

地月双行星轨道运动的长周期潮汐力变化规律

系统

于。N. Avsyuk 拉马斯洛夫

收稿日期:2010 年 9 月 19 日 / 接受日期:2011 年 3 月 29 日 / 在线发表:2011 年 4 月 19 日
施普林格科学+商业媒体 BV 2011

摘要 我们研究了从北半球和南半球的五个天文台收集到的不同月相对应的长周期、206 天和 412 天的潮汐海平面变化。Desplanque 和 Mossman 发现并仔细研究了加拿大东部海岸芬迪湾的海平面变化,变化周期分别为 206 天和 412 天 (Proceedings of the 4th Bay of fundy Workshop Saint John,新不伦瑞克2001,大西洋地质 40:1,2004)。目前的手稿侧重于分析大量观测海平面潮汐数据以及对日-地-月系统中潮汐力变化的严格数学分析。我们开发了一个概念和数学双重模型,用于解释太阳-地球-月球系统中的天文周期,以解释观察到的周期性。

基于日地月系统潮汐力变化的解析解,表明潮汐力可以分解为两个分量:开普勒分量和扰动分量。计算了潮汐力变化的扰动分量,结果表明,观测到的大气和水圈潮汐的周期分别为 206 天和 412 天,是由潮汐力的扰动分量变化引起的。潮汐力扰动分量的幅度为 $19.9 \cdot 10^{-8} \text{ N/kg}$ 。

它与潮汐力的开普勒分量的幅度相同数量级: $58.9 \cdot 10^{-8} \text{ N/kg}$ 。因此,在涉及潮汐的地球动力学构造中,必须始终考虑潮汐力变化的扰动分量以及开普勒分量。

于。N. Avsyuk
Institute Physics of the Earth, B. Gruzinskaya St., 10, 123995 Moscow, Russia 电子邮件: avsyuk@ifz.ru

洛杉矶马斯洛夫 (&)
Aims College, 20th Street, 5401, Greeley, CO 80634, USA 电子邮件: lmaslov@aims.edu; ms_leo@hotmail.com

LA Maslov 计算
中心 RAS, 65, Kim Yu Chen Str., 680000 Khabarovsk, Russia

关键词 地球 月球 海平面 潮汐 地震强度 潮汐力 重心
双行星系统

1 简介

太阳-地球-月球系统中潮汐力的变化导致了固体地球、大气和水圈中的许多潮汐循环。以下是主要的周期:主月半日M2、主日半日S2、大月椭圆半日N2、月日K1和月日O1。较长的周期周期是:阴历每月Mm、阴阳会合双周Msf和阴阳双周Mf。阴历月Mm周期持续时间为27.55天,月阴双周周期持续时间为14.76天,月阴双周周期持续时间为13.36天。

上述潮汐周期可以作为地球和月球地震活动的触发机制。例如,对月球潮汐影响下地球地震活动性的研究 (Tamrazian 1967)表明,当月球处于近地点时,发生的地震次数最多,而在月球处于远地点时,发生的地震次数最少。已经对由昼夜和半日潮引发的地震活动进行了深入研究 (Me'tivier et al. 2009)。这里表明,月球的相位和地震事件的时间之间存在明显的相关性,置信度为 99%。地球和月球地震活动的空间规律研究 (Levin 和 Sasorova 2010)揭示了地球和月球地震分布的相似性。地震分布在两条纬度带内:赤道两侧约 20-40 处。

过去的研究 (Kosygin 和 Maslov 1986)讨论了固体地球潮汐可能产生的地球动力学后果,例如地震活动、岩石圈漂移和磁场产生。

Desplanque 和 Mossman (2001, 2004)发现并仔细研究了潮汐海平面的变化,变化周期分别为 206 天和 412 天。这些作者研究了加拿大东部沿海芬迪湾的海潮变化。然而,文献中更普遍地讨论了昼夜、半昼夜和阴历月的影响。由阿波罗任务进行的月球地震活动研究表明,月球地震活动的周期为 27 天,也有 206 天的周期 (Lammlein 1974)。于。Barkin 和合著者 (Barkin et al. 2005)报告说,月球的地震活动周期在 200-240 天和 360-440 天之间。对 1960-2003 年间莫斯科地区大气气温变化的研究 (相对于平均值的绝对值)揭示了 27、87、206 和 355 天的周期 (Sidorenkov 2009)。

在这项工作中,我们的目标是:

- (a) 表示与从全球五个不同天文台收集的各种月相相对应的潮汐海平面变化,以研究这些潮汐的周期性。
- (b) 建立一个太阳-地球-月球系统中的天文周期模型来解释观察到潮汐海平面变化的周期性。
- (c) 应用日地月球系统中潮汐力变化的解析解,表明潮汐力可以分解为两个分量:开普勒分量和扰动分量。
- (d) 计算扰动分量,并表明观测到的大气和水圈潮汐的周期性 (206 天和 412 天)是由潮汐力的扰动分量变化引起的。

2 海潮及其解释

图1显示了俄罗斯摩尔曼斯克的 syzygial 海潮图;威廉姆斯港,辣椒;斐济苏瓦,勒威克,苏格兰;从 1977 年到 1979 年,俄罗斯马加丹。

从这些图中可以看出,潮汐在北半球和南半球的不同天文台同步且独立地发生。也可以看出,潮汐变化存在明显的周期性。两个最接近的满月和新月最大值之间的时间间隔等于 7 个月 (&206 天),每个变化的周期等于 14 个月 (&412 天)。图2显示了 1977-1983 年摩尔曼斯克和 1977-1994 年马加丹海平面潮汐变化。在这里,如图 1 所示,在整个记录中可以清楚地看到周期为 206 天和 412 天的海平面潮汐变化和正交海平面变化。正交潮相对于 syzygial 潮移动了 3.5 个月 (&103 天)。

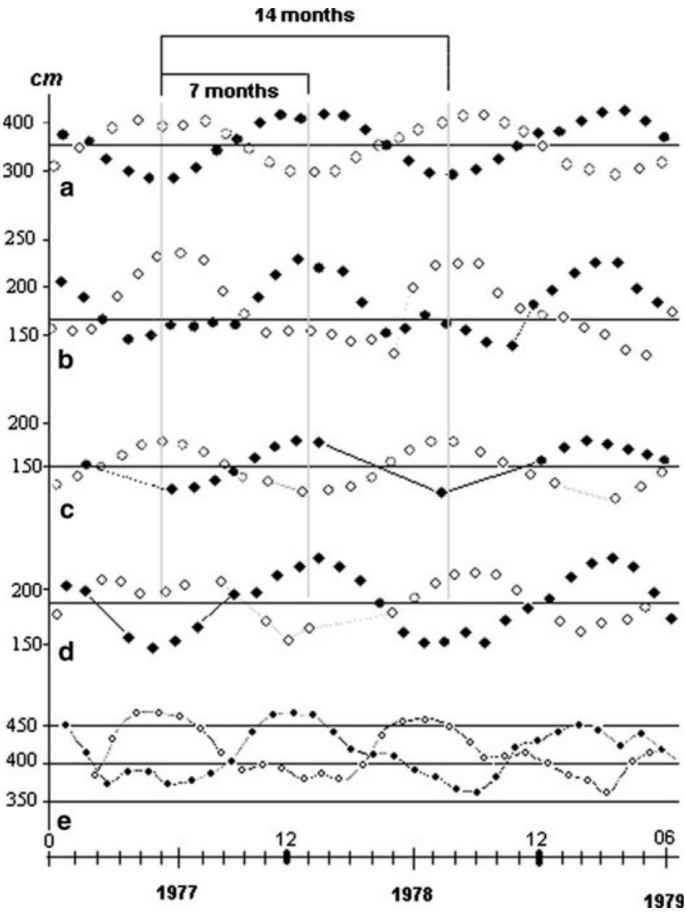


图 1 满月和新月时的海潮高度。a在摩尔曼斯克（俄罗斯）,北纬 68.97 度,东经 33.08 度 b在威廉姆斯港（智利）,南纬 54.93 度,西经 67.62 度 c在苏瓦（斐济）,南纬 18.13 度,东经 178.43 度 d在勒威克（苏格兰）, 60.15 N, 1.15 W. e在马加丹（俄罗斯）, 59.57 N, 150.8 E. 空心圆,子弹 syzygial 满月和新月潮

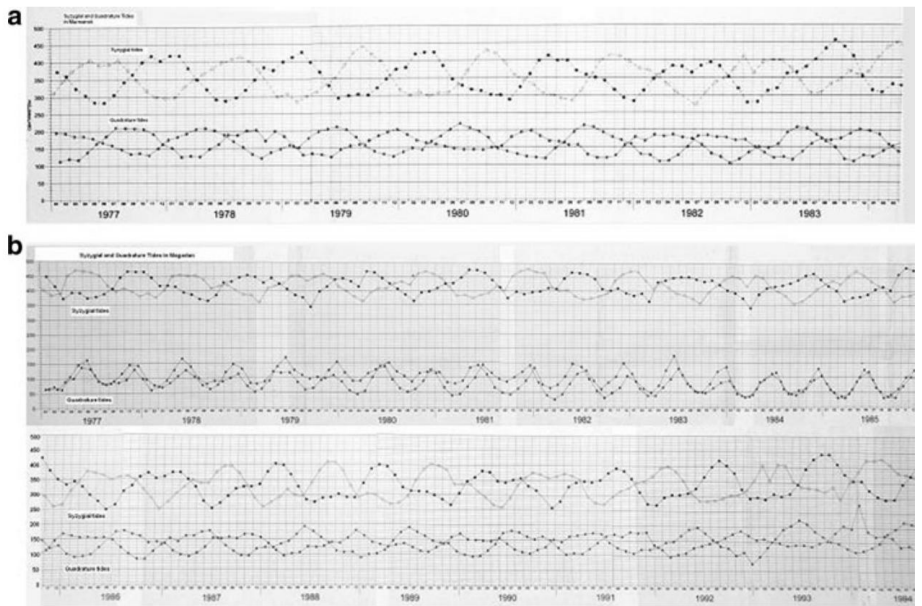


图 2 摩尔曼斯克 (a) 和马加丹 (b) 1977-1983 年和 1977-1994 年时间间隔的折角和正交潮高度

上述数据由以下机构提供给我们:NN Zubov State Oceanographic Institute, www.oceanography.ru (摩尔曼斯克天文台);英国海洋数据中心,英国, www.bodc.ac.uk, (Puerto Williams、Suva 和 Lerwick 天文台);海洋地质与地球物理研究所 FEBRAS, www.imgg.ru/rus/index.php, (马加丹天文台)。从 Desplanque 和 Mossman (2001 年,图 7 和图 8)中,还可以将加拿大东部沿海芬迪湾的长期潮汐海平面变化添加到上述数据中。

区别

$$H_{\text{Hötpm}} H_{\text{Hötpnm}} \frac{1}{4} H_{\text{Hötp}} \quad \delta 1P$$

(满月时的潮汐减去新月时的潮汐)从观测数据计算得出,图1a,由以下函数近似:

$$D_{\text{Hötp}} \frac{1}{4} 120 \sin \frac{2\pi}{14}$$

周期 T & 14 个月,或 &412 天,图3。

对图1 中的其他数据进行了类似的近似。在所有情况下,最佳拟合显示为 T 和 14 个月期间。

为了更清楚地显示潮汐和天文周期之间的对应关系,潮汐函数 H(t) 的零点和最小异常月份绘制在同一图表上,图4。从该图中可以看出,函数的零点H(t) 很好地对应于月球和地球运动的最小异常月,周期为 7 个月 (&206) 天。

从所有材料中可以看出,地球长周期水圈潮汐的周期性与大气变化的周期性是一致的

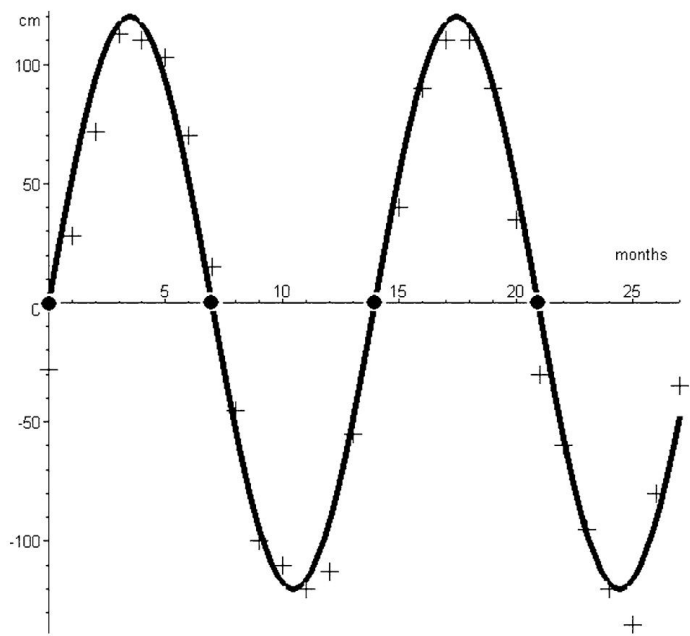


图3 摩尔曼斯克满月潮和新月潮的高度差,图1a,公式 (1)

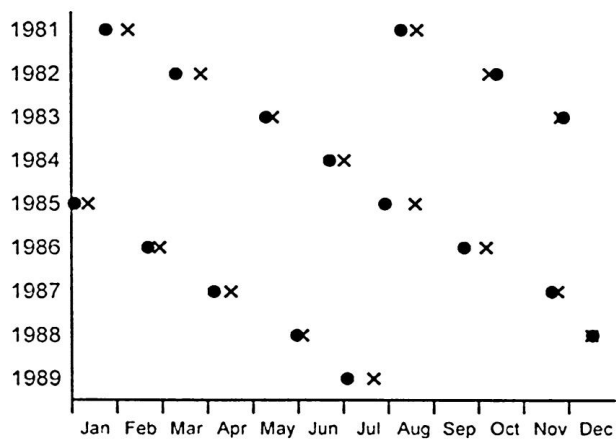


图 4 函数 $H(t)$ 和最小异常月分布的零点。Bullet 函数 $H(t)$ 的零点,times 最小异常月份

温度以及月球地震活动的周期性,由阿波罗任务的地震站记录的 206 天。

地月双行星系统轨道运动的3个周期

研究地球-月球质心围绕太阳的轨道运动,以及地球和月球围绕它们共同质心的轨道运动, (Avsyuk 1996;

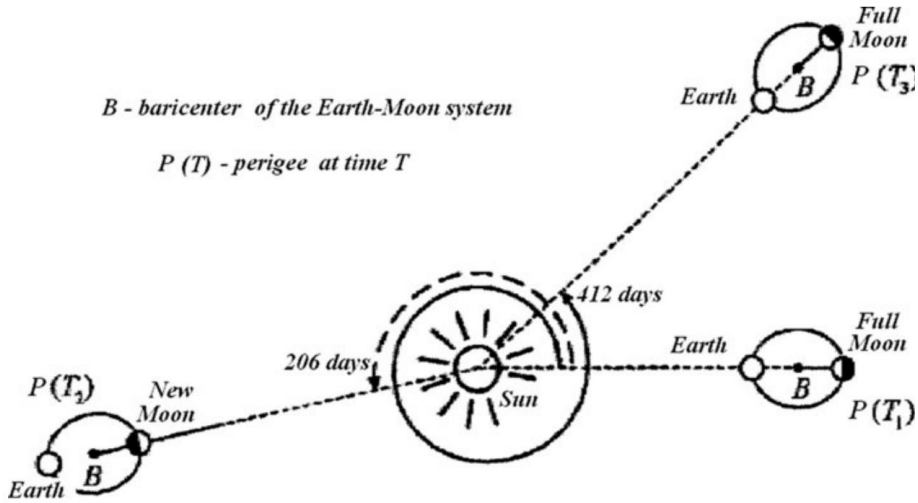


图 5 满月时间重现与通过轨道近地点重合的图示。由于月球（地球）轨道的长轴在太空中不是固定的（近地点公转周期为 3230.25 天），因此在 $T_3 = T_1 + 412$ 天。时间点 T_2 确定了与通过近地点重合的新月

Avsyuk and Suvorova (2006) 表明,从近地点的一个满月到下一个近地点的满月的时间与从一个高潮到另一个高潮的时间相同,为 412 天。假设 T_1 是在整个系统处于近地点的情况下观察满月的时间,如图 5 所示。

在 206 天,即总 412 天周期的二分之一后,我们将再次获得系统的轨道近地点,但使用新月相而不是满月相;让我们把这个时间称为 T_2 。原始配置将出现在时间 T_3 , T_1 后 412 天,图 5。这是由于地月轨道在空间中不是固定的,其近地点公转周期为 3230.25 天。

这个推理可以帮助我们理解 206 天和 412 天潮汐周期的本质在质的层面上。

4 地-月-日系统潮汐力的变化。数学解

地月双星系统围绕太阳的运动可以表示为两个分量的总和:地月质心围绕太阳的轨道运动(开普勒运动),以及地球和月球围绕它们的运动。共同重心(扰动运动)。扰动运动描述了地球质心在围绕地月质心的椭圆轨道上的周期性运动。在天文学中,这种现象被称为月球不等式,角度变化为 6.44 英寸。

地球在月球和太阳的重力场中的扰动运动产生了一个额外的潮汐力分量,我们称之为扰动分量。在这种方法中,作用在地球上的总潮汐力是两个分量的总和:开普勒和扰动。在物体的无扰动(开普勒)和扰动运动的情况下潮汐力变化的理论首先是在 Yu 的工作中发展起来的。N. Avsyuk (Avsyuk 1996, 2001)。作为月球、太阳和地球位置函数的总潮汐力

相对于彼此是作为运动方程组的解获得的
拉格朗日形式。潮汐力表示为 Keplerian, K 分量的总和：, 和不安,P ,

$$F = K + P$$

δ2p

开普勒分量由以下公式描述：

$$K = \frac{G M_2}{q_1^3} \left(1 - \frac{M_2}{R_1^3} \right) \left(\frac{R_1}{q_2} \right)^3$$

δ3p

Perturbed 组件的写法如下：

$$P = \frac{G M_2}{q_1^3} \left(\frac{3}{2} \cos^2 \delta - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{R_1}{q_2} \right)^3$$

δ4p

M1; M2; M3是地球、月球和太阳的质量, q1是到地球中心的距离
月球到地球上任意一点的距离, q2是从太阳中心到
地球上任意一点, R0是地月质心到地月质心的距离
太阳, R1是地球和月球重心之间的距离。订购条款
δ p R1=R0在 (3)和 (4)的推导中省略。在这个公式中 r 和 s 是单位
分别在径向和切向方向上的向量,D ¼ kS kM, kS和kM是
太阳和月亮的经度。编写了一个计算机程序来研究
不同输入参数的潮汐力。函数 jj P =C 的图,计算公式为
两周间隔,如图6所示。潮汐力的长周期变化与
周期 206 和 412 天由包络函数很好地显示清晰可见
在图6 中。

值得注意的是,206天周期的振幅约为1.803
倍小于 412 天周期的幅度。扰动的幅度
潮汐力分量为 19 9 10-8 N/kg。它与数量级相同
潮汐力的开普勒分量幅度:58 9 10-8 N/kg。由此可见
必须始终考虑潮汐力变化的扰动分量
在涉及潮汐的地球动力学构造中具有开普勒分量。

公式 (4)不包含天体与a之间的角距离
天赤道。这意味着月球和太阳相对于
地球赤道是产生 206 和

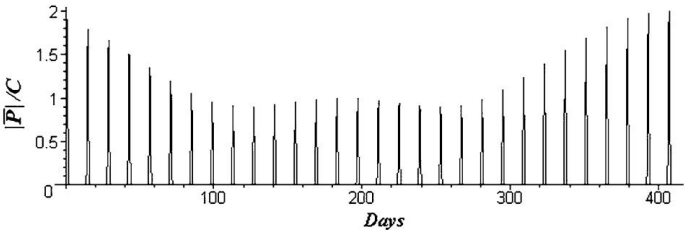


图 6 以两周为间隔计算的潮汐力 jj P =C 的扰动分量图

412 天。Desplanque 和 Mossman (2004, Fig. 68, p.106) 在他们对芬迪湾潮汐的研究中也提到了这一事实。

5 结论

我们已经提供了大量新数据:位于北半球和南半球的五个不同观测站(摩尔曼斯克、马加丹、勒威克、威廉姆斯港和苏瓦)记录的 1977 年至 1985 年的潮汐和正交海平面变化。我们已经证明这些潮汐有 206 天和 412 天的周期;它们独立于天文台的地理位置并且在时间上是同步的。为了研究这种现象,我们开发了地球-月球-太阳系统中潮汐力变化的数学理论

并从解决方案评估了扰动潮汐力变化的周期及其大小。我们从这个解中表明,扰动潮汐力分量的长周期变化周期为 206 天和 412 天,这与地球和月球作为双星系统的轨道运动的周期和规律性具有极好的相关性。我们还从该解决方案中表明,潮汐力的扰动分量的大小为 $19.9 \cdot 10^{-8} \text{ N/kg}$ 。非常重要的是,该力仅比潮汐力 $58.9 \cdot 10^{-8} \text{ N/kg}$ 的开普勒分量的大小小三倍。因此,在涉及潮汐和其他行星过程的地球动力学构造中,必须始终考虑潮汐力变化的扰动分量以及开普勒分量。

我们讨论了其他作者的结果,这些结果表明潮汐力的长期变化不仅对地球的水圈,而且对地球的大气层以及地球和月球内部都有重大影响。地球和月球地震活动的长周期变化,周期为 206 天和 412 天,是该系统潮汐力相应变化的直接表现。

致谢 我们感谢本文的编辑和审稿人的评论、评论和耐心,为我们工作的显着改进做出了贡献。这项工作得到了 RFBR 赠款 09-05-00426-a 的支持。

参考

- 于 Avsyuk, 潮汐力和自然过程 (UIPE RAS, 莫斯科, 1996 年) 190 页。在俄罗斯 Yu. N. Avsyuk, 《消息报》物理学家。固体地球 37, 11 (2001)
- 于 Avsyuk, I. Suvorova, Izvestia Phys. 固体地球 42, 7 (2006)
- 于 Barkin, J. Ferrandiz, M. Ferrandez, 地球、月球、水星和泰坦地震活动:观察到和预期的现象。(月球和行星科学 XXXVI, 2005 年), <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2005/pdf/1076.pdf> 2010 年 9 月 10 日访问 C. Desplanque, DJ Mossman, 2001. Fundy 潮汐的基本原理。(p.178-204), In: Chopin, T., and Wells, PG, (eds.), 2001. 保护、恢复和加强芬迪湾沿海栖息地的机遇和挑战。2000 年 9 月 19 日至 21 日, 新不伦瑞克省圣约翰湾第四湾基金会研讨会论文集。加拿大环境部, 达特茅斯, 新斯科舍省, 237p C. Desplanque, DJ Mossman, 大西洋地质。40, 1 (2004)
- 于 Kosygin, L. Maslov, 大地构造学 20, 6 (1986)
- D. Lammlein, Rev. Geophys. 空间物理学。16, 224 (1974)
- BW Levin, EV Sasorova, Doklady Earth Sci. 434, 第 1 部分 (2010)
- L. Me´ tier, O. de Viron, CP Conrad, S. Renault, M. Diamant, G. Patau, Earth Planet. 科学莱特。278, 370 (2009)

NS Sidorenkov, 地球自转与地球物理过程之间的相互作用 (WILEY-VCH
Verlag GmbH & Co. KGaA, 魏因海姆, 2009), p. 317 GP
Tamrazian, 伊卡鲁斯。 7, 59 (1967)