

радиочастотное поле  $H_1 \cos \omega t$  ориентированы перпендикулярно направлению света. Свет, прошедший через колбу с парами, воспринимается фотоприёмником и регистрируется синхронным детектором, на к-рый подаётся также сигнал с частотой  $\omega$  (рис. 4).

Радиочастотное поле  $H_1 \cos \omega t$ , параллельное измеряемому полю  $H$ , модулирует расщепление между

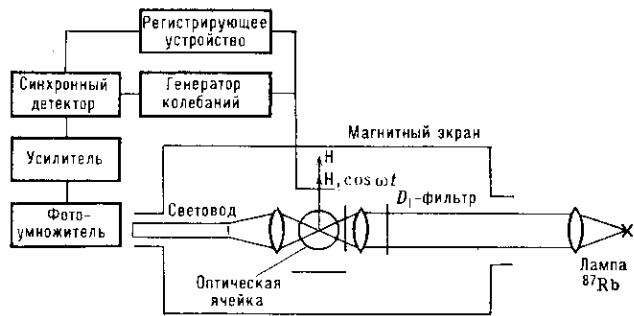


Рис. 4. Схема Ханле магнитометра.

энергетич. подуровнями атомов  $^{87}\text{Rb}$ , что приводит к модуляции интенсивности регистрируемого света. Контур наблюдаемой линии имеет лоренцеву форму  $(1 + \Omega^2 \tau^2)^{-1}$ , где  $\Omega = |\varepsilon_2 - \varepsilon_1| / \hbar$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_1$  — энергии пересекающихся уровней,  $\tau$  — время жизни возбуждённого атома. Максимум наблюдаемой линии соответствует пересечению уровней  $\varepsilon_2 - \varepsilon_1 = 0$ .

Для измерения компонент поля  $H$  удобно наблюдать кривую дисперсии. При этом в пределах ширины линии  $\Gamma$ , амплитуда регистрируемого оптического сигнала проходит через нуль при  $H = 0$  и пропорц. измеренной компоненте поля. Частота  $\omega$  радиочастотного поля, воздействующего на атомы  $^{87}\text{Rb}$ , не является резонансной частотой этих атомов, поэтому Ханле магнитометр не является резонансным, несмотря на то, что наблюдаемый сигнал имеет лоренцеву форму.

С помощью Ханле магнитометра могут быть измерены слабые магн. поля с индукцией  $B \sim 100 - 1000$  нТл при отношении сигнала к шуму  $\sim 10^3$  и пороге чувствительности  $1 - 2$  нТл. Такая чувствительность сравнима лишь с чувствительностью магнитометров, в к-рых используется квантование магн. потока в двухсвязных проводниках. Ханле магнитометры применяются для измерения сверхслабых магн. полей, напр. магн. полей в космосе, полей ферромагн. экранов и др.

Лит.: Померанцев Н. М., Рыжков В. М., Скродцкий Г. В., Физические основы квантовой магнитометрии, М., 1972; Скродцкий Г. В., Соломахо Г. И., Явление пересечения магнитных подуровней в основном состоянии и его применение в магнитометрии, «Геофизич. аппаратура», 1973, в. 52, с. 3; Александров Е. Б., Мамырин А. Б., Наумов А. П., СТС — магнитометр для абсолютных измерений магнитной индукции слабых магнитных полей, «Измерит. техника», 1977, № 7, с. 73; Козлов А. Н., Майоршин В. В., Компонентные гелиевые магнитометры на эффекте Ханле, в сб.: Геомагнитные приборостроение, М., 1977, с. 9; Александров Е. Б., Абсолютные измерения малых магнитных полей, «Вестник АН СССР», 1978, № 11, с. 14; е то ж е, Атомно-резонансные магнитометры с оптической накачкой, в кн.: Исследования в области магнитных измерений, Л., 1978, с. 3; Блинов Е. В. и др., Щелочно-гелиевый магнитометр с оптической ориентацией атомов калия, «ЖТФ», 1984, т. 54, в. 2, с. 287. Е. И. Дашевская.

**КВАНТОВЫЙ ПЕРЕХОД** — характерный для квантовой системы (атома, молекулы, кристалла, атомного ядра, элементарной частицы) скачкообразный переход из одного состояния в другое, происходящий под влиянием к.-л. взаимодействия, присущего частицам данной системы. Наиболее важен случай К. п. между стационарными состояниями, соответствующими определ. значениям энергии системы [представление о К. п. для этого случая было введено Н. Бором (N. Bohr)

в 1913]. К. п. между нестационарными состояниями могут быть описаны с помощью *суперпозиции состояний принципа*.

В общем случае К. п. характеризуется амплитудой перехода (см. *Матрица рассеяния*); квадрат её модуля определяет вероятность перехода. При любых К. п. выполняются точные законы сохранения энергии, импульса, момента импульса, электрич. заряда и др. В К. п., происходящих за счёт эл.-магн. и сильного взаимодействий, выполняются законы сохранения пространственной чётности, зарядовой чётности, странности и др., к-рые могут нарушаться в переходах, происходящих благодаря слабому взаимодействию (см. *Отбора правила*). К. п. между разл. стационарными состояниями, сопровождающиеся испусканием или поглощением к.-л. частицы (напр., фотона в случае излучательных переходов), на схемах уровней энергии принято изображать вертикальными или наклонными линиями, соединяющими соответствующие уровни энергии системы, изображаемые горизонтальными линиями. Ниже рассматриваются К. п. в атомах и молекулах. Такие К. п. могут быть излучательными и безызлучательными. При излучат. К. п. система испускает (переход  $\varepsilon_i \rightarrow \varepsilon_k$ ,  $\varepsilon_i > \varepsilon_k$ , где  $\varepsilon_i$  и  $\varepsilon_k$  — энергии стационарных состояний, между к-рыми происходит К. п.) или поглощает (переход  $\varepsilon_k \rightarrow \varepsilon_i$ ) квант эл.-магн. излучения — фотон энергии  $h\nu = \omega = \varepsilon_i - \varepsilon_k$  ( $\nu$  или  $\omega$  — обычная или круговая частота излучения). В зависимости от величины  $\varepsilon_i - \varepsilon_k$  испускается или поглощается излучение в разл. частотных диапазонах шкалы эл.-магн. волн. Совокупность излучат. К. п. с верх. уровней энергии на нижние образует спектр испускания данной квантовой системы, а с ниж. уровней на верхние — её спектр поглощения. При безызлучат. К. п. система отдаёт или получает энергию при взаимодействии с др. системами. Вероятности К. п. в атомах и молекулах принято характеризовать средним числом переходов данного типа за единицу времени (1 с).

Излучат. К. п. могут быть спонтанными («самопроизвольными»), не зависящими от внеш. воздействий на квантовую систему и обусловленными её взаимодействием с физ. вакуумом (спонтанное испускание фотона), и вынужденными (индуцированными), происходящими под действием внешнего эл.-магн. излучения резонансной частоты  $\nu = (\varepsilon_i - \varepsilon_k) / h$  (поглощение и вынужденное испускание фотона) (см. *Спонтанное излучение*, *Вынужденное излучение*). Вероятности излучат. К. п. определяются *Эйнштейна коэффициентами* и могут быть рассчитаны методами квантовой электродинамики и квантовой механики.

Как отмечалось, изменение энергии квантовой системы при безызлучат. К. п. происходит вследствие её взаимодействия с др. квантовыми системами, напр. для молекулы газа при её столкновении с др. молекулами, а для частицы в жидкости или в кристалле — при взаимодействии с ближайшим окружением. Помимо вынужденных безызлучат. К. п., сопровождающихся изменением энергии системы, возможны спонтанные безызлучат. К. п., при к-рых при заданной энергии происходит распад системы на части, напр. автоионизация атома (см. *Оже-эффект*) или *преддиссоциация молекулы*. Такие процессы возможны, если энергия системы больше энергии, необходимой для её распада.

М. А. Ельшивец.  
**КВАНТОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ** (мазер) — усилитель эл.-магн. волн СВЧ-диапазона, основанный на явлении вынужденного испускания эл.-магн. излучения возбуждёнными квантовыми системами (атомами, ионами, молекулами). Усиление обусловлено тем, что при вынужденном испускании частота  $\nu$ , фаза, поляризация и направление распространения у излучённой и вынуждающей волн одинаковы (см. *Квантовая электроника*). К. у. обладают чрезвычайно малыми собственными шумами, благодаря чему они применяются