и растягивая пружину (рис.2). По достижении максимальной точки подъема (ход поршня l) альпинист «зарубается» в точке B', нижнее крепление цилиндра в точке A освобождается, и пружина подтягивает цилиндр на высоту l (рис.3); при этом ее растяжение остается равным x_0, таким, что $kx_0 = Mg$. А пар пусть вытесняется поршнем в наружный змеевик-конденсатор, где превращается в жидкость и сливается на дно цилиндра.

Предполагается, что значение координаты поршня $x = 0$ соответствует нерастянутой пружине (обозначим ее длину через l_0); значит, при растяжении на x возникает возвращающая сила $-kx$. В этих терминах работа пара по перемещению массы m альпиниста на высоту l (относительно x_0) запишется в виде

$$A_{\uparrow} = \int_{x_0}^{x_0+l} (mg + kx)dx = mgl + \frac{k}{2}\left(\left(x_0 + l\right)^2 - x_0^2\right).$$

Но тепло подогревателя расходуется не только на совершение работы по подъему альпиниста, но и на испарение жидкости и увеличение внутренней энергии образовавшегося пара. На испарение жидкости нужно затратить тепловую энергию (эта энергия выбрасывается в окружающее пространство при конденсации пара в змеевике), равную $r\Delta m_l$, где r – удельная теплота испарения, Δm_l – масса пара в конце подъема, которую легко найти из уравнения Клапейрона – Менделеева:

$$\Delta m_l = \frac{p_l \mathrm{M}}{RT_l} S\left(l + l_0 + x_0\right).$$

Тут все величины известны. Для увеличения внутренней энергии пара понадобится количество теплоты, равное

$$\Delta U = c_V \Delta T \Delta m_l .$$

Здесь $c_V = \frac{j}{2}\frac{R}{\mathrm{M}}$ – удельная теплоемкость пара при постоянном объеме, R – универсальная газовая постоянная, М – молярная масса пара, j – число степеней свободы его молекул (например, для одноатомного газа $j = 3$, а для трехатомного газа – типа водяного пара – $j = 6$). Ясно, что в конце подъема (при $x = x_0 + l$) давление поршня на пар (и значит, давление пара на поршень) больше, чем в начале, на величину

$$p_l - p_0 = \frac{kl}{S},$$

где S – площадь сечения цилиндра. Предположим, что пар насыщенный, т.е. капелька рабочей жидкости еще остается на дне цилиндра, когда поршень достигает высшей точки подъема. Значит, конечная температура пара T_l будет несколько больше начальной T_0. Слово «несколько» отражает тот факт, что зависимость давления насыщенного пара от температуры очень резкая, так что малому изменению $\Delta T = T_l - T_0$ соответствует существенно большее приращение $\Delta p = p_l - p_0$. Эту связь давления насыщенных паров с температурой для любого вещества можно найти в соответствующих справочниках. (А можно использовать так называемый закон Клапейрона – Клаузиуса

$$\frac{dp}{dT} = \frac{r}{TV},$$

где V – объем пара. Для численной оценки можно малые приращения в уравнении заменить конечными Δp и ΔT, тогда $V = lS$ – объем, занимаемый паром в конце расширения. При большом желании можно проинтегрировать уравнение (по температуре) и получить зависимость $p = p_0 e^{-\frac{r\mathrm{M}}{RT}}$.)

Что же общего в движениях свинцовой крыши и «Скалолаза»? То, что оба движения периодические, в обоих важную роль играет тяготение, оба связаны с тепловыми процессами. А что различного? То, что в случае крыши существенное значение имеет сила трения, а в случае вертикального движения «Скалолаза» ее вообще нет. Но не будем сейчас увлекаться подробностями о том, как поехала крыша. Нам ведь нужно двигаться вверх, а не вниз.

Итак, сделан первый набросок теории. Наш Способныйнавсеученик понимал, что принято много упрощающих предположений – например, о полном отсутствии воздуха в цилиндре, об идеальной теплоизоляции, идеальной пружине (к тому же Сантехник и Математик стали намекать, что не так уж просто достать Абсолютно Нетеплопроводящую Трубу и Абсолютно Невесомую Пружину – самим надо). В общем, как во всяком большом деле, тут-то и надо начинать работать. И от крышки кипящего чайника, которую, согласно легенде, наблюдал в детстве Джеймс Уатт, до изобретенной им паровой машины утекло немало воды. Значит, стоит делать численные оценки, решать уравнения, оптимизировать конструкцию (минимум веса и расхода топлива, максимум скорости подъема), затем создать работающую модель, наладить производство, сбыт, получение прибыли (и не забыть при этом отчислять 10% от нее на издание «Кванта»).

Зачем закрывать отверстие, или Открытие линзы

А.СТАСЕНКО

Рассмотрим такую ситуацию: на непрозрачный экран с круглым отверстием нормально падает параллельный пучок света, или, что то же самое, плоская световая волна. Теперь предлагается часть площади отверстия перекрыть непрозрачным препятствием – шариком, шайбой или кольцом. Вопрос: как изменится освещенность в некоторой точке за экраном, лежащей на оси отверстия? Скорее всего, любой прохожий ответит: конечно, уменьшится! И будет прав, но… не всегда и не совсем.

Конечно, бытовая практика убеждает в том, что уменьшение площади отверстия, пропускающего свет внутрь некоторого объема, уменьшает и освещенность этого объема: ведь для того и служат плотные шторы на окнах, для того и щурят глаза при ярком свете, а зрачки и помимо нашей воли уменьшают свой диаметр.

Но принципиально важен и встречный вопрос: а каково соотношение между длиной волны λ, радиусом отверстия r и расстоянием до точки наблюде-