

## 7. Вопросы пака 7 - Закон всемирного тяготения.

**Входите в чат, чтобы понимать, кто здесь кто**

**PDF Merge** - <https://goo.gl/7zvNWe>

PDF Пак 7 (закон всемирного тяготения) - <https://goo.gl/2bN4LC>

PDF Пак 8 (СТО и неинерциальные системы отсчета) - <https://goo.gl/j2yoJM>

PDF Пак 9 (описание классических макроансамблей) - <https://goo.gl/h6e6ig>

PDF Пак 10 (абсолютно твердое тело) - <https://goo.gl/RNKbnK>

PDF Пак 11 (МКТ) - <https://goo.gl/5PXCYh>

PDF Пак 12 (термодинамика) - <https://goo.gl/pzLhD3>

Пак 7 (закон всемирного тяготения) - <https://goo.gl/SKnjQb>

Пак 8 (СТО и неинерциальные системы отсчета) - <https://goo.gl/YPcolo>

Пак 9 (описание классических макроансамблей) - <https://goo.gl/SOUTYb>

Пак 10 (абсолютно твердое тело) - <https://goo.gl/6sTt1W>

Пак 11 (МКТ) - <https://goo.gl/Z4fPce>

Пак 12 (термодинамика) - <https://goo.gl/lxvmD4>

### 7.1. Сформулируйте законы Кеплера.

1 закон: Все планеты движутся по эллиптическим орбитам, в одном из фокусов которых находится Солнце

2 закон: Радиус-вектор планеты описывает в равные промежутки времени равные площади

3 закон: Квадраты периодов обращения планет относятся как кубы больших полуосей их орбит

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{const}, \text{ или } \frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3}$$

### 7.2. Какая кривая называется эллипсом.

Эллипс — плоская кривая, являющаяся геометрическим местом точек, сумма расстояний от каждой из которых до двух фиксированных точек, называемых фокусами, есть величина постоянная.

### 7.3. Следствием какого закона сохранения является третий закон Кеплера?

Закон сохранения энергии

### 7.4. Сформулируйте закон всемирного тяготения.

$$F = G * \frac{m_1 * m_2}{R^2}, \text{ где } G = 6,67 * 10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{кг} * \text{с}^2) - \text{гравитационная постоянная.}$$

### 7.5. Какие физические допущения необходимо сделать для того, чтобы из законов небесной механики Ньютона получить законы Кеплера.

шта?

save our souls

“Чтобы изучать движение небесных тел, познакомимся с силой гравитации. Лучше всего это сделать на примере взаимного движения двух тел: компонентов двойной звезды или Земли вокруг Солнца (для простоты предполагая, что другие планеты отсутствуют). К таким системам применимы законы Кеплера.”

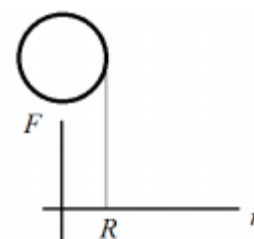
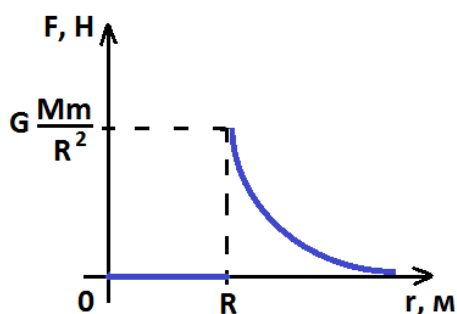
Не это? Забыть на то что есть другие тела? Написано “к таким системам применимы з. Кеплера” К каким таким? Которые состоят из двух тел.

Солнце - инерциальная система отсчета.

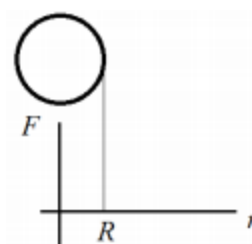
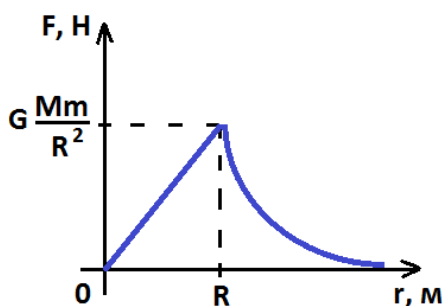
**7.6. В каких системах полный импульс сохраняется во времени?**

В замкнутых системах(т.е. в таких где векторная сумма всех внешних сил равна нулю.)

**7.7. Точечное тело массой  $m$  находится на расстоянии  $r$  от центра полой внутри сферической оболочки массой  $M$  и радиусом  $R$ . Нарисуйте график зависимости величины силы гравитационного взаимодействия между телом и оболочкой в зависимости от расстояния  $r$ .**



**7.8. Точечное тело массой  $m$  находится на расстоянии  $r$  от центра однородного шара массой  $M$  и радиусом  $R$ . Нарисуйте график зависимости величины силы гравитационного взаимодействия между телом и шаром в зависимости от расстояния  $r$ .**



**7.9. Как называется ускорение, возникающее в случае движения под действием одних только гравитационных сил?**

Ускорение свободного падения

**7.10. Какое движение называется свободным падением?**

Свободное падение - это равноускоренное движение под действием силы тяжести, когда другие силы, действующие на тело, отсутствуют, скомпенсированы, либо пренебрежимо малы.

**7.11. Какое свойство ускорения свободного падения делает возможным возникновение невесомости?**

Гравитационные силы придают всем телам равное ускорение, независимо от их массы.

чирцов чет говорил про принцип эквивалентности Эйнштейна и про невесомость  
я хз оно или нет

тип если ты в замкнутой со и не видишь окружающий мир то ты хз есть гравитация или нет

**7.12. Какая связь существует между инертной и гравитационной массами?**

Масса тела, которая входит во второй закон Ньютона, называется инертной массой, т.к. она определяет инертные свойства тела, т.е. его способность приобретать определенное ускорение под действием данной силы. Масса, определяющая способность тел притягиваться друг к другу - гравитационная масса. Их равенство не следует из законов механики Ньютона, а является следствием опыта. (Мякишев, Буховцев, Сотский - учебник по физике за 10 класс).

??? это возможно представить в виде зависимой формулы?

Разве что  $m_{\text{и}} = m_{\text{г}}$  //

Там отличие почти незаметно

**7.13. Какое свойство инертной и гравитационной масс обуславливает возможность возникновения явления невесомости?**

Рассмотрим простой пример - вы в лифте опираетесь ногами на пол (неподвижны относительно лифта), а трос оборвался. Положим, в шахте нет воздуха. Тогда из опыта мы знаем, что будет проявляться явление невесомости. Из теории имеем по 2 закону Ньютона:

$$m_{\text{ин.лифт}} a = m_{\text{гр.лифт}} g + P$$

$$m_{\text{ин.ваша}} a = m_{\text{гр.ваша}} g - P$$

Отсюда:

$$P = m_{\text{ин.лифт}} a - m_{\text{гр.лифт}} g = m_{\text{гр.ваша}} g - m_{\text{ин.ваша}} a$$

$$(m_{\text{ин.лифт}} + m_{\text{ин.ваша}}) a = (m_{\text{гр.лифт}} + m_{\text{гр.ваша}}) g \Rightarrow$$

$$a = (m_{\text{гр.лифт}} + m_{\text{гр.ваша}}) / (m_{\text{ин.лифт}} + m_{\text{ин.ваша}}) * g$$

Эффект невесомости состоит в том, что вес равен нулю. Тогда:

$$P = 0 = g((m_{\text{гр.лифт}} + m_{\text{гр.ваша}})/(m_{\text{ин.лифт}} + m_{\text{ин.ваша}}) * m_{\text{ин.лифт}} - m_{\text{гр.лифт}}) \Rightarrow$$

$$(m_{\text{гр.лифт}} + m_{\text{гр.ваша}})/(m_{\text{ин.лифт}} + m_{\text{ин.ваша}}) * m_{\text{ин.лифт}} - m_{\text{гр.лифт}} = 0 \Rightarrow$$

$$m_{\text{ин.лифт}} m_{\text{гр.ваша}} = m_{\text{ин.ваша}} m_{\text{гр.лифт}}$$

те должна выполняться ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТЬ гравитационной и инертной масс.

//гравитационная и инертная массы инвариантны.

- 7.14. Чему равно ускорение свободного падения на поверхности однородного шара радиусом  $R$ , масса которого  $M$ ?

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

- 7.15. Чему равно ускорение свободного падения на поверхности однородного шара радиусом  $R$ , сделанного из однородного вещества плотностью  $\rho$ ?

$$g = \frac{4}{3} G \rho \pi R$$

- 7.16. Какой потенциальной энергией обладает точечное тело массой  $m$ , расположенное вблизи однородного шара радиусом  $R$  и массой  $M$  на расстоянии  $r > R$  от его центра?

$$E_{\text{п}} = - G \frac{Mm}{r}$$

- 7.17. Чему равна первая космическая скорость для шарообразной планеты массой  $M$  и радиусом  $R$ ?

$$v_1 = \sqrt{G \frac{M}{R}}$$

- 7.18. Чему равна вторая космическая скорость для шарообразной планеты массой  $M$  и радиусом  $R$ ?

$$v_2 = \sqrt{2G \frac{M}{R}}$$

- 7.19. Чему равна первая космическая скорость для шарообразной планеты массой  $M$ , на поверхности которой ускорение свободного падения равно  $g$ ?

$$v_1 = \sqrt{gR}$$

- 7.20. Чему равна вторая космическая скорость для шарообразной планеты массой  $M$ , на поверхности которой ускорение свободного падения равно  $g$ ?

$$v_2 = \sqrt{2gR}$$

- 7.21. Чему равна полная механическая энергия спутника массой  $m$ , летающего по круговой орбите вокруг планеты массой  $M$  со скоростью  $v$ ?

$$E = -mV^2/2$$

- 7.22. Чему равна полная механическая энергия спутника массой  $m$ , летающего по круговой орбите вокруг планеты массой  $M$  на расстоянии  $r$  от ее центра?

$$E = -GmM/(2R)$$

Эти два сверху это ведь только потенциальная и кинетическая энергии. а нужно их как-то складывать. Мне кажется, что это дикое задание

## 7. Задачи пака 7 - Закон всемирного тяготения

- 7.1. Какое время  $T$  должны длиться сутки на планете массой  $M$  и радиусом  $R$  для того, чтобы тела на ее экваторе весили в 2 раза меньше, чем на полюсе?

Ответ:  $T = 2\pi\sqrt{\frac{2R^3}{GM}}$

Решение:

Вес тела на полюсе по модулю равен силе тяжести

$$P = mg = G\frac{Mm}{R^2}$$

где  $m$  и  $M$  – массы тела и планеты,  $R$  – радиус планеты. На экваторе вследствие вращения планеты вес тела уменьшается на величину силы, которая сообщает телу центростремительное ускорение  $a_{\text{ц}} = v^2/R$ :

$$P_{\text{Э}} = P - ma_{\text{ц}} = G\frac{Mm}{R^2} - m\frac{4\pi^2}{T^2}R$$

По условию задачи  $P_{\text{Э}} = P/2$ . Отсюда следует:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{2R^3}{GM}}$$

- 7.2. На какой высоте над экватором должен находиться спутник для того, чтобы он мог неподвижно висеть над головами туземцев?

Ответ:  $R = \sqrt[3]{G\frac{M}{\omega^2}}$

Решение:

Высота, о которой говорится в задаче имеет название высоты геостационарной орбиты.

Высота геостационарной орбиты — это такое удаление от центра Земли, где угловая скорость спутника, совпадающая с угловой скоростью вращения Земли, порождает орбитальную (линейную) скорость, равную первой космической скорости (для обеспечения круговой орбиты) на данной высоте. Линейная скорость спутника, движущегося с угловой скоростью  $\omega$  на расстоянии  $R$  от центра вращения равна

$$v_l = \omega R$$

Первая космическая скорость на расстоянии  $R$  от объекта массой  $M$  равна

$$v_1 = \sqrt{G \frac{M}{R}}$$

Приравняв правые части уравнений друг к другу, приходим к выражению радиуса ГСО

$$R = \sqrt[3]{G \frac{M}{\omega^2}}$$

- 7.3. На некотором астероиде сутки делятся  $T$ , а на экваторе невесомость. Найти плотность вещества астероида.

Ответ:  $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$

Решение:

Центробежная сила  $m\omega^2 R$ , где  $\omega^2 = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$

Сила тяготения  $mg - N$ . У нас невесомость, значит  $N = 0$ .

$$g = G \frac{M}{R^2}, M = \rho V = \rho \frac{4}{3} \pi R^3.$$

Известно все, чтобы решить задачу:

$$m \frac{4\pi^2}{T^2} R = m G \frac{4\rho\pi R^3}{3R^2}, \Rightarrow \rho = \frac{3\pi}{GT^2}.$$

- 7.4. Хорошо известно, что ускорение свободного падения на поверхности Луны в 6 раз меньше, чем на поверхности Земли. Средние плотности вещества планеты и ее спутника примерно одинаковы. Как относятся между собой радиусы Земли и Луны?

Ответ: радиус Земли в 6 раз больше радиуса Луны

Решение:

По формуле  $g = G \frac{M}{R^2}$ ,  $G$  - грав. постоянная,  $M$  - масса планеты

Распишем массу как произведение плотности на объем  $\rho \frac{4}{3}\pi R^3$ , и получим отношение:

$$\frac{g_3}{g_{\text{Л}}} = 6 = \frac{G4\rho R_3^3}{3R_3^2} * \frac{3R_{\text{Л}}^2}{G4\rho R_{\text{Л}}^3} = \frac{R_3}{R_{\text{Л}}}$$

- 7.5. Хорошо известно, что ускорение свободного падения на поверхности Луны в 6 раз меньше, чем на поверхности Земли. Средние плотности вещества планеты и ее спутника примерно одинаковы. Как относятся между собой вторые космические скорости для стартов с поверхностей Земли и Луны?

**Ответ:** корень из 6

**Решение:**

$$v_2 = \sqrt{2G\frac{M}{R}} \text{ (вторая космическая), } g = G\frac{M}{R^2} \text{ (ускорение своб. пад.)}$$

$$\frac{g_3}{g_{\text{Л}}} = 6 = \frac{R_3}{R_{\text{Л}}} \text{ (очевидно, если нет - смотри предыдущую задачу)}$$

$$\frac{v_{23}}{v_{2\text{Л}}} = \frac{\sqrt{R_3}}{\sqrt{R_{\text{Л}}}} = \sqrt{6}$$

- 7.6. Однажды ночью Страшная Космическая Камнеежка выгрызла из сердцевинки планеты шар радиусом в половину ее радиуса. Во сколько раз изменилось ускорение свободного падения на поверхности планеты?

**Ответ:** 7/8, т.е. уменьшилась в 1/8 раза

**Решение:**

$$g = G\frac{M}{R^2}$$

Масса - это произведение плотности на объем. Плотность неизменна - *const*. Тогда отношение равно, исходя из формулы, отношению объемов планеты до и после.

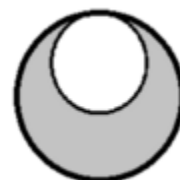
$$M_{\text{old}} = \rho \frac{4}{3}\pi R^3$$

$$M_{\text{new}} = \rho \frac{4}{3}\pi (R^3 - (R/2)^3)$$

$$\frac{g_{\text{new}}}{g_{\text{old}}} = \frac{7}{8}$$



- 7.7. Однажды ночью Страшная Космическая Камнеежка выгрызла шар радиусом в половину ее радиуса, касающийся центра планеты одной точкой. Во сколько раз уменьшилось ускорение свободного падения на северном полюсе после объедания планеты?



Ответ: 2

**Решение на отъебись “отвали” (just/premium edition for Chirtsov):**

$g_c = g_0 - g_1$ , где  $g$  - итоговое ускорение,  $g_0$  - планета,  $g_1$  - съединенный кусок

Зная формулу  $g = G \frac{M}{R^2}$ , распишем ее для планеты и съединенного куска, раскрывая массу, как произведение плотности на объем:

$$M_0 = \rho \frac{4}{3} \pi R^3, \quad M_1 = \rho \frac{4}{3} \pi (R/2)^3 = \frac{1}{8} M_0$$

Подставим  $M_0$  и  $M_1$ . Находим, что  $g_1 = \frac{1}{2} g_0$

Значит  $g_c = g_0/2$ , т.е. ускорение УМЕНЬШИЛОСЬ в ДВА раза.

**Решение (все запатентовано):**

Задача немного похожа на предыдущую, но та задача - частный случай, при том достаточно тривиальный, и поэтому решена иначе. Впрочем эта - тоже по сути частный случай, а предыдущая - частный этой, но это уже совсем другая история...

Для начала - не будем брать в учет любые движения планеты, если таковые бы были (а вокруг своей оси и смысла нет, мы на полюсе). Также в формулах мы будем подразумевать притяжение на материальную точку, находящуюся на поверхности. Это не изменит никак саму задачу, ведь в любом случае масса материальной точки сократится. Если такое решение вас не устраивает - тупо уберите везде  $m$  и  $\rho$ , а  $F$  замените на  $g$ , ну либо решайте сами.

Рассмотрим притяжение на материальную точку по отдельности:

1. Если бы шар был без полости, то его масса была бы полной. Пусть она равна  $M_1$ .

В итоге воздействие на нашу материальную точку равнялось бы  $\vec{F}_1 = G \frac{mM_1}{R^2}$

(точка находится на поверхности, не забываем)

2. Шар, который мы вырезали, воздействовал бы на нашу материальную точку со своей силой. Пусть ее масса равна  $M_2$ . Тогда воздействие равнялось бы

$$\vec{F}_2 = G \frac{mM_2}{(R/2)^2}$$

Значит итоговая сила притяжения равняется векторной сумме первой и второй силы, где вторая сила взята с противоположным знаком (нарисуйте рисунок, и сами поймете, почему).

Т.к. наша задача сформулирована так, что получается, что обе силы воздействуют на одной прямой, то соответственно все что нам надо - это найти скалярно разность  $F_1 - F_2$ .



Масса определяется как произведение плотности и объема. Плотность у нас неизменна, т.е. - *const*. Значит все что нам надо - это расписать оставшиеся объемы.

Решаем ( $\rho$  - это плотность, для тех, кто в танке):

Вынесем  $\frac{Gm\rho}{R^2}$  за скобку, значит во втором слагаемом осталось 4

$$\frac{Gm\rho}{R^2} \left( \frac{4}{3}\pi R^3 - \frac{16}{3}\pi \left(\frac{R}{2}\right)^3 \right)$$

$$\frac{Gm\rho}{R^2} \left( \frac{4}{3}\pi R^3 - \frac{16}{24}\pi R^3 \right)$$

$$\frac{Gm\rho}{R^2} \left( \frac{32}{24}\pi R^3 - \frac{16}{24}\pi R^3 \right)$$

$$\frac{4Gm\rho\pi R^3}{6R^2}$$

Все что нам осталось - это поделить полученное значение на эталонное, до того, как мы вырезали кусок от планеты. Распишем у эталона так же массу как произведение  $\rho V$

$$\frac{4Gm\rho\pi R^3}{6R^2} \div \frac{4Gm\rho\pi R^3}{3R^2}$$

Получаем заветный ответ -  $1/2$ . Значит ускорение свободного падения на нашей недопланете УМЕНЬШИЛОСЬ в ДВА раза.

Только попробуйте сказать, что она неверная. Заддудошу :)

Литра

<http://butikov.faculty.ifmo.ru/Lectures/Lectures.html>

<http://butikov.faculty.ifmo.ru/Russian/CommentsMain.pdf>

[http://pskgu.ru/files/open\\_university/work\\_11/2013\\_01\\_24\\_dz11\\_reshe.pdf](http://pskgu.ru/files/open_university/work_11/2013_01_24_dz11_reshe.pdf)

## 8. Вопросы пака 8. Теория относительности и неинерциальные системы отсчета.

**Входите в чат, чтобы понимать, кто здесь кто**

**PDF Merge** - <https://goo.gl/7zvNWe>

PDF Пак 7 (закон всемирного тяготения) - <https://goo.gl/2bN4LC>

PDF Пак 8 (СТО и неинерциальные системы отсчета) - <https://goo.gl/j2yoJM>

PDF Пак 9 (описание классических макроансамблей) - <https://goo.gl/h6e6ig>

PDF Пак 10 (абсолютно твердое тело) - <https://goo.gl/RNKbnK>

PDF Пак 11 (МКТ) - <https://goo.gl/5PXCYh>

PDF Пак 12 (термодинамика) - <https://goo.gl/pzLhD3>

Пак 7 (закон всемирного тяготения) - <https://goo.gl/SKnjQb>

Пак 8 (СТО и неинерциальные системы отсчета) - <https://goo.gl/YPcolo>

Пак 9 (описание классических макроансамблей) - <https://goo.gl/S0UTYb>

Пак 10 (абсолютно твердое тело) - <https://goo.gl/6sTt1W>

Пак 11 (МКТ) - <https://goo.gl/Z4fPce>

Пак 12 (термодинамика) - <https://goo.gl/lxvmD4>

### 8.1. Сформулируйте принцип относительности Галилея.

Все механические процессы в инерциальных системах отсчета протекают одинаково, независимо от того, неподвижна ли система или она находится в состоянии равномерного и прямолинейного движения.

### 8.2. Сформулируйте принцип относительности Эйнштейна.

Все физические процессы в инерциальных системах отсчёта протекают одинаково, независимо от того, неподвижна ли система или она находится в состоянии равномерного и прямолинейного движения.

### 8.3. Сформулируйте постулаты СТО.

1. (*принцип относительности Эйнштейна*) Любое физическое явление протекает одинаково во всех инерциальных системах отсчёта
2. (*принцип постоянства скорости света*) Скорость света в вакууме не зависит от скорости движения источника света или наблюдателя и одинакова во всех инерциальных системах отсчета

### 8.4. Что называется релятивистским инвариантом?

$$\left(\frac{E}{c}\right)^2 - p^2 = m^2 c^2$$

### 8.5. Какие из известных Вам механических величин являются релятивистскими инвариантами?

1. масса покоя  $m_0 = m\sqrt{1 - v^2/c^2}$
2. объем покоя  $V_0 = V/\sqrt{1 - v^2/c^2}$
3. температура покоя  $T_0 = T/\sqrt{1 - v^2/c^2}$  //температура покоя? точно? то же и про 4
4. количество теплоты  $Q_0 = Q/\sqrt{1 - v^2/c^2}$
5. электрический заряд  $e$
6. скалярное гидродинамическое давление  $p = p_0$

7. (?) энтропия  $S = S_0$
8. постоянная Больцмана  $k$
9. (?) квант действия  $h$
10. (?) интеграл действия  $\int L dt$
11. (?) отношение энергии к частоте  $E/\nu$  для пространственно ограниченного цуга волн, движущегося со скоростью  $c$

- 8.6. **Запишите релятивистский закон изменения скорости течения времени в системах, движущихся относительно наблюдателя.**

$$t = t_0 \sqrt{(1 - v^2/c^2)}$$

- 8.7. **Запишите релятивистский закон изменения длин отрезков при их движении относительно наблюдателя.**

$$l = l_0 * \sqrt{(1 - v^2/c^2)}$$

- 8.8. **Как называется электрон, «движущийся во времени из будущего в прошлое»?**

Позитрон можно описывать как “электрон, движущийся по времени в противоположную сторону”.

- 8.9. **Запишите прямые преобразования Лоренца**

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$y' = y, z' = z$$

$$t' = \frac{t - (v/c^2)x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

где  $c$  — скорость света, величины со штрихами измерены в системе  $K'$ , без штрихов — в  $K$ .

- 8.10. **Запишите обратные преобразования Лоренца.**

$$x' = \frac{x + vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$y' = y, z' = z$$

$$t' = \frac{t + (v/c^2)x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

- 8.11. **Запишите явное выражение для релятивистского инварианта, являющегося аналогом квадрата расстояния между двумя точками в четырехмерном пространстве-времени Минковского.**

$$S^2 = c^2 t^2 - x^2$$

- 8.12. В пространстве Минковского изобразите мировую линию материальной точки, движущейся в положительном направлении вдоль оси  $X$  со скоростью  $c/2$ , проходящую через событие, задаваемое четырехвектором  $\vec{R}$ . На рисунке отметьте моменты времени происходящих с материальной точкой событий, на которые Вы можете повлиять из начала координат четырехмерного пространства.

$$\vec{R} = (0, r_0, 0, 0)^T \text{ - по условию задачи.}$$

- 8.13. В четырехмерном пространстве-времени укажите множество точек, из которых можно посылать мысленное СВОЕВРЕМЕННОЕ поздравление с происходящим в начале координат Днем рождения, если мысленные послания перемещаются в пространстве со скоростью  $c/4$ .  
**ВОПРОС ГОДА!**

- 8.14. Как связаны между собой масса покоя и релятивистская масса?

$$m = \frac{m_{\text{покоя}}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

- 8.15. Чему равен релятивистский импульс частицы с массой покоя  $m_0$ , если скорость ее движения равна  $v$ ?

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

- 8.16. На релятивистскую частицу, обладавшую начальным импульсом  $p_0$ , действует постоянная во времени сила  $F$ . Какой импульс будет у частицы через время  $T$  после начала действия силы?

$$\frac{\delta \vec{p}}{\delta T} = \vec{F} \text{ по второму закону Ньютона.}$$

Тогда  $\vec{p} = \frac{\vec{p}_0 + \vec{F} \delta T}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$  а тут  $p_0$  не надо вынести в отдельное слагаемое?

- 8.17. Какой энергией обладает релятивистская частица, движущаяся в пустом пространстве со скоростью  $v$ .

Про массу он забыл?

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

- 8.18. Сколько энергии выделится при образовании ядра гелия с массой покоя  $M_0$  в результате слияния двух протонов ( $m_{0p}$ ) и двух нейтронов ( $m_{0n}$ )?

$$(M_0 - (m_{0p} + m_{0p})) * c^2$$

- 8.19. **Запишите классическое уравнение движения для частицы массы  $m$ , движущейся под действием внешней силы  $F$  относительно неинерциальной системы отсчета, ускорение которой относительно инерциальной системы отсчета равно  $A$ .**
- 8.20. **Запишите выражение для центробежной силы, действующей на тело массой  $m$ , расположенной на вращающейся с угловой скоростью  $\omega$  платформе на расстоянии  $R$  от оси вращения.**

$$\vec{F} = m\omega^2 \vec{R}_0$$

- 8.21. **Запишите выражение для Кориолисовой силы, действующей на тело массой  $m$ , движущееся со скоростью  $v$  по поверхности вращающейся с угловой скоростью  $\omega$  платформе на расстоянии  $R$  от оси вращения.**

$$\vec{F}_K = -2 * m * [\vec{\omega}; \vec{v}_r], \quad \vec{\omega} = \vec{v}/R$$

- 8.22. **В каких точках Земного шара и в каких направлениях можно ехать по поверхности, не испытывая при этом действие Кориолисовой силы?**

Вики говорит на экваторе если двигаться вдоль меридиана.

- 8.23. **Почему псевдосилы инерции называют не силами, а псевдосилами?**

Потому что силы инерции действуют на тело в со отсчета с ускорением.

- 8.24. **В чем состоит сходство между силами гравитации и псевдосилами инерции?**

В обоих тела задают неравномерные со.

- 8.25. **Почему исчезает вес тел в свободно падающем лифте (дайте объяснение эффекту с точки зрения пассажира лифта).**

Система координат человека укоряется по отношению к системе координат "земля".

- 8.26. **Почему Луна летает вокруг Земли по почти кеплеровой орбите, несмотря на то, что ее притягивает не только Земля, но и Солнце.**

Солнце слишком далеко от луны. гр.поле солнца не может выхватить луну из гр.п земли. потому что перигелий орбиты луны окажется также большой полуосью его орбиты

- 8.27. **Какова природа сил, вызывающих приливы?**

Гравитационная.напряженность гравитационного поля становится ниже, если над водой находится луна.(прилив). с обратной стороны Земли в это время будет отлив.

- 8.28. **Сформулируйте принцип эквивалентности Эйнштейна.**

Наблюдатель, находящийся в замкнутой локальной системе отсчета, никак не может установить факт наличия гравитационных взаимодействий. (последняя запись, которая есть у меня в конспекте))

Заставьте Чиркаша это прочитать

8.29. **Какие причины приводят к движению планет по кеплеровым орбитам с точки зрения ОТО?**

Планеты продавливают пространственно-временной континуум вблизи планеты и, подобно шарик у воронки, движутся по эллиптическим орбитам ввиду постоянного изменения действующих сил.

8.30. **Кто же оказался правым (с точки зрения ОТО) в известной дискуссии между Галилеем и церковью по поводу предпочтения между геоцентрической и гелиоцентрической системами мира?**

Никто. Согласно эксперименту по отслеживанию эфирного ветра (Майкельсон-Морли), идеальной системы отсчета быть не может.

8. **Задачи пака 8. Закон всемирного тяготения.**

8.1. **Используя преобразования Лоренца, покажите, что  $(ct)^2 - r_x^2 - r_y^2 - r_z^2 = inv$ .**

8.2. **Используя преобразования Лоренца, получите релятивистский закон сложения скоростей в случае движения частицы вдоль направления относительного движения систем отсчета.**

Пусть, например, в системе отсчета  $K'$  вдоль оси  $x'$  движется частица со скоростью  $u'_x = \frac{dx'}{dt'}$ . Частица движется параллельно относительной скорости  $\vec{v}$  систем отсчета  $K$  и  $K'$ . Составляющие скорости частицы  $u'_x$  и  $u'_z$  равны нулю. Скорость этой частицы в системе  $K$  будет равна  $u_x = \frac{dx}{dt}$ . С помощью операции дифференцирования из формул преобразований Лоренца можно найти:

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + (v/c^2)u'_x}, \quad u_y = 0, \quad u_z = 0$$

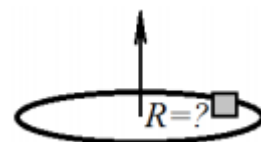
8.3. **Используя преобразования Лоренца, получите релятивистский закон сложения скоростей в случае движения частицы в направлении, перпендикулярном относительному движению систем отсчета.**

КАК РЕШИТЬ?????

8.4. **На каком расстоянии от оси вращения диска (с угловой скоростью  $\omega$ ) можно поместить на его поверхность тело, для того, чтобы оно не соскальзывало, если коэффициент трения тела о поверхность вращающимся диском.**

Рассмотрим равенство:

$$m\vec{a}_{Ц} = m\vec{g} + \vec{F}_{тр} + \vec{F}_N$$



Т.к.  $|m\vec{g}| = |\vec{F}_N|$ , Отсюда делаем вывод, что тело улетит, когда сила трения станет меньше центробежной. Приравняем эти силы скалярно.

$$ma_{\text{ц}} = F_{\text{тр}}$$

$$\vec{a}_{\text{ц}} = \omega^2 R$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

$$N = mg$$

Все известно, решим:

$$m\omega^2 R = \mu mg$$

$$R = \frac{\mu g}{\omega^2}$$

- 8.5. На скользкую поверхность клина, составляющую угол  $\alpha$  с горизонталью, помещено тело. С каким ускорением надо перемещать клин для того, чтобы тело оставалось неподвижным на наклонной поверхности? (Задачу решить в системе отсчета, связанной с клином).



$$ma \cos \alpha = mg \sin \alpha$$

$$a = g \tan \alpha$$

## 9. Вопросы пака 9. Описание классических макроансамблей.

**Входите в чат, чтобы понимать, кто здесь кто**

**PDF Merge** - <https://goo.gl/7zvNWe>

PDF Пак 7 (закон всемирного тяготения) - <https://goo.gl/2bN4LC>

PDF Пак 8 (СТО и неинерциальные системы отсчета) - <https://goo.gl/j2yoJM>

PDF Пак 9 (описание классических макроансамблей) - <https://goo.gl/h6e6ig>

PDF Пак 10 (абсолютно твердое тело) - <https://goo.gl/RNKbnK>

PDF Пак 11 (МКТ) - <https://goo.gl/5PXCYh>

PDF Пак 12 (термодинамика) - <https://goo.gl/pzLhD3>

Пак 7 (закон всемирного тяготения) - <https://goo.gl/SKnjQb>

Пак 8 (СТО и неинерциальные системы отсчета) - <https://goo.gl/YPcolo>

Пак 9 (описание классических макроансамблей) - <https://goo.gl/SOUTYb>

Пак 10 (абсолютно твердое тело) - <https://goo.gl/6sTt1W>

Пак 11 (МКТ) - <https://goo.gl/Z4fPce>

Пак 12 (термодинамика) - <https://goo.gl/lxvmD4>

### 9.1. Какие Вы знаете методы описания макроскопических ансамблей классических частиц?

Динамический, Термодинамический, Статистический

### 9.2. В чем состоит основной недостаток динамического метода описания макроскопических ансамблей классических частиц?

Неосуществим технически, беспомощен на практике

Некоторые физические параметры, например, теплоемкость, нужно определять экспериментально, статистические методы позволяют их определить на основе данных о строении вещества

### 9.3. В чем состоит основной недостаток эвристического метода описания макроскопических ансамблей классических частиц?

Для описания твердого и жидкого состояний метод слишком сложен, поэтому простые термодинамические расчеты незаменимы

### 9.4. Как определяется температура по шкале Цельсия?

За 0 градусов принимается температура плавления воды, за 100 градусов - температура кипения воды. Шкала линейна.

Согласно современному определению, градус Цельсия равен одному кельвину К, а ноль шкалы Цельсия установлен таким образом, что температура тройной точки воды равна 0,01 °С. В итоге, шкалы Цельсия и Кельвина сдвинуты на 273,15:

$$t_C = t_K - 273,15$$

### 9.5. Как определяется температура по шкале Кельвина?

За 0 градусов принимается “абсолютный ноль” - полное отсутствие теплового движения. Фактически 0 по Кельвину недостижим. Температура тройной точки воды равна 273.16 К.



А в остальном шкалы Цельсия и Кельвина эквивалентны. Если кто-то меня верно понял, как это правильно написать по-русски?

Мне кажется, Чирцов в предыдущих двух вопросах хочет от нас что-то другое.

и кстати про давление тоже. Чирцов не хочет определение с вики а хочет то, что он рассказывал

и кто помнит, что он рассказывал про термометры?

#### 9.6. **Дайте определение давления.**

Давление — физическая величина, численно равная силе  $F$ , действующей на единицу площади поверхности  $S$  перпендикулярно этой поверхности.

Скалярная величина.

$$p = \frac{F}{S}$$

#### 9.7. **Сформулируйте закон Бойля-Мариотта.**

$$T = const, m = const \Rightarrow pV = const$$

#### 9.8. **Сформулируйте закон Гей-Люссака в его исходном варианте (для температуры по шкале Цельсия).**

$$p = const, m = const \Rightarrow V = V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

где  $V_0$  — давление газа при  $0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha$  — температурный коэффициент давления, одинаковый для всех газов:  $\alpha = 1/273 \text{ K}^{-1}$ .

(А разве не  $V_{100} - V_0 = kV_0$ , как в вики?  $k = 1/(2.7315)$  )

**Сформулируйте закон Гей-Люссака в его современном варианте (для температуры по шкале Кельвина).**

$$p = const, m = const \Rightarrow T/V = const.$$

#### 9.9. **Сформулируйте закон Шарля в его исходном варианте (для температуры по шкале Цельсия).**

$$V = const, m = const \Rightarrow p = p_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

где  $p_0$  — давление газа при  $0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha$  — температурный коэффициент давления, одинаковый для всех газов:  $\alpha = 1/273 \text{ K}^{-1}$

#### 9.10. **Сформулируйте закон Шарля в его современном варианте (для температуры по шкале Кельвина).**

$$V = const, m = const \Rightarrow P/T = const$$

## 9.11. Сформулируйте закон Дальтона.

$$P = \Sigma p_i$$

## 9.12. Сформулируйте закон Авогадро.

Закон Авогадро — закон, согласно которому в равных объёмах различных газов, взятых при одинаковых температурах и давлениях, содержится одно и то же число молекул.

Другая формулировка:

При одинаковых давлениях и температурах одинаковые порции газов, вне зависимости от состава газа, занимают один и тот же объем.

## 9.13. Сформулируйте закон Менделеева-Клапейрона.

$$p * V_M = R * T$$

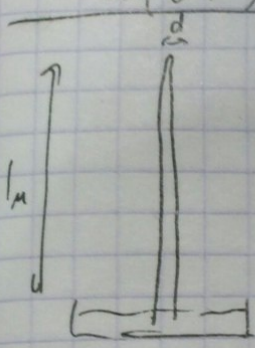
где  $p$  — давление,  $V_M$  — молярный объём,  $R$  — универсальная газовая постоянная,  $T$  — абсолютная температура, в  $K$ .

## 9.14. Как по высоте столбика ртути в ртутном манометре определить атмосферное давление.

$$P = h(\text{мм}) * 133,3$$

## 9. Задачи пака 9. Описание классических макроансамблей.

- 9.1. В трубку ртутного манометра длиной  $L = 1000 \text{ мм}$  попала небольшая порция воздуха. В результате при давлении воздуха 760 мм рт. столба (Hg) плохой манометр показывал 750 мм. Через некоторое время манометр начал показывать давление 730 мм Hg. Чему равно правильное давление в этот момент, если температура воздуха (и манометра) не изменилась?



Норм.:  $p_{\text{атм.}} = \rho g h$

Физический:  $p_{\text{атм.}} = \rho g h - p_{\text{взг.}} = \rho g h - \frac{\partial R T}{d(1-h)}$

$0.76 = \rho g h$

$0.75 = 0.76 - p_{\text{взг.}}$

$\frac{\partial R T}{d(1-h)} = 0.01 = \frac{\partial R T}{0.25 d} \Rightarrow \frac{\partial R T}{d} = 0.01 \cdot 0.25 = 0.0025$

$0.73 = x - \frac{\partial R T}{d \cdot 0.27} = x - \frac{0.0025}{0.27}$

$x = 0.73 + \frac{0.0025}{0.27} \approx 0.73926 = 739.26 \text{ мм. рт.ст.}$

- 9.2. Горизонтально расположенный сосуд длиной  $L$  разделен на 3 равные части тонкими покоеющимися поршнями, способными двигаться без трения и проводить тепло. В секциях сосуда находятся порции газов при давлениях  $p_1, p_2, p_3$  и температурах  $T_1, T_2, T_3$ . Поршни отпустили. Найти расстояние между поршнями после того, как система придет в состояние термодинамическое равновесие.



$P_1 T_1$	$P_2 T_2$	$P_3 T_3$
$V_1$	$V_1$	$V_1$

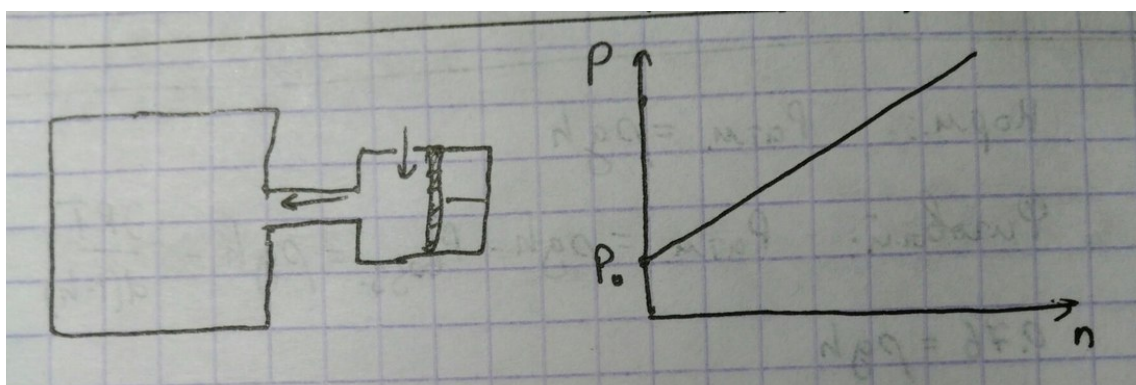
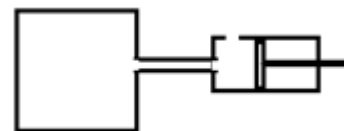
! в конце ситуация, как если бы поршень  
не было  $\Rightarrow l_1 / l_2 / l_3 = \lambda_1 / \lambda_2 / \lambda_3$

~~и~~  $\lambda_i = \frac{P_i V_i}{RT_i}$

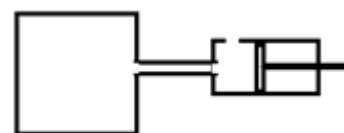
~~и~~  $\lambda$

$$l_1 / l_2 / l_3 = \frac{P_1}{T_1} / \frac{P_2}{T_2} / \frac{P_3}{T_3}$$

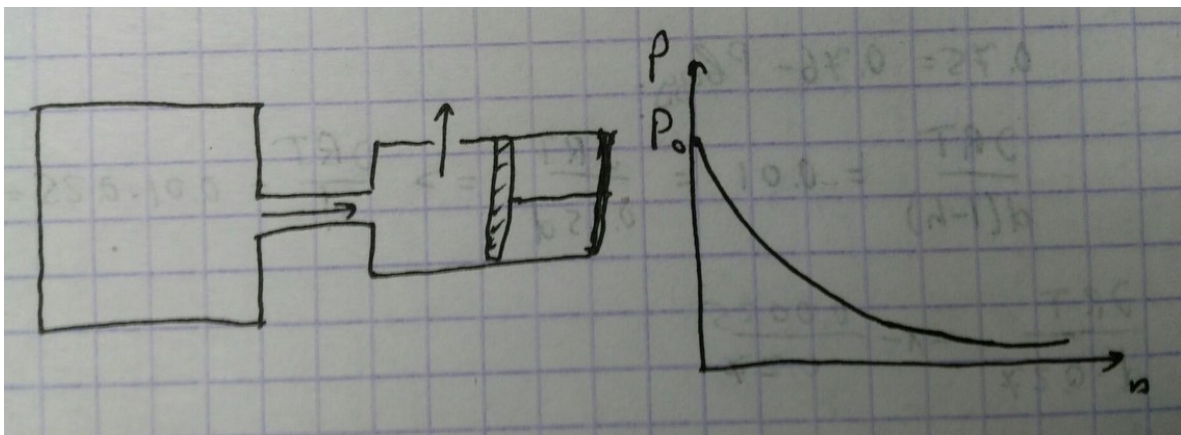
- 9.3. Насос с камерой объемом  $v$  нагнетает воздух из атмосферы в баллон объемом  $V$ , в котором первоначально находился воздух при атмосферном давлении  $p_0$ . Поставьте клапаны в схему описанной системы и нарисуйте график зависимости давления в баллоне от числа качаний поршня насоса.



- 9.4. Насос с камерой объемом  $v$  откачивает воздух из баллона объемом  $V$ , в котором первоначально находился воздух при атмосферном давлении  $p_0$ . Поставьте клапаны в схему описанной системы и нарисуйте график зависимости давления в баллоне от числа качаний поршня насоса.

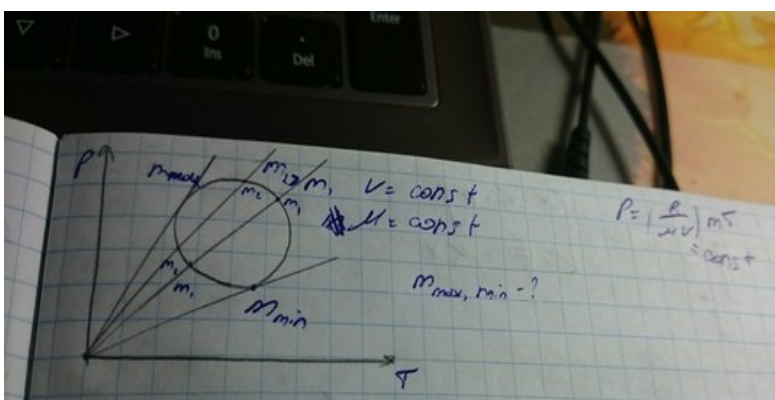
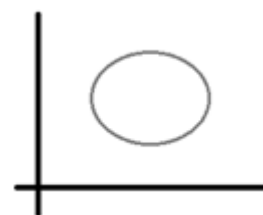






- 9.5. В координатах  $T(p)$  изображен циклический процесс, происходящий с идеальным газом при постоянном объеме. Покажите точки, соответствующие максимальной и минимальной массе газа.

Отразите оси!



- 9.6. После того, как абсолютная температура молекулярного азота в замкнутом баллоне была увеличена в 2 раза, половина молекул газа распалась на атомы. Во сколько раз увеличилось давление газа в баллоне, объем которого практически не изменился?

$p = nkT$ ,  $p' = n'k(2T)$ ,  $N_2 \rightarrow 2N$ , половина молекул перешла в атомы, половина осталась не измененными  $\Rightarrow n' = (n/2) \cdot 2 + (n/2) = 3n/2$

$$n' = 3n/2, \Rightarrow p' = (3n/2)k2T = 3nkT, \Rightarrow p' = 3p$$

Ответ: в 3 раза

## 10. Вопросы пака 10. Абсолютно твердое тело.

**Входите в чат, чтобы понимать, кто**

**PDF Merge** - <https://goo.gl/7zvNWe>

PDF Пак 7 (закон всемирного тяготения) - <https://goo.gl/2bN4LC>

PDF Пак 8 (СТО и неинерциальные системы отсчета) - <https://goo.gl/j2yoJM>

PDF Пак 9 (описание классических макроансамблей) - <https://goo.gl/h6e6ig>

PDF Пак 10 (абсолютно твердое тело) - <https://goo.gl/RNKbnK>

PDF Пак 11 (МКТ) - <https://goo.gl/5PXCYh>

PDF Пак 12 (термодинамика) - <https://goo.gl/pzLhD3>

Пак 7 (закон всемирного тяготения) - <https://goo.gl/SKnjQb>

Пак 8 (СТО и неинерциальные системы отсчета) - <https://goo.gl/YPcolo>

Пак 9 (описание классических макроансамблей) - <https://goo.gl/S0UTYb>

Пак 10 (абсолютно твердое тело) - <https://goo.gl/6sTt1W>

Пак 11 (МКТ) - <https://goo.gl/Z4fPce>

Пак 12 (термодинамика) - <https://goo.gl/lxvmD4>

### 10.1. Дайте определение абсолютно твердого тела.

АТТ - Модель тела, расстояние между любыми двумя точками которого = const

### 10.2. Сколькими степенями свободы обладает абсолютно твердое тело?

6

### 10.3. Запишите набор уравнений, позволяющих однозначно описать движение абсолютно твердого тела.

$$d\vec{p}/dt = \Sigma \vec{F}^{ex}$$

$$d\vec{L}/dt = \Sigma \vec{M}^{ex}$$

ВОЗМОЖНО, ЭТО ЧУШЬ

### 10.4. Как рассчитать полный импульс твердого тела, если известно пространственное распределение его плотности $\rho(r)$ и скорость каждой его алой области $v(r)$ ?

### 10.5. Как рассчитать полный момент импульса относительно закрепленной оси твердого тела, если известно пространственное распределение его плотности $\rho(r)$ и скорость каждой его малой области $v(r)$ ?

### 10.6. Как найти равнодействующую двух сил, приложенных к твердому телу?

Провести векторы из центра масс и сложить эти вектора по правилу треугольника

### 10.7. Какие две силы, приложенные к твердому телу, нельзя заменить равнодействующей (нарисовать пример).

Возьмем палку. Слева приложим силу вверх, справа - вниз.

это правильный пример? приведите кто-нибудь правильный пример, если этот неправильный, хотя мне кажется, что он верный (автор примера)

10.8. **Запишите уравнения статики твердого тела.**

$$\vec{F}_{\Sigma} = 0$$

$$\vec{M}_{\Sigma} = 0$$

10.9. **Дайте определения центра тяжести твердого тела.**

Чирцов: Точка к которой приложена равнодействующая всех сил тяжести

Вики: Центром тяжести механической системы называется точка, относительно которой суммарный момент сил тяжести, действующих на систему, равен нулю.

10.10. **Запишите уравнения, позволяющие рассчитать силы реакции опоры, действующие на горизонтально расположенную балку массой  $M$ .**

$$N_1 + N_2 = M * g$$

$$N_2 * L/2 = N_1 * x$$

10.11. **Чему равен момент инерции обруча с радиусом  $R$  и массой  $M$ , равномерно распределенной по его ободу.**

$$I = M * R^2$$

10.12. **Как связаны между собой угловое ускорение и сила, приложенная в заданной точке к абсолютно твердому телу, способному вращаться вокруг закрепленной оси и имеющему относительно этой оси момент инерции  $I$ ?**

10.13. **Чему равна кинетическая энергия твердого тела, вращающегося с постоянной угловой скоростью вокруг неподвижной оси, момент инерции которого относительно этой оси равен  $I$ ?**

$$I * \omega^2 / 2$$

10.14. **Перечислите известные Вам формы движения твердого тела.**

Статическое, Поступательное, Вращение вокруг закрепленной оси, Плоское движение, Перемещение центра масс и Вращение вокруг центра масс (хз, последние два вместе или это разные. в конспекте это под одним пунктом стоит)

10.15. **Если заданы величина и направление внешней силы, действующей на твердое тело, к какой его точке эту силу следует считать приложенной?**

Центр масс

## 10. Задачи пака 10. Абсолютно твердое тело.

- 10.1. Имеется бесконечный набор одинаковых досок длиной  $L$ . Показать что из них можно построить мост любой длины, кладя доски друг на друга и не скрепляя их.  
<http://www.planetseed.com/ru/mathpuzzles/uravnovieshivaiem-knighi>

- 10.2. При каком коэффициенте трения шара о стену такое возможно? Радиус шара -  $R$ .

---  
 ---  
 ---  
 ---



- 10.3. Рассчитать момент инерции сплошного цилиндра массой  $M$ , длиной  $L$  и  $R$  радиуса относительно его оси.

Рассмотрим бесконечно тонкое кольцо с внутр. радиусом  $r$  и наружным  $r + dr$

$$I_z = \int r^2 dm$$

Площадь кольца  $dS = 2\pi r dr$

Его инерция  $dI_z = r^2 dm$

Момент инерции всего диска  $dm = m \frac{dS}{S} = 2m \frac{r dr}{R^2}$ , где  $S = \pi R^2$  - площадь всего диска

$$I_z = \frac{2m}{R^2} \int_0^R r^3 dr = \frac{1}{2} m R^2$$

- 10.4. Рассчитать момент инерции сплошного цилиндра массой  $M$ , длиной  $L$  и  $R$  радиуса относительно оси вращения, проходящей через его центр и перпендикулярный оси симметрии цилиндра.

$$\rho = \frac{m}{\pi R^2 L}$$

$$I = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} z^2 \rho + \rho x^2, \quad z - \text{вдоль оси}$$

$$I_1 = 2I \sqrt{R^2 - x^2} \quad - \text{момент плашки}$$



$$I_{\Pi} = \int_{-R}^R I_1 \quad \text{- полный момент}$$

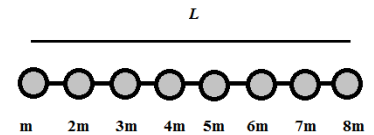
$$I = \int_{-R}^R I_1 = \frac{1}{12} m(3R^2 + L^2)$$

10.5. Найти положение центра тяжести.

---

---

---



10.6. Обруч массой  $M$  и радиуса  $R$  начинает катиться с вершины горы высотой  $H$ . Какова скорость обруча у подножия горы. Проскальзывания нет.

$$mgH = \frac{mV^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}$$

момент инерции обруча  $J = mR^2$ ,  $\omega = \frac{v}{R}$

и какая -то херь с трением

## 11. Вопросы пака 11. Молекулярно-кинетическая теория.

**Входите в чат, чтобы понимать, кто здесь кто**

**PDF Merge** - <https://goo.gl/7zvNWe>

PDF Пак 7 (закон всемирного тяготения) - <https://goo.gl/2bN4LC>

PDF Пак 8 (СТО и неинерциальные системы отсчета) - <https://goo.gl/j2yoJM>

PDF Пак 9 (описание классических макроансамблей) - <https://goo.gl/h6e6ig>

PDF Пак 10 (абсолютно твердое тело) - <https://goo.gl/RNKbnK>

PDF Пак 11 (МКТ) - <https://goo.gl/5PXCYh>

PDF Пак 12 (термодинамика) - <https://goo.gl/pzLhD3>

Пак 7 (закон всемирного тяготения) - <https://goo.gl/SKnjQb>

Пак 8 (СТО и неинерциальные системы отсчета) - <https://goo.gl/YPcolo>

Пак 9 (описание классических макроансамблей) - <https://goo.gl/SOUTYb>

Пак 10 (абсолютно твердое тело) - <https://goo.gl/6sTt1W>

Пак 11 (МКТ) - <https://goo.gl/Z4fPce>

Пак 12 (термодинамика) - <https://goo.gl/lxvmD4>

- 11.1. **Чему равно среднее давление на стенку газа из одинаковых липких частиц с массой  $m$ , летящих к ней с одинаковой скоростью  $v$ , если концентрация частиц равна  $n$ ?**

$$1/3 \cdot m \cdot n \cdot v \quad \text{Разве здесь не } 2 \cdot m \cdot U^2(x) \cdot n?$$

Кто написал последнюю формулу - напишите ее плз с заданными значениями, то есть что такое  $U^2(x)$ ?

Только без двойки, т.к. частицы "липкие".

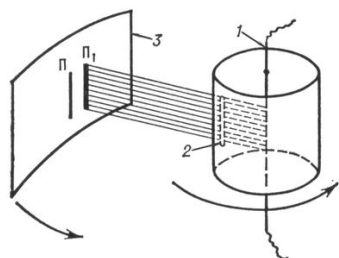
- 11.2. **Чему равно давление на стенки сосуда идеального газа из упругих частиц, средняя кинетическая энергия которых равна  $\langle K \rangle$ ?**

$$\frac{2}{3} n \langle K \rangle$$

- 11.3. **Как связана средняя кинетическая энергия молекул одноатомного идеального газа с его температурой?**

$$\langle E \rangle = \frac{3}{2} kT$$

- 11.4. **Нарисуйте примерную схему опыта Штерна.**



**ПРИМЕРНАЯ? НИХЕРА СЕБЕ**

- 11.5. **На рис. изображены две полоска, полученные в опыте Штерна в случаях неподвижных и вращающихся цилиндров**



для газа из атомов металла при температуре  $T$ . Какой след возникнет на полоске, если температура удвоится?

все полоски сместятся вправо.

- 11.6. Дайте определение вероятности попадания непрерывно изменяющейся величины  $X$  в интервал значений  $[x_0 - \delta x/2, x_0 + \delta x/2]$ .

Плотность вероятности

- 11.7. Дайте определение плотности вероятности (функции распределения  $f$  непрерывно изменяющейся величины  $x$ ).

Функция, характеризующая вероятность попадания непрерывно изменяющейся величины  $X$  в интервал значений  $[x_0 - \delta x/2, x_0 + \delta x/2]$ .

- 11.8. Запишите условие нормировки функции распределения  $f$  непрерывно изменяющейся величины  $x$ , способной принимать любые значения внутри интервала  $[a, b]$ .

$$\int_a^b f(x)dx = 1$$

- 11.9. Как по функции распределения  $f$  непрерывно изменяющейся величины  $x$ , способной принимать любые значения внутри интервала  $[a, b]$ . Определить вероятность попадания случайной величины  $x$  в интервал  $[x_1, x_2]$ , лежащий внутри интервала  $[a, b]$ ?

$$\int_{x_1}^{x_2} f(x)dx$$

- 11.10. Как с помощью функции распределения  $f$  непрерывно изменяющейся величины  $x$ , способной принимать любые значения внутри интервала  $[a, b]$ , определить среднее значение случайной величины  $x$ , на интервале  $[a, b]$ ?

$$\int_a^b xf(x)dx$$

- 11.11. Как с помощью функции распределения  $f$  непрерывно изменяющейся величины  $x$ , способной принимать любые значения внутри интервала  $[a, b]$ . Определить среднее значение заданной функции  $F$  от случайной величины  $x$ ?

$$\int_a^b F(x)f(x)dx$$

- 11.12. Как вычислить функцию распределения  $\Phi_2(x,y)$  двух независимых друг от друга случайных величин  $x$  и  $y$ , если известны их функции распределения  $f_1(x)$  и  $g_1(y)$ ?

$$\Phi_2(x, y) = f(x) * g(y)$$

11.13. Какие физические предположения использовал Максвелл при выводе функции распределения молекул по проекциям скоростей?

1. Однородность пространства.
2. Изотропность (все направления равноправны)
3. Бесструктурность молекул.
4. 3-н сохр. импульса при столкновении
5. 3-н сохр. механической энергии
6. Притяжение между молекулами = 0
7. Термодинамическое равновесие

11.14. Запишите (с точностью до нормировочной константы) явный вид функции распределения молекул по  $x$ -проекциям скоростей (распределения Максвелла).

$$c_1 * e^{-\frac{m \cdot v_x^2}{2KT}} \quad c_1 \text{ писать не надо}$$

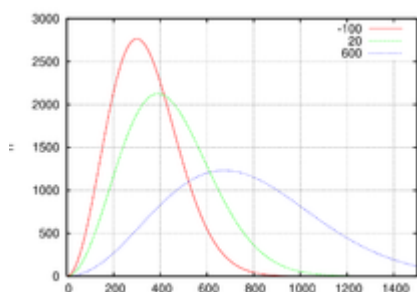
11.15. Нарисуйте в одних координатах семейство графиков функции Максвелла по скоростям для различных температур.

Кривые, с максимумом на оси  $oY$ , четная функция. чем ниже температура тем выше максимум, но сама функция может находиться ниже при большей температуре. Кто нарисует, спасибо. Разве это подходит под описание??? Четная функция! Либо оставляем мое описание, либо надо нарисовать.

11.16. Запишите (с точностью до нормировочной константы) явный вид функции распределения молекул по модулям скоростей (следствие распределения Максвелла).

$$f(v)dv = c_1 * v^2 * e^{-\frac{mv^2}{2KT}} * dv$$

11.17. Нарисуйте в одних координатах семейство графиков функции распределения молекул по модулям скоростей для различных температур.

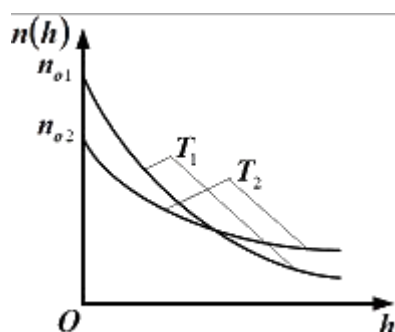


11.18. Запишите (с точностью до нормировочной константы) явный вид функции распределения молекул по высоте в случае изотермической атмосферы в условиях  $g = \text{const}$ .

$$n(z) = c * e^{\frac{-mgz}{KT}}$$

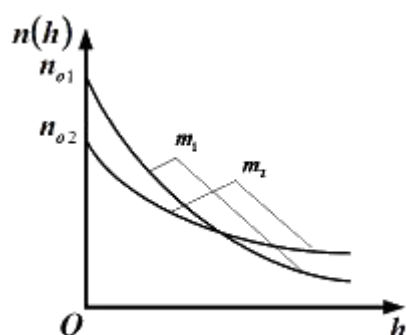
- 11.19. Нарисуйте в одних координатах семейство графиков функции распределения молекул по высоте для изотермических атмосфер в однородном гравитационном поле при различных температурах.

$$T_1 > T_2$$



- 11.20. Нарисуйте в одних координатах семейство графиков функций распределения молекул с различными массами по высоте для изотермической атмосферы (в однородном гравитационном поле), состоящей из молекул разного сорта.

$$m_1 > m_2$$



- 11.21. Запишите явный вид функции распределения молекул по расстояниям от центра шарообразной планеты массой  $M$  и покажите невозможность существования стационарной атмосферы у планет.

$$f = ce^{\frac{GMm}{rkT}}$$

(?) а стационарная атмосфера не может существовать т.к. эта хрень не стремится к нулю

## 11. Задачи пака 11. Молекулярно-кинетическая теория.

- 11.1. Вычислите нормировочную константу для функции распределения Больцмана в случае молекул в однородном гравитационном поле.

- 11.2. Найдите среднюю высоту нахождения молекул в изотермической атмосфере ( $T$  – задана), находящейся в однородном гравитационном поле.

$$p = P_0 e^{\frac{-mgh}{RT}}$$

$$P = nkT; \quad P_0 = n_0 kT$$

$$\frac{mgh}{RT} = \frac{N_a mgh}{N_a RT} = \frac{mgh}{kT}$$

$$n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

$$n = \frac{n_0}{e^{\frac{mgh}{kT}}}$$

$$n_0/n = e^{\frac{mgh}{kT}}$$

$$\frac{mgh}{kT} = \ln \frac{n_0}{n}$$

$$h = \frac{kT \ln n_0/n}{mg}$$

## 12. Вопросы пака 12. Термодинамика.

**Входите в чат, чтобы понимать, кто здесь кто**

**PDF Merge** - <https://goo.gl/7zvNWe>

PDF Пак 7 (закон всемирного тяготения) - <https://goo.gl/2bN4LC>

PDF Пак 8 (СТО и неинерциальные системы отсчета) - <https://goo.gl/j2yoJM>

PDF Пак 9 (описание классических макроансамблей) - <https://goo.gl/h6e6ig>

PDF Пак 10 (абсолютно твердое тело) - <https://goo.gl/RNKbnK>

PDF Пак 11 (МКТ) - <https://goo.gl/5PXCYh>

PDF Пак 12 (термодинамика) - <https://goo.gl/pzLhD3>

Пак 7 (закон всемирного тяготения) - <https://goo.gl/SKnjQb>

Пак 8 (СТО и неинерциальные системы отсчета) - <https://goo.gl/YPcolo>

Пак 9 (описание классических макроансамблей) - <https://goo.gl/S0UTYb>

Пак 10 (абсолютно твердое тело) - <https://goo.gl/6sTt1W>

Пак 11 (МКТ) - <https://goo.gl/Z4fPce>

Пак 12 (термодинамика) - <https://goo.gl/lxvmD4>

## 12.1. Запишите первый закон термодинамики.

$$\delta Q = \delta A + \delta U$$

## 12.2. Дайте определение теплоемкости тела.

$$C = \frac{\delta Q}{\delta T}$$

## 12.3. Дайте определение удельной теплоемкости вещества.

$$c(T) = \frac{1}{m} \left( \frac{\delta Q}{\delta T} \right)$$

## 12.4. Дайте определение молярной теплоемкости вещества.

$$c(T) = \frac{1}{\nu} \left( \frac{\delta Q}{\delta T} \right)$$

12.5.  **$N$  тел с теплоемкостями  $C_j$  и температурами  $T_j$  приведены в тепловой контакт. При какой температуре возникнет термодинамическое равновесие?**

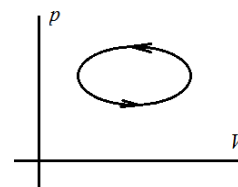
??

12.6. Газ расширился от  $V_1$  до  $V_2$  по заданному закону  $p(V)$ . Какую работу совершил газ?

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV$$

- 12.7. Газ совершил замкнутый цикл, представленный на рис. Какую работу совершил газ?

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p_1(V) dV + \int_{V_2}^{V_1} p_2(V) dV = - S_{graph}$$



- 12.8. Дайте определение внутренней энергии порции вещества, содержащей  $N$  молекул?

Внутренняя энергия системы тел (в нашем случае, конечно же, всех молекул или атомов порции вещества) – сумма потенциальных и кинетических энергий всех тел системы

$$U = N * \left\langle \frac{m \cdot v^2}{2} \right\rangle - \text{тут есть } N \text{ в отличие от формул ниже}$$

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$$

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

- 12.9. Чему равна внутренняя энергия  $\nu$  молей идеального двухатомного газа

$$U = \frac{i}{2} \nu RT, \quad i - \text{число степеней свободы молекулы газа}$$

$$i = 5 \quad ?? \text{ да // по идее да, если конечно не нагреть газ до предельных температур}$$

- 12.10. Чему равна молярная теплоемкость при постоянном давлении водяного пара?

$$\frac{i+2}{2} R \text{ или } R + C_{V\mu}. \text{ Для водяного пара } i = 6, \quad C_p = 4R$$

- 12.11. Чему равна молярная теплоемкость при постоянном объеме идеального одноатомного газа?

$$\frac{i}{2} R$$

- 12.12. Чему равна разность молярных теплоемкостей произвольного вещества при постоянном давлении и постоянном объеме?

$$R, \text{ универсальная газовая постоянная, } 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

- 12.13. Запишите уравнение политропы для 1 моля идеального одноатомного газа через переменные  $p$  и  $V$ .

$$P V^n = \text{const}$$

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$$

- 12.14. Запишите уравнение политропы для 1 моля идеального двухатомного газа через переменные  $T$  и  $V$ .



$$TV^{n-1} = \text{const}$$

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$$

- 12.15. Запишите уравнение политропы для 1 моля водяного пара через переменные  $T$  и  $p$ .

$$Tp^{-\frac{n-1}{n}} = \text{const}$$

- 12.16. Чему равна теплоемкость газа при изотермическом процессе?

$C = \infty$ , т.к.  $T = \text{const} \Rightarrow \delta T = 0$  в изотермическом процессе

- 12.17. Чему равна теплоемкость газа при адиабатическом процессе?

$C = 0$ , т.к.  $\delta Q = 0$  в адиабатическом процессе

- 12.18. Чему равен показатель политропы при изобарическом процессе?

$$n = \frac{C_p - C_p}{C_p - C_v} = 0$$

- 12.19. Чему равен показатель политропы при изохорическом процессе?

$$n = \frac{C_v - C_p}{C_v - C_v} = \infty$$

- 12.20. Запишите уравнение адиабаты для гелия в переменных  $p$  и  $V$ .

$$pV^{3/2} = \text{const}$$

- 12.21. Запишите уравнение адиабаты для молекулярного азота в переменных  $T$  и  $V$ .

$$TV^{2/5} = \text{const}$$

- 12.22. Запишите уравнение адиабаты для водяного пара в переменных  $T$  и  $p$ .

$$T^{9/7} p^{-2/7} = \text{const} (?)$$

- 12.23. Дайте определение вечного двигателя первого рода.

Гипотетическое устройство, которое на выходе совершает работу большую, чем к нему подводят.

- 12.24. Какие фундаментальные свойства симметрии нашего мира делают невозможным вечный двигатель первого рода.

Закон сохранения энергии

- 12.25. Дайте определение вечного двигателя второго рода.

Гипотетическое устройство, способное совершать полезную работу, используя энтропию вещества, находящегося в состоянии термодинамического равновесия

### 12.26. Почему неработоспособен вечный двигатель второго рода?

Не удастся сделать так (возможно маловероятно), чтобы энергия от более холодного тела перешла к более горячему. А для создания вечного двигателя необходимо, чтобы при этом еще и совершалась работа. Превратить теплоту в работу полностью нельзя. Следовательно, в природе существует асимметрия во взаимной превратимости теплоты и работы то получение работы из теплоты возможно только в том случае, когда между теплоотдатчиком и теплоприемником есть разность температур (т.е.  $T_1 > T_2$ ).

### 12.27. Сформулируйте второй закон («второе начало») термодинамики (3 формулировки).

1. Существуют необратимые процессы
2. Невозможен вечный двигатель 2 рода
3. В замкнутых системах энтропия не убывает

### 12.28. Почему неработоспособен демон Максвелла?

Его существование противоречит второму началу термодинамики.

Пример: демон Максвелла позволяет нагреть правую часть сосуда и охладить левую без дополнительного подвода энергии к системе. Энтропия для системы, состоящей из правой и левой части сосуда, в начальном состоянии больше, чем в конечном, что противоречит термодинамическому принципу неубывания энтропии в замкнутых системах

### 12.29. Запишите выражение для КПД идеальной тепловой машины, если даны количества теплот, полученных и отданных рабочем телом за цикл.

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H}$$

### 12.30. Запишите выражение для КПД цикла Карно, если известны температуры нагревателя и холодильника.

$$\eta = \frac{T_H - T_X}{T_H}$$

### 12.31. Дайте термодинамическое определение энтропии.

$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

### 12.32. Дайте статистическое определение энтропии.

$S = k \ln \Gamma$ ,  $k$  - постоянная Больцмана,  $\Gamma$  - статический вес (количество микросостояний, реализующих данное макросостояние)

### 12.33. Что такое аттрактор?

Состояние, к которому стремится система(???)

Пример: рулетка.

Как бы крупнее не бросал шарик, он в итоге прибьется в одну из 38 лунок. Лунки - аттракторы для системы колесо - !!шарик!!

### 12.34. Что такое бифуркация?

Это термин из теории развития сложных систем, нелинейной термодинамики и синергетики.

Речь о том, что процессы в нелинейных системах могут проходить через ТАКИЕ состояния (называемые точками бифуркации) когда дальнейший процесс может с некоторыми вероятностями пойти РАЗНЫМИ (обычно - двумя, откуда - "би-") путями. Так что да, это точка "развоения", но - на "фазовой диаграмме :-)"

### 12.35. В каких системах возможна самоорганизация?

1. открытая (наличие обмена энергией/веществом с окружающей средой);
2. содержит неограниченно большое число элементов (подсистем);
3. имеется стационарный устойчивый режим системы, в котором элементы взаимодействуют хаотически (некогерентно).

### 12.36. Как изменится уравнение состояния идеального газа для 1 моля, если учесть конечность размеров молекул?

$$p(V - b) = RT$$

### 12.37. Как изменится уравнение состояния идеального газа для 1 моля, если учесть эффекты притяжения между молекулами?

$$(P + \frac{a}{V^2}) * (V - b) = RT$$

### 12.38. Запишите уравнение состояния реального газа (Ван-дер-Ваальса).

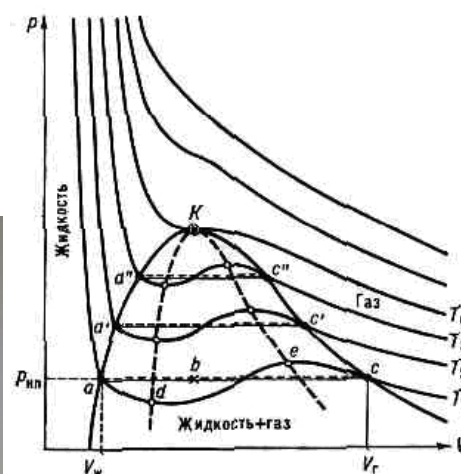
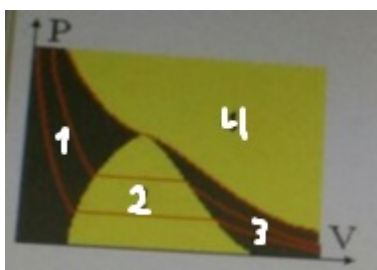
$$(P + \frac{av^2}{V})(V - bv) = vRT$$

### 12.39. Нарисуйте семейство изотерм реального газа и покажите на плоскости $p(V)$ область, соответствующую жидкости.

1 - жидкость

2 - жидкость + газ

3-4 - газ



- 12.40. Нарисуйте семейство изотерм реального газа и покажите на плоскости  $p(V)$  область, соответствующую насыщенному пару.

Рисунок выше, область именуемая “жидкость + газ”

- 12.41. Нарисуйте семейство изотерм реального газа и покажите на плоскости  $p(V)$  область, соответствующую идеальному газу.

Рисунок выше, область именуемая “газ”

- 12.42. **Метастабильным состояниям вещества.**

Называется состояние, стабильность которого сохраняется при не очень больших возмущениях

## 12. Задачи пака 12. Термодинамика.

- 12.1. В избе стопили печь, израсходовав  $m$  дров с удельной теплотворностью  $q$ . Как изменилась внутренняя энергия газа в избе, если печная труба была открыта, а изменения объема избы и атмосферного давления в результате топления печи пренебрежимо малы?

$p$  постоянна, т.к. труба открыта и давление равно давлению вне избы.

$V$  постоянна, т.к. объём избы неизменен.

$$pV = \nu RT$$

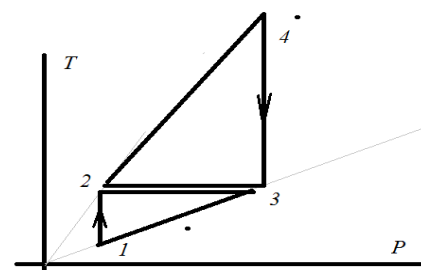
$$U = \frac{i}{2} \nu RT$$

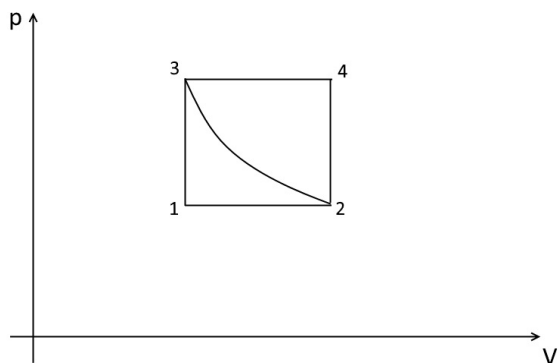
$$U = \frac{i}{2} pV = \text{const}$$

- 12.2. Горизонтально расположенный сосуд разделен пополам невесомым стержнем, способным двигаться без трения. В одной половине сосуда вакуум, в другой – несколько молей идеального одноатомного газа при температуре  $T_0$ . Между поршнем и одной из стен сосуда вставлена пружина, длина которой в недеформированном состоянии равна длине сосуда. В заполненную газом часть сосуда адиабатически дозпускают моль того же газа, начальная температура которого была равной  $T_1$ . При этом поршень сдвигается на четверть длины сосуда. Сколько молей газа было в сосуде первоначально?

???

- 12.3. По какому из циклов (123 или 324) действующие на идеальный газ внешние силы совершили большую работу?





Перерисуем график в оси  $p(V)$

В цикле 123 работа над газом совершается на участке 23, а в цикле 324 на участке 43

Изменение объема одинаково, но давление на участке 43 больше, следовательно и работа совершаемая над газом больше.  $A(324) > A(123)$

**Работа газа на участке 123 отрицательна, а на 234 положительна! Внешних сил - наоборот, так что  $A_{\text{внеш.сил123}} > A_{\text{внеш сил234}}$**

- 12.4. **Тепловая подъемная машина представляет собой сосуд, закрытый сверху невесомым поршнем, способным перемещаться без трения, на который помещается поднимаемый в результате подогрева газа под поршнем груз. Найти отношение КПД тепловых машин в случае, если одна из них наполнена гелием, а вторая-азотом.**

???

