

квантовый переход в слабом магн. поле  $H$  между магн. подуровнями *сверхтонкой структуры* основного состояния (рис. 1), а именно переход ( $F=1, m_F=0$ )  $\rightarrow$  ( $F=0, m_F=0$ ) (см. *Атом, Атомные спектры, Зеемана эффект*). Частота этого перехода  $\nu_0$  для слабых полей  $H$

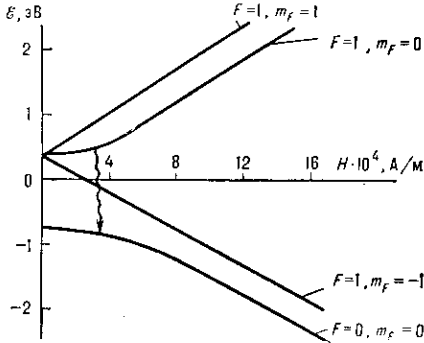


Рис. 1. Зависимость расщепления уровней сверхтонкой структуры в магнитном поле от напряжённости магнитного поля  $H$ ;  $F=J+I$  — полный спин атома ( $I$  — спин ядра,  $J$  — электрона);  $\Delta m_F$  — проекции полного спина на направление  $H$ .

определяется выражением:  $\nu_0 = (1420405751,786 + 428,1 \cdot 10^{-3} H^2 \pm 0,0046)$  Гц.

Если атомы водорода в верх. энергетич. состоянии (1,0) вводят в *объёмный резонатор*, настроенный на частоту  $\nu_0$ , эл.-магн. поле резонатора вынуждает их переходить в ниж. состояние (0,0). Начало этому процессу может дать флуктуационное эл.-магн. поле либо спонтанное испускание фотона одним из атомов в резонаторе. При каждом акте вынужденного перехода (1,0)  $\rightarrow$  (0,0) в резонаторе выделяется эл.-магн. энергия, равная  $h\nu_0$ . Если кол-во атомов в состоянии (1,0), вводимых ежесекундно в резонатор, достаточно для того, чтобы выделяемая ими эл.-магн. энергия компенсировала потери энергии в нём, включая излучение через элемент связи, то наступает самовозбуждение. В результате атомы будут переходить из состояния (1,0) в состояние (0,0). В дальнейшем кол-во переходов (1,0)  $\rightarrow$  (0,0) станет равным кол-ву обратных переходов (эффект насыщения). Это определяет амплитуду установившихся колебаний (см. *Квантовая электроника*).

Устройство В. г. показано на рис. 2. Атомы водорода получают в источнике пучка электролизом  $H_2O$  (рис. 3). Молекулярный водород  $H_2$  очищают от примесей методом диффузии сквозь тонкие стенки трубки (Pa, Ni) и превращают в атомарный водород электрич.

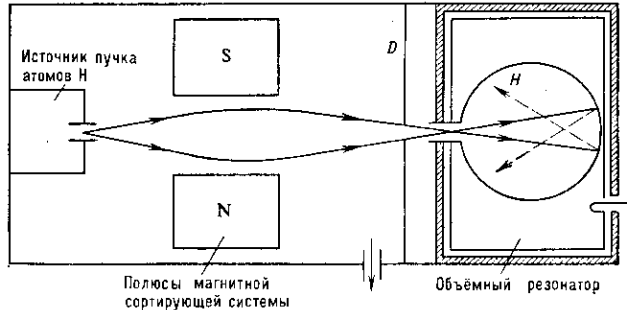


Рис. 2. Схематическое изображение водородного генератора.

разрядом в диссоциаторе. Далее атомы проходят через коллиматор — систему из 150–200 тонких параллельных каналов, формирующих пучок. Интенсивность коллимированного пучка  $\sim 10^{17}$  атомов / с в телесном угле  $\sim 5-6^\circ$ . Кол-во атомов в состоянии (1,0) в пучке меньше, чем в состоянии (0,0), в соответствии с *Больцмана распределением* по энергии.

Для обогащения пучка атомами в состоянии (1,0) применяется магн. сортирующая система (рис. 2). Обыч-

но это шестиполосный магнит (рис. 4). При симметричном расположении и гиперболич. форме полюсов одинакового размера в межполюсном зазоре  $H=H_0(r/a)^2$ , где  $H_0$  — напряжённость поля вблизи поверхности полюсов,  $a$  — расстояние от оси симметрии магнита

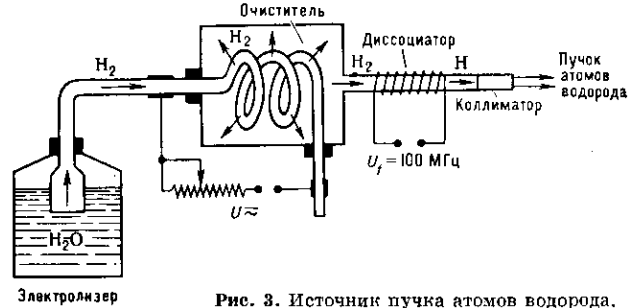


Рис. 3. Источник пучка атомов водорода.

до поверхности полюсов,  $r$  — расстояние от оси магнита (0) до рассматриваемой точки. Сила, действующая на атомы водорода в магн. поле,  $f = -\text{grad } U$ , где  $U = \pm \mu_0 H (\mu_0 H \gg h\nu_0)$  — энергия взаимодействия атомов с полем,  $\mu_0$  — магн. дипольный момент атома водорода, знаки  $\pm$  относятся соответственно к атомам в состоянии (1,0) и (0,0). Атомы влетают в сортирующую систему вдоль оси симметрии 0. Сила, действующая на атомы внутри сортирующей системы, искривляет их траектории т. о., что атомы в состоянии (1,0) фокусируются на оси 0, а атомы в состоянии (0,0) выбрасываются из пучка. Из-за разброса атомов по нач. скоростям фокусирующие свойства сортирующей системы несовершенны. Их улучшают с помощью диафрагмы  $D$  (рис. 2).

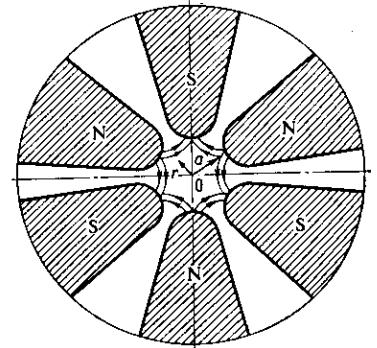


Рис. 4. Магнитная сортирующая система (поперечное сечение); пунктир — силовые линии.

Отсортированные атомы в состоянии (1,0) попадают в накопит. ячейку  $H$ , находящуюся внутри резонатора. Обычно это цилиндрич. резонатор с типом колебаний  $H_{011}$ , обладающий наиб. однородной структурой высокочастотного магн. поля  $H_1$  (резонатор изготавливают из ситалла, имеющего низкий температурный коэф. расширения). Для уменьшения потерь поверхность резонатора покрывают слоем Ag (20–50 мкм). Для получения макс. добротности диаметр резонатора выбирают близким к его высоте (280 мм). Добротность резонатора с расположенной в нём накопит. ячейкой достигает значения  $Q_p \approx 4 \cdot 10^4$ , что значительно выше требуемого для самовозбуждения. Накопит. ячейкой служит тонкостенная колба из плавниного кварца (диам. 14–20 см, толщина стенок 1 мм), снабжённая узким входным каналом для увеличения времени нахождения атомов в накопит. ячейке до 1 с (пучок атомов проходит сквозь канал в колбу беспрепятственно, а вероятность обратного вылета атомов из колбы мала, т. к. пропорциональна отношению площади входного канала к площади поверхности колбы). Внутр. поверхность колбы покрыта плёнкой тефлона, при соударениях с к-рой лишь 1 атом из  $10^5$  атомов в состоянии (1,0) переходит в состояние (0,0) без вынужденного испускания фотона, т. е. не принимает участия в генерации. Диаметр колбы меньше длины волны В. г. ( $\lambda = 21$  см), что подавляет доплеровское уширение спектральной линии (см. *Доплера эффект*). Для исключения влияния внеш. темп-ры и магн. поля на работу