



浙江大學

物理实验报告

实验名称: 地球质量和半径的测量

指导教师: 厉位阻

专业: 竺可桢学院混合班

班级: 混合 1903

姓名: 李以衡

学号: 3190102216

实验日期: 3 月 29 日 星期 且 上/下午

一、实验目的:

1. 测量地球的大小和质量，了解自己赖以生存的家园
2. 回顾高中学过的浅薄的天体物理知识
3. 摆脱虚拟平台，体会动手实践的快乐
4. 活动大脑，发散思维
5. 培养积极思考和利用科学思维解决问题的习惯

二、实验原理:

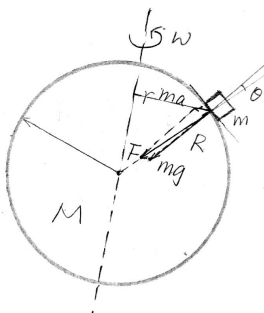
(因为本次试验并非教科书上的内容,没有具体的实验指导,故将实验原理写在实验内容前,以达到对实验思路的梳理)

1. 第一步

要测量地球的半径和大小，很自然的想到使用万有引力公式。

设地球的半径为 R ，质量为 M 。由壳层定理，对于地球表面质量为 m 的物体，地球施加的引力相当于地球质量集中在地球质心时对它
的引力，由万有引力定律有：
$$F = \frac{GMm}{R^2}。$$

如下图所示，地球对物体施加的万有引力“提供”物体的重力和随地球自转的向心力。



由圆周运动知识得，物体的向心力

$$F_x = m\omega^2 r$$

其中 ω 是地球自转角速度，

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{24 * 60 * 60} = 7.27 * 10^{-5} \text{ rad/s}$$

r 是物体到地球轴线的垂直距离，设物体所在的纬度为 α ，则有：

$$r = R\cos\alpha$$

物体受到的万有引力：

$$F = \frac{GMm}{R^2}$$

$$\frac{F_x}{F} = \frac{m\omega^2 r}{\frac{GMm}{R^2}} = \frac{m\omega^2 R^3}{GMm}$$

显然，这是一个非常小的值，也即可以认为物体重力近似等于物体受到的万有引力。所以有：

$$\frac{GMm}{R^2} = mg, \text{ 也即: } \frac{GM}{R^2} = g$$

所以要知道地球的质量和半径，我们首先要算出重力加速度 g 。

2. g 的测量

最简单的方式是，已知物体的重力和质量，利用 $G = mg$ 可以轻松求出 g 。

其他学过的物理公式中，容易想到 g 出现在单摆运动和自由落体运动中，因此，只要根据单摆运动的原理或者自由落体运动的原理，就可以计算出 g 的值。

单摆是一种理想的物理模型，它由理想化的摆球和摆线组成。摆线由质量不计、不可伸缩的细线提供；摆球密度较大，而且球的半径

比摆线的长度小得多，这样才可以将摆球看做质点，由摆线和摆球构成单摆。在满足偏角小于 10° 的条件下，单摆的周期为：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

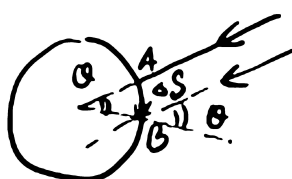
其中 l 为摆线的长度。所以测出 T ， l 就可以求出 g 。

在自由落体运动中，有 $H = \frac{1}{2}gt^2$ ，其中， H 为物体下落的高度， t 为物体下落的时间，测出这两者，可以求出 g 。

由于条件限制，本次实验采用自由落体运动法测量。

3. 地球半径的测量

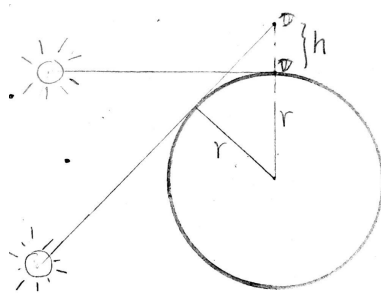
测量地球半径的方法很多，公元前三世纪时希腊天文学家厄拉多塞内斯就首次测量出了地球半径。其原理是：夏至这一天，当太阳光直射塞伊城 A 的水井时，亚历山大城 B 点的天顶与太阳的夹角 θ 为 7.2 度。这两地同一条子午线上，因此，厄拉多塞内斯询问了商队这两座城市之间的“距离” ΔS ，利用 $R = \frac{\Delta S}{\theta}$ 粗略求出了地球半径。



但是由于条件限制，无法利用相隔较远的两地来进行测量。但是上述例子提供了一个思路：作为处在地球上的人，要测量地球半径，可以利用太阳光照（近似认为是平行光）。

虽然在水平距离上受到限制，但是高度上受到的限制较少。因为地球是个球体，所以如果有两个人同一地点的不同高度上，他们看到

的太阳落下的时间是不一样的。如下图所示（夸张处理过）：



记两次落日的时间之差为 t ，观测位置的高度差为 h ，地球的半径为 r ，地球在 t 时间内转过的角度为 α ，容易得到以下公式：

$$\cos \alpha = \frac{r}{r+h}$$

$$\alpha = \omega t$$

联立可以解得地球半径 r 。

4. 利用公式计算地球质量 M

三、 实验内容：

1. 具体方案

① g 的测量

找到一小块废弃铁。A、B 二人同时启动秒表，A 拿着废弃铁块来到屋顶，B 在一楼庭院等待。

A 在屋顶放手，让铁块做自由落体运动，放手的同时秒表停止计时，秒表显示的时间记为 t_1 。B 在庭院等候，看到铁块落地后立即停止计时，秒表显示的时间记为 t_2 。计算时间差 $\Delta t = t_2 - t_1$ 。

测量 6 次，算出铁块的平均下落时间，进而求出重力加速度。

② r 的测量

二人同时启动秒表，A 来到屋顶，B 留在地面，当 B 看到太阳

落下（最后一缕光线消失）时，立即停止计时，秒表显示的时间记为 t_1 ，A 看到太阳落下时，立即停止计时，秒表显示的时间记为 t_2 。计算时间差 $\Delta t = t_2 - t_1$ ，计算地球半径。

2. 数据处理

A 从 2 楼放下卷尺，B 在地面进行读数。测量一层的高度 l ，进而计算整栋楼高 L 。

联系其他实验数据计算得到结果。

四、 实验数据原始记录：

1. 铁块下落时秒表的示数

次数	1	2	3	4	5	6
时间 A	55.49	67.32	64.88	70.83	69.17	80.58
时间 B	57.02	68.85	66.42	72.38	70.70	82.12

2. 日落时秒表的示数（只能测量一次：）

时间 A	时间 B
228.66	254.82

3. 一层楼的高度

次数	1	2	3	4	5	6	平均
高度 (m)	3.50	3.48	3.49	3.50	3.50	3.49	3.49

4.底层楼高(含台阶) (1 到 2 楼与其他楼层之间高度不同) : 4.25m

五、 实验数据处理和结果分析:

1.铁块下落的时间差

次数	1	2	3	4	5	6	平均
$\Delta t_1(s)$	1.53	1.53	1.54	1.55	1.53	1.54	1.537

2. 日落的时间差 $\Delta t_2 = 26.16 (s)$

3. 楼房的高度 $L = 11.24 (m)$

4. 重力加速度 $g = 9.52 (m/s)$

5. 地球半径 $R = 6211.28 (m)$

[$(0.99999812972 \times 11.24) / 1.809579236 / 10^{-6}$]

6. 地球质量 $M = 5.504 \times 10^{24} (kg)$

7. 误差分析:

【铁块虽然比较小,但是为了防止砸坏院子外面包了几层纸,虽然对体积影响不大,但仍受空气阻力影响;计时和测量长度产生的误差。】

标准地球半径的值是: 6371km

绝对误差: -159.72 km

相对误差: -2.53%

地球的标准质量的值是: $5.965 \times 10^{24} kg$

绝对误差: -0.461×10^{24}

相对误差: -7.72%

六、 实验心得：

本次实验很好地锻炼了我，在做实验的过程中感受良多。

实验的方案看上去很简单，实际上是经过几次改进后得到的结果。

例如测量重力加速度时，最开始想使用单摆进行实验，但是没办法找到满足单摆条件的摆绳和小球，故采用自由落体法。在最开始，是想用水滴落下的时间计时的，但是水滴的下落距离太短，下落时间太短——即使采用累加法，计算一百滴水的下落时间，也很并非易事，因为很难控制水龙头的滴水速率，前一滴水和后一滴水落下相隔的时间也很难测定。而且水滴受到空气阻力的影响较大，综合以上因素，最终不得不采用扔铁块（也幸好能从家里乱七八糟的工具房里找到个小铁块）这种暴力的方法。

本来想一个人完成实验，但是涉及到时间的计量，如果一个人进行实验，发现很容易产生偏差。例如在测量重力加速度时，如果只有我一个人，我只能根据物体落地声音来停止计时，这样的误差可能会比较大；而在测量日落时间时，很可能导致我来不及上到顶楼，太阳就已经下山的状况，因此，我选择让家人帮忙，共同完成本次实验。

最开始，本来想让 A（其实是我）在楼顶喊一声，让 B 同时开始计时，但是考虑到声速实在是很慢（比起光速），所以后来改用打手势。最后想想，最不可控的其实就是计时的开始，那么完全可以两个人先站在一起，同时开始计时，其中一个人再去楼顶。经过检验，方案 3 的误差最小，在开始实验前，两个人还特意多次尝试了同时计时又同时喊停，经过反复尝试，两个秒表（其实是两部手机）的时差绝

大多数时候控制在 0.4 秒以内，最好的一次相差不到 0.1 秒。

总之，这次实验还是非常有意思的，虽然由于方案不完备和实验条件限制导致最后相对误差较大，但我既和家人一起完成了一项小任务，也学会了听取旁人的意见，自己思考如何改进实验方案。