

где

$$Ai(-x) = \frac{1}{3} \sqrt{x} \left[J_{-1/3} \left(\frac{2}{3} x^{3/2} \right) + J_{1/3} \left(\frac{2}{3} x^{3/2} \right) \right],$$

$$Bi(-x) = \sqrt{\frac{x}{3}} \left[J_{-1/3} \left(\frac{2}{3} x^{3/2} \right) - J_{1/3} \left(\frac{2}{3} x^{3/2} \right) \right].$$

Асимптотика для больших значений аргумента:

$$Ai(x) \sim \frac{1}{2\sqrt{\pi}} x^{-1/4} \exp\left(-\frac{2}{3} x^{3/2}\right), \quad x \rightarrow \infty;$$

$$Bi(x) \sim \frac{1}{\sqrt{\pi}} x^{-1/4} \exp\left(\frac{2}{3} x^{3/2}\right), \quad x \rightarrow \infty.$$

Лит. см. при ст. *Цилиндрические функции*. А. Ф. Никифоров.

ЭЙХЕНВАЛЬДА ОПЫТ в электродинамике движущихся сред — доказан точными количеств. измерениями (1903), что конвекц. ток свободных зарядов на движущемся проводнике (см. *Роуланда опыт*) и ток связанных зарядов, возникающий при движении наэлектризованного диэлектрика (см. *Рентгена опыт*), приводят к появлению магн. поля точно так же, как ток проводимости в покоящемся проводнике, т. е. поляризованный немагн. диэлектрик при движении становится намагниченным.

Согласно электронной теории Лоренца, в *Максвелла уравнения* для медленно движущихся со скоростью u ($u \ll c$) сред

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{B} &= \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + 4\pi \mathbf{j}_{\text{полн}}, \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \\ \operatorname{div} \mathbf{E} &= 4\pi \rho_{\text{полн}}, \quad \operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

(\mathbf{E} — напряжённость электрич. поля, \mathbf{B} — магн. индукция) входят полные плотность заряда $\rho_{\text{полн}} = \rho_{\text{своб}} + \rho_{\text{связ}}$ и плотность тока

$$\mathbf{j}_{\text{полн}} = \mathbf{j}_{\text{пров}} + \mathbf{j}_{\text{поляри}} + \mathbf{j}_{\text{своб}} + \mathbf{j}_{\text{связ}}. \quad (2)$$

Здесь $\mathbf{j}_{\text{пров}}$ — ток проводимости в покоящемся проводнике, $\mathbf{j}_{\text{поляри}} = \partial \mathbf{P}^{(0)} / \partial t$ — ток поляризации, определяемый изменением во времени поляризации $\mathbf{P}^{(0)} = (\epsilon - 1) \mathbf{E} / 4\pi$ покоящейся среды с диэлектрич. проницаемостью ϵ , $\mathbf{j}_{\text{своб}} = \rho_{\text{своб}} \mathbf{u}$ — ток переноса свободных зарядов плотностью $\rho_{\text{своб}}$ со скоростью движения среды \mathbf{u} (конвекц. ток Роуланда), $\mathbf{j}_{\text{связ}} = \rho_{\text{связ}} \mathbf{u}$ при $\rho_{\text{связ}} = -\operatorname{div} \mathbf{P}^{(0)}$ — ток связанных зарядов плотностью $\rho_{\text{связ}}$, переносимых со скоростью \mathbf{u} (ток Рентгена). Ур-ния (1) с выражениями для плотностей токов (2) полностью эквивалентны релятивистски инвариантным ур-ниям Максвелла — Минковского (см. *Электродинамика движущихся сред*), в к-рых связь электрич. индукции \mathbf{D} и напряжённости магн. поля \mathbf{H} с \mathbf{E} и \mathbf{B} при малой скорости u ($u \ll c$) перемещения немагн. (магн. проницаемость $\mu = 1$) среды имеет вид

$$\mathbf{D} = \mathbf{E} + 4\pi \mathbf{P}_{\text{полн}}; \quad \mathbf{P}_{\text{полн}} \approx \mathbf{P}^{(0)} + \frac{\epsilon - 1}{4\pi} [\boldsymbol{\beta} \mathbf{B}]; \quad (3)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{H} + 4\pi \mathbf{M}_{\text{полн}}; \quad \mathbf{M}_{\text{полн}} \approx -[\boldsymbol{\beta} \mathbf{P}^{(0)}]$$

($\mathbf{M}_{\text{полн}}$ — намагниченность, $\boldsymbol{\beta} = \mathbf{u}/c$), а плотность тока $\mathbf{j}_{\text{внеш}}$ внеш. источников в такой движущейся среде равна

$$\mathbf{j}_{\text{внеш}} = \mathbf{j}_{\text{пров}} + \mathbf{j}_{\text{своб}}. \quad (4)$$

Если подставить выражения (3) и (4) в релятивистски инвариантные ур-ния Максвелла в среде, то получатся ур-ния (1) электронной теории Лоренца, в к-рых полный ток имеет вид (2). Суть опытов Эйхенвальда состояла в эксперим. проверке правильности выражений для всех токов, входящих в равенство (2).

Схема опыта такова: диэлектрич. диск (толщиной d) с диэлектрич. проницаемостью ϵ вращается между двумя кольцевыми соосными диску обкладками конденсатора (шириной b); обкладки конденсатора, имеющие разрез,

подключаются к батарее с напряжением U_0 и могут вращаться вокруг общей оси независимо от диэлектрич. диска. Опыты состояли в поочерёдном вращении обкладок конденсатора или диска, в сравнении магн. действия всех видов токов, входящих в выражение (2), и в эксперим. доказательстве их эквивалентности.

В отсутствие диэлектрика на обкладках заряж. конденсатора образуется поверхностный заряд плотностью $\sigma_{\text{своб}}^{(0)} = U_0 / 4\pi d$; при вращении обкладок со скоростью ω этот заряд создаёт конвекц. ток $\mathbf{j}_{\text{своб}}^{(0)} = b \sigma_{\text{своб}}^{(0)} \boldsymbol{\omega}$ (ток Роуланда). Если же между обкладками находится диэлектрич. диск, то $\sigma_{\text{своб}} = \epsilon U_0 / 4\pi d$, а поверхностная плотность индуцированных на диэлектрике зарядов равна $\sigma_{\text{связ}} = -(\epsilon - 1) U_0 / 4\pi d$. При вращении диэлектрич. диска между покоящимися обкладками возникает ток $\mathbf{j}_{\text{связ}} = b \sigma_{\text{связ}} \boldsymbol{\omega} = -b(\epsilon - 1) U_0 \boldsymbol{\omega} / 4\pi d$ (ток Рентгена), вызванный тем, что движущийся поляризованный диэлектрич. диск намагничивается в радиальном направлении; величина его магн. момента $M = j_{\text{связ}} b$. При вращении всей системы в целом полный ток $\mathbf{j} = \mathbf{j}_{\text{своб}} + \mathbf{j}_{\text{связ}} = b U_0 \boldsymbol{\omega} / 4\pi d$ не зависит от диэлектрич. проницаемости диска; это подтверждает справедливость осн. принципов теории относительности применительно к движущимся средам.

В Э. о. был также измерен ток поляризации $\mathbf{j}_{\text{поляри}}$, входящий в выражение (2). Если одну из обкладок заземлить, а другую разделить дополнит. щелью на два полукольца, к к-рым подключить два разных полюса батареи, то при вращении диска диэлектрик будет половину оборота находиться в поле одного знака, а другую половину оборота — в поле противоположного знака. Такая схема опыта позволила скомпенсировать ток Рентгена и наблюдать ток поляризации, обусловленный изменением во времени поляризации вращающегося диска от $(+P)$ до $(-P)$.

Лит.: Тамм И. Е., Основы теории электричества, 10 изд., М., 1989; Беккер Р., Теория электричества, 2 изд., т. 2. Электронная теория, Л.—М., 1941; Франкфурт У. И., Специальная и общая теория относительности, М., 1968; Болотовский Б. М., Столяров С. Н., Поля источников излучения в движущихся средах, в кн.: Эйнштейновский сб. 1978—1979, М., 1983, с. 173; Меерович Э. А., Методы релятивистской электродинамики в электротехнике и электрофизике, М., 1987. С. Н. Столяров.

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА — см. в ст. *Доза*.

ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ПРИНЦИП — аналогия между свободным движением тел, наблюдаемым в неинерциальной системе отсчёта, и движением тел в поле тяготения. Ускорение тела в обоих случаях не зависит от его массы и др. свойств, так что все тела при одинаковых нач. условиях движутся одинаковым образом. В этом смысле всякое гравитац. поле в малой области пространства эквивалентно нек-рой неинерциальной системе отсчёта. Э. п. сыграл фундам. эвристич. роль при создании общей *относительности теории* (см. также *Тяготение*).

Л. П. Питаевский.

ЭКЗОСФЕРА (сфера рассеяния) — внешний, наиб. разрежённый слой верх. атмосферы Земли (см. *Атмосфера верхняя*), в к-ром длины свободного пробега частиц так велики, что они могут диссипировать (рассеиваться) в межпланетное пространство, если их тепловая скорость превышает параболическую (вторую космическую) — v_p . Вблизи основания Э. $v_p \approx 11$ км/с. Быстрее всего диссипируют атомы Н и He; скорость диссипации увеличивается с ростом темп-ры. Рассеяние частиц компенсируется их поступлением в Э. снизу из термосферы.

В зависимости от абс. величин и направлений скоростей, приобретённых диссипирующими частицами при их последнем соударении с др. частицами, они могут двигаться по параболич., гиперболич. или эллиптич. траекториям. При движении по эллиптич. орбитам частицы возвращаются в Э., а при др. типах траекторий — уходят в космос. Ниж. граница Э. в период пониженной *солнечной активности* находится на высоте ≈ 450 —500 км, а в период повышенной — до 750 км. Верх. граница Э. (т. н. геокорона) отстоит от Земли на неск. тысяч км (иногда геокороной наз. всю Э.).