

эта сила выражается ф-лой Стокса:  $F_c = \text{блавр}$ , где  $\mu$  — коэф. динамич. вязкости среды.

Др. примером гидродинамич. силы является сила Бернулли, притягивающая тела, движущиеся в жидкости или омываемые ею. Для случая двух жёстких сфер с радиусами  $a$  и  $b$ , находящихся на расстоянии  $r$  друг от друга в потоке жидкости, движущейся со скоростью  $v$ , сила Бернулли равна

$$F_b = \frac{3}{2} \pi r \frac{\rho v^2 a^2 b^2}{r^3}$$

Эта сила действует, в частности, на находящиеся в звуковом поле жёсткие частицы, малые по сравнению с  $\lambda$ . Заметим, что в случае возникновения акустич. течений и микропотоков при кавитации различие между гидродинамич. силами и усреднёнными по времени П. с. бывает чисто условным.

П. с. используется в разнообразных приёмниках звука, устройствах, измеряющих его интенсивность (радиометр, Рэлея диск). На действии П. с. основаны эффекты коагуляции, дегазации жидкостей и металлов, диспергирования твёрдых тел в жидкости, эмульгирования и т. п., применяемые в УЗ-технологии.

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Механика сплошных сред, 2 изд., М., 1954; Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957, гл. 6; Лебедев П. Н., Собр. соч., М., 1963, с. 68; Красильников В. А., Крылов В. В., Введение в физическую акустику, М., 1984. *К. А. Наугольни.*

**ПОНДЕРОМОТОРНЫЕ СИЛЫ** в электродинамике — силы, действующие на тела в электрич. и магн. полях. Термин «П. с.» введён во времена, когда наряду с весомыми телами признавалось существование невесомых субстанций (эфир, электрич. жидкость и т. п.); в совр. лексиконе иногда говорят просто об эл.-магн. силах.

Плотность П. с. связана с тензором напряжений  $\sigma_{ik}$  (см. *Напряжение механическое*) соотношением

$$f_i = \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial x_k},$$

где  $f_i$  —  $i$ -я компонента плотности П. с.,  $x_k$  — пространственные координаты ( $i, k = 1, 2, 3$ ). В электрич. поле П. с. действуют как на проводящие, так и на диэлектрич. тела. Для изотропной жидкой диэлектрич. среды

$$f = \frac{1}{8\pi} \nabla \left[ E^2 \tau \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} \right) \right] - \frac{E^2}{8\pi} \cdot \nabla \varepsilon + \rho E, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  — диэлектрич. проницаемость,  $\tau$  — плотность среды,  $\rho$  — плотность сторонних зарядов (здесь и далее используется гауссова система единиц). Последний член описывает силы, действующие на сторонние заряды в диэлектрике. Наиб. простой вид плотности объёмных П. с. имеет в газе, где  $\varepsilon$  пропорциональна т:

$$f = \frac{\varepsilon - 1}{8\pi} \nabla E^2.$$

В случае металлов в электростатич. поле П. с. действуют только на их поверхность, создавая «отрицательное» давление, равное  $E^2/8\pi$ , где  $E$  — поле на поверхности проводника (ортогональное ей). В случае твёрдого диэлектрика ф-лы для П. с. имеют более сложный вид, поскольку в (1) необходимо добавить члены, связанные с изменением тензора диэлектрич. проницаемости под действием деформаций сдвига, не изменяющих плотность тела. Кроме того, в кристаллах ряда низкосимметрич. кристаллич. классов — *пьезоэлектриках* — возникают напряжения, пропорциональные не второй, а первой степени электрич. поля.

Объёмные интегралы, определяющие полную силу  $F$  и момент сил  $K$ , действующие на тело в целом, можно свести к интегралам по поверхности  $S$ , охватывающей это тело:

$$F = \frac{e}{4\pi} \oint_S \left\{ E(nE) - \frac{1}{2} E^2 n \right\} dS,$$

$$K = \frac{e}{4\pi} \oint_S \left\{ [rE](nE) - \frac{1}{2} E^2 [rn] \right\} dS, \quad (2)$$

где  $e$  — диэлектрич. проницаемость внеш. (однородной) среды,  $r$  и  $n$  — радиус-вектор и внеш. нормаль к элементу поверхности. Эти силы, в частности, приводят к втягиванию диэлектрика в области с большими значениями  $E$ .

Аналогично случаю электрич. поля на тело с *магнитной проницаемостью*  $\mu$  действует сила со стороны магн. поля с объёмной плотностью

$$f = \frac{1}{8\pi} \nabla \left[ H^2 \tau \left( \frac{\partial \mu}{\partial \tau} \right) \right] - \frac{H^2}{8\pi} \nabla \mu + \frac{\mu}{c} [jH]. \quad (3)$$

Первые два члена связаны с воздействием непосредственно на магнетик, последний член — с силами, действующими на токи проводимости и токи, связанные с перемещением сторонних зарядов. В случае  $\mu \approx 1$  этот член оказывается основным и сила, действующая на проводник с током, равна

$$F = \frac{\mu}{c} \int [jH] dV. \quad (4)$$

Эта ф-ла применима как к жидким, так и к твёрдым проводникам. Если принять, что ток  $j$  протекает по линейному (т. е. тонкому) проводнику, а магн. поле  $H$  создаётся др. линейными проводниками с током, то из (4) следует *Био — Савара закон*. В общем случае ф-ла (4) определяет также «внутренние» силы, с к-рыми участки проводника воздействуют друг на друга. Так, на катушку с током действуют П. с., сжимающие её вдоль оси и растягивающие в радиальном направлении, что, в частности, затрудняет получение сильных магн. полей из-за ограниченной механич. прочности катушки.

П. с. часто удобнее вычислять, используя закон сохранения энергии для системы тел с учётом полей. Под действием П. с. происходит деформация тел — *электрострикция* и *магнитострикция*, поэтому для вычисления равновесных состояний необходимо учитывать и силы упругости, возникающие при такой деформации.

В перем. эл.-магн. поле объёмная плотность П. с. отличается от суммы выражений (1) и (2) дополнит. слагаемым  $\{(e\mu - 1)/4\pi c^2\} \partial [EH]/\partial t$ , называемым силой *Абрагама*. Одной из разновидностей П. с. являются силы давления эл.-магн. волн (передача импульса и момента импульса телу при поглощении, отражении и преломлении эл.-магн. волн), в частности *давление света* и *Садовского эффект*.

Лит.: Тамм И. Е., Основы теории электричества, 10 изд., М., 1989; Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Электродинамика сплошных сред, 2 изд., М., 1982; Сивухин Д. В., Общий курс физики, 2 изд., [т. 3] — Электричество, М., 1983. *А. Н. Васильев.*

**ПОПЕРЕЧНАЯ ВОЛНА** — волна, у к-рой характеристическая её векторная величина лежит в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны (для гармонич. волн — волновому вектору  $k$ ). К П. в. относят, напр., волны в струнах или упругих мембранах, когда смещения частиц в них происходят строго перпендикулярно направлению распространения волн, а также плоские однородные эл.-магн. волны в изотропном диэлектрике или магнетике; в этом случае поперечные колебания совершают векторы электрич. и магн. полей.

П. в. обладает поляризацией, т. е. вектор её амплитуды определ. образом ориентирован в поперечной плоскости. В частности, различают линейную, круговую и эллиптич. поляризации в зависимости от формы кривой, к-рую описывает конец вектора амплитуды (см. *Поляризация волн, Поляризация света*). Понятие П. в.