

через усилитель подключают к частотно-измерит. устройству (рис. 1). Точность протонного К. м. достигает 10 пТл.

Протонные К. м. применяют для геофиз. исследований (в обсерваториях, на море, при аэромагн. и спутниковых измерениях, для решения задач вулканологии и археологии и др.). Их достоинства: абсолютность

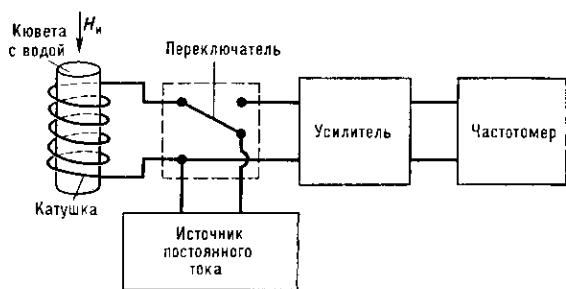


Рис. 1. Схема протонного магнитометра.

измерений, высокая стабильность коэф. преобразования поле—частота и независимость его от внеш. условий; высокая точность измерения частоты, превосходящая точность измерения др. физ. величин. Недостатки: малая величина сигнала, невозможность непрерывного режима работы, значит. погрешность при поворотах прибора ($3,7 \text{ нТл} \cdot \text{с} \cdot \text{рад}^{-1}$).

К. м. с оптической накачкой лишён этих недостатков. В нём поляризация вещества достигается воздействием на парамагн. атомы светового излучения определ. частоты. Реальная система зеемановских уровней парамагн. атомов (K, Rb, Cs), применяемых в К. м., сложна. Однако принцип оптич. накачки может быть проиллюстрирован на простейшей двухуровневой схеме. Свет накачки должен быть таким, чтобы вероятности его поглощения существенно различались для разных подуровней. В этом случае под действием света накачки примерно равенство населённостей этих подуровней нарушится и в ансамбле атомов возникнет макроскопич. электронный магн. момент — система станет поляризованной (см. *Оптическая накачка, Оптическая ориентация атомов*).

Степень поляризации определяется конкуренцией процессов накачки и тепловой релаксации, приводящей к потере поляризации за счёт тепловых столкновений атомов со стенками ячейки. Для того чтобы свести эффект тепловой релаксации к минимуму, в поглощающую ячейку наряду с парами щелочного металла помещают небольшое кол-во диамагн. газа (He, Ar, N и т. д.), замедляющего диффузию к стенкам, либо покрывают стенки защитными покрытиями (парафин, полиэтилен).

Т. к. плотность рабочих атомов в ячейке мала ($\sim 10^{10} \text{ см}^{-3}$), то намагниченность, полученная при помощи оптич. накачки, также мала и прецессия макроскопич. момента не обнаруживается по эдс, наводимой ею в индукц. катушке, как в протонных К. м. Методы обнаружения прецессии в этом случае основаны на наблюдении изменения интенсивности поглощения света ансамблем поляризованных атомов при воздействии на него резонансного радиочастотного поля H_1 . Один из методов основан на том, что поле H_1 , частота к-рого ω_0 совпадает с частотой перехода между зеемановскими подуровнями, приводит к выравниванию их населённостей. Это проявляется в уменьшении степени магн. поляризации пара и увеличении поглощения света накачки. Изменяя в небольших пределах частоту радиоволны и регистрируя её в момент наиб. поглощения света накачки, можно точно определить H (оптич. индикация). В схеме такого К. м. радиочастотный генератор периодически пере-

рабочие частоты для щелочных металлов лежат в диапазоне 200—700 кГц) при помощи вспомогат. звукового генератора, а частоту ω_0 определяют синхронным детектором или при помощи осциллографа (рис. 2).

Др. метод состоит в измерении частоты генерации ω_0 в схеме самогенерирующего К. м., в к-ром пары щелочного металла играют роль резонансного эле-

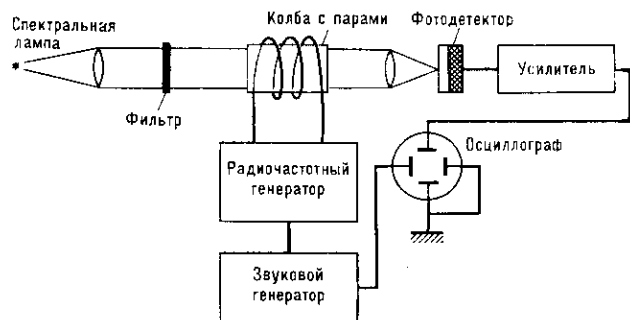


Рис. 2. Схема квантового магнитометра с оптической накачкой и оптической индикацией.

мента в цепи обратной связи усилителя (рис. 3). Суммарный магн. момент, прецессируя в измеряемом поле H с частотой ω_0 , периодически с той же частотой меняет прозрачность паров для света накачки. Это

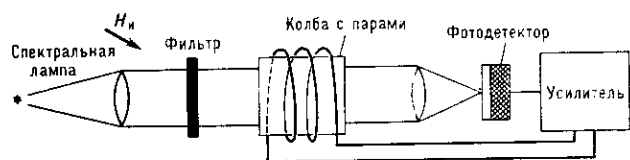


Рис. 3. Схема самогенерирующего квантового магнитометра с оптической накачкой.

регистрируется фотоприёмником как модуляция амплитуды фототока на частоте ω_0 . Переменный фототок усиливается и подаётся в катушки радиочастотного возбуждения, окружающие ячейку с паром (замкнутая цепь самовозбуждения). Избирательность этой цепи обеспечивается прецессией магн. момента в поле H . Частоту ω_0 сигнала, генерируемого таким К. м., можно точно измерить (автоматически и дистанционно).

В К. м. с оптич. накачкой макс. чувствительность достигается для Rb или Cs (реже K и He). При измерениях индукции B магн. поля Земли порог чувствительности таких К. м. достигает 10^{-12} Тл. Для полей с $B > 10^{-3}$ Тл они не применяются. Для He рабочий диапазон $10^{-12} - 10^{-3}$ Тл, для Rb — $10^{-13} - 10^{-10}$ Тл. Абс. погрешность измерений B , как правило, значительно выше порога чувствительности (0,1—1 нТл). Осн. достоинство — возможность точных измерений величины поля (модуля с неориентированных платформ и в движении). К. м. с оптич. накачкой позволили измерить геомагн. поле, установить его пространств. и вековые изменения (см. *Земной магнетизм*), обнаружить ионосферные экваториальные токовые системы и внеионосферное токовое кольцо, а также токи вдоль силовых линий в полярных областях (см. *Ионосфера, Магнитосфера Земли*).

К. м. нерезонансного типа основан на оптич. ориентации атомов с использованием явления пересечения зеемановских подуровней осн. состояния атомов в магн. поле (*Ханле эффект*). В К. м. этого типа колба (внутр. поверхности стенок к-рой покрыты парафином), заполненная парами ^{87}Rb , освещается циркулярно поляризованным излучением ^{87}Rb , проходящим через фильтр, пропускающий только одну спектральную линию (D_1 — линию). Измеряемое поле H и вспомогат.