

# Тепловые явления

Количество теплоты - это энергия, переданная системе тел без совершения работы в результате теплопередачи (конвекция, излучение, теплопроводность)

$Q$

$$Q = mc(t_2 - t_1) \quad \text{для нагревания и охлаждения}$$

$c$  – удельная теплоёмкость

$t_2$  – конечная температура

$t_1$  – начальная температура

будем считать количество теплоты положительной величиной

знак будет показывать на процесс:

тепло приходит : +    тепло уходит : -

$$4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$$

$$2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$$

$$Q = m\lambda$$

$$Q = mL$$

$$Q = N\tau$$

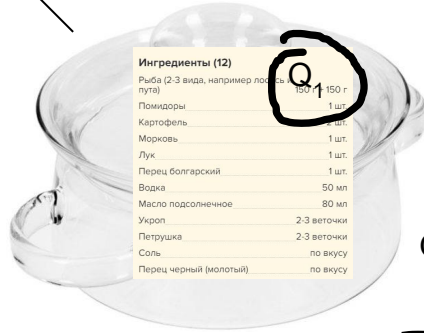
$$\eta = \frac{Q_{\text{полез}}}{Q_{\text{общ}}}$$

$$Q = mq$$

Handwritten mathematical notations:

- $\sum_{i=1}^n Q_i$
- $\sum_{i=1}^n Q_i + Q_2$
- $\sum_{i=1}^n Q_i + Q_2 + Q_3$

$Q_3$



**Ингредиенты (12)**

Рыба (2-3 вида, например лосось и форель)	150 г
Помидоры	1 шт.
Картофель	1 шт.
Морковь	1 шт.
Лук	1 шт.
Перец болгарский	1 шт.
Водка	50 мл
Масло подсолнечное	80 мл
Укроп	2-3 веточки
Петрушка	2-3 веточки
Соль	по вкусу
Перец черный (молотый)	по вкусу

$Q_1$

$Q$

$Q_2$



Дан кусок жидкого железа при температуре  $t_1 = 1200^\circ\text{C}$  массой  $1 \text{ кг}$   $c = 500 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ .  
 Необходимо найти сколько тепла выделилось при его остывании до  $200^\circ\text{C}$ .

~~$$Q = mc(t_2 - t_1) + m\lambda \rightarrow mc(t_2 - t_m)$$

$$t_m = 1000^\circ\text{C}$$~~

$$Q = -mc(t_1 - t_2) - m\lambda = -m(c(t_1 - t_2) + \lambda) =$$

$$= -1(500 \cdot 1000 + \dots) \rightarrow \text{out: heat}$$

$$Q_{\text{отд}} + Q_{\text{получ}} = 0$$

$$|Q_{\text{отд}}| = |Q_{\text{получ}}|$$

«сферический конь в вакууме» .....

1. В калориметр с водой, имеющей температуру  $20^{\circ}\text{C}$  кладут металлический брусочек, имеющий температуру  $40^{\circ}\text{C}$ . Через некоторое время в калориметре устанавливается тепловое равновесие. Как в результате этого изменяются следующие физические величины?

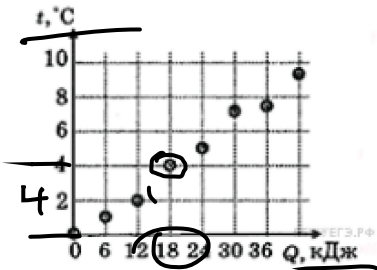
- 1) внутренняя энергия бруска ✖
- 2) внутренняя энергия воды ✖
- 3) суммарная внутренняя энергия системы. =

~~$t_1 = 20^{\circ}\text{C}$  — вода~~

~~$t_2 = 40^{\circ}\text{C}$  — брусок~~

~~$t_{\text{ср}} \approx 20^{\circ}\text{C}$~~

2. С использованием нагревателя известной мощности исследовалась зависимость температуры 1 кг вещества от количества теплоты, полученного от нагревателя. Результаты измерений указаны на рисунке точками. Чему примерно равна удельная теплоёмкость данного вещества? (Ответ дайте в  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$  с точностью до 0,5  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ )



$$Q = mc\Delta t$$

$$c = \frac{Q}{m \Delta t} = \frac{18 \text{ кДж}}{1 \cdot 4} = 4,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Ответ:  $4,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ .

3. Для нагревания 100 гр воды от 20 до 25°C в неё бросили медный кубик с гранью 2 см. Какова должна была быть начальная температура кубика?

$m = 100 \text{ г}$

$t_1 = 20^\circ\text{C}$

$t_2 = 25^\circ\text{C}$

$l = 2 \text{ см}$

$C_{\text{в}}$

$t_0 = ?$

$\rho_{\text{м}} = 8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$c_{\text{м}} = 380 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$

$c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$

L0

медь вода  
сгорает нагревается

1)  $Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}} = Q_{\text{нагр}}$

2)  $Q_{\text{отд}} = \rho_{\text{м}} l^3 c_{\text{м}} (t_0 - t_2)$  медь отдает,

$Q_{\text{нагр}} = m c_{\text{в}} (t_2 - t_1)$  вода нагревается.

$\rho_{\text{м}} l^3 c_{\text{м}} (t_0 - t_2) = m c_{\text{в}} (t_2 - t_1)$

$t_0 = \frac{m c_{\text{в}} (t_2 - t_1) + \rho_{\text{м}} l^3 c_{\text{м}} t_2}{\rho_{\text{м}} l^3 c_{\text{м}}} + t_2 =$

$= 102.6 \approx 103^\circ\text{C}$  Ответ:  $t_0 = 103^\circ\text{C}$ .

4. До какой температуры надо нагреть железный кубик чтобы он полностью погрузился в лед, будучи поставленным на него?

$$t_1 = 0^\circ\text{C}$$

$$t_2 = t_3 = 0^\circ\text{C}$$

$$t_0 = ?$$



~~Кубик осядет  
вниз.~~

~~$Q_{\text{жог}}$~~

~~лед тает~~

$Q_{\text{жог 2}}$

$$Q_{\text{жог}} = m c_{\text{Fe}} (t_{\text{к0}} - t_1) = \rho_{\text{Fe}} c_{\text{Fe}} (t_{\text{к0}} - t_1)$$

$$Q_{\text{жог 1}} = \rho_{\text{л}} \lambda - \text{только лед}$$

$$Q_{\text{жог 1}} = Q_{\text{жог}}$$

$$\rho_{\text{Fe}} c_{\text{Fe}} (t_{\text{к0}} - t_1) = \rho_{\text{л}} \lambda \quad | \quad t_{\text{к0}} = \frac{\rho_{\text{л}} \lambda + \rho_{\text{Fe}} c_{\text{Fe}} t_1}{\rho_{\text{Fe}} c_{\text{Fe}}} = t_1 + \frac{\rho_{\text{л}} \lambda}{\rho_{\text{Fe}} c_{\text{Fe}}} = 7.8^\circ\text{C}$$

L0

$$\rho_{\text{Fe}} c_{\text{Fe}} t_{\text{к0}} - \rho_{\text{Fe}} c_{\text{Fe}} t_1 = \rho_{\text{л}} \lambda$$

$$\text{Отсюда: } t_{\text{к0}} = 7.8^\circ\text{C}$$



5. В калориметр поместили лёд массой 100 гр при  $0^{\circ}\text{C}$ . При пропускании пара температура которого  $100^{\circ}\text{C}$  весь лёд растаял. Сколько воды при  $0^{\circ}\text{C}$  окажется в калориметре?

$m_0 = 100 \text{ г}$   
 $t_1 = 0^{\circ}\text{C}$   
 $t_2 = 100^{\circ}\text{C}$

$m_6 = ?$

2)  $Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{раст}}$

$m_2 = \frac{Q_{\text{отд}}}{L + c_0(t_2 - t_1)}$

Ответ:  $m_6 = 112,5 \text{ г}$

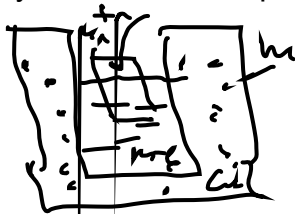


1)  $Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{раст}}$   
 $Q_{\text{отд}} = m_0 L + m_0 c_0 (t_2 - t_1)$   
 $Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}$

$m_6 = m_2 + m_0 = m_0 \left( 1 + \frac{\lambda}{L + c_0(t_2 - t_1)} \right)$   
 $= 0,1 \left( 1 + \frac{240 \cdot 10^5}{29 \cdot 10^5 + 4200 \cdot 100} \right) = 112,5 \text{ г}$

П Е Р Е Р Ы В

6. В медный калориметр массой 200 гр налили 150 гр воды и опустили кусок льда при  $0^{\circ}\text{C}$ . Начальная температура калориметра с водой  $25^{\circ}\text{C}$ . В момент времени, когда в калориметре наступило тепловое равновесие, температура воды была  $5^{\circ}\text{C}$ . Найдите массу льда.



$$\begin{aligned}
 m &= 200 \text{ г} \\
 m_w &= 150 \text{ г} \\
 t_1 &= 0^{\circ}\text{C} \\
 t_2 &= 25^{\circ}\text{C} \\
 t_3 &= 5^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1) \quad Q_{\text{loss}} &= Q_{\text{gain}} \\
 2) \quad Q_{\text{loss}} &: \text{калориметр } - m c_c (t_2 - t_1) \\
 &: \text{вода } m_w c_w (t_2 - t_1) + \\
 &: \text{лед } (m_{\text{лед}} \lambda + m_{\text{лед}} c_w (t_2 - t_1))
 \end{aligned}$$

$$m_{\text{л}} = ?$$

$$\begin{aligned}
 3) \quad m c_c (t_1 - t_2) + m_w c_w (t_1 - t_2) &= m_{\text{л}} \lambda + m_{\text{л}} c_w (t_2 - t_1) \\
 &= m_{\text{л}} (\lambda + c_w (t_2 - t_1))
 \end{aligned}$$

L1

$$m_{\text{л}} = \frac{(m c_c + m_w c_w) (t_1 - t_2)}{\lambda + c_w (t_2 - t_1)} = 39 \text{ г} \quad \text{Ответ: } m_{\text{л}} = 39 \text{ г}$$

7. В тонкий стаканчик с 200 гр воды при температуре  $20^{\circ}\text{C}$  бросили лёд массой 50 гр при температуре  $-40^{\circ}\text{C}$ . Найдите установившуюся температуру.

$$m = 200 \text{ г}$$

$$t_1 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$m_2 = 50 \text{ г}$$

$$t_2 = -40^{\circ}\text{C}$$

$$t_0 = 0^{\circ}\text{C}$$

$$t_x = ?$$

$$c_w = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$$

$$c_l = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$$

$$\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

L2

~~Что может happen в конце? только вода или лёд + вода~~

Определим сколько льда может расплавиться от  $20^{\circ}\text{C}$ .

$$Q_1 = m_1 c_w (t_1 - t_0) = 0,2 \cdot 4200 \cdot 20 = 16800 \text{ Дж} \leftarrow$$

сколько тепла нужно для  $1 \text{ кг}$  льда до  $0^{\circ}\text{C}$

$$Q_2 = m_2 c_l (t_0 - t_2) = 0,05 \cdot 2100 \cdot 40 = 4200 \text{ Дж}$$

на плавление льда требуется

$$Q_3 = m_2 \lambda = 0,05 \cdot 3,3 \cdot 10^5 = 16500 \text{ Дж}$$

20000 Дж

$$16800 - 4200 = 12600 \text{ Дж}$$

при установившейся температуре  $t_x = 0^{\circ}\text{C}$

$$m_{\text{л}} = \frac{12600}{3,3 \cdot 10^5} = 0,0382 = 38,2 \text{ г}$$

всего для 200 г и  $0^{\circ}\text{C}$

8. В калориметр, содержащий 250 гр воды при температуре  $t_1 = 15^\circ\text{C}$  бросили  $m_2 = 20\text{гр}$  мокрого снега. В результате температура понизилась на  $\Delta t = 5^\circ\text{C}$ . Сколько воды было в снеге?

$$\begin{aligned}
 m_1 &= 250 \text{ гр} \\
 t_1 &= 15^\circ \text{C} \\
 m_2 &= 20 \text{ гр} \\
 \Delta t &= 5^\circ \text{C} \\
 \hline
 m &= ?
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{отд}} = Q_{\text{получ}}$$

$$Q_1 = m_1 c_1 \Delta t$$

~~$$Q_2 = (m_2 - m) \lambda + m_2 c_2 (t_1 - \Delta t)$$~~

$$Q_2 = (m_2 - m) \lambda$$

~~$$Q_3 = m_2 c_2 (t_1 - \Delta t)$$~~

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$m_1 c_1 \Delta t = (m_2 - m) \lambda + m_2 c_2 (t_1 - \Delta t)$$

$$m_2 \lambda + m_2 c_2 (t_1 - \Delta t) - m_2 c_2 \Delta t = m_1 c_1 \Delta t$$

$$m_2 (\lambda + c_2 (t_1 - \Delta t)) - m_2 c_2 \Delta t = m_1 c_1 \Delta t$$

$$m_2 (\lambda + c_2 (t_1 - \Delta t) - c_2 \Delta t) = m_1 c_1 \Delta t$$

$$m_2 (\lambda + c_2 (t_1 - 2\Delta t)) = m_1 c_1 \Delta t$$

$$m = \frac{m_1 c_1 \Delta t}{\lambda + c_2 (t_1 - 2\Delta t)} = \frac{0,25 \cdot 4200 \cdot 5}{3,3 \cdot 10^5 + 4200 \cdot 10} = 0,15 \cdot 4200 \cdot 5 = 7,35 \text{ гр}$$

L2

Ответ:  $m = 7,35 \text{ гр}$ .

Если тело обладало механической энергией, то потом, в результате неупругих процессов, эта механическая энергия может перейти во внутреннюю.

В конечном итоге – тело нагреется.

$$\frac{mv^2}{2}$$

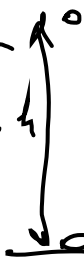
$$mgh$$

$$\frac{kx^2}{2}$$

9. Водопад имеет высоту  $h=807\text{м}$ . На сколько градусов могла бы повыситься температура падающей воды, если считать, что на нагревание тратится 50% от работы силы тяжести?

$$h = 807 \text{ м}$$

$$d = 0,5$$



$$1) Q_{\text{полез}} = mc \Delta t$$

$$Q_{\text{тяж}} = d \cdot A = d \cdot mgh$$

$$2) Q_{\text{тяж}} = Q_{\text{полез}}$$

$$mc \Delta t = d mgh$$

$$\Delta t = \frac{dgh}{c} = \frac{0,5 \cdot 10 \cdot 807}{4200} \approx 0,96^\circ\text{C}$$

$$\text{Ответ: } \Delta t = 0,96^\circ\text{C}$$

10. Кусок льда при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  помещён в калориметр с нагревателем, имеющим какую то мощность. Чтобы превратить этот лёд в воду с температурой  $10^{\circ}\text{C}$  требуется количество теплоты  $200\text{кДж}$ . Какая температура установится если лёд получит  $120\text{кДж}$ ? Теплоёмкостью калориметра и потерями тепла пренебречь.

$$t_1 = 0^{\circ}\text{C}$$

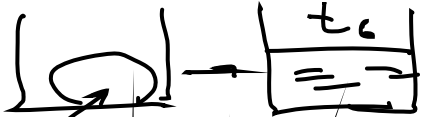
$$t_2 = 10^{\circ}\text{C}$$

$$Q_1 = 200\text{кДж}$$

$$Q_2 = 120\text{кДж}$$


---


$$t = ?$$



Пусок льду  $Q_1$   $Q_2$

$$Q_1 = m_n \lambda + m_n c_0 (t_c - t_1)$$

$$m_n = \frac{Q_1}{\lambda + c_0 (t_c - t_1)} = \frac{200000}{3,3 \cdot 10^4 + 4200 \cdot 10} = 0,54\text{кг}$$

$$Q_2 = m_n \lambda + m_n c_0 (t - t_1)$$

$$t = \frac{Q_2 - m_n \lambda + m_n c_0 t_1}{m_n c_0} = \frac{120000 - 0,54 \cdot 3,3 \cdot 10^4 + 0,54 \cdot 4200 \cdot 10}{0,54 \cdot 4200} = \frac{58200}{2268} \text{ БР ЕД !}$$

~~Q\_2 < Q\_1~~

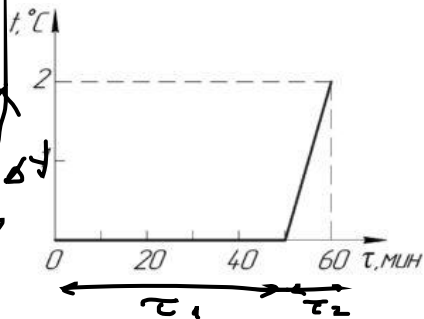
$$m_n \lambda = 0,54 \cdot 3,3 \cdot 10^4 = 178200 \rightarrow \text{he does not melt}$$

~~at = 0^{\circ}\text{C}~~ ~~0 < t < 10^{\circ}\text{C}~~



ПЕРЕРЫВ

11. В ведре находится смесь воды со льдом массой  $m=10$  кг. Ведро внесли в комнату и сразу же начали измерять температуру смеси. Получившаяся зависимость температуры смеси от времени изображена на рисунке. Определить массу льда в ведре в момент внесения его в комнату.



$m = 10 \text{ кг}$   
 $m_{\text{л}} = ?$

1) Команда - подставить  
 $\tau_1 = 50$

2) На участке  $[0, 50]$   
 $N \cdot \tau_1 = m_{\text{л}} \lambda$  - лед тает

3) а затем - кипением  
 $N \cdot \tau_2 = m_{\text{в}} c \Delta t$

$$N = \frac{m_{\text{л}} \lambda}{\tau_1}$$

$$m_{\text{в}} c \Delta t = \frac{m_{\text{л}} \lambda}{\tau_1} \tau_2 \rightarrow m_{\text{л}} = \frac{\tau_1}{\tau_2} \cdot \frac{m_{\text{в}} c \Delta t}{\lambda}$$

$$m_{\text{л}} = \frac{50}{10} \cdot \frac{10 \cdot 4200 \cdot 2}{10^3 \cdot 273} = 1,27 \text{ кг}$$

Ответ:  $m_{\text{л}} = 1,27 \text{ кг}$

12. В калориметр с водой меланхолично бросают кусочки уныло тающего льда. В некоторый момент кусочки льда перестают таять и к концу процесса масса воды увеличилась на 84 гр. Какова начальная масса воды если её начальная температура  $20^{\circ}\text{C}$ ?

$$\Delta m = 84 \text{ г}$$

$$t_0 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$m_0 = ?$$



1) в. у. - нег. процесс  
 $t_k = 0^{\circ}\text{C}$   
 2)  $m_1$  - масса образовавшейся воды  
 3)  $Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}} = Q_1 = \Delta m \cdot c_w$   
 $Q_2 = m_0 c_0 (t_0 - t_k)$

$$Q_1 = Q_2$$

$$\Delta m \cdot c_w = m_0 c_0 (t_0 - t_k)$$

$$m_0 = \frac{\Delta m \cdot c_w}{c_0 (t_0 - t_k)} = \frac{84 \cdot 4200}{4200 \cdot 20} = 0,33 \text{ кг}$$

Ответ:  $m_0 = 330 \text{ г}$ .

13. При морозе в  $-13^{\circ}\text{C}$  каждый квадратный метр поверхности пруда отдаёт воздуху 220 кДж тепла в час. Какой толщины ледяной покров образуется за одни сутки, если температура воды  $0^{\circ}\text{C}$ ?

$$t = -13^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 220 \text{ кДж} \\ (\text{в час})$$

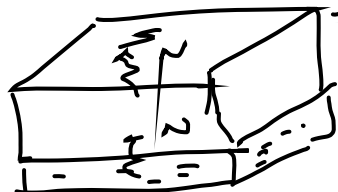
$$S = 1 \text{ м}^2$$

$$\tau_0 = 1 \text{ сут}$$

$$t_0 = 0^{\circ}\text{C}$$

$$\rho = 1 \text{ т/м}^3$$

$$h = ?$$



$$Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пр}} \\ \rho \cdot h \cdot S \cdot \lambda = \frac{Q}{\tau_0}$$

$$S \cdot h \cdot \rho \cdot \lambda = \frac{Q}{\tau_0}$$

$$h = \frac{Q \tau_0}{\rho \cdot S \cdot \lambda}$$

$$= \frac{220000 \cdot 24}{1 \cdot 1 \cdot 900 \cdot 0.5,3 \cdot 10^6} \approx 1,2 \text{ м}$$

Ответ:  $h = 1,2 \text{ м}$

14. Необходимо расплавить лёд, имеющий температуру  $0^{\circ}\text{C}$  и массу  $0,2\text{кг}$ .  
 Выполнимо ли это, если потребляемая мощность нагревательного элемента  $400\text{Вт}$ ,  
 потери составляют  $30\%$ , а время работы нагревателя не должно превышать  $5\text{ мин}$ ?

$m = 0,2\text{ кг}$   
 $N = 400\text{ Вт}$   
 $\alpha = 0,3$   
 $t = 5\text{ мин.}$

1) ~~не выполнимо~~  $Q_{\text{отп}} = N(1-\alpha)t$   $Q_{\text{тпл}} = \lambda m$

2)  $Q_{\text{отп}} = Q_{\text{тпл}}$   
 $N(1-\alpha)t \geq \lambda m$

$400 \cdot 0,7 \cdot 5 \cdot 60 \geq 0,2 \cdot 3,3 \cdot 10^5$   
 $94000 \geq 66000$

$94000 > 66000$   
 Да, выполнимо (не выполнимо)  
 Да! Да.

15. В домике затопили печку. Когда печка топилась так, что её мощность была равна  $N$ , то в домике была температура  $t_1 = 10^\circ\text{C}$ . Печку отремонтировали и увеличили её мощность втрое. Температура в домике стала  $t_2 = 18^\circ\text{C}$ . Какая температура была на улице?

$t_{\text{улицы}} = ?$



$$N_{\text{печка}} = \alpha (t - t_{\text{улицы}})$$

закон

Знач:  $N = N_{\text{печка}} = \alpha (t_1 - t_{\text{улицы}})$

След:  $3N = \alpha (t_2 - t_{\text{улицы}})$

$$3 = \frac{t_2 - t_{\text{улицы}}}{t_1 - t_{\text{улицы}}}$$

$$3(t_1 - t_{\text{улицы}}) = t_2 - t_{\text{улицы}}$$

$$t_{\text{улицы}} = \frac{3t_1 - t_2}{2} = \frac{3 \cdot 10 - 18}{2} = 6^\circ\text{C}$$

или  $t_{\text{улицы}} = 6^\circ\text{C}$

16. На скорости 100 км/ч двигатель автомобиля мощностью 40 кВт расходует 9 л бензина на 100 км пути. Найдите КПД двигателя в таком режиме.

$$v = 100 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

$$N = 40 \text{ кВт}$$

$$V = 9 \text{ л/100 км}$$

$$S = 100 \text{ км}$$

$$q = 44 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$$

$$\rho = 710 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$t = 1 \text{ час.}$$

$$t = \frac{S}{v} = \frac{100 \text{ км}}{100 \frac{\text{км}}{\text{ч}}} = 1 \text{ ч.}$$

$$1) \eta = \frac{Q_{\text{полез}}}{Q_{\text{отд}}} = \frac{N_{\text{полез}}}{N_{\text{отд}}}$$

$$2) N_{\text{отд}} = q \rho V \quad N_{\text{полез}} = N$$

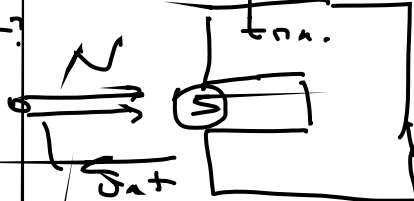
$$3) \eta = \frac{N}{q \rho V} = 0,51$$

Ответ:  $\eta = 0,51$

~~$$\eta = \frac{40 \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с}}{44 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 710 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 0,51$$~~

17. Луч лазера в экспериментальном двигателе направлен на кусок льда. Отверстие в куске льда имеет площадь  $S$ . Мощность лазера  $N$  целиком идёт на испарение льда без потерь. Удельная теплота плавления льда  $l$ . Плотность испаряющихся паров  $\rho$ . Найдите силу тяги такого двигателя.

$S, N, l$   
 $\rho, \lambda$



1) Сколько массы испарится за  $\Delta t$ ?  
 $\Delta m \cdot \lambda = N \Delta t \rightarrow \Delta m = \frac{N \Delta t}{\lambda}$

2)  $\Delta m = \rho V = \rho S \Delta x$  массу.  
 ← масса  $\Delta m$  в объёме  $\Delta x$

3) Давление выходящих паров  $S$  за  $\Delta t$  вправо равно  
 $\sigma \Delta t$ .

$$N \Delta t = \rho \sigma \Delta t \cdot S \cdot \Delta x \rightarrow N = \rho \sigma S \Delta x$$

$$v = \frac{N}{\rho S \Delta x} \quad \left| \quad F = \frac{\rho \sigma \Delta x}{\Delta t} = \rho \frac{N}{\Delta t} \frac{\Delta x}{S} = \rho S \frac{N^2}{\Delta t^2} \right.$$

Order:  $\frac{N}{\rho S \Delta t^2}$  ←



18. Идеальная тепловая машина использует в качестве нагревателя и холодильника два больших резервуара: с водяным паром  $t_n = 100^\circ\text{C}$  и льдом  $t_n = 0^\circ\text{C}$ .

Спустя некоторое время после начала работы выяснилось, что в холодном резервуаре расплавилось  $m_2 = 0,51\text{ кг}$  льда. Какая масса пара  $m_1$  при этом сконденсировалась в горячем резервуаре? Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

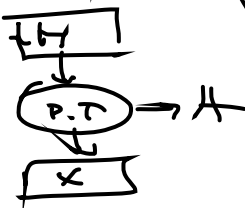
$t_1 = 100^\circ\text{C}$

$t_2 = 0^\circ\text{C}$

$T_n = 373\text{K}$

$T_x = 273\text{K}$

$m_2 = 0,51\text{ кг}$



$$\eta = \frac{T_n - T_x}{T_n} = \frac{Q_n - Q_x}{Q_n}$$

$$\frac{1}{T_x} = \frac{1}{T_n} \Rightarrow \frac{Q_x}{Q_n} = \frac{T_x}{T_n}$$

$$\frac{273}{373} = \frac{0,51 \cdot 330000}{m_1 \cdot 250000}$$

$\Rightarrow m_1 = 100\text{ г}$

$Q_x = m_2 \cdot L$   
 $Q_n = m_1 \cdot L$

