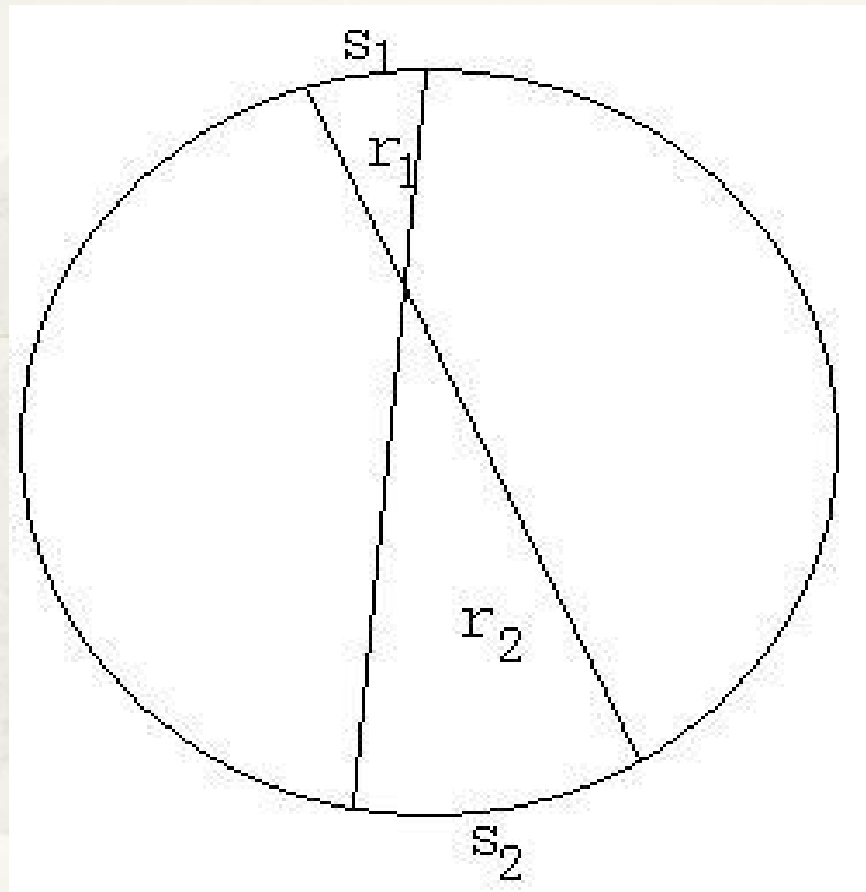


证明：质量分布均匀的球壳对壳内放在任意位置的物体的万有引力为0.



巩固

假设地球是一个圆球体且质量分布均匀，如果测得地球内部某处的重力加速度大小是地球表面的重力加速度大小的 $\frac{2}{3}$ ，则该处离地球表面的距离与地球球半径之比为（ ）

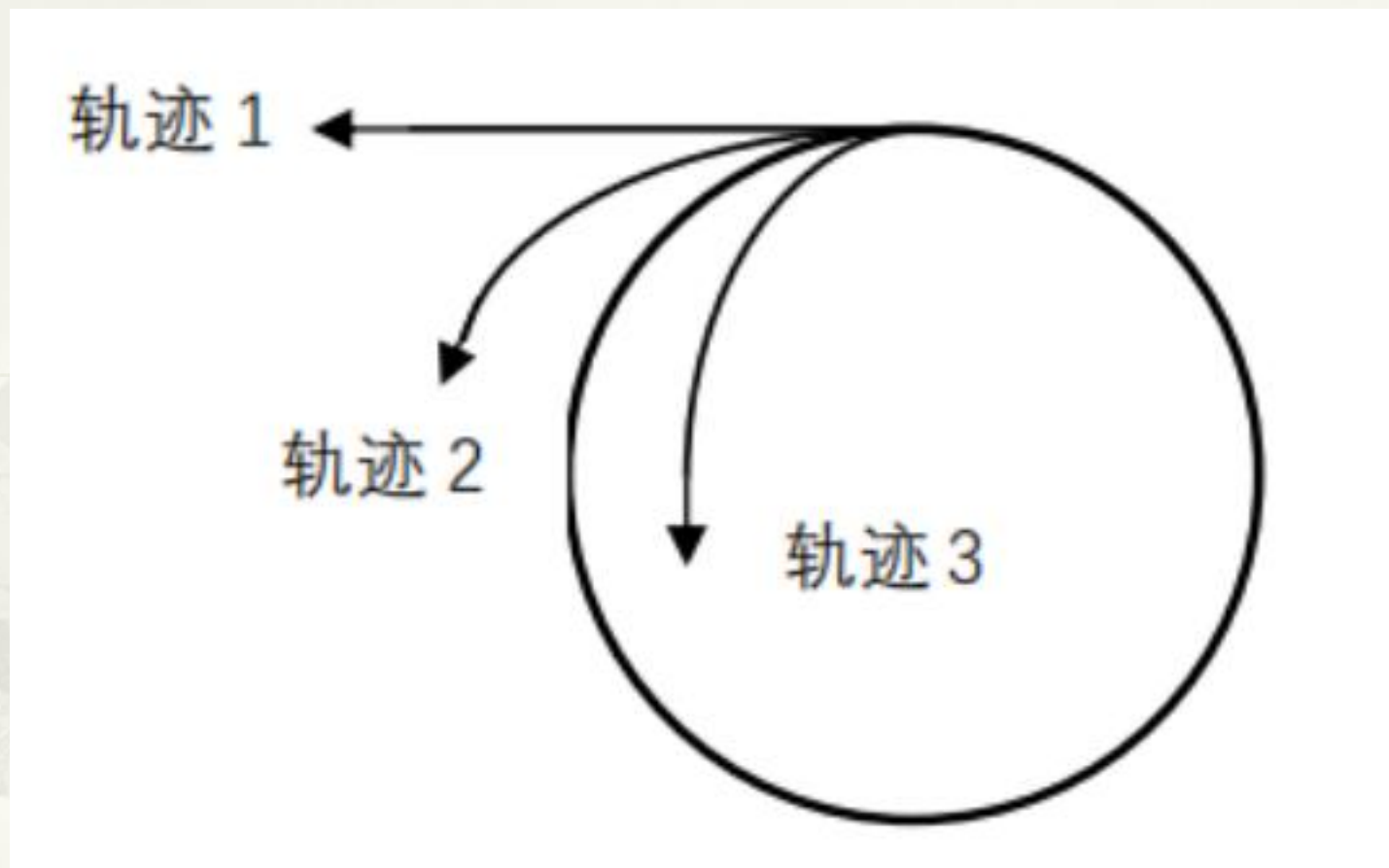
A. $\frac{1}{3}$

B. $\frac{1}{2}$

C. $\frac{2}{3}$

D. $\frac{3}{4}$

四、卫星变轨问题



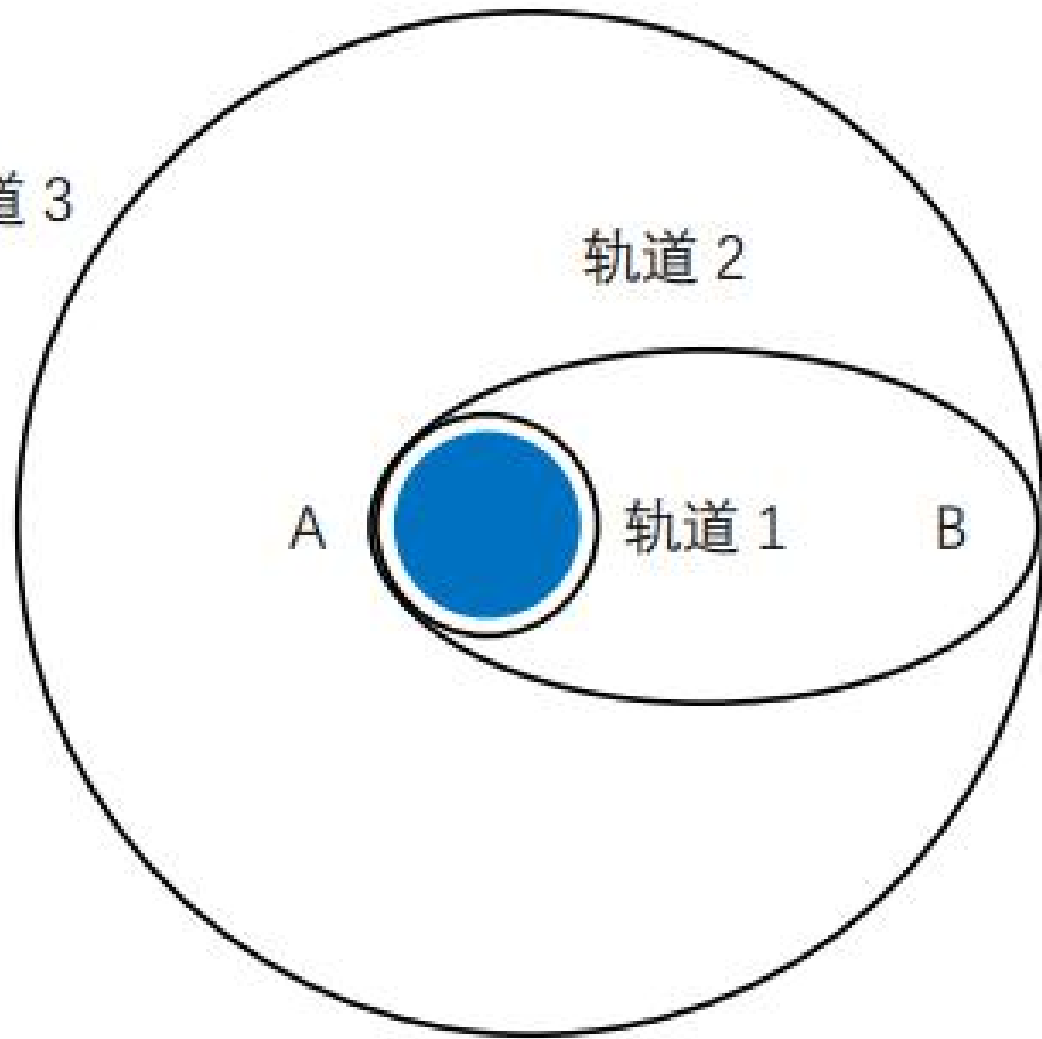
轨道 3

轨道 2

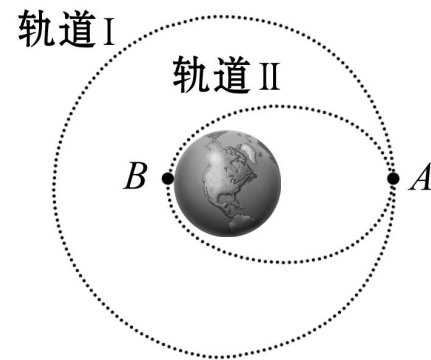
A

轨道 1

B

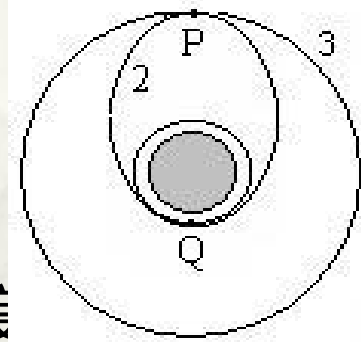


例1. (多选)如图, 航天飞机在完成对哈勃空间望远镜的维修任务后, 在A点从圆形轨道 I 进入椭圆轨道 II, B为轨道 II 上的一点, 如图所示, 关于航天飞机的运动, 下
的有 ()



- A. 在轨道 II 上经过A的速度小于经过B的速度
- B. 在轨道 II 上经过A的速度小于在轨道 I 上经过A 的速度
- C. 在轨道 II 上运动的周期小于在轨道 I 上运动的周期
- D. 在轨道 II 上经过A的加速度小于在轨道 I 上经过A的加速度
- E. 在轨道 II 上经过A的向心加速度小于在轨道 I 上经过A的向心加速度

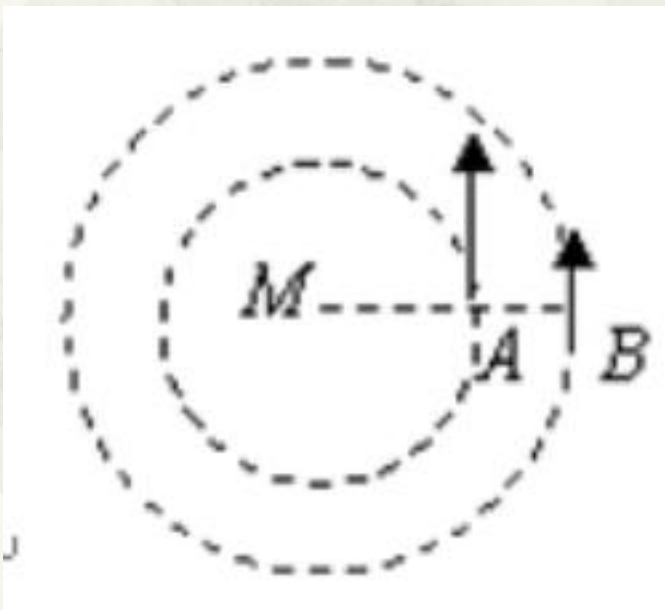
例2. “神舟十一号飞船”由近地点250km圆形轨道1经椭圆轨道2转变到远地点350km的圆轨道3。设轨道2与1相切于Q点，与轨道3相切于P点，如图所示，则飞船分别在1、2、轨道上运行时（ ）



- A. 飞船在轨道3上的速率大于在轨道1上的速率
- B. 飞船在轨道3上的角速度小于在轨道1上的角速度
- C. 飞船在轨道1上经过Q点时的向心加速度大于在轨道2上经过Q点的向心加速度
- D. 飞船在轨道2上经过P点时的加速度等于在轨道3上经过P点的加速度

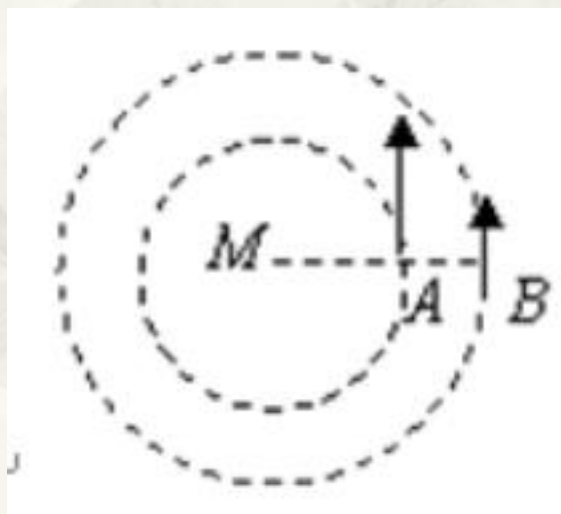
五、追赶与相遇问题

假设物体 A 和 B 绕同一圆周运动，A 绕一圈 m 秒，
B 绕一圈 n 秒，（假设 $m < n$ ，也就是A绕的快），
求：A 和 B 每次相遇的时间间隔？

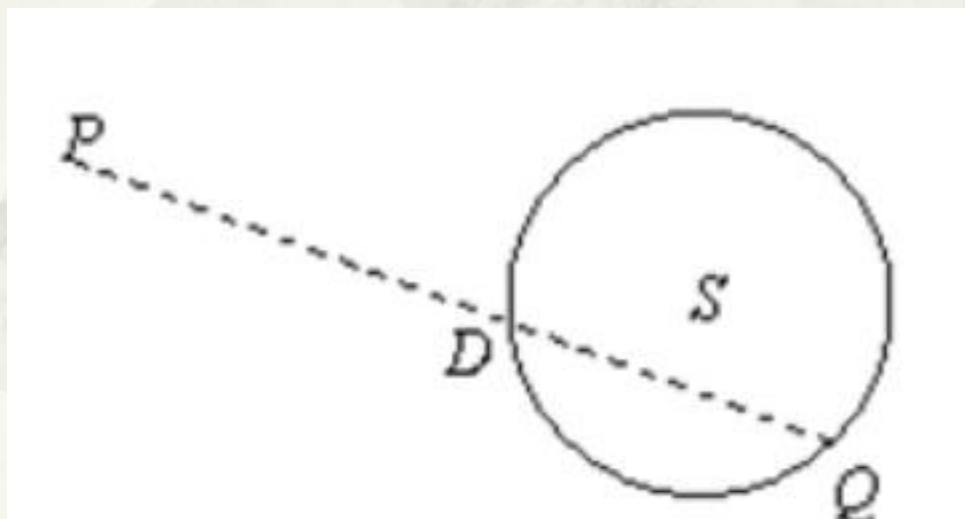


例1. 如图所示，有A、B两颗行星绕同一颗恒星M做圆周运动，旋转方向相同，A行星的周期为 T_1 ，B行星的周期为 T_2 ，在某一时刻两行星相距最近，则

1. 经过多长时间，两行星再次相距最近？
2. 经过多长时间，两行星第一次相距最远？



例2. 设地球质量为 M ，绕太阳做匀速圆周运动，有一质量为 m 的飞船由静止开始从 P 点沿 PD 方向做加速度为 a 的匀加速直线运动，1年后在 D 点飞船掠过地球，再过3个月又在 Q 处掠过地球，如图所示（图中“ S ”表示太阳）。根据以上条件，求地球与太阳之间的万有引力大小。

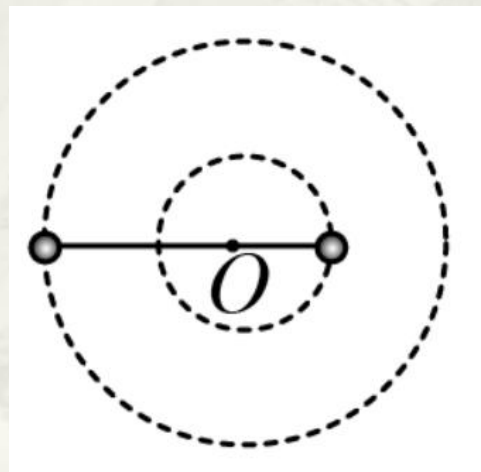


六、双星与多星模型



例1. (多选) 2016 年 2 月 11 日, LIGO 科学合作组织首次探测到了来自宇宙中双黑洞合并所产生的引力波, 证实了爱因斯坦 100 年前所做的预测。脉冲双星间的距离在减小已间接证明了引力波的存在。如果将该双星系统简化为理想的圆周运动模型, 如下图所示, 两星球在相互的万有引力作用下, 绕 O 点做匀速圆周运动。由于双星间的距离减小, 则

- A. 两星的运动周期均逐渐减小
- B. 两星的运动角速度均逐渐变大
- C. 两星的向心加速度均逐渐减小
- D. 两星的运动速度均逐渐减小

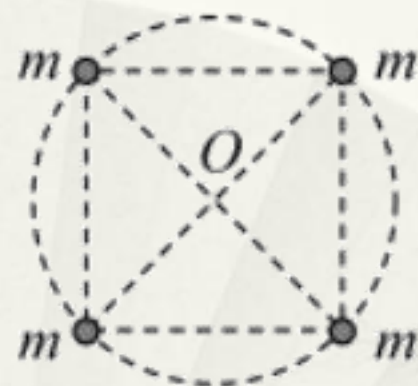




甲



乙



丙

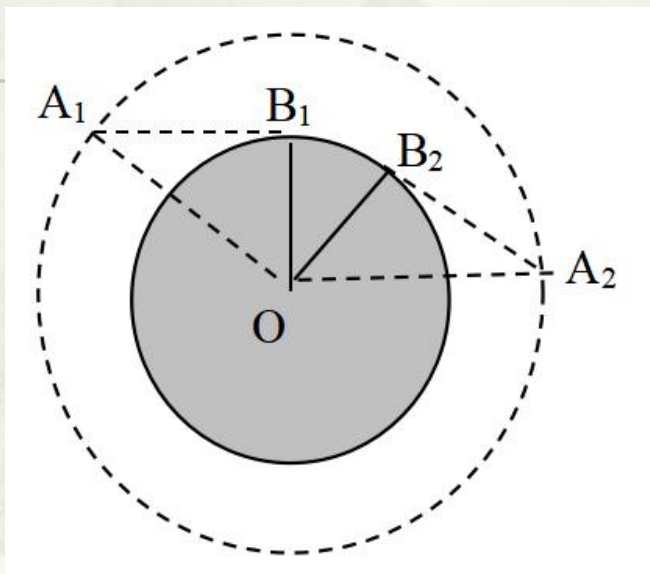


丁

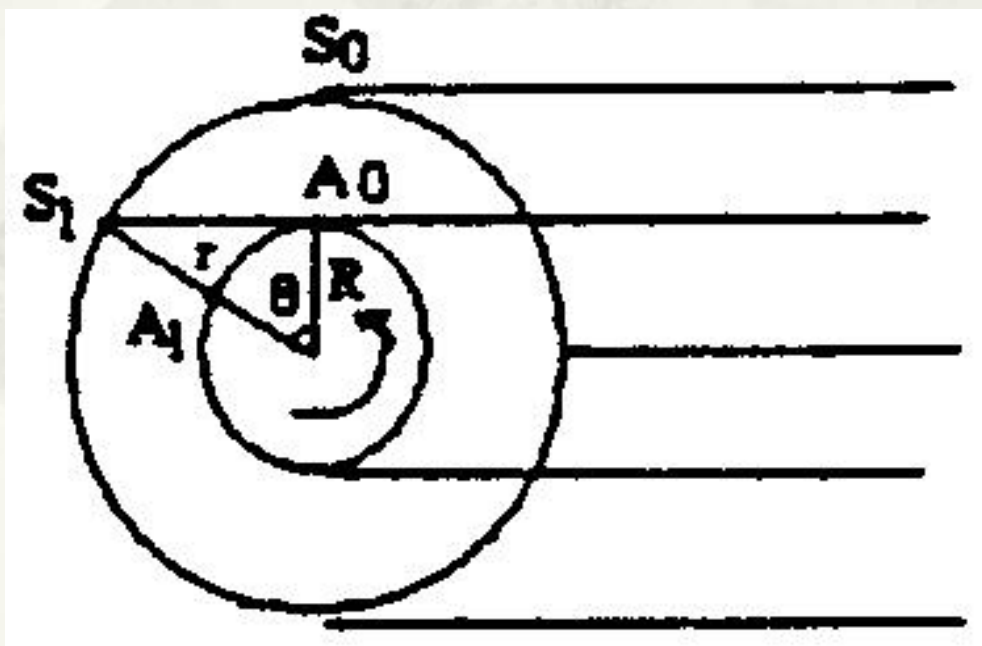
七、阳光照射与观察范围

例1. 计划发射一颗距离地面高度为地球半径 R_0 的圆形轨道地球卫星, 卫星轨道平面与赤道平面重合, 已知地球表面重力加速度为 g .

- (1) 求出卫星绕地心运动周期 T
- (2) 设地球自转周期 T_0 , 该卫星绕地旋转方向与地球自转方向相同, 则在赤道上某点的人能连续看到该卫星的时间是多少?



例2. 某颗同步卫星正下方的地球表面上有一观察者，用天文望远镜观察到被太阳光照射的该同步卫星。试问秋分这一天（太阳光直射赤道）从日落时起经过多长时间，观察者恰好看不见该卫星。已知地球半径为 R ，地球表面处重力加速度为 g ，地球自转周期为 T 。不考虑大气对光的折射



八、关于黑洞

物体沿质量为 M 、半径为 R 的星球表面做匀速圆周运动所需的速度 v_1 叫做该星球的第一宇宙速度；

如果物体在该星球表面具有足够大的速度 v_2 ，就可以脱离该星球的万有引力而飞离星球（即到达距星球无穷远处），这个速度叫做该星球的第二宇宙速度。

理论上可以证明： $v_2 = \sqrt{2}v_1$

如果某星球的第二宇宙速度的大小超过了光速 $C=3.0 \times 10^8 \text{m/s}$ ，则该星球上的任何物体（包括光子）都无法摆脱该星球的引力，于是它就将与外界断绝了一切物质和信息的交流。从宇宙的其他部分看来，它就像是消失了一样，这就是所谓的“黑洞”。

例1. 试分析一颗质量为 $M=2.0 \times 10^{31}\text{kg}$ 的恒星，当它的半径坍塌为多大时就会成为一个“黑洞”？（计算时取引力常量 $G=6.67 \times 10^{-11}\text{Nm}^2/\text{kg}^2$ ，答案保留一位有效数字。）

例2. 1997年8月26日在日本举行的国际学术大会上，德国Max Plank学会的一个研究组宣布了他们的研究成果：银河系的中心可能存在一个大“黑洞”，“黑洞”是某些天体的最后演变结果。

(1) 根据长期观测发现，距离某“黑洞” $6.0 \times 10^{12} \text{m}$ 的另一个星体（设其质量为 m_2 ）以 $2 \times 10^6 \text{m/s}$ 的速度绕“黑洞”旋转，求该“黑洞”的质量 m_1 。（结果要求两位有效数字）

(2) 根据天体物理学知识，物体从某天体上的逃逸速度公式为：
$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$
，其中引力常量 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ ， M 为天体质量， R 为天体半径，且已知逃逸的速度大于真空中光速的天体叫“黑洞”。请估算（1）中“黑洞”的可能最大半径。（结果只要求一位有效数字）