θ и тороидальная ζ — циклические переменные, изменяющиеся на 2π при обходе соответственно вокруг магн. оси (предельной магн. поверхности, ограничивающей объём $V(a)\to 0$) и вдоль тора (рис.). Из ур-ния (1) следует условие $\boldsymbol{B}\nabla p=0$, т. е. $p=p(a)$. Векторный потенциал $\boldsymbol{A}$ и магн. поле $\boldsymbol{B}$ в потоковых координатах выражаются ф-лами

$$2\pi \boldsymbol{A}=\Phi(a)\nabla\theta+\psi(a)\nabla\zeta-\eta\nabla a,$$

$$2\pi \boldsymbol{B}/\mu=J(a)\nabla\theta+F(a)\nabla\zeta-\nu\nabla a+\nabla\varphi,$$

где $J(a)$, $\Phi(a)$ — тороидальные электрич. ток и магн. поток внутри данной магн. поверхности (через тороидальную перегородку, рис.), $F(a)$, $\psi(a)$ — внешние по отношению к данной магн. поверхности полоидальный ток и магн. поток (через внешнюю полоидальную перегородку, рис.), а η, ν, φ — ф-ции, от к-рых зависит форма полоидальных и тороидальных координатных поверхностей $\theta(r)=\text{const}$, $\zeta(r)=\text{const}$. Важной характеристикой Т.с. является вращательное преобразование

$$\mu(a)=-d\psi/d\Phi=1/q(a),$$

определяющее число оборотов магн. силовой линии по малому обходу тора, приходящееся на один обход вдоль тора (полоидальное число вращения). Вращат. преобразование необходимо для самого существования системы вложенных тороидальных магн. поверхностей, обеспечивающих длительное удержание плазмы. От него зависит предельное давление плазмы в Т.с. Обратная величина $q(a)$ (тороидальное число вращения) применительно к токамакам наз. запасом устойчивости.

Из трёх ф-ций η, ν, φ две можно выбрать произвольно. Выбор $\eta=0$ соответствует координатам с прямыми силовыми линиями, ур-ние к-рых $d\zeta/d\theta=q(a)$. Дополнит. выбор $\nu=0$ определяет координаты Хамады, в к-рых якобиан

$$D=\frac{\partial r}{\partial a}\left[\frac{\partial r}{\partial\theta}\,\frac{\partial r}{\partial\zeta}\right]\equiv(\text{grad } a\left[\text{grad }\theta\,\text{grad }\xi\right])^{-1}$$

не зависит от θ и ζ, $D=V'(a)/4\pi^2$, а выбор $\varphi=0$ (при этом $\nu\neq 0$) — координаты Бузера, или магнитные координаты, в к-рых якобиан D выражается через напряжённость магн. поля $\boldsymbol{B}$:

$$D=V'(a)\langle B^2\rangle/4\pi^2B^2.$$

Ур-ние (1) связывает пять физ. «поверхностных», т. е. зависящих только от a, величин p, J, ψ, F, Φ соотношением

$$p'V'=J'\psi'-F'\Phi'.$$

Токи J, F связаны линейными соотношениями с потоками ψ, Φ (следствие связи $\boldsymbol{B}=\text{rot}\,\boldsymbol{A}$). Поэтому из пяти упомянутых поверхностных величин независимых — две, напр. p и q или p и J. При их задании геометрию магн. поверхностей определяют обычно с помощью ф-ции полоидального магн. потока $\psi(r)$, ур-нием для к-рой служит нормальная к магн. полю компонента ур-ния равновесия $\text{rot}\,\boldsymbol{B}\,[\boldsymbol{B}\nabla\psi]=p'(\psi)\,|\nabla\psi|^2$. В осесимметричном случае это ур-ние двумерное и имеет вид

$$r^2\,\text{div}(\nabla\psi/r^2)=-4\pi^2\mu_0p'(\psi)-\mu_0^2FF'(\psi)$$

(r — цилиндрич. радиус). Разработаны эфф. методы численного исследования равновесия плазмы и МГД неустойчивостей плазмы в Т.с. как двумерных, типа токамака, так и трёхмерных, типа стелларатора.

Представление о Т.с. как о системах с вложенными тороидальными магн. поверхностями является идеализацией. Реально Т.с. всегда имеют по крайней мере мелкую островную структуру (см. *Магнитные ловушки*).

Лит. см. при ст. *Магнитные ловушки, Стелларатор.*

В. Д. Шафранов.

ТОРР (торр, Torr) — внесистемная единица давления, то же, что *миллиметр ртутного столба*. Названа в честь итал. учёного Э. Торричелли (E. Torricelli). 1 торр $=1{,}33322\cdot 10^2$ Па $=1{,}33322\cdot 10^3$ дин$\cdot$см$^{-2}$.

ТОРРИЧЕ́ЛЛИ ФО́РМУЛА — определяет скорость истечения жидкости из малого отверстия в открытом сосуде: $v=\sqrt{2gh}$, где h — высота уровня жидкости, отсчитываемая от центра отверстия, g — ускорение свободного падения. Впервые установлена итал. учёным Э. Торричелли (E. Torricelli, 1641). Из Т. ф. следует, что скорость истечения жидкости из отверстия одинакова для всех жидкостей и зависит лишь от высоты, с к-рой жидкость опустилась, т. е. равна скорости свободного падения тела с той же высоты. Действительная же скорость истечения несколько отличается от скорости, определяемой Т.ф.: она зависит от формы и размера отверстия, от вязкости жидкости и величины расхода. Для учёта этих обстоятельств в Т.ф. вводят поправочный множитель φ, меньший единицы; тогда ф-ла приобретает вид: $v=\varphi\sqrt{2gh}$. Множитель φ наз. коэф. скорости при истечении жидкости из отверстия; для малого круглого отверстия при большом *Рейнольдса числе* он равен 0,94—0,99. Значения для отверстий др. форм и размеров приводятся в гидравлич. справочниках.

ТО́ЧЕЧНЫЕ ГРУ́ППЫ СИММЕТРИ́И кристаллов (класс кристаллов) — совокупность операций симметрии, совмещающих кристалл с самим собой, при к-рых, по крайней мере, одна точка кристалла остаётся неподвижной. Т. г. с. описывают внеш. форму (огранку) кристаллов. Существует 32 Т. г. с. Подробнее см. *Симметрия кристаллов.*

ТО́ЧЕЧНЫЕ ДЕФЕ́КТЫ (нульмерные дефекты) — нарушения идеальной кристаллич. решётки, ограниченные одним или неск. узлами. Т. д. являются *вакансии*, дивакансии, *межузельные атомы*, а также комплексы примесных атомов с вакансиями, дивакансиями и межузельными атомами. Т. д. могут быть собственными и примесными. Упругое поле, созданное Т. д., может быть значительным в пределах области, охватывающей несколько постоянных решётки a, а кулоновское — несколько десятков постоянных a.

По способу образования можно выделить: Т. д. ростовые, возникающие в процессе *кристаллизации*; Т. д. термические (возникают в результате прогрева, часто с последующей закалкой); радиационные (см. *Радиационные дефекты*), сопутствующие *дислокациям* (шуба дислокации); примеси, к-рые вводятся в кристалл при легировании, и др.

К простым Т. д. следует отнести вакансии, межузельные атомы, т. н. пары Френкеля (вакансия + межузельный атом) и примесные атомы замещения. Первичные Т. д. образуются непосредственно при нагреве или облучении, вторичные — в результате перестройки, вызванной диффузией и последующим взаимодействием первичных дефектов между собой.

Лит.: Стоунхэм А. М., Теория дефектов в твердых телах, пер. с англ., т. 1—2, М., 1978; Винецкий В. Л., Холодарь Г. А., Радиационная физика полупроводников, К., 1979; Точечные дефекты в твердых телах. Сб. статей, пер. с англ., М., 1979; Емцев В. В., Машовец Т. В., Примеси и точечные дефекты в полупроводниках, М., 1981.

Т. В. Машовец.

ТО́ЧНО РЕША́ЕМЫЕ МОДЕ́ЛИ квантовой теории поля и статистической физики (вполне интегрируемые системы), матем. модели физ. систем, допускающие точное вычисление собств. функций и собств. значений гамильтониана таких систем, а также статистич. суммы для них; как правило, это системы низкой пространственной размерности (одно- или двумерные; см., напр., *Двумерные модели* квантовой теории поля). Т. р. м. имеют принципиальное значение в физике *фазовых переходов*.

XYZ-модель. Одной из фундаментальных Т. р. м. является одномерная квантовая анизотропная XYZ-модель Гейзенберга — периодическая цепочка N спинов $^1/_2$, в к-рой учитывается только обменное взаимодействие ближайших соседей. Гамильтониан XYZ-модели записывается в виде (см. также *Спиновый гамильтониан*):

$$\mathscr{H}=-\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{N}\left(J_x\sigma_j^x\sigma_{j+1}^x+J_y\sigma_j^y\sigma_{j+1}^y+J_z\sigma_j^z\sigma_{j+1}^z\right),\qquad(1)$$

где $\boldsymbol{\sigma}_j=(\sigma_j^x,\,\sigma_j^y,\,\sigma_j^z)$ — трёхмерный вектор, составленный из матриц Паули для j-го спина, J_α — константы анизотроп-