

наружу, т.е. давление магнитного поля надо, в отличие от электрического случая, считать *положительным*.

Казалось бы, ничего плохого в этом нет — наоборот, такой ответ лучше согласуется с привычным представлением о давлении. Однако нетрудно обнаружить, что в этом случае немедленно возникают трудности с законом сохранения энергии. Действительно, при мысленном смещении поверхности с током, например, в сторону поля (при уменьшении радиуса соленоида) внешние силы совершают положительную работу против магнитных сил, а объем соленоида, содержащий магнитное поле, уменьшается — значит, уменьшается и энергия поля! Как же объяснить такое противоречие?

Причина в том, что мы не учли работу источника, необходимую для поддержания постоянного тока соленоида, — а только при этом условии величина магнитной индукции в соленоиде не изменится. Дополнительная работа источника должна компенсировать работу ЭДС самоиндукции,

возникающей при уменьшении магнитного потока в соленоиде. На рассматриваемом участке при смещении внутрь на расстояние Δx изменение потока равно

$$\Delta\Phi = -B\Delta x\Delta d,$$

возникающая на этом участке ЭДС самоиндукции равна

$$E_{\text{сам}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

а работа источника против ЭДС самоиндукции равна (с учетом формулы (4))

$$A_{\text{ист}} = -E_{\text{сам}}\Delta q = -\frac{B\Delta x\Delta d}{\Delta t}i\Delta l\Delta t = -\frac{B^2}{\mu_0}\Delta V,$$

где Δq — заряд, прошедший через этот участок за время Δt . Получаем, что работа внешней силы *вместе* с работой источника в точности равняется изменению энергии!

Для интереса отметим, что с очень похожей ситуацией мы сталкиваемся при записи закона сохранения энергии (первого закона термодинамики) при изобарном изменении объема идеального газа (где давление, конечно, тоже положительно). А удобно рассматривать именно изобарный процесс потому, что в этом случае остается постоянной объемная плотность внутренней энергии газа:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\nu C_V T}{V} = \frac{C_V}{R} p$$

(здесь C_V — молярная теплоемкость газа при постоянном объеме). Например, при сжатии газа работа внешней силы положительна (работа газа отрицательна), а внутренняя энергия газа уменьшается. Впрочем, в этом случае ответ хорошо известен — от газа отводится ровно столько тепла, сколько надо для баланса энергии. Тепловой резервуар играет тут такую же роль, как источник тока в задаче с соленоидом.

Геометрическая оптика

А. ЧЕШЕВ

ПРИ ОПИСАНИИ МНОГИХ ЯВЛЕНИЙ, связанных с распространением световых волн, удобно пользоваться простыми геометрическими представлениями световых волн в виде узкого пучка (луча), направление которого определяет направление распространения волн.

Световой пучок (луч), падающий на границу раздела двух сред, подчиняется закону отражения, согласно которому угол падения α равен углу отражения γ :

$$\alpha = \gamma,$$

и закону преломления, в соответствии с которым

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1},$$

где β — угол преломления, n_1 и n_2 — показатели преломления первой и второй сред соответственно.

Уникальным оптическим прибором, осуществляющим преобразование лучей, является линза. При этом справедлива так называемая формула линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F},$$

где d — расстояние от предмета до линзы, f — расстояние от линзы до даваемого ею изображения и F — ее фокусное расстояние.

А теперь — несколько конкретных задач.

Задача 1. В отверстие радиусом $R = 1$ см, сделанное в тонкой непрозрачной перегородке, вставлена рассе-

ивающая линза. По одну сторону перегородки на главной оптической оси линзы расположен точечный источник света. По другую сторону перегородки на расстоянии $L = 24$ см от нее находится экран. Радиус светлого пятна на экране равен $r_1 = 4$ см. Если линзу убрать, то радиус пятна на экране станет $r_2 = 2$ см. Определите расстояние от источника до линзы и фокусное расстояние линзы.

Пусть S — точечный источник, а S^* — его мнимое изображение в линзе (рис.1). По формуле линзы,

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{F},$$

где d — расстояние от источника S до

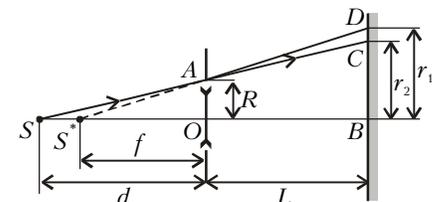


Рис. 1

линзы, f — расстояние от линзы до изображения S^* , F — фокусное расстояние

(Окончание см. на с. 34)