相同。

4. 估算地球磁场在月球轨道上的强度

地球具有一个全球性的偶极磁场。一般来说，磁偶极子在空间某一点的磁感应强度，与该点到磁偶极子中心距离的 3 次方成反比[4]。地球表面的磁感应强度，赤道附近约为 30000~40000 nT，地磁的北极约为 61000 nT，地磁的南极约为 68000 nT。已知地球的平均半径为 6371 千米，地月之间的平均距离为 384400 千米，若对地球表面的磁感应强度取平均值为 50000 nT，我们就可大致估算出地球这个磁偶极子在月球轨道上的磁感应强度，如下：

$$B_1 \approx 50000 \times \left(\frac{6371}{384400} \right)^3 = 0.227637 \quad (\text{nT})。$$

首先，有必要重新考察各探月航天器所携带的磁力计精度。譬如，月球勘探者号（Lunar Prospector）所携带的磁力计精度[5]仅为 0.2 nT，就显得难以胜任。再者，由于存在太阳风与地球磁场的相互作用，其结果导致地球磁场在月球轨道上的磁感应强度远远小于 0.2 nT。

太阳风是一种等离子体，它也有磁场。在地球磁场的反抗作用下，太阳风绕过地球磁场而继续向前运动。于是，形成了一个被太阳风包围且呈彗星状的地球磁场区域，这就是地球的磁层，位于海拔 600~1000 千米高处。通常认为，在海拔高度 5~7 万公里处，所形成的磁层外边界叫磁层顶。在哪里，地球磁场的作用已经微乎其微，或可认为止步于此。

如果在月球轨道上还存在非常微弱的地球磁场，它的磁感应强度大概是多少呢？我们已知地球表面磁感应强度的平均值约为 50000 nT。依据阿波罗 15 号卫星的磁场观测数据，在月球轨道上的永久磁偶极矩的上限为 1.3×10^{18} （高斯·立方厘米）[6]。再根据第七代国际地磁参考场模型，1965 年地球中心的偶极子磁矩为 8×10^{22} （安培·平方米）[7]，即 1×10^{27} （高斯·立方厘米）。借助此二者的比值，对于在月球轨道上的地球磁场，其磁感应强度的上限就可大致估算出来，如下：

$$B_2 \approx 50000 \times \frac{1.3 \times 10^{18}}{1 \times 10^{27}} = 6.5 \times 10^{-5} \quad (\text{nT})。$$

5. 事物存在的主要原因不能忽略

就地磁在月球轨道上的磁感应强度 B_2 而言，虽然这个估算值已经微乎其微了，却不应该被人为地忽略掉。因为这构成了否定现代月球没有全球性的偶极磁场的依据。对于本文所提出的问题，即月球并没有以地月质心之间的连线为轴而自转，如果无法找到另一个导致这一事实存在的主要原因，地球磁场在月球轨道上的磁感应强度即使再小，也是不能轻易忽略的。因此，现代月球没有全球性的偶极磁场，这一权威性的论断也必须重新审核。

我们知道，按照物质在外磁场作用下所表现出的磁性现象，通常可分为顺磁、抗磁和铁磁等三类。那么，月球在外磁场作用下将会如何表现呢？

在阿波罗登月计划中，踏上月面的 12 位美国宇航员除了进行各类探测外，还带回了 381.7 千克月球土壤的样品。对月岩样品的分析表明，31 亿年以前的月球有过较强的磁场[8]，其强度或许与我们地球的磁场大致相当。如果月球曾经有过全球性的偶极磁场，那么它就应该存有一个铁质的核心[9]。而现代月球没有全球性的偶极磁场，导致这一权威性论断的各种可靠的证据，都显示出月球不可能有这样一个核心。这两种论断看似对立，其本质上却表达出一个统一的含义，即月球中必定含有相当数量的与铁有关的物质[10]。

事实上，也的确如此。对月球土壤样品剩余磁化强度的研究表明，月壤中的铁具有超顺磁特征[11]。也就是说，存在没有磁滞现象（即剩磁和矫顽力都几乎为零）的纯铁。此外，月壤中还含有大量在地球上极其稀有的金属元素，如钛、铬、钇等等。这些金属只有在很高的温度下，约摄氏 2500 度左右，才会与周围的岩石融为一体。或许，此刻我们应该去畅想一下，31 亿年以前的那个铁质核心，是如何化整为零，转变为具有超顺磁特征的纯铁，而融溶在月壤之中的。

更具说服力的测量数据，来自放置在月表的 ALSEP 自动仪器站和 Explorer 35 航天器，显示就月球整体而言，属于顺磁类的物质，它的相对磁导率（ $\mu_r = \mu / \mu_0$ ）在 1.008 和 1.03 之间[6]。

6. 结论

反思地月之间的约束机理，本文提出一个朴素的解释，那就是地月之间的万有引力，以及地球的磁

场，对月球形成了一个三位一体的约束机制。这个解释与潮汐锁定理论并不排斥，并且可以弥补该理论的不足之处，既可以锁定月球，使它不能以地月质心之间的连线为轴而自转；又可以解释月球的天平动，并与这种月球在摇摆中寻求平衡的自然现象相互印证。但这要有一个前提，那就是月球必须像地球那样，具有一个全球性的偶极磁场。

阿波罗登月和其它航天器环月飞行等各类探测，以及对月壤样品的研究数据表明，月球中存在相当数量具有超顺磁特征的纯铁；再就是月球整体而言，属于顺磁类的物质，它的相对磁导率在 1.008 和 1.03 之间。鉴于此，若想断言现代月球没有全球性的偶极磁场，必须要有一个先决条件，那就是不存在外界恒定磁场的作用。也就是说，如果在月球轨道上存在一个恒定的磁场，那么月球就必定会被磁化，从而形成一个全球性的偶极磁场。

当然，这个恒定的磁场应该就是地球的磁场。尽管由于太阳风的影响，其磁感应强度已经降低到 6.5×10^{-5} nT 以下，但它可以作为锁定月球不以地月质心之间的连线为轴而自转的理由。如果无法找到另一个导致这一事实存在的主要原因，地球磁场在月球轨道上的磁感应强度即使再小，也是不能轻易忽略的。对此，我们可以人为地改变地球磁场的强度，并仔细观察月球天平动和地月之间距离的变化，以验证本文的论点。

参考文献 (References)

- [1] Murray, C.D., Dermott, S.F. (2001) *Solar System Dynamics* [M]. Cambridge University Press, England.
- [2] 孔祥元, 李建成, 郭际明, 等. 地心和月心引力常数及月球形心与质心的确定[J]. 大地测量与地球动力学, 2006, 26(2): 109-114.
- [3] 李泳泉, 刘建忠, 欧阳自远, 等. 月球磁场与月球演化[J]. 地球物理学进展, 2005, 20 (4): 1003-1008.
- [4] 任来平, 赵俊生, 侯世喜. 磁偶极子磁场空间分布模式[J], 海洋测绘, 2002, 22 (2) : 18-21.
- [5] 肖智勇, 曾佐勋. 月球磁场研究新进展[J]. 地球物理学进展, 2010, 25 (3) : 804-808.
- [6] Russell, C.T., Coleman, P.J., Schubert, G.Jr. (1974) Lunar magnetic field: permanent and induced dipole moments [J]. *Science*, 186: 825~826.
- [7] 王月华. 地球磁场的全球变化特征[J]. 地球物理学进展, 1999, 14(3): 115-121.
- [8] Fuller, M. (1998) Lunar magnetism--a retrospective view of the apollo sample magnetic studies [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 23(7, 8): 725-735.
- [9] Runcorn, S.K. (1996) The formation of the lunar core [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60: 1205-1208.
- [10] Nagata, T., Fisher, R.M., Schwerer, F.C. (1972) Lunar rock magnetism [J]. *The Moon*, 4: 170-196.
- [11] Nagata, T., Carleton, B.J. (1970) Natural remanent magnetization and viscous magnetization of apollo 11 lunar materials [J]. *Journal of geomagnetism and geoelectricity*, 22(4): 491-506.