







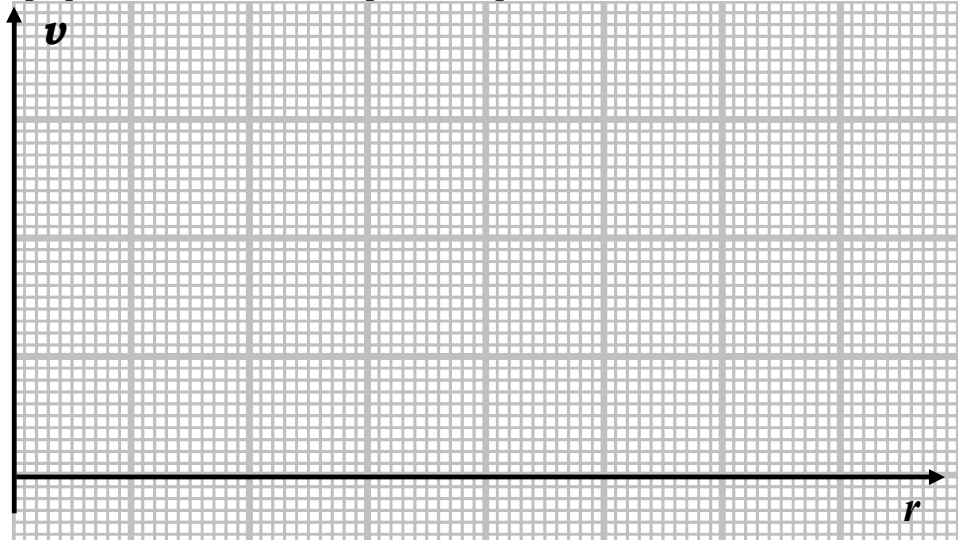
Планета		Тело	Приведенная масса $M, 10^3 \text{ кг}$	Гравитационная постоянная $G, 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг}\cdot\text{с}^2$	Константа взаимодействия $\alpha, 10^{16} \text{ м}^3/\text{с}^2$
радиус $r, 10^6 \text{ м}$	масса $m, 10^{24} \text{ кг}$	масса $m, 10^3 \text{ кг}$			

Цена деления линейки: \_\_\_\_\_  $\cdot 10^6 \text{ м}$

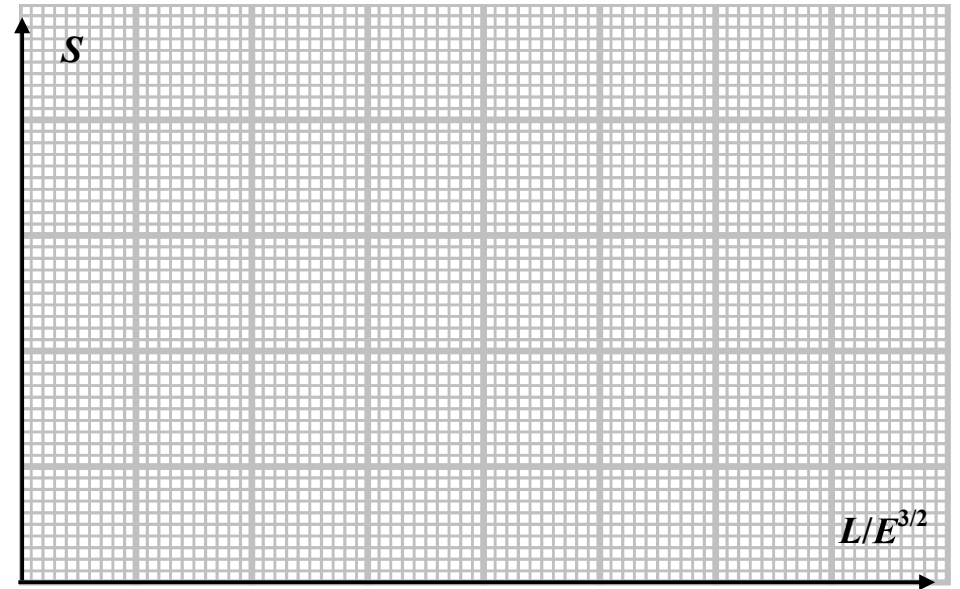
**Упражнение 1. Первый закон Кеплера** (наблюдается движение по замкнутой траектории)

Расстояние от точки $A$ до центра планеты $r_A, 10^6 \text{ м}$	Минимальная скорость (нет столкновения с планетой) $v_{\min} 10^3 \text{ м/с}$	Максимальная скорость для данной области эксперимента $v_{\max}(\text{эксп}) 10^3 \text{ м/с}$	Максимальная скорость $v_{\max} 10^3 \text{ м/с}$

**График зависимости скорости от расстояния**



**График зависимости площади эллипса от отношения момента импульса к энергии**



Вывод:

---



---



---



---

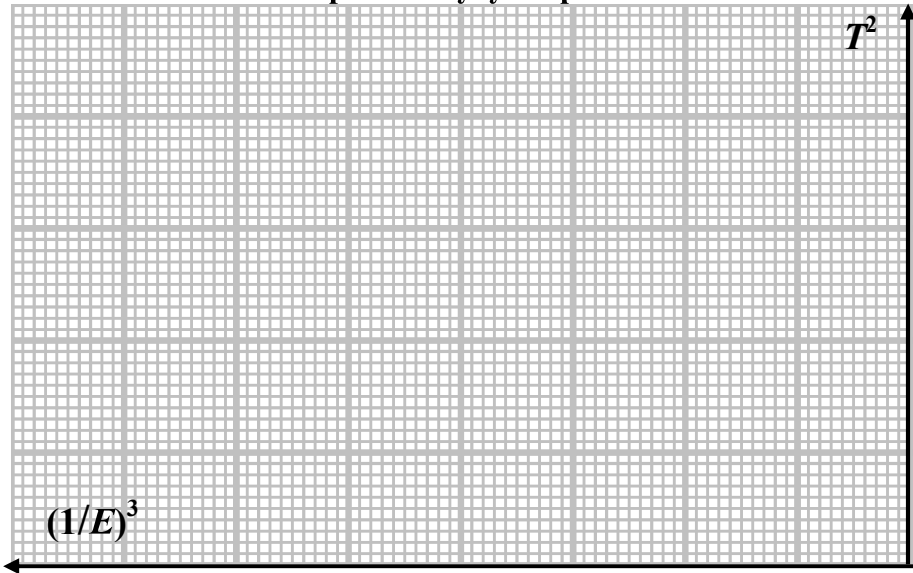


---

**Расчеты для построения графика эффективной потенциальной энергии  $\Phi(r)$**

$\alpha$	$E_1$	$E_2$	$E_3$
$10^{16} \text{ кг}\cdot\text{м}^3/\text{с}^2$	$10^{10} \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2$	$10^{10} \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2$	$10^{10} \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2$
	$L^2/2M$	$L^2/2M$	$L^2/2M$
	$10^{22} \text{ кг}\cdot\text{м}^4/\text{с}^2$	$10^{22} \text{ кг}\cdot\text{м}^4/\text{с}^2$	$10^{22} \text{ кг}\cdot\text{м}^4/\text{с}^2$

**График зависимости квадрата периода от величины, обратной кубу энергии**



**Зависимость между периодом  $T^2$  и энергией  $(1/E)^3$  (коэффициент пропорциональности)**

Теоретический расчет (формула)	Из графика (тангенс угла наклона)

Вывод: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Упражнение 2. Второй закон Кеплера**

Направление движения \_\_\_\_\_

Расстояние в точке $A$ $r_A$ , $10^6$ м	Скорость в точке $A$ $v_A$ , $10^3$ м/с	Интервал времени $\Delta t$	$r_{\min} =  x_{\min} $ , $10^6$ м	$r_{\max} = x_{\max}$ , $10^6$ м	Большая полуось $a$ , $10^6$ м	Малая полуось $b$ , $10^6$ м	Фокальный параметр $ p $ , $10^6$ м	Эксцентриситет $ \varepsilon $

Минимальное расстояние  $r_{\min}$  от планеты до тела соответствует углу  $\varphi =$  \_\_\_\_\_ °

№	Полярный угол $\varphi$	*Расстояние $r$ , $10^6$ м	$z_1$	$z_2$	Интеграл $I(r)$	**Площадь сектора $S_{\text{сек}}$ , $10^{12}$ м <sup>2</sup>
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Средняя площадь сектора:						

\* $r = \frac{|p|}{1 + \varepsilon \cos \varphi}$ , если  $r_{\min} = r(\varphi = 0)$ ;  $r = \frac{|p|}{1 - |\varepsilon| \cos \varphi}$ , если  $r_{\min} = r(\varphi = \pm 180)$ .

\*\*Формулы для расчета площади сектора:

$$z_1 = \sqrt{\frac{r - r_{\min}}{r_{\max} - r}}, z_2 = \sqrt{(r - r_{\min})(r_{\max} - r)}. \text{ Интеграл: } I(r) = ab \left[ \arctg z_1 - \frac{z_2}{2a} \right].$$

Арктангенс вычисляется в радианах.

$S_{\text{сек}} = I(r_2) - I(r_1)$  при  $\varphi_1 > 0$  и  $\varphi_2 > 0$ ;  $S_{\text{сек}} = I(r_1) - I(r_2)$  при  $\varphi_1 < 0$  и  $\varphi_2 < 0$ ;  
 $S_{\text{сек}} = [I(r_2) - I(r_{\max})] + [I(r_1) - I(r_{\max})] = \pi ab + I(r_1) + I(r_2)$  при  $\varphi_1 < 0$  и  $\varphi_2 > 0$

Направление движения \_\_\_\_\_

$r_A$ , $10^6$ м	$v_A$ , $10^3$ м/с	$\Delta t$	$r_{\min} =  x_{\min} $ , $10^6$ м	$r_{\max} = x_{\max}$ , $10^6$ м	$a$ , $10^6$ м	$b$ , $10^6$ м	$ p $ , $10^6$ м	$ \varepsilon $

Минимальное расстояние  $r_{\min}$  от планеты до тела соответствует углу  $\varphi = \underline{\hspace{2cm}}^\circ$

№	Полярный угол $\varphi$	Расстояние $r, 10^6\text{м}$	$z_1$	$z_2$	Интеграл $I(r)$	Площадь сектора $S_{\text{сек}}, 10^{12}\text{м}^2$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Средняя площадь сектора:						

Направление движения  $\underline{\hspace{2cm}}$

$r_A, 10^6\text{м}$	$v_A, 10^3\text{м/с}$	$\Delta t$	$r_{\min} =  x_{\min} , 10^6\text{м}$	$r_{\max} = x_{\max}, 10^6\text{м}$	$a, 10^6\text{м}$	$b, 10^6\text{м}$	$ p , 10^6\text{м}$	$ \varepsilon $

Минимальное расстояние  $r_{\min}$  от планеты до тела соответствует углу  $\varphi = \underline{\hspace{2cm}}^\circ$

№	Полярный угол $\varphi$	Расстояние $r, 10^6\text{м}$	$z_1$	$z_2$	Интеграл $I(r)$	Площадь сектора $S_{\text{сек}}, 10^{12}\text{м}^2$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Средняя площадь сектора:						

Вывод:  $\underline{\hspace{2cm}}$

Упражнение 3. Третий закон Кеплера

$L/E^{3/2}$ $10^{-8}\text{кг}^{1/2}\text{с}^2/\text{м}$																					
$S = \pi ab$ $10^{12}\text{м}^2$																					
$(1/E)^3$ $10^{-24}\text{с}^6/\text{кг}^3\text{м}^6$																					
$T^2,$ $10^8\text{с}^2$																					
$L^2/2M$ $10^{22}\text{кг}\cdot\text{м}^4/\text{с}^2$																					
$E$ $10^{10}\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2$																					
$L$ $10^{12}\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}$																					
Период обращения $T$	час																				
	секунда																				
Малая полуось $b, 10^6\text{м}$																					
Большая полуось $a, 10^6\text{м}$																					
Координаты	$R_{\max} =  x_{\max} $ $10^6\text{м}$																				
	$R_{\min} =  x_{\min} $ $10^6\text{м}$																				
Скорость в точке $A$ $v_A, 10^3\text{м/с}$																					
Расстояние в точке $A$ $r_A, 10^6\text{м}$																					