

Часть 3. Реальные измерения.

Как и в части два считаем, что локатор посылает гармоническую волну с частотой ν_0 и принимает отраженную волну. Затем принятый сигнал складывается с ослабленным сигналом, который посылает локатор.

3.1 Покажите что амплитуда сумма двух сигналов, посылаемого и принятого отраженного, испытывает периодические изменения (биения). Считайте, что амплитуды этих сигналов выравниваются. Запишите закон изменения амплитуды суммарного сигнала с течением времени. Найдите период биений.

3.2 Получите приближенное выражение для относительной скорости автомобиля, выразив ее через измеряемый период биений. Является ли измеренное указанным способом значение скорости мгновенной (в стогом смысле) скоростью?

3.3 Пусть относительная скорость автомобиля равна $10 \frac{\text{км}}{\text{час}}$, а длина волны посылаемой неподвижным радаром равна $\lambda_0 = 20 \text{ см}$. Оцените относительное смещение автомобилей за минимально возможное время измерений.

Задача 2. Сферический баллон.

Тонкостенный сферический баллон изготовлен из стали и используется для хранения газообразного кислорода.

Параметры баллона:

радиус в недеформированном состоянии $R_0 = 1,0 \text{ м}$;

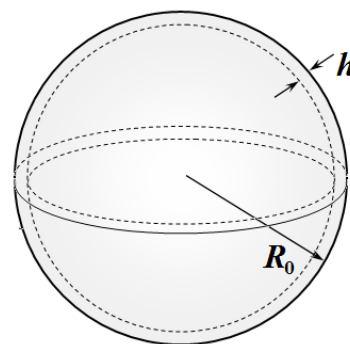
толщина стенок $h = 1,0 \text{ мм}$;

плотность стали $\rho = 7,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

модуль Юнга стали $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$;

предел прочности на разрыв $\sigma_{пр.} = 5,6 \cdot 10^8 \text{ Па}$;

работа выхода электронов из стали равна $A_{вых} = 4,3 \text{ Эв}$.



Атмосферное давление $p_{атм} = 1,0 \text{ атм} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$, комнатную температуру считать

равной $t_0 = 20^\circ \text{C}$. Молярная масса кислорода $M = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.

Физические постоянные:

универсальная газовая постоянная $R_{г.} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$;

электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$;

скорость света $c = 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$;

постоянная Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.

Внимание!

В каждой части задачи сначала получите точные уравнения, необходимые для ответа на поставленные вопросы. Для их решения можете использовать приближенные методы. В каждом случае дайте обоснование сделанных приближений.

Вам может понадобиться приближенная формула

$$(1 + \xi)^a \approx 1 + a\xi + \frac{a(a-1)}{2}\xi^2,$$

справедливая при малых $\xi \ll 1$ и любых показателях степени a .

Часть 1. Деформация баллона.

Подсказка - напоминание.

При однородном растяжении мерой деформации

служит относительное удлинение $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ (l_0 -

длина образца в недеформированном состоянии, Δl

- абсолютное удлинение); силы упругости удобно характеризовать механическим напряжением, численно равным отношению силы упругости к площади сечения, на

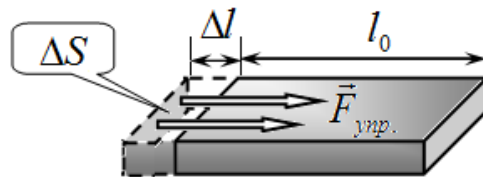
которое действует эта сила $\sigma = \frac{F_{\text{упр.}}}{\Delta S}$. Согласно закону Гука механическое напряжение

пропорционально относительной деформации

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1)$$

где коэффициент пропорциональности E называется модулем Юнга вещества.

В данной задаче следует считать, что закон Гука выполняется для всех деформаций вплоть до разрушения материала, которое наступает, если механическое напряжение достигает предельного значения $\sigma_{\text{пр.}}$, которое также называется пределом прочности на разрыв.



1.1 Внутри баллона закачивают газообразный кислород при комнатной температуре. После заполнения баллона давление газа оказалось равным $p_0 = 11 \text{ атм}$.

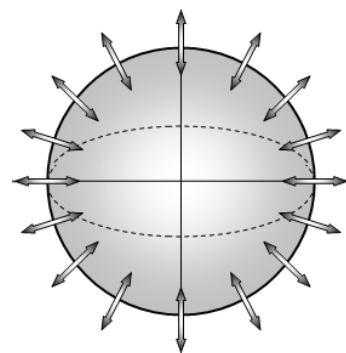
На сколько увеличится радиус баллона ΔR после заполнения баллона?

1.2 Каково может быть максимальное давление кислорода в баллоне при комнатной температуре? Чему равна масса кислорода в этом случае?

Часть 2. Колебания баллона.

Некоторые утверждают, что по высоте звука можно определить заполнен газовый баллон или пуст. В данной части задачи вам необходимо оценить правдоподобность подобного утверждения. Для упрощения будем рассматривать малые симметричные радиальные колебания описанного сферического баллона.

В данной части задачи атмосферным давлением следует пренебречь.



2.1 Найдите частоту ν_0 симметричных радиальных колебаний пустого баллона.

2.2 Баллон заполнили кислородом, так, что его давление в неподвижном баллоне равно $p_0 = 10 \text{ атм}$. Найдите относительное изменение частоты $\frac{\Delta \nu}{\nu_0}$ симметричных колебаний оболочки баллона после его заполнения кислородом, считая процесс сжатия и расширения газа в баллоне адиабатным.

Подсказка - напоминание.

Уравнение адиабатного процесса имеет вид

$$pV^\gamma = \text{const}, \quad (2)$$

где p - давление газа, V - объем, занимаемый газом, γ - показатель адиабаты, для кислорода он равен $\gamma = 1,4$.

Часть 3. Электрический заряд.

Если оболочке баллона сообщить некоторый электрический заряд q , то она расширится. В данной части считайте, что баллон пуст и атмосферное давление отсутствует.

3.1 Определите давление электрического поля на поверхность баллона, если ее заряд равен q .

3.2 Какой максимальный заряд можно сообщить оболочке баллона, чтобы она не разорвалась?

Часть 4. Рентгеновское освещение.

Пустой баллон находится в вакууме и освещается рентгеновским излучением с длиной волны $\lambda = 2,0 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

4.1 Выразите энергия кванта w рентгеновского излучения в электрон-вольтах.

4.2 Найдите относительное увеличение радиуса баллона при его облучении.

Работа выхода электронов из стали равна $A_{\text{вых}} = 4,3 \text{ Эв}$.