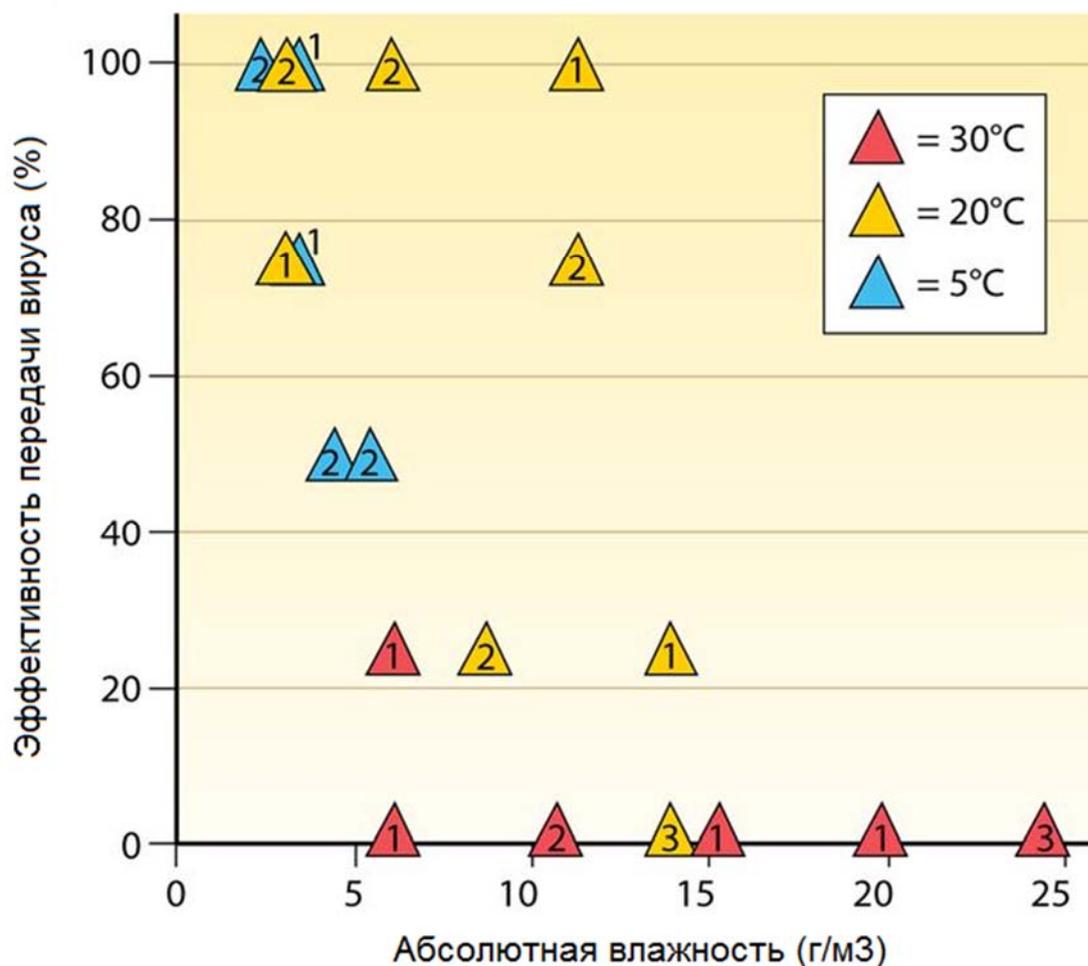


Решения задач теоретического тура. Физика. 2 день.

Задание 1

Сравнительный анализ метеорологических данных и данных о пандемиях гриппа показал, что крупные вспышки гриппа практически всегда совпадали с падением уровня атмосферной влажности и с низкой абсолютной влажностью комнатного воздуха.

Каждый треугольник на графике – это соотношение эффективности распространения вируса гриппа и абсолютной влажности. Цвет треугольника показывает температуры, при которых проводились испытания. Цифра в треугольнике – количество испытаний при данных условиях.



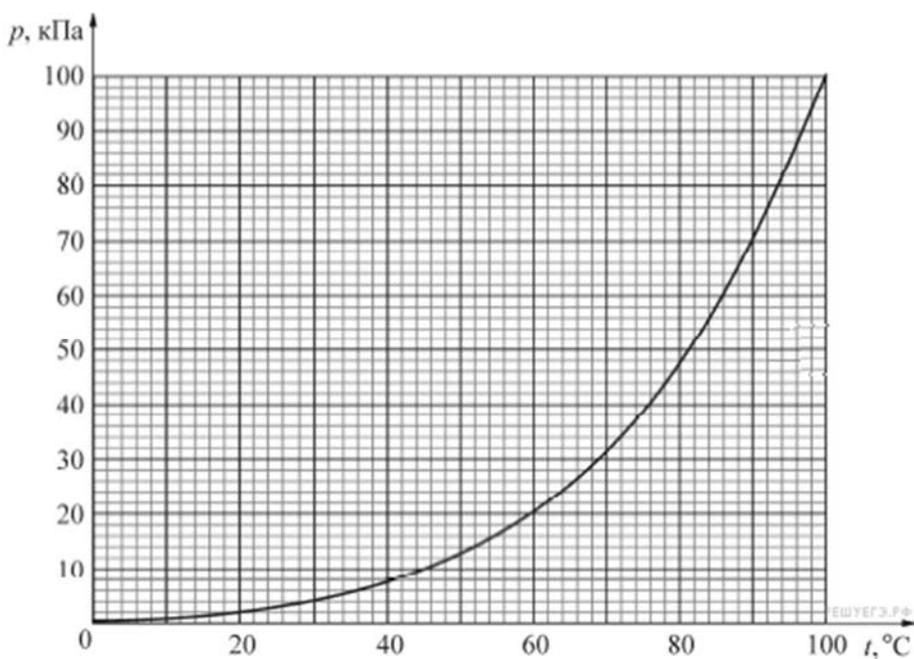
Сразу после тёплого летнего дождя относительная влажность воздуха в больничной палате достигла 100% при температуре $t^\circ = 22^\circ\text{C}$. При этом давление влажного воздуха оказалась равным $P = 100$ кПа.

Пользуясь графиком зависимости давления $P_{\text{н.п.}}$ насыщенного водяного пара от температуры t° , найти:

Задача 1.1 абсолютную влажность воздуха в палате;

Задача 1.2 плотность воздуха, содержащего водяной пар (массу водяного пара и массу сухого воздуха в 1 м^3) при указанной температуре. Молярная масса воздуха $\mu_{\text{в}} = 29$ г/моль, а – водяного пара $\mu_{\text{п}} = 18$ г/моль.

Задача 1.3 что можно сказать о распространении вируса гриппа в данной больничной палате?



Решение задания 1

Задача 1.1 100% относительная влажность означает, что $P_a = P_{н.п} \approx 2.3$ кПа

Задача 1.2 По закону Дальтона: $P_{в.в} = P_{с.в} + P_{п}$ и $\rho_{в.в} = \rho_{с.в} + \rho_{п}$, где $P_{в.в}$ и $\rho_{в.в}$ – давление и плотность влажного воздуха.

$P_{с.в}$ и $\rho_{с.в}$ – давление и плотность сухого воздуха.

$P_{п}$ и $\rho_{п}$ – давление и плотность пара.

$$P_{с.в} = P_{в.в} - P_{п};$$

$$\rho_{п} = \rho_{в.в} - \rho_{с.в};$$

$$P_{с.в} = \frac{\rho_{с.в}}{\mu_{в}} \cdot RT. \text{ Отсюда } \rho_{с.в} = \frac{P_{с.в} \cdot \mu_{в}}{RT} = \frac{(P_{в.в} - P_{п}) \cdot \mu_{в}}{RT}, \text{ где } P_{п} = \frac{\rho_{п} \cdot RT}{\mu_{п}};$$

$$\rho_{п} = \rho_{в.в} - \rho_{с.в}; P_{п} = \frac{(\rho_{в.в} - \rho_{с.в})RT}{\mu_{п}}, \text{ где } \rho_{с.в} = \frac{(P_{в.в} - P_{п})\mu_{в}}{RT};$$

$$P_{п} = \left(\frac{\rho_{в.в} - \frac{(P_{в.в} - P_{п})\mu_{в}}{RT}}{\mu_{п}} \right) RT \rightarrow P_{п} \cdot \mu_{п} = \rho_{в.в} \cdot RT - (P_{в.в} - P_{п})\mu_{в};$$

$$\rho_{в.в} = \frac{P_{в.в} \cdot \mu_{в} - P_{п}(\mu_{в} - \mu_{п})}{RT}; \text{ где } \mu_{в} = 29 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}; \mu_{п} = 18 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}};$$

$$\rho_{в.в} \approx 1,17 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Задача 1.3 Так как в палате абсолютная влажность $P_a = P_{н.п} = 2,3$ кПа, то определим её, как плотность пара:

$$\rho_a = \frac{P_a \cdot \mu_{п}}{RT}; \rho_a = \frac{2,3 \cdot 10^3 \cdot 18}{8,31 \cdot 10^3 \cdot 295} \approx 0,017 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{ей соответствует самый нижний уровень графика}$$

эффективности передачи вируса. Значит, эффективность равна нулю.

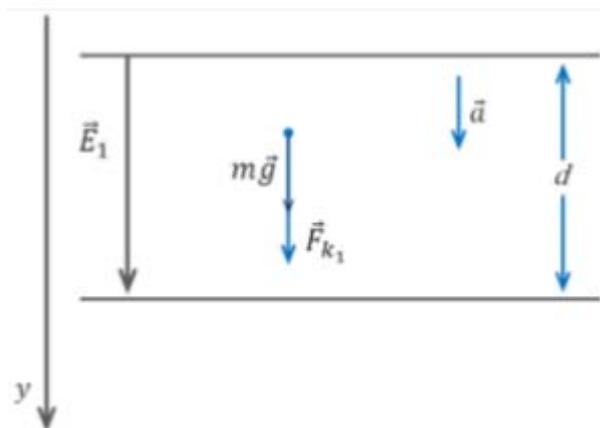
Критерии оценки выполнения задания 1

1.1	Резонно замечено $P_a = P_{н.п}$ при 100% относительной влажности. Должным образом использован график зависимости давления $P_{н.п}$ от t °С.	(2 б)
1.2	Несомненно, знание закона Дальтона и владение уравнением Менделеева-Клапейрона. Получена правильная расчётная формула и верный результат.	(2,5 б)
1.3	Обстоятельно получено и проанализировано значение абсолютной влажности в единицах измерения, указанных на графике. Сделан справедливый вывод.	(0,5 б)

Задание 2

Впервые довольно точно удалось определить заряд электрона опытным путём американскому учёному, профессору Чикагского университета, Роберту Милликену. Идея опыта описана ниже. Капля ртути падает с ускорением $a = 11,8 \text{ м/с}^2$ между пластинами плоского конденсатора, расположенными горизонтально, когда напряжение между ними равно 100 В, а сопротивление воздуха пренебрежимо мало. При каком напряжении на конденсаторе капля будет оставаться неподвижной?

Решение задания 2



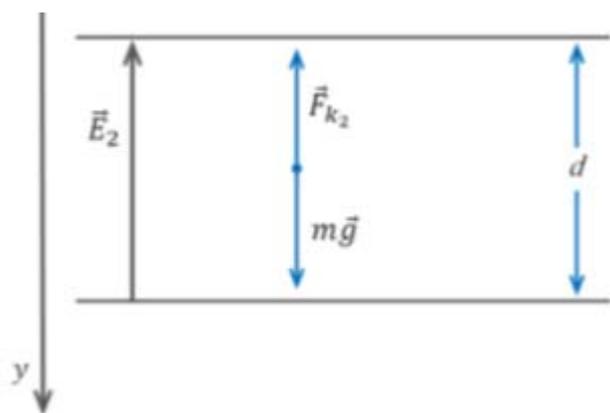
Капля падает:

\vec{F}_k – кулоновская сила и сила тяжести создают ускорение \vec{a} : $m\vec{g} + \vec{F}_k = m\vec{a}$;

у) $mg + F_k = ma$, где $F_k = q \cdot E_1 = q \cdot \frac{U_1}{d}$;

d – расстояние между пластинами.

$$\frac{U_1 \cdot q}{md} = a - g$$



Капля неподвижна: $m\vec{g} + \vec{F}_{k2} = 0$;

у) $mg - \frac{U_2 \cdot q}{d} = 0 \rightarrow \frac{U_2 \cdot q}{md} = g \rightarrow$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{g}{a-g}; \quad U_2 = U_1 \cdot \frac{g}{a-g}; \quad U_2 = 490 \text{ (В)}$$

Критерии оценки выполнения задания 2

2.1	Грамотно оформлен чертёж: векторы сил, действующих на каплю, указаны правильно – в соответствии с направлением электростатического поля.	(1,5 б)
2.2	Должным образом изменён чертёж – направление поля и векторов сил – в случае неподвижной капли.	(1,5 б)
2.3	Обстоятельно использован II закон Ньютона: сделана запись в векторной форме и в проекциях для обоих случаев состояния капли.	(2 б)
2.4	Безошибочно получена расчётная формула и верный результат.	(1 б)

Задание 3

Иногда при прослушивании музыки громкость на смартфоне бывает недостаточной. Аппарат исправен, в настройках ползунок звука выведен на максимум, а к словам песни приходится прислушиваться. Конечно, можно надеть наушники или подключить колонки. А если усиливающей аппаратуры нет?

Пассивные усилители звука



рис.1

Деревянный стенд – держатель и усилитель звука



рис.2

Использование стакана



рис.3

Задача 3.1 Найти собственные частоты колебаний воздушного столба в стакане, если высота стакана $h = 7\text{ см}$. Скорость звука в воздухе принять равной $336 \frac{\text{М}}{\text{С}}$.

Задача 3.2 Найти резонансные частоты колебаний воздушного столба в подставке-держателе на рис.2, если длина бамбуковой трубы $l = 21\text{ см}$.

Решение задания 3

Задача 3.1 Резонатор усиливает колебания, соответствующие его собственной частоте, не требуя практически никакой дополнительной энергии.

Собственные колебания воздушного столба в стакане соответствуют установлению в нем стоячей волны с узлом смещения частиц воздуха у закрытого конца, т.е. у дна стакана.

У верхнего открытого конца образуется пучность. Таким образом,

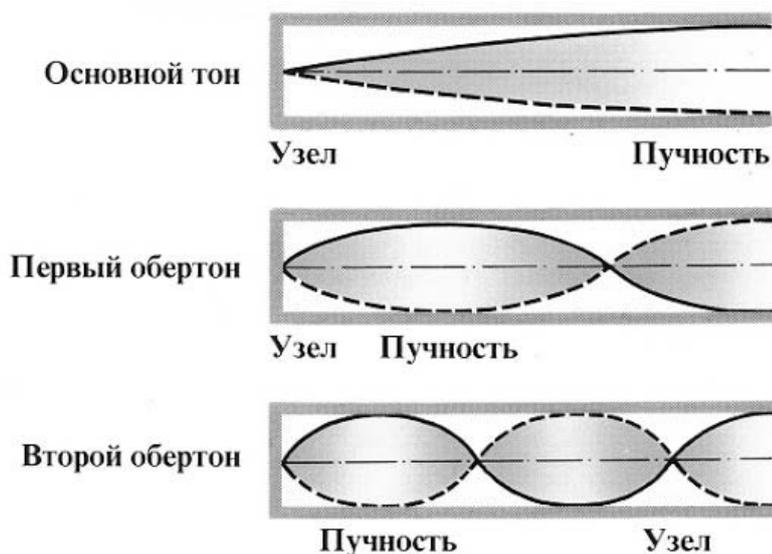
В стакане высотой h укладывается $\frac{\lambda}{4}$; $\frac{3\lambda}{4}$; $\frac{5\lambda}{4}$ и т.д.

$h = (2k + 1) \frac{\lambda}{4}$, где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$, а λ — длина бегущей волны.

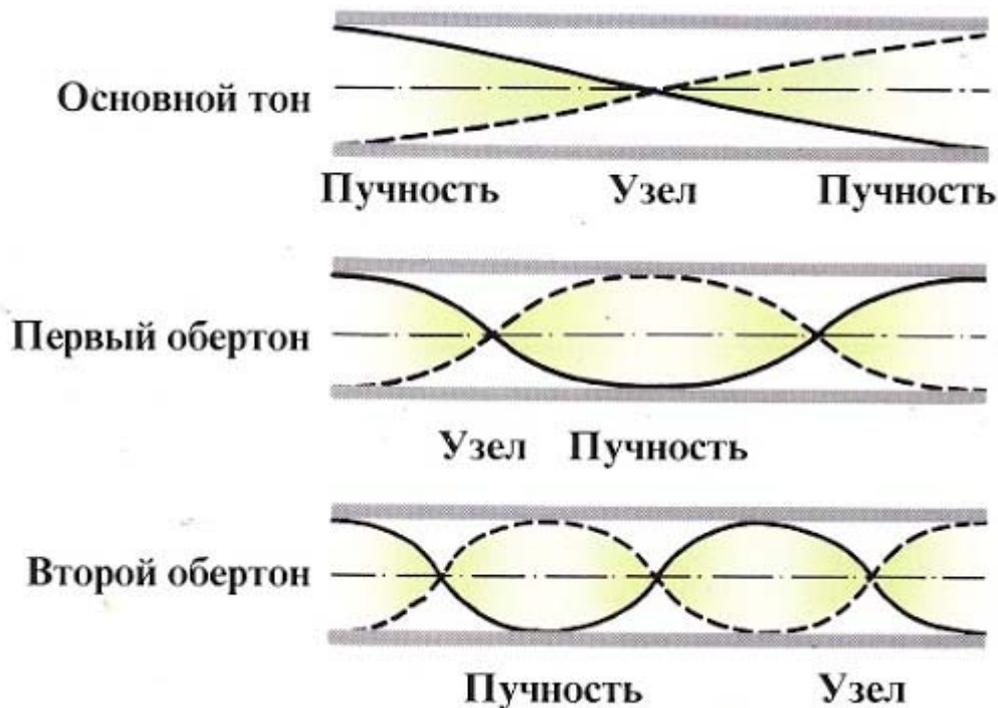
$\lambda = \frac{v}{\nu}$, где v — скорость звука в воздухе; ν — частота звука.

$$(2k + 1) \frac{v}{4\nu} = h; \quad \nu = (2k + 1) \frac{v}{4h}; \quad \nu_1 = \frac{v}{4h}; \quad \nu_1 = \frac{336}{4 \cdot 7 \cdot 10^{-2}} = 1200 \text{ (Гц)}$$

$$\nu_2 = 3\nu_1 = 3600 \text{ (Гц)}; \quad \nu_3 = 5\nu_1; \quad \nu_3 = 6000 \text{ (Гц)}.$$



Задача 3.2



Из рисунка видно, что у открытых концов трубки образуются пучности. Тогда для основного тона: $\ell = \frac{\lambda}{2}$; $\ell = \frac{v}{2\nu_0}$; $\nu_0 = \frac{v}{2\ell}$;

Для первого обертона: $\ell = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$;

$$\ell = 2 \cdot \frac{v}{2\nu_1}; \nu_1 = 2\nu_0$$

Для второго обертона: $\nu_2 = 3\nu_0$ и т.д.

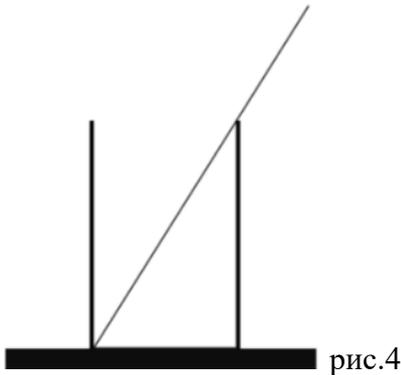
$$\nu_0 = \frac{336}{2 \cdot 21 \cdot 10^{-2}} = 800 \text{ (Гц)}; \nu_1 = 1600 \text{ (Гц)}; \nu_2 = 2400 \text{ (Гц)}.$$

Критерии оценки выполнения задания 3

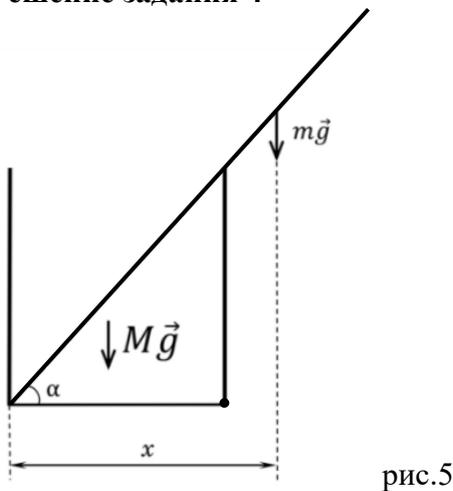
	К задаче 1	
3.1	Обосновано усиление звука в трубе, закрытой с одного конца – должным образом использовано явление резонанса	(1 б)
	Согласно правилам, сделаны качественные рисунки для волн нескольких частот.	(2 б)
	Произведён расчёт резонансных частот. Дан точный ответ.	(1 б)
	К задаче 2	
3.2	И в этом случае, самоочевидно, необходимы соответствующие рисунки для волн нескольких собственных частот.	(2 б)
	Произведён расчёт резонансных частот. Дан точный ответ	(2 б)

Задание 4

В цилиндрический тонкостенный стакан вставлен смартфон, как показано на рисунке. Диаметр стакана $D=6\text{см}$, высота его $h=6\text{см}$, высота смартфона $\ell=18\text{см}$, а его масса $m=188\text{г}$. При какой наименьшей массе стакана M , он с телефоном может оставаться неподвижным? Трение в стакане отсутствует.



Решение задания 4



Реально телефон может начать двигаться одним способом – он опрокинет стакан, не проскальзывая относительно него. Ясно, что в зависимости от соотношения масс телефона и стакана может реализоваться этот вариант.

Итак, телефон и стакан «склеены», стакан вот-вот начнет опрокидываться – он уже опирается на стол одной точкой (см рис.5).

Запишем равенство моментов сил тяжести стакана и смартфона относительно этой точки: момент силы \vec{Mg} должен быть хотя бы равен моменту силы тяжести \vec{mg} :

$$Mg \cdot \frac{D}{2} \geq m \cdot g(x - D); \quad \frac{x}{\ell} = \cos \alpha; \quad \frac{1}{(\cos \alpha)^2} = 1 + (tg \alpha)^2; \quad tg \alpha = \frac{h}{D} = 1;$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{1,4} = \frac{5}{7}; \quad x \approx 6,43(\text{см});$$

$$M \geq \frac{2m \cdot (x - D)}{D}; \quad M \geq \frac{2 \cdot 188 \cdot 0,43}{6} \approx 27(\text{г}).$$

Критерии оценки выполнения задания 4

4.1	Чертёж сделан по всем правилам: правомерно выбраны точки приложения всех сил, действующих на смартфон, что должно соответствовать правилу моментов для этих сил (знаки моментов не должны быть одинаковы).	(1.5 б)
4.2	Получена расчётная формула и достоверный результат.	(2.5 б)