

Это соотношение носит название закона Фарадея. В отличие от (1) выражение (6) справедливо только в квазистационарном приближении. Полная производная по времени от магн. потока  $\Phi$  учитывает его изменения, связанные как с изменением поля  $B$  во времени, так и с движением (деформацией) проводящего контура.

Для проводников с произвольным механизмом проводимости (электролитов, плазмы, тв. тел со смешанной электронно-дырочной проводимостью) закон Фарадея в общем случае неприменим, т.к. движение проводника не определяет однозначно поперечную скорость носителей заряда  $u$ . В таких средах противоположные заряды могут рождаться парами (ионизация, диссоциация, квантовые переходы из заполненной зоны в свободную) и аннигилировать (рекомбинация, обратные квантовые переходы). Могут возникать также вихревые конвективные движения пар заряд. Всё это может приводить к относительному поперечному движению зарядов в проводнике. Так, напр., на рис. 1 проводящая перемычка  $A$  движется со скоростью  $U_A$  вдоль проводов, помещённых в однородное постоянное магн. поле  $B_0$ . Если перемычкой является металлич. шина, то в цепи наводится  $\mathcal{E}_{эм}$  в соответствии с (6). Если же цепь замыкается волной ионизации воздуха, создаваемой, напр., движущимся источником  $\gamma$ -излучения ( $R$ ) или дуговым разрядом, то  $\mathcal{E}_{эм}$  в цепи не возникает, т.к. проводимость плазменного столба обеспечивают электрон-ионные пары, рождающиеся в среднем с нулевой нач. скоростью и через нек-рое время рекомбинирующие. Наоборот, если неподвижный разряд продувать струёй воздуха перпендикулярно магн. полю, эдс Э.и. будет наводиться [в соответствии с (5)], хотя  $d\Phi/dt=0$ . Эдс Э.и. будет возникать и в том случае, если разряд неподвижен и нет стороннего продува, но в цепь включена дополнительная эдс, создающая сторонний ток. Такой разряд будет всасывать со всех сторон окружающий воздух и выбрасывать его в виде струи в сторону действия силы Ампера.

Др. ограничения применимости закона Фарадея (6) возникают в распределённых проводящих средах и коммутационных устройствах со скользящими контактами, переключателями, коллекторами и т.п., т.е. в системах, геометрия к-рых не определяет однозначно структуру индукционных токов. Рис. 2 иллюстрирует т.н. парадокс Геринга. Пост. магн. поток  $\Phi_0$ , сосредоточенный внутри соленоида  $C$ , пронизывает проводящий контур  $\gamma$  в его нач. положении  $a$ . Контур с помощью скользящих контактов  $1, 2$  и проводящего кольца  $M$  переводится в положение  $b$ , в к-ром поток через контур  $\Phi_\gamma=0$ . Магн. поток через  $\gamma$  меняется за конечное время, контур всё время остаётся замкнутым, однако эдс не возникает, стрелка вольтметра ( $V$ ) не отклоняется ( $\mathcal{E}_{эм}^{(1)}=0$ , т.к.  $\partial B/\partial t=0$ ;  $\mathcal{E}_{эм}^{(2)}=0$ , т.к.  $B=0$  в областях, где  $u \neq 0$ ).

Э.и. приводит к поляризации движущихся в магн. поле диэлектриков. Вектор поляризации

$$P^e(r, t) = \frac{\epsilon - 1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{1}{c} [uB], \quad (7)$$

где  $\epsilon$  — диэлектрич. проницаемость,  $u(r, t)$  — локальная скорость среды. Неоднородность  $u(r)$ ,  $B(r)$  или  $\epsilon(r)$  приводит к появлению объёмного индуцир. заряда с плотностью

$\rho^e = -\text{div } P^e$ ; на границе диэлектрика с вакуумом наводится поверхностный заряд

$$\sigma^e = \frac{\epsilon - 1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{1}{c} (n [uB]),$$

где  $n$  — внешняя единичная нормаль к поверхности.

Явление Э.и. открыто М. Фарадеем (M. Faraday) в 1831 и независимо Дж. Генри (J. Henry) в 1832. Э. Х. Ленд в 1833 установил универсальное правило для определения знака эдс Э.и. В 1845 Ф. Нейман (F. Neumann) дал математич. формулировку закона Фарадея (6). Универсальная общность отвлечённого от свойств конкретных материальных сред соотношения (1), к-рое иногда тоже наз. законом Фарадея, была понята Дж. К. Максвеллом в 1864. Им же предсказан дополнительный к Э.и. эффект — наведение магн. поля переменным электрическим. Открытие Э.и. и магнитоэлектрич. индукции привело к формированию представления о едином материальном электромагнитном поле (тензорном), компонентами к-рого являются напряжённости электрич. и магн. полей.

Э.и. чрезвычайно широко реализуется в природе и применяется в технике. На эффектах Э.и. базируется устройство электромоторов и генераторов тока разного типа, трансформаторов, измерит. приборов, индукционных нагревателей, ускорителей элементарных частиц, источников плазмы в термоядерных реакторах, эл.-магн. движителей, магн. подвесок и т.д.

Эффекты Э.и. в распределённых системах порождают такие явления, как Фуко токи, унитольная индукция, гидромагнитное динамо, вмороженность магнитного поля в проводящую жидкость, магн. вязкость, неустойчивость плазменных шнуров. Э.и. лежит в основе механизма распространения эл.-магн. волн.

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Электродинамика сплошных сред, 2 изд., М., 1982; Джексон Дж., Классическая электродинамика, пер. с англ., М., 1965; Сивухин Д. В., Общий курс физики, 2 изд., т. 3. Электричество, М., 1983.

М. А. Миллер, Г. В. Пермитин.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ (ЭМАП)** — превращение части энергии эл.-магн. волн на границе проводника в энергию упругих колебаний той же или кратных частот, меньших дебаевской частоты (см. Дебая теория). Характеристиками ЭМАП служат амплитуда возбуждаемого ультразвука  $u$  и эффективность преобразования  $\eta$ , определяемая отношением потоков энергий в упругой и эл.-магн. волнах. Обычно  $\eta \sim 10^{-8} - 10^{-12}$ , причём наиб. интенсивная генерация ультразвука происходит в присутствии пост. магн. поля  $H_0$ . В случае генерации продольного ультразвука вектор  $H_0$  направляют вдоль границы проводника (рис. 1, а), а в случае генерации поперечного ультразвука (см. Упругие волны) — по нормали к ней (рис. 1, б). Эл.-магн. поле создаётся катушками индуктивности, расположенными вблизи поверхности (при работе на высоких частотах образец помещают в объёмный резонатор). Преобразователем эл.-магн. и упругой энергий в задачах ЭМАП выступает собственно приповерхностный слой проводника. Формируя разл. конфигурации  $H_0$  и эл.-магн. полей у поверхности проводника (рис. 2), можно возбуждать в нём не только объёмные упругие волны, распространяющиеся под любым углом к поверхности, но и разл. типы поверхностных акустических волн.

Наиб. широко используются два метода эксперим. исследования ЭМАП. Первый из них заключается в генерации эл.-магн. полем короткого УЗ-импульса, к-рый, отражаясь от противоположных граней образца, создаёт последовательность затухающих эхо-сигналов. Регистрация этих сигналов осуществляется либо той же катушкой индуктивности за счёт эффекта обратного ЭМАП, либо пьезоэлектрическими преобразователями или магнитоэлектрическими преобразователями. Второй метод предполагает исследование резонансных особенностей поверхностного импеданса  $Z$  при установлении стоячих упругих волн в образцах «правильной» формы — пластинах, стержнях и т.д.

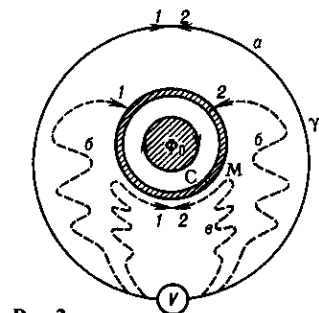


Рис. 2.

стрелка вольтметра ( $V$ ) не отклоняется ( $\mathcal{E}_{эм}^{(1)}=0$ , т.к.  $\partial B/\partial t=0$ ;  $\mathcal{E}_{эм}^{(2)}=0$ , т.к.  $B=0$  в областях, где  $u \neq 0$ ).

Э.и. приводит к поляризации движущихся в магн. поле диэлектриков. Вектор поляризации

$$P^e(r, t) = \frac{\epsilon - 1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{1}{c} [uB], \quad (7)$$

где  $\epsilon$  — диэлектрич. проницаемость,  $u(r, t)$  — локальная скорость среды. Неоднородность  $u(r)$ ,  $B(r)$  или  $\epsilon(r)$  приводит к появлению объёмного индуцир. заряда с плотностью