

ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ

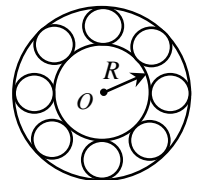
ВАРИАНТ 27111 для 11-го класса

1.11. Как известно, вода – наиболее широко используемый теплоноситель, который применяется в различных энергетических и теплообменных установках. Студенты многих кафедр НИУ «МЭИ» подробно изучают способы их моделирования, расчёта и конструирования. Важнейшую роль при рассмотрении теплопереноса в этих установках играет правильный анализ процесса превращения воды в водяной пар. Каждый из вас неоднократно наблюдал этот процесс, когда кипятил воду в чайнике. При нагревании воды чайник издаёт различные звуки. Опишите качественно, что вы будете слышать по мере нагревания и кипения воды: какой звук при какой температуре появляется и каким образом он изменяется в дальнейшем. Объясните свой ответ, опираясь на физические явления и законы.

Решение.

При температуре воды около 90 градусов начинает появляться характерный шелест (возможно свист, но не однотонный, а шумоподобный). Данный звук, возникающий за некоторое время до закипания воды возникает из за того, что в небольшие пузырьки воздуха, растворенного в воде, начинает поступать все больше пара - плотность водяных паров быстро растет с ростом температуры. Однако, это давление все еще меньше атмосферного, и размеры пузырьков быстро меняются. (Можно объяснить из МКТ конкуренцией случайных процессов перехода молекул воды из жидкости в пар и обратно). Быстрые изменения размеров пузырька приводит к излучению звуковых волн с длиной волны соизмеримой с размером пузырька. Пока пузырьки маленькие звук высокочастотный, поскольку их размеры меняются - звук не однотонный, шумоподобный. Может быть описано и схлопывание отдельных пузырьков, упомянута кавитация - это близкие явления. Этот звук становится все сильнее с ростом температуры. Когда температура достигает 100 градусов Цельсия (или локальной температуры кипения воды) давление паров воды сравнивается с атмосферным и пузырьки начинают неограниченно расти, сливаться, всплывать. Все это приводит к характерному "бурлению" кипящей воды - тембр становится намного более низкочастотным, и более "шумоподобным" - флуктуации громкости становятся различимы на слух. Громкость звука с началом кипения заметно падает, как из-за уменьшения эффективности генерации звука с ростом размера пузырей, так и с уменьшением их количества.

2.11. Внутреннее кольцо шарикоподшипника радиусом $R=4$ см закреплено на оси O токарного станка. Внешнее кольцо подшипника закреплено неподвижно на корпусе станка. Шарики подшипника имеют радиус $r=1$ см и катятся по внутреннему и внешнему кольцам без проскальзывания. Сколько оборотов вокруг оси O сделают шарики за время одного оборота внутреннего кольца?



Решение.

Введём следующие обозначения:

Ω – угловая скорость вращения оси станка, v – линейная скорость движения центра шарика, ω_1 – угловая скорость движения центра шарика вокруг оси станка, T – период вращения оси станка.

Так как качение происходит без проскальзывания, то мгновенная скорость точки B равна нулю, а мгновенная скорость точки A в две раза больше линейной скорости центра шарика C и равна линейной скорости точек поверхности внутреннего кольца. Тогда:

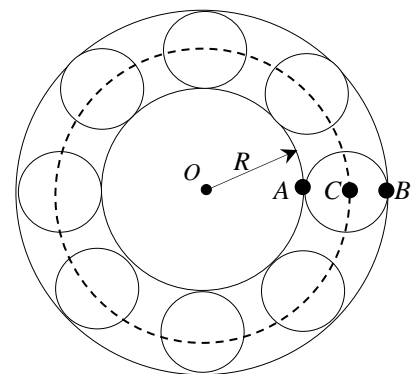
$$2v = \Omega R.$$

Линейную скорость центра шарика C можно записать как:

$$v = \omega_1(R + r).$$

Тогда

$$2\omega_1(R + r) = \Omega R.$$



Введем периоды обращения центрального кольца и шарика относительно оси O :

$$\begin{cases} T = \frac{2\pi}{\Omega} \\ T_{\text{ш}} = \frac{2\pi}{\omega_1} \end{cases}$$

$$N = \frac{T}{T_{\text{ш}}} = \frac{\omega_1}{\Omega} = \frac{R}{2(R+r)} = \frac{4}{2(4+1)} = 0,4 \text{ оборота.}$$

3.11. Для осуществления термоядерной реакции пучок ядер дейтерия (изотопа водорода) направляется в вакуумную камеру и движется по окружности постоянного радиуса, ускоряясь в однородном магнитном поле, индукция которого перпендикулярна плоскости движения пучка. Скорость изменения магнитной индукции постоянна и равна A . Сила тока пучка в начальный момент равна I_0 , число ядер в пучке равно N , масса и заряд ядер дейтерия равны соответственно m и q . Найдите силу тока пучка ядер дейтерия после того, как частицы совершили один оборот, а реакция между ними ещё не началась.

Решение.

Изменение кинетической энергии частиц пучка происходит в результате совершения сторонними силами работы (явление э.-м. и., причем модуль ЭДС индукции равен скорости изменения магнитной индукции A , умноженной на площадь орбиты пучка):

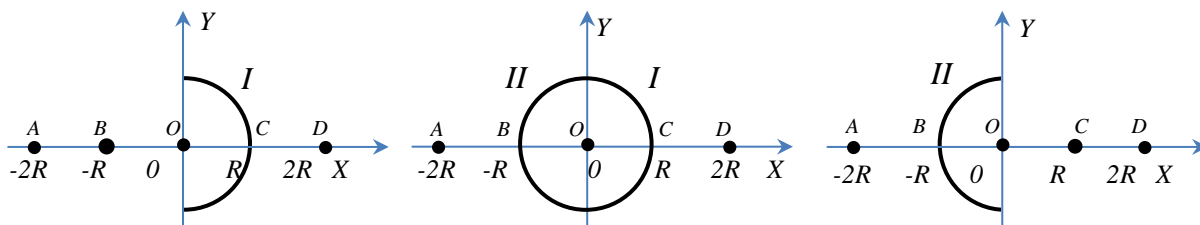
$$q \frac{d\Phi}{dt} = qS \frac{dB}{dt} = qA\pi R^2 = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}.$$

Сила тока пучка определяется как $I = \frac{qN}{T} = \frac{qN}{2\pi R/v} = \frac{qNv}{2\pi R}$, где $I_0 = \frac{qNv_0}{2\pi R}$.

Получаем, что $v^2 = \frac{4\pi^2 R^2}{q^2 N^2} I^2$; $v_0^2 = \frac{4\pi^2 R^2}{q^2 N^2} I_0^2$. Поскольку $\frac{2qA\pi R^2}{m} = v^2 - v_0^2$, то получаем

$$I = \sqrt{I_0^2 + \frac{N^2 q^3 A}{2\pi m}}.$$

4. 11. Тонкая непроводящая равномерно заряженная полусфера радиусом R с центром в начале координат целиком расположена в полупространстве с положительными значениями координаты x таким образом, что плоскость основания полусферы совпадает с плоскостью ZOY . Нулевое значение потенциала электростатического поля полусферы выбрано в бесконечно удалённой точке. Потенциал в точке начала координат равен 100 В. Потенциал в точке на оси OX с координатой $x = -2R$ равен 38,2 В. Определите потенциал в точке на оси OX с координатой $x = 2R$.



Решение: обозначим исходную полусферу индексом I

Дано: $\varphi_{AI} = 38,2\text{В}$ *Найти:* $\varphi_{DI} = ?$

Дополним исходную полусферу I такой же полусферой II и используем принцип суперпозиции: $\varphi_{\Sigma} = \varphi_I + \varphi_{II}$. Тогда определим потенциалы точек O, C, D в поле полной сферы:

(1) $\varphi_{O\Sigma} = \varphi_{OI} + \varphi_{OII} = 100 + 100 = 200\text{В}$

(2) $\varphi_{C\Sigma} = \varphi_{O\Sigma} = 200\text{В}$ (т.к. потенциал всех точек получившейся сферы одинаков)

(3) поскольку потенциал поля сферы $\varphi \approx \frac{1}{r}$, то $\varphi_{D\Sigma} = \frac{1}{2} \varphi_{C\Sigma} = 100\text{В} = \varphi_{\Sigma}(2R)$

Олимпиада школьников «Надежда энергетики». Заключительный этап. Очная форма.

(4) поскольку $\varphi_{D\Sigma} = \varphi_{DI} + \varphi_{DII} = \varphi_{A\Sigma} = \varphi_{AI} + \varphi_{AII} = 100B = \varphi_{\Sigma}(-2R)$, то $\varphi_{AII} = \varphi_{A\Sigma} - \varphi_{AI} = 100 - 38,2 = 61,8B$

(5) положение точки A в поле полусферы II эквивалентно положению точки D в поле полусферы I , поэтому $\varphi_{DI} = \varphi_{AII} = 61,8B$

Ответ: потенциал в точке на оси OX с координатой $x = 2R$ равен $61,8B$.

5.11. Для пропуска паводковых вод в плотине гидроэлектростанции существуют специальные водосбросы, закрываемые тяжелыми заслонками – водяными затворами. Такой затвор при необходимости поднимают специальным краном. Оцените установившуюся скорость подъема затвора, если его масса $m = 100$ т, а двигатель крана подключен к сети с напряжением $U = 380$ В, КПД крана равен 80%. В начальный момент времени затвор покоится, а затем большую часть времени движется равномерно. Измерения силы тока в зависимости от времени в обмотке электродвигателя, приводящего в действие подъемный механизм крана, проведенные при подъеме затвора представлены на графике.

Решение.

1. Потребленная двигателем из сети электроэнергия, с учетом КПД, идет на сообщение затвору кинетической и потенциальной энергии, а также на работу против сил трения. Первый участок на графике в интервале от 0 до 5 с соответствует процессу набора затвором некоторой скорости. На втором участке затвор движется равномерно с этой скоростью.
2. Энергия, затрачиваемая двигателем на подъем затвора, равна произведению площади под графиком на напряжение и КПД. Так, площадь под прямой AB умноженная на напряжение и КПД равна сумме кинетической энергии, приобретенной затвором, потенциальной энергии и работе против сил трения.

$$\frac{1}{2}(I_1 - I_2)t_0U\eta = \frac{mv^2}{2} + W_{\text{пот}} + A_{\text{тр}},$$

где $I_1 = 100$ А, $I_2 = 80$ А, $t_0 = 5$ с.

Наклон прямых присутствует из-за того, что при подъеме затвора уменьшается сила трения о направляющие пазы. Такое уменьшение происходит из-за того, что сила давления со стороны воды также уменьшается – затвор постепенно поднимается из воды.

Проведем продолжение прямой в интервале 5-12 с до пересечения с вертикальной осью – прямая CB . Если бы в момент времени $t = 0$ с затвор уже двигался с установившейся скоростью, то площадь под прямой CB в интервале 0 – 5 с, умноженная на напряжение и КПД была бы равна

$$\frac{1}{2}(I_3 - I_2)t_0U\eta = W_{\text{пот}} + A_{\text{тр}},$$

где $I_3 = 90$ А – точка пересечения прямой CB с вертикальной осью.

Таким образом, кинетическая энергия, которую приобретет затвор, равна

$$\begin{aligned} \frac{mv^2}{2} &= \frac{1}{2}(I_1 - I_2)t_0U\eta - \frac{1}{2}(I_3 - I_2)t_0U\eta \\ mv^2 &= (I_1 - I_3)t_0U\eta \\ v &= \sqrt{\frac{(I_1 - I_3)t_0U\eta}{m}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 5 \cdot 380 \cdot 0,8}{10^5}} = 0,39 \frac{\text{м}}{\text{с}} \end{aligned}$$

