БИЛЕТ № **8**

К РУБЕЖНОМУ КОНТРОЛЮ

по курсу «Физика» для всех специальностей, модуль № **2**

1. Вывод из преобразований Лоренца выражений для изменения промежутка времени между событиями в СТО и Лоренцева сокращения длины.

2. Теорема Карно (1-ая теорема Карно), без доказательства. Термодинамическая шкала температур.

Примечание: доказательство теоремы Карно есть в составе курса, преподаватель может его спросить в виде дополнительного вопроса.

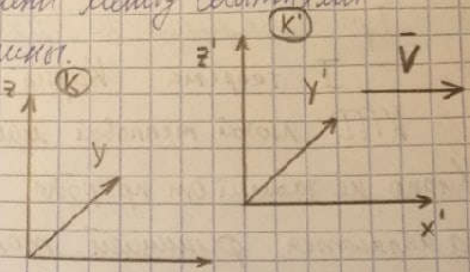
3. Идеальный одноатомный газ расширяется, подчиняясь уравнению $p = \alpha V^3$, где α – известная постоянная. Начальный объём равен V_0.

Найдите работу, совершаемую газом при увеличении его объёма в 2 раза. Во сколько раз при этом возрастает его внутренняя энергия?

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры ФН-4 23.04.2020г.
(число, месяц, год)

Билет №8.

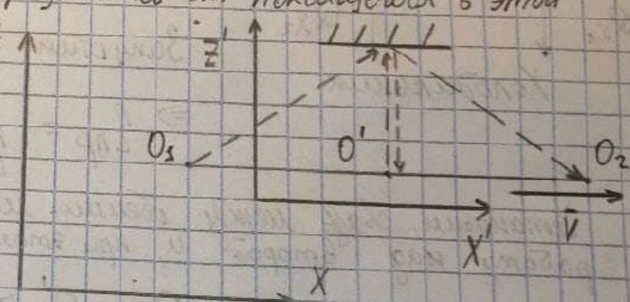
(№1). Вывод из преобразований Лоренца выражений для изменения промежутка времени между событиями в СТО и Лоренцева сокращения длины.



Рассмотрим две инерциальные системы отсчёта K и K'. Пусть система K' поступательно движется вдоль оси X системы K со скоростью V, так что соответствующие оси обеих систем остаются параллельными друг другу.

Так как при малых скоростях поперечные координаты тел во всех инерциональных системах отсчета одинаковы, то это должно выполняться и при релятивистских скоростях.

В системе K' рассмотрим сигнал, пущенный вдоль оси z' из точки O'. Пусть этот сигнал отразившись от покоящегося в этой системе отсчета зеркала вернется обратно в точку O'.



Если расстояние между точкой O' и зеркалом равно S, то по собственным часам системы K' пройдет промежуток времени $\Delta t' = \frac{2S}{c}$.

Расстояние вдоль вертикальной оси в обеих системах одинаковое. Скорость светового сигнала тоже одинаковая. Так как точка O' движется относительно систем K, то в этой системе отсчета сигнал будет испущен в точке O_1 и принят в точке O_2

$$\Delta t = \frac{2\sqrt{S^2 + \left(\frac{V\Delta t}{2}\right)^2}}{c} \Rightarrow \Delta t = \frac{2S}{\sqrt{c^2 - V^2}}$$

$$\frac{\Delta t'}{\Delta t} = \frac{2S}{c} \cdot \frac{\sqrt{c^2 - V^2}}{2S} = \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Пусть в подвижной системе отсчета K' $\parallel X'$ расположен стержень длиной L_0. При движении этого стержня со скоростью V вдоль оси X неподвижной системы K он пробдет неподвижные часы за время $\Delta t_0 = \frac{L}{V}$. В системе K' эти же часы пролетят стержень за время $\Delta t = \frac{L_0}{V}$. Т.к. часы движутся со скоростью V, то их показания в неподвижной системе отсчёта связаны с показаниями в подвижной системе $\Delta t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$.

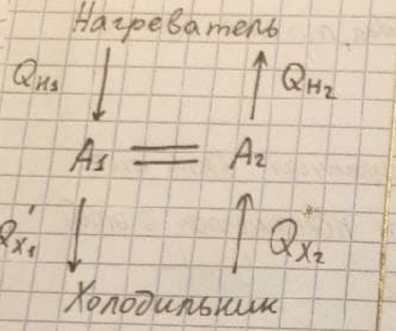
Тогда $\frac{l}{l_0} = \frac{\Delta t_0}{\Delta t} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

№2 Теорема Карно (1-ая теорема Карно), с доказательством. Термодинамическая шкала температур.

I теорема Карно:

КПД любой тепловой машины, работающей по обратимому циклу Карно, не зависит от природы рабочего тела и устройства машины, а является функцией только температур нагревателя и холодильника.

Док-во: Возьмём две тепловые машины, возможно разные конструкции и использующие разные рабочие тела, но имеющие общие нагреватель и холодильник и работающие по циклу Карно.



Пусть КПД 1й машины больше КПД 2й машины

$\eta_1 > \eta_2 \Rightarrow \quad 1 - \frac{Q'_{x_1}}{Q_{H_1}} > 1 - \frac{Q'_{x_2}}{Q_{H_2}}$

Запустим I машину по прямому циклу, а II по-обратному

$$\Rightarrow \eta_{пр} = \frac{1}{\eta_{обр}} \Rightarrow 1 - \frac{Q'_{x_1}}{Q_{H_1}} > 1 - \frac{Q'_{x_2}}{Q_{H_2}} \Rightarrow \frac{Q'_{x_2}}{Q_{H_2}} > \frac{Q'_{x_1}}{Q_{H_1}}$$

Установим связь между обеими машинами так, чтобы первая совершала работу над второй и, при этом, выполнялось равенство $Q'_{x_1} = Q'_{x_2}$ ⇒

$\Rightarrow Q_{H1} > Q_{H2}$ или $Q_{H1} - Q'_{x1} > Q_{H2} - Q'_{x2} \Rightarrow A_1 > A_2 \Rightarrow$

$A_{общ} = A_1 + A_2 = Q_{H_1} - Q'_{x_1} - (Q_{H_2} - Q'_{x_2}) > 0$. ⇒ общая теплота, получаемая холодильником, будет равна нулю ⇒ $Q_H = Q_{H_1} - Q_{H_2} > 0 \Rightarrow$

$A_{общ} > 0$. Противоречие со вторым началом термодинамики в формулировке Томсона. ⇒ $\eta_1 > \eta_2$ не верное.

Пусть $\eta_1 < \eta_2$. I машина - обратный цикл, II - прямой цикл ⇒ снова противоречие

⇒ $\eta_1 = \eta_2$. Однако если рабочим телом одной из машин является идеальный газ, то $\eta = 1 - \frac{T_x}{T_H}$

В итоге получаем что для любой тепловой машины, работающей по обратимому циклу Карно: $\eta = 1 - \frac{Q'_x}{Q_H} = 1 - \frac{T_x}{T_H} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{Q'_x}{Q_H} = \frac{T_x}{T_H}$$

Термодинамическая шкала температур. – шкала температур, которая не зависит от свойств рабочего тела

Дано:

$p = \alpha V^3$

$\alpha = const$

$V = 2V_0$

$A - ?$

$\frac{U_к}{U_0} - ?$

Решение:

1) $A = \int_{V_0}^{V} p\,dV = \int_{V_0}^{V} \alpha V^3 dV = \alpha \frac{V^4}{4}\Big|_{V_0}^{V} =$

$= \frac{\alpha}{4}\left((2V_0)^4 - V_0^4\right) = \frac{15\alpha}{4} V_0^4$

2) $U_0 = \frac{3}{2} p_0 V_0 = \frac{3}{2} \alpha V_0^3 \cdot V_0 = \frac{3}{2} \alpha V_0^4$

$U_к = \frac{3}{2} pV = \frac{3}{2} \alpha V^4$

$\frac{U_к}{U_0} = \frac{\frac{3}{2}\alpha V^4}{\frac{3}{2}\alpha V_0^4} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^4 = \left(\frac{2V_0}{V_0}\right)^4 = 16$

Ответ: $A = \frac{15\alpha}{4} V_0^4$; в 16 раз