



тивистском приближении ($v \ll c$) для пост. намагничённости M можно считать постоянным ($B = 4\pi M$ при $r < R$, R — радиус цилиндра); E — напряжённость электр. поля, индуцируемого во вращающемся магнетике. Из (*) следует, что $E = -(1/c)\Omega Br$. Вольтметр регистрирует разность потенциалов между поверхностью и осью цилиндра $\Delta\phi = (1/2c)\Omega BR^2$, совпадающую в таком бестоковом режиме с эдс \mathcal{U} . и. При подключении конечного сопротивления (нагрузки) под действием этой эдс возникнет ток индукции, величина к-рого зависит от распределения его объёмной плотности по телу цилиндра и от

качества скользящих контактов.

К эффектам У. и. относят также возникновение радиальной электр. поляризации P^r внутри вращающегося магнетика, характеризующего аксиальной намагничённостью M . При этом суммарный электр. заряд остаётся равным нулю, но его плотность перераспределяется: внутри цилиндра индуцируется заряд с объёмной плотностью

$$\rho^e = -\operatorname{div} P^r = -\operatorname{div} \left\{ \frac{vM}{c} \right\} = -(2/c)\Omega M,$$

а на боковой поверхности появляется индуцированный поверхностный заряд с плотностью $\rho_n^e = -(1/2)\rho^e R$. Разделение зарядов в движущемся магнетике можно трактовать как релятивистское преобразование электр. и магн. дипольных моментов.

Впервые явления, связанные с У. и., наблюдал в 1824 Д. Араго (D. Arago) — вращение медной пластины под катушкой компаса приводило в движение его стрелку. Эффект Араго применяется, напр., для торможения диска в бытовых счётчиках электроэнергии. Первую униполярную машину (т. е. электр. машину, основанную на явлении У. и.) изготовил в 1832 М. Фарадей (M. Faraday); она отличалась от приведённой на рис. тем, что якорем служил диск, вращающийся во внеш. магн. поле подковообразного магнита. Машина Фарадея явилась первым генератором, преобразующим механич. энергию в электрическую. Униполярные машины применяются для получения больших пост. токов при низких напряжениях. Типичные параметры униполярных машин, используемых для питания электролизёров (см. *Электролиз*): сила тока 125 кА, напряжение 12 В. Самая мощная униполярная машина (1989, Австралия) работает в кратковременном режиме и даёт ток 1500 кА при напряжении 800 В.

Термин «У. и.» не является удачным, т. к. униполярные машины как минимум биполярны. Тем не менее он весьма распространён. Довольно часто У. и. называют любые проявления эл.-магн. индукции в произвольно движущихся намагниченных телах (твёрдых, жидких, газообразных). В таком расширенном понимании У. и. лежит в основе механизма возникновения эдс в магнитогидродинамич. генераторах, позволяет объяснить формирование магн. полей и динамику магнитосфер звёзд (в частности, *пульсаров*) и планет.

Лит.: Тамм И. Е., Основы теории электричества, 10 изд., М., 1989; Костенко М. П., Пиотровский Л. М., Электрические машины, 3 изд., ч. 1, Л., 1972; Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Электродинамика сплошных сред, 2 изд., М., 1982; Пановский В., Филипп М., Классическая электродинамика, пер. с англ., М., 1963. Г. В. Пермитин, Ю. В. Чугунов.

УНИТАРНАЯ СИММЕТРИЯ — реализуется как инвариантность теории поля относительно преобразований, сохраняющих норму нек-рого вектора (в общем случае — многомерного). Таким вектором может быть любой комплексный объект *квантовой теории поля* (комплексное поле, вектор состояния, амплитуда рассеяния и др.). Широкие и наиб. глубоко разработанные физ. приложения У. с. связаны с простейшими У. с. — симметрией $U(1)$, симметрией $SU(2)$ и симметрией $SU(3)$.

УНИТАРНОСТИ УСЛОВИЕ матрицы рассеяния — одно из ограничений, налагаемых на *матрицу рассеяния*, заключающееся в том, что она должна представлять собой *унитарный оператор*. В физ. смысле У. у. есть условие равенства единице суммы вероятностей всех возможных процессов, происходящих в системе. Напр., два сталкивающихся протона могут либо упруго рассеяться друг на друге, либо породить один или неск. π -мезонов или пару протон-антипротон и т. д.; сумма вероятностей всех таких процессов, допустимых законами сохранения энергии, импульса, электр. и барионного зарядов и т. д., согласно У. у., равна единице. У. у. — одно из основных составляющих элементов теории рассеяния и *дисперсионных соотношений метода*. Частным случаем У. у. является *оптическая теорема*, связывающая мнимую часть амплитуды упругого рассеяния на нулевой угол с полным сечением рассеяния. А. В. Ефремов.

УНИТАРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ — линейное преобразование *гильбертова пространства* (или предгильбертова пространства) H в себя, сохраняющее скалярное произведение векторов, то есть *унитарный оператор* пространства H в себя.

Собств. значения У. п. равны по модулю 1; собств. подпространства, отвечающие разл. собств. значениям, ортогональны.

Линейное преобразование U конечномерного гильбертова пространства H является У. п. тогда и только тогда, когда оно удовлетворяет любому из следующих условий:

в любом ортонормированном базисе преобразованию U соответствует унитарная матрица;

U переводит любой ортонормированный базис в ортонормированный;

в H существует ортонормированный базис, состоящий из собственных для U векторов, причём соответствующая U в этом базисе диагональная матрица имеет диагональные элементы, равные по модулю 1.

У. п. данного n -мерного пространства образуют группу относительно умножения преобразований, называемую унитарной группой и обозначаемую $U(n)$.

УНИТАРНЫЙ ОПЕРАТОР — линейный оператор U , отображающий предгильбертово пространство (в частности, *гильбертово пространство*) X в предгильбертово пространство Y и сохраняющий нормы (или длины векторов). Линейный оператор унитарен тогда и только тогда, когда $(x, y) = (Ux, Uy)$ для всех $x, y \in X$. Наиболее важный случай У. о. — отображение гильбертова пространства в себя, то есть *унитарные преобразования*. Характеристическими признаками унитарности линейного оператора $U: H \rightarrow H$ являются: 1) $U^+ U = U U^+ = I$ (I — тождественное преобразование), т. е. $U^{-1} = U^+$, где U^+ — сопряжённый оператор; 2) *спектр оператора* лежит на единичной окружности, и имеет место спектральное разложение

$$U = \int_0^{2\pi} e^{i\theta} dE_\theta$$

(E_θ — спектральная ф-ция). Совокупность У. о., действующих в H , образует группу. Всякая сильно непрерывная однопараметрич. группа У. о. представляется в виде $U(t) = \exp itA$, где A — самосопряжённый оператор.

Примером У. о. и его обратного в пространстве $L_2(-\infty, \infty)$ являются взаимно обратные *Фурье преобразования*.

В. И. Соболев.

УОКЕРОВСКИЕ КОЛЕБАНИЯ (уокеровские моды) — неоднородные типы колебаний намагничённости в малых (по сравнению с длиной эл.-магн. волны) ферро- или ферримагн. образцах, находящихся в пост. магн. поле. Наблюдались, как впоследствии стало ясно, уже в ранних опытах по *ферромагнитному резонансу*, но были отчётливо разрешены впервые в эксперименте Р. Л. Уайта (R. L. White) и И. Солта (I. H. Soli) в 1956; теория У. к. разработана Л. Р. Уокером (L. R. Walker) в 1957. Эта теория построена в магнитостатич. приближении [т. е. пренебрегая членами $(\epsilon/c)de/dt$ и $(1/c)\partial(\vec{h})/\partial t$ в ур-ниях Максвелла, где e и h — переменные электр. и магн. поля, скаляр ϵ и тензор