

для модуляции добротности (0,1—10 нс), так и для синхронизации мод (1—10 пс). Схема лазера с самосинхронизацией мод для генерации импульсов пикосекундной длительности с помощью насыщаю-

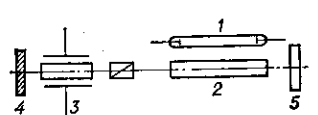


Рис. 2. Схема лазера с модулированной добротностью: 1 — лампа накачки; 2 — активный стержень; 3 — модулятор (призма Глана и ячейка Покиельса); 4 — глухое зеркало; 5 — частично прозрачное выходное зеркало.

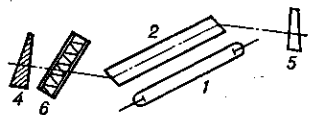


Рис. 3. Схема лазера с самосинхронизацией мод (обозначения те же, что и на рис. 2). Насыщающийся фильтр 6 расположен около глухого зеркала 4.

щегося фильтра приведена на рис. 3. Для того чтобы резонатор лазера обладал только одним чётко выраженным периодом межмодовых биений, грани оптич. элементов этой схемы слегка отклонены от нормали к оптич. оси резонатора, а входной и выходной торцы активного элемента расположены под углом Брюстера к этой оси. Длины волн излучения Н. л. $\lambda = 1,8; 1,3; 1,06; 0,9$ мкм. Области применения Н. л.: технология, медицина, метеорология, дальнометрия, лазерный термоядерный синтез, физ. исследования.

Лит. см. при ст. *Твердотельный лазер*. Н. В. Карлов
НЕОН (Neon), Ne, — хим. элемент VIII группы периодич. системы элементов, ат. номер 10, ат. масса 20,179, относится к инертным газам. Природный Н. состоит из трёх стабильных изотопов: ^{20}Ne (90,51%), ^{21}Ne (0,27%) и ^{22}Ne (9,22%). Атомный радиус 0,160 нм. Электронная конфигурация внеш. оболочки $2s^2 2p^6$. Энергии последоват. ионизации равны 21,564; 41,08; 63; 97; 126,3 эВ.

Н. — газ без цвета и запаха, состоит из одноатомных молекул. При нормальных условиях плотность 899,94 г/м³, $t_{\text{пл}} = -248,52$ °С, $t_{\text{кип}} = -245,93$ °С. Плотность жидкого Н. (при $t_{\text{кип}}$) 1,207 кг/дм³, твёрдого Н. — 1,4394—1,5073 кг/дм³. Критич. параметры: темп-ра 44,6 К, давление 2,654 МПа, плотность 484 г/дм³. Тройная точка: $t = 27,8$ К, $p = 31,86$ МПа. Твёрдый Н. имеет кубич. гранецентриров. кристаллич. структуру с параметром $a = 0,44620$ нм (10 К). Темп-ра Дебая 74,6 К. Теплота плавления 335,4 Дж/моль, теплота сублимации 1,875 кДж/моль (0 К). Теплопроводность $46,8 \times 10^{-3}$ Вт/(м·К) (0 °С), теплоёмкость 20,8 Дж/(моль·К), вязкость 31,38 мкПа·с (при нормальном давлении и 20 °С). При 25 °С в 1 л воды растворяется 11,6 см³ Ne.

В хим. реакции Н. не вступает. Его применяют в газоразрядных трубах, газосветильных индикаторах и сигнальных лампах (красное свечение). Жидкий Н. применяют как хладагент в криогенной технике. Нуклид ^{22}Ne использовали при осуществлении ядерных реакций с целью получения сверхтяжёлых элементов (№ 102, 104 и др.).

С. С. Бердоносов.
НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЕЙ СООТНОШЕНИЯ — фундаментальные соотношения квантовой механики, устанавливающие предел точности одноврем. определения канонически сопряжённых динамических переменных, характеризующих квантовую систему: координата — импульс, действие — угол и т. д. Математически Н. с. имеет вид неравенства, напр.

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}, \quad (1)$$

где Δx и Δp_x — неопределённости значений координаты x и сопряжённой ей компоненты p_x импульса p (аналогичные соотношения справедливы и для пар др. компонент координаты и импульса: $y, p_y; z, p_z$).

Н. с. были установлены В. Гейзенбергом (W. Heisenberg) в 1927 при анализе мысленного эксперимента по

измерению координаты квантового объекта с помощью «гамма-микроскопа» [1]. В 1929 Х. П. Робертсон (H. P. Robertson) показал, что Н. с.

$$\Delta x^2 \cdot \Delta p_x^2 \geq \left| \frac{\hat{x} \hat{p}_x - \hat{p}_x \hat{x}}{2} \right|^2 = \frac{\hbar^2}{4} \quad (2)$$

являются следствием коммутац. соотношений (см. *Перестановочные соотношения*) $[\hat{x}, \hat{p}_x] = i\hbar$ между операторами \hat{x} и \hat{p}_x соответствующих физ. величин, причём Δx и Δp_x в (1) определяются как среднеквадратичные отклонения:

$$\Delta x^2 = \overline{(\hat{x} - \bar{x})^2}, \quad \Delta p_x^2 = \overline{(\hat{p}_x - \bar{p}_x)^2}, \quad (3)$$

где чертой обозначены средние от операторов, определяемые ф-лой

$$\bar{A} = \int \psi^* \hat{A} \psi dV \quad (4)$$

(ψ — волновая функция состояния, интегрирование производится по всему объёму, где $\psi \neq 0$; звёздочкой помечено комплексное сопряжение). Он же доказал, что равенство в Н. с. достигается только для квантовых состояний, к-рые описываются т. н. гауссовыми волновыми пакетами (см. *Когерентное состояние*). Э. Шрёдингер (E. Schrödinger) предложил более общую ф-лу в случае т. н. коррелиров. состояний [2], для к-рых

$$\Delta x^2 \Delta p_x^2 \geq \left| \frac{\hat{x} \hat{p}_x - \hat{p}_x \hat{x}}{2} \right|^2 + \left| \frac{\hat{x} \hat{p}_x + \hat{p}_x \hat{x}}{2} - \bar{x} \bar{p}_x \right|^2. \quad (5)$$

Если ввести коэф. корреляции r^2 , равный отношению второго члена правой части к произведению $\Delta x^2 \cdot \Delta p_x^2$, то Н. с. (5) примет вид

$$\Delta x^2 \cdot \Delta p_x^2 \geq \frac{\hbar^2}{4(1-r^2)}, \quad (6)$$

т. е. для сильно коррелированных состояний ($r \sim 1$) «эфф. постоянная Планка» $\hbar/\sqrt{1-r^2}$ может существенно превышать величину \hbar .

Соотношения типа (1) имеют место для любых физ. величин (f, g), к-рым соответствуют некоммутирующие эрмитовы операторы. Если коммутатор $[\hat{f}, \hat{g}] = i\hbar c$ (где \hat{c} — эрмитов оператор), то Н. с. приобретают вид

$$\Delta f^2 \cdot \Delta g^2 \geq \frac{\hbar^2}{4} \left| \overline{\hat{c}} \right|^2 \quad (7)$$

[к-рый для коррелиров. состояний модифицируется аналогично (6)]. В частности, для проекций угл. момента $[\hat{L}_x, \hat{L}_y] = i\hbar L_z$, и поэтому $\Delta L_x^2 \cdot \Delta L_y^2 = (\hbar^2/4)(\overline{L_z})^2$.

Среди физ. толкований Н. с. можно выделить по крайней мере три уровня, к-рым в англоязычной литературе соответствуют три разл. термина: uncertainty, indeterminateness, indeterminancy. Наиб. часто, особенно в упрощённых изложениях принципов квантовой механики, Н. с. (uncertainty relations) трактуют как ограничение на экспериментально достижимую точность измерения характеристик квантовых объектов, обусловленное неадекватностью классич. приборов целям квантовых измерений.

Др. толкование (indeterminateness) исходит из предпосылки, что Н. с. есть следствие свойства квантовых объектов, внутренне присущих им, независимо от несовершенства конкретных реализаций эксперим. установок, предназначенных для измерения этих свойств. Таким внутр. свойством является корпускулярно-волновой дуализм квантовых объектов, т. е. неразделимое сочетание волновых и корпускулярных свойств, равно необходимых для их полного описания. С этой точки зрения, аналоги Н. с. были хорошо известны, напр. в акустике и оптике, задолго до создания квантовой механики. Так, для цуга излучения протяжённого Δx , представляющего собой волновой пакет с волновыми