

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ!» ПО ФИЗИКЕ.
2019/20 учебный год, ЗАДАНИЕ ЗАОЧНОГО ТУРА. 10 и 11 классы.**

Часть II. «ТАЙНЫЕ РАЗРАБОТКИ КРИСТОБАЛЯ ХОЗЕВИЧА ХУНТЫ».

1. («Квинтэссенция») Еще в средние века, используя невероятные для того времени методы, Кристобаль Хозевич установил, что наша Вселенная расширяется. Это увлекло его, и он несколько столетий следил за расширением Вселенной. К середине XIX века он сделал невероятное открытие: расширение Вселенной не тормозится, а ускоряется! Для объяснения этого факта Кристобаль Хозевич разработал собственную модель устройства Вселенной (модель КХХ). В его модели наряду с обычным веществом, которое подчиняется закону всемирного тяготения Ньютона, существует еще один, весьма необычный вид материи, которому он дал, следуя Аристотелю, название «квинтэссенция». Квинтэссенция, смешиваясь с обычным веществом, дает **отрицательный** вклад в его гравитационную массу, но при этом создает еще и давление, «расталкивающее» частицы обычного вещества. Давление квинтэссенции в модели КХХ равно объемной плотности ее внутренней энергии и определяется ее плотностью массы: $p_q = A \cdot (-\rho_q)^{5/3}$, где $A = \text{const}$. Отметим, что

$$\rho_q = \frac{M_q}{V_q} < 0, \text{ причем } M_q - \text{это и есть отрицательный вклад квинтэссенции в массу}$$

Вселенной. Полные массы обычного вещества $M_s > 0$ и квинтэссенции $M_q < 0$, а также полная энергия Вселенной E остаются неизменными, причем $M_s + M_q > 0$. Кроме того, в этой модели считается, что в любой момент времени Вселенная – это шар переменного радиуса $R(t)$, заполненный однородно распределенными по объему обычным веществом и квинтэссенцией. Пользуясь моделью КХХ, ответьте на вопросы:

- В каких пределах может изменяться радиус Вселенной при заданных M_s , M_q , E и A ?
- Может ли Вселенная КХХ быть статичной (то есть иметь постоянный радиус)?
- Пусть полная энергия Вселенной $E = 0$, и расширение Вселенной начинается с нулевой скоростью от минимального возможного радиуса. Далее в любой момент времени распределение скоростей обычного вещества подчиняется закону Хаббла: скорость на

расстоянии $r \leq R$ от центра Вселенной $v(r, t) = \frac{r}{R(t)} v(R, t)$. Квинтэссенция не дает вклада в

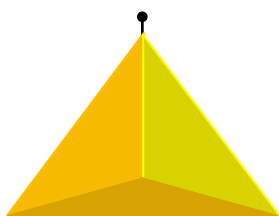
кинетическую энергию Вселенной (убыль ее энергии при расширении переходит в кинетическую энергию обычного вещества). В течении какого времени после старта Вселенная будет расширяться с положительным ускорением?

При получении ответов Вы должны (как это делал и автор модели в XIX веке) использовать для описания движения Вселенной законы ньютоновской механики, а не более современных теорий.

Указание: Энергия электростатического взаимодействия зарядов однородного шара с

радиусом R и полным зарядом Q равна $W = \frac{3Q^2}{20\pi \varepsilon_0 R}$.

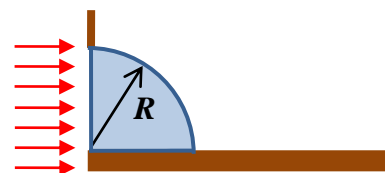
2. («Золотой астероид») Один из самых масштабных экспериментов доктора самых неожиданных наук К.Х.Хунты – запуск на орбиту вокруг Солнца искусственного астероида,



имеющего форму правильного тетраэдра с ребром длиной в несколько километров и изготовленного из практически чистого золота с плотностью $19,3 \text{ г/см}^3$. К одной из вершин тетраэдра прикрепили легким коротким тросом маленький передатчик. Вращение астероида вокруг оси, проходящей через его центр масс, было подобрано так, что величина силы натяжения троса оказалась в 7 раз меньше величины силы притяжения передатчика к астероиду, а сам передатчик оставался неподвижным относительно астероида на линии, проходящей через ближайшую к нему вершину и центр масс астероида. Деформациями троса можно пренебречь. Радиус орбиты золотого астероида в несколько раз превышал радиус орбиты Земли. Найдите период вращения этого астероида в системе «неподвижных звезд». В решении Вам могут пригодиться некоторые сведения:

- объем тетраэдра равен $V = \frac{L^3}{6\sqrt{2}}$, где L – длина его ребра;
- высота тетраэдра $H = \sqrt{\frac{2}{3}} L$;
- радиус описанной вокруг тетраэдра сферы $R = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} L$;
- величина телесного угла измеряется отношением площади части сферы с центром в вершине угла, вырезаемой этим телесным углом, к квадрату радиуса этой сферы, поэтому телесный угол, под которым видна плоская фигура очень малой площади ΔS из точки, направление на которую составляет угол α с нормалью (перпендикуляром) к поверхности, равен $\Delta\Omega = \frac{\Delta S \cdot \cos(\alpha)}{r^2}$, где r – расстояние от фигуры до этой точки;
- телесный угол при вершине тетраэдра $\Omega = \arccos\left(\frac{23}{27}\right) \approx 0,551(\text{стерадиан})$;

3. («Светлая полоса») В кабинете Кристобая Хозевича в НИИЧАВО стоял стол с оригинальной окантовкой: над краем стола возвышался бортик, в который была вставлена четверть стеклянного цилиндра, и при освещении стола сбоку вдоль края на поверхности стола появлялась светлая полоса. Найдите ширину этой полосы при освещении бортика пучком лучей, параллельных поверхности стола (см. рисунок). Известно, что радиус цилиндрической поверхности $R = 3,9 \text{ см}$, а показатель преломления стекла, из которого изготовлена вставка, $n = 2,4$.



4. («Переправа») Однажды, еще в бытность Великим Инквизитором, Кристобаль Хунта соорудил «пусковую установку», которая с заданной скоростью запускала плот массой $m = 100 \text{ кг}$ в прямолинейный канал с довольно быстрым течением (скорость воды в канале была практически постоянна и равна $u = 5 \text{ м/с}$) в направлении, перпендикулярном берегу. Далее плот плыл по инерции, и при достаточной скорости запуска достигал другого берега. Ширина канала составляла $D = 10 \text{ м}$. При каждом запуске фиксировались величина начальной скорости, время достижения противоположного берега и величина сноса плота вдоль течения за время переправы. Все собранные данные отражены в таблице. Кристобаль Хозевич решил проверить, с какой точностью выполняется предположение, что сила

сопротивления воды, действующая на плот, прямо пропорциональна скорости плота относительно воды ($\vec{F}_c = -\alpha \cdot \vec{V}$). Выясните это и Вы. Для этого получите соотношение между измеренными величинами, следующее из этого предположения, и проверьте его выполнение. Кроме того, найдите величину коэффициента пропорциональности α и в рамках этого предположения определите максимальную величину стартовой скорости плота, при которой плот не достигает противоположного берега.

Таблица:

V_0 , м/с $\pm 0,05$ м/с	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
T , с $\pm 0,01$ с	5,49	3,46	2,55	2,03	1,69	1,45
L , м $\pm 0,01$ м	10,80	4,83	2,77	1,81	1,27	0,95

ВНИМАНИЕ!

При отправке файлов с решением задач второй части заполните шаблон EXCEL с краткими ответами всех задач по следующей форме:

№ задачи	ОТВЕТ
1	<ul style="list-style-type: none"> • формулы для минимального и максимального радиусов через M_s, M_q, E и A • ответ «да» или «нет» • формула для длительности периода ускоренного расширения
2	численный ответ для периода в минутах, с точностью до целого значения
3	численный ответ для ширины полосы в см, с точностью до целого значения
4	численные ответы: возможная ошибка в процентах, коэффициент в кг/с, критическая скорость в м/с

Используйте только шаблон файла EXCEL с сайта олимпиады!

Необходимо учесть, что ответ без решения, содержащего все необходимые рассуждения и вычисления, не будет засчитан!