

профилированных катушек. Разрабатываются и более сложные системы с пространственной магн. осью.

Первые эксперим. исследования на С. (США, 1950-е—60-е гг.) были неудачны: на всех установках наблюдалась повышенная *Бома диффузия* плазмы. Причины неудач — относительно низкие значения поперечных магн. полей и отсутствие контроля за качеством магн. поверхностей. Успехи в СССР на установках типа *токамак* привели к закрытию амер. стеллараторной программы и переклещению усилий на исследования на токамаках. В 1960-х гг. исследования по С. переместились в СССР, ФРГ, Великобританию и Японию. На С. Л-1 (ФИАН) впервые был разработан метод измерения структуры магн. поверхностей и показано, что диффузия плазмы, созданной внеш. инжекцией, примерно на порядок медленнее бомовской. На С. «Вандельштейн-1» (ФРГ) было показано, что холодная ( $T \approx 0,2$  эВ) цезиевая плазма удерживается в С. классически. Исследования, проведенные во мн. лабораториях мира на небольших установках с относительно холодной и неплотной плазмой, показали удовлетворит. удержание плазмы в С. В нач. 70-х гг. на установке «Ураган» (Харьков) был успешно проведен ионно-циклотронный нагрев плазмы и показано, что потери энергии по ионному каналу близки к неклассическим. В сер. 70-х гг. были введены в строй С. 2-го поколения: Л-2 (СССР), «Вандельштейн-VIIA» (ФРГ) и «Клео» (Великобритания). На к-рых при омич. нагреве была получена плазма плотностью  $n_e = 10^{13}$  см<sup>-3</sup> и темп-рой  $T_e \approx 0,5$  кэВ, доступная ранее только на токамаках. На С. «Вандельштейн-VIIA» была создана бестоковая плазма в режиме инжекции пучков нейтральных атомов; проводятся исследования бестоковой плазмы, создаваемой методом электронного циклотронного резонанса и инжекции нейтральных пучков. В 80-х гг. были сооружены крупные установки «Гелиотрон-Е» (Япония), «Вандельштейн-VIIAS» (ФРГ), ATF (США), на к-рых были достигнуты более высокие параметры плазмы:  $T_e \leq 3$  кэВ (нагрев при электронном циклотронном резонансе),  $n_e \leq 10^{14}$  см<sup>-3</sup> и  $\beta_{\text{макс}} \approx 2-3\%$  (нейтральная инжекция). Гл. преимущество С.— возможность стационарной работы. В 1991 на С. ATF было продемонстрировано удержание горячей плазмы в течение 20 с; проектируются С. «Вандельштейн-VIIX» и «LHD» со сверхпроводящими магн. обмотками, работающими в стационарном режиме.

Лит.: Рабинович М. С., Экспериментальные исследования на стеллараторах, в кн.: Итоги науки и техники, сер. Физика плазмы, т. 2, М., 1981, с. 6; Шафранов В. Д., Тороидальные системы для управления термоядерного синтеза, там же, т. 8, М., 1988, с. 131; Волков Е. Д., Супруненко В. А., Шишкин А. А., Стелларатор, К., 1983.

С. Е. Гребенщиков.

**СТЕПЕНОВА УНИВЕРСАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ** — соотношение между спектрами поглощения и люминесценции сложных молекул, обобщающее разл. спектрально-энергетич. закономерности — правила Стокса и Вавилова — Ломмеля, принцип зеркальной симметрии и т. д. С. у. с. является аналогом *Кирхгофа закона излучения* и отражает свойства, общие для *теплового излучения* и *люминесценции*.

С. у. с. выполняется при условии равновесного распределения системы по колебат. подуровням возбужденного электронного уровня энергии сложной молекулы. Такое распределение устанавливается за времена  $\sim 10^{-11} - 10^{-13}$  с, т. е. значительно меньшие, чем времена жизни возбужденных состояний (не менее  $10^{-9}$  с), и, следовательно, оно предшествует возникновению излучат. квантовых переходов. При выполнении всех необходимых условий мощность люминесценции  $w$ , на данной частоте  $\nu$  однозначно связана с коэф. поглощения света  $K_\nu$  той же частоты:

$$\frac{w_\nu}{K_\nu} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^2} \frac{n_1}{n} \exp(h\nu_0/kT) C(T),$$

где  $n_1$  — число возбужденных молекул,  $n$  — общее число молекул системы,  $h\nu_0$  — энергия кванта, соот-

ветствующего чисто электронному переходу,  $kT$  — тепловая энергия, а  $C(T)$  — нормировочный множитель, учитывающий различие *статистических весов* основного и возбужденного уровней.

С. у. с. справедливо для всех систем, в к-рых распределение по колебат. подуровням возбужденного электронного уровня не зависит от способа возбуждения (в т. ч. и от частоты возбуждающего света). В системе, кроме того, должны отсутствовать примеси, поглощающие энергию возбуждения, но не люминесцирующие. С. у. с. экспериментально подтверждено для мн. сложных молекул в растворах и парах, а также для атомов, взаимодействие к-рых со средой отражается на форме контуров их линий поглощения и испускания. При этом положение максимума линии (или полосы) люминесценции никогда строго не совпадает с положением максимума линии (или полосы) поглощения, всегда несколько смещено от него в ДВ-область и имеет иную форму.

Лит.: Степанов Б. И., Грибковский В. П., Введение в теорию люминесценции, Минск, 1983. Ю. П. Тимофеев.

**СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ ЧИСЛО** в механике — число не независимых между собой *возможных перемещений* механич. системы. С. с. ч. зависит от числа материальных точек, образующих систему, и от числа и характера наложенных на систему *связей механических*. Для свободной материальной точки С. с. ч. равно 3, для свободного твердого тела — 6, для тела, имеющего неподвижную ось вращения, С. с. ч. равно 1 и т. д. Для любой *голономной системы* (системы с геом. и интегрируемыми дифференц. связями) С. с. ч. равно числу  $s$  независимых между собой координат, определяющих положение системы, и дается равенством  $s = 3n - k$ , где  $n$  — число точек системы,  $k$  — число геом. связей. Для *неголономной системы* (системы, на к-рую, кроме голономных, наложены ещё неголономные, т. е. *неинтегрируемые дифференц. связи*) С. с. ч. меньше числа координат, определяющих положение системы, на число неголономных связей. От С. с. ч. зависит число дифференц. ур-ний движения или условий равновесия механич. системы.

С. М. Таря.

**СТЕПЕНИ СВОБОДЫ** — независимые возможные изменения состояния (в частности, положения) физ. системы, обусловленные вариациями её параметров. В механике С. с. соответствуют независимым перемещениям механич. системы, число к-рых определяется числом образующих систему частей и наложенных на неё механич. связей (см. *Степени свободы число в механике*).

В *статистической физике* С. с. соответствуют независимым обобщенным координатам, определяющим полную энергию или *Гамильтона функцию* системы. Число С. с. позволяет оценить *теплоемкость* многоатомных газов и твердых тел при высоких темп-рах, когда применимо классич. статистич. механика и энергия равномерно распределена на С. с. (*равнораспределения закон*). Однако при обычных (комнатных) темп-рах не все С. с. вносят вклад в теплоемкость многоатомного газа, не-к-рые из них выключены («заморожены»), т. к. могут возбуждаться лишь при достаточно высоких темп-рах.

В *квантовой механике* С. с. соответствуют независимым координатам, к-рые определяют *гамильтоновы* системы. Непрерывные поля нельзя охарактеризовать конечным числом С. с.

В *термодинамике* С. с. — независимые термодинамич. параметры, определяющие состояние термодинамич. равновесия системы. Число С. с.  $f$  равновесной термодинамич. системы определяется *Гиббса правилом фаз*:  $f = n - r + 2 \geq 0$ , где  $n$  — число компонентов,  $r$  — число фаз.

Д. Н. Зубарев.

**СТЕРАДИАН** (от греч. stereós — телесный, объёмный и радиан) (ср, Sr) — единица телесного угла; 1 ср равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на ней поверхность, площадь к-рой равна площади квадрата со стороной, равновеликой радиусу