



МАГНИТОРАЗВЕДКА

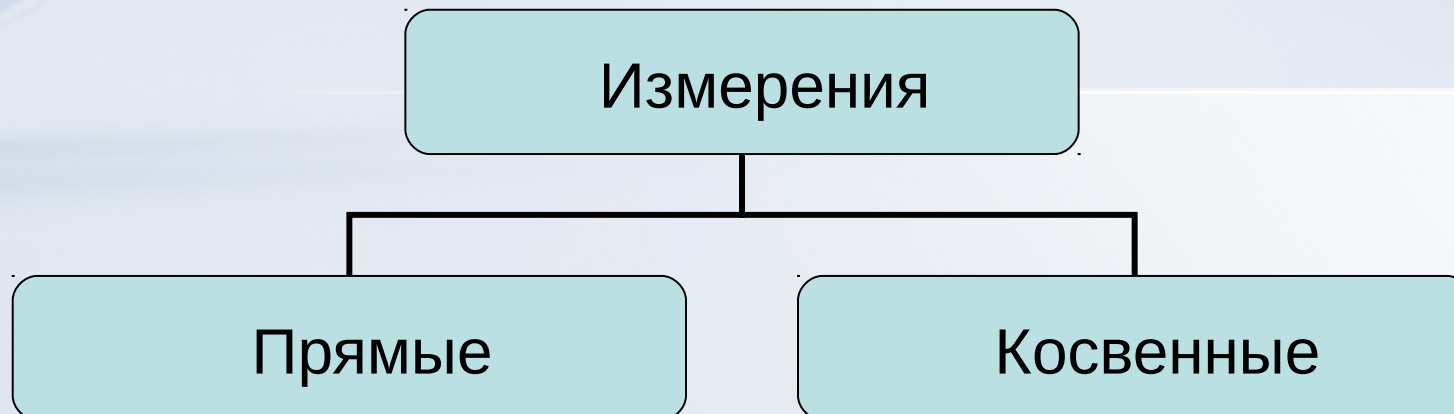
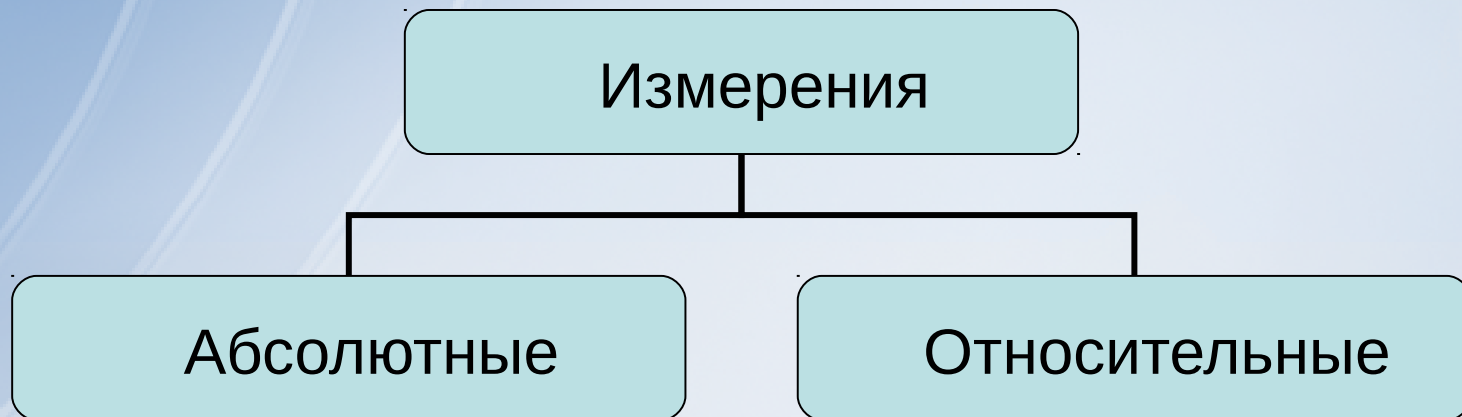
Глава 3

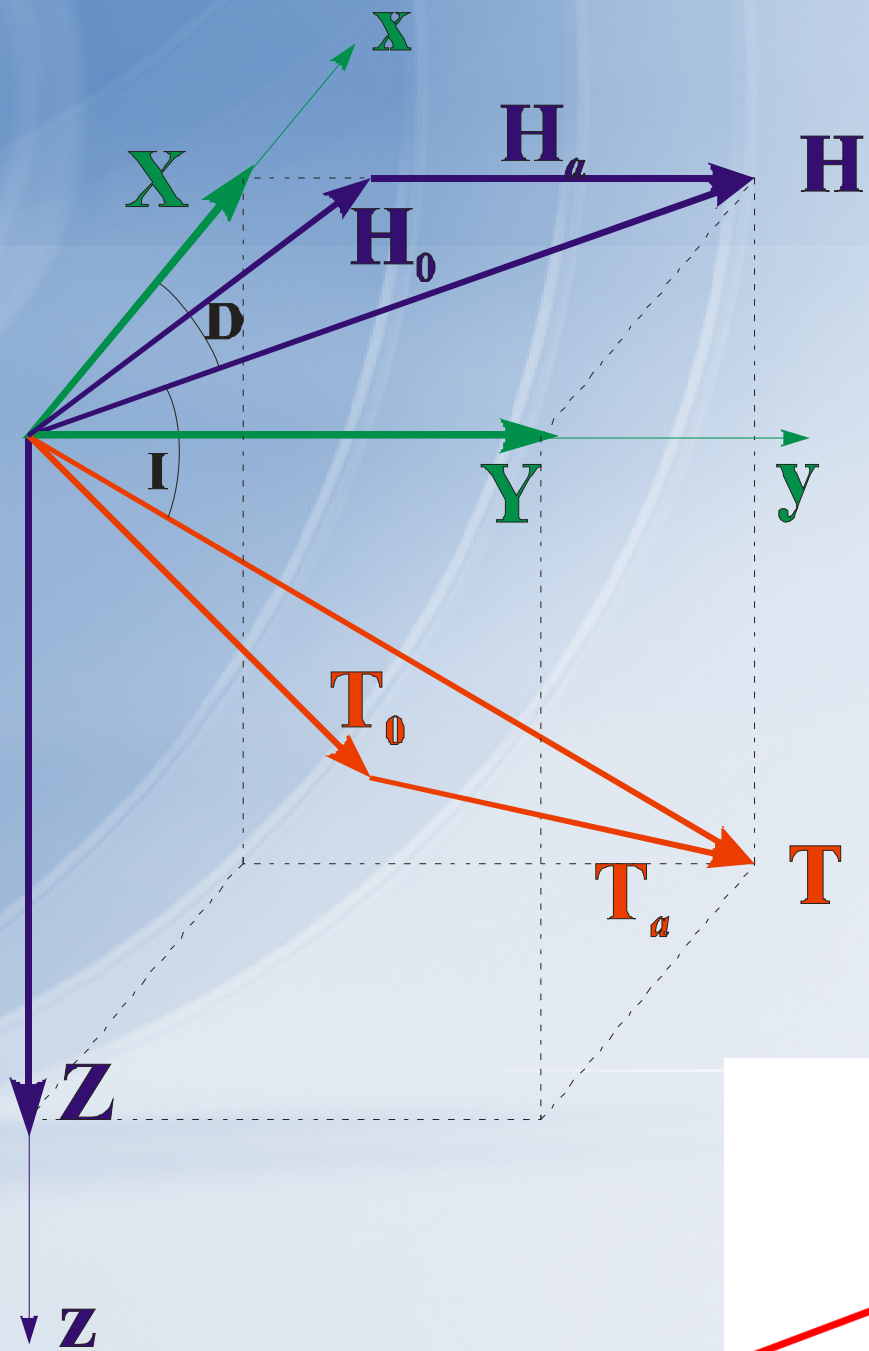
«Магниторазведочная аппаратура»

Ver 1.3.

Новиков К.В. 2011 – 2017 г.

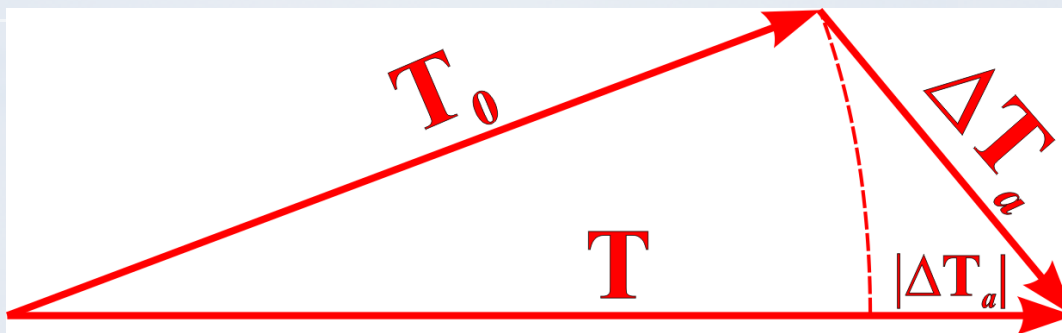
3.1. Основные принципы измерений





Измеряемые в
магниторазведке
величины

$$|\Delta \vec{T}_a| = |\vec{T}| - |\vec{T}_0|$$



Методы измерения постоянного магнитного поля

Принцип действия	Тип магнитометра	Чувств., нТл
Вращающиеся электрические катушки	Индукционные магнитометры	1
Рамки с током	Флюксметры	1
Движущиеся электрические заряды	Магнитометры на эффекте Холла	30
Постоянные магниты	Оптико-механические магнитометры	5
Спиновые магнитные моменты при намагничивании магнитных материалов	Феррозондовые магнитометры	2 – 0,2
Магнитные моменты атомных ядер	Ядерные магнитометры	Квантовые 2 10 0,02
Спиновые магнитные моменты электронов	Электронно-спиновые магнитометры	
Магнитные моменты атомов	Атомные магнитометры	
Сверхпроводящие системы при сверхнизких температурах	Криогенные магнитометры	0,0001

Измерительная аппаратура характеризуется следующими параметрами:

- диапазон измерения;
- цена деления шкалы прибора;
- основная погрешность;
- дополнительная погрешность;
- время одного измерения;
- масса;
- СТОИМОСТЬ.

3.2. Магниторазведочная аппаратура

Классификация магнитометров по принципу действия

Типы магнитометров

Оптико-механические

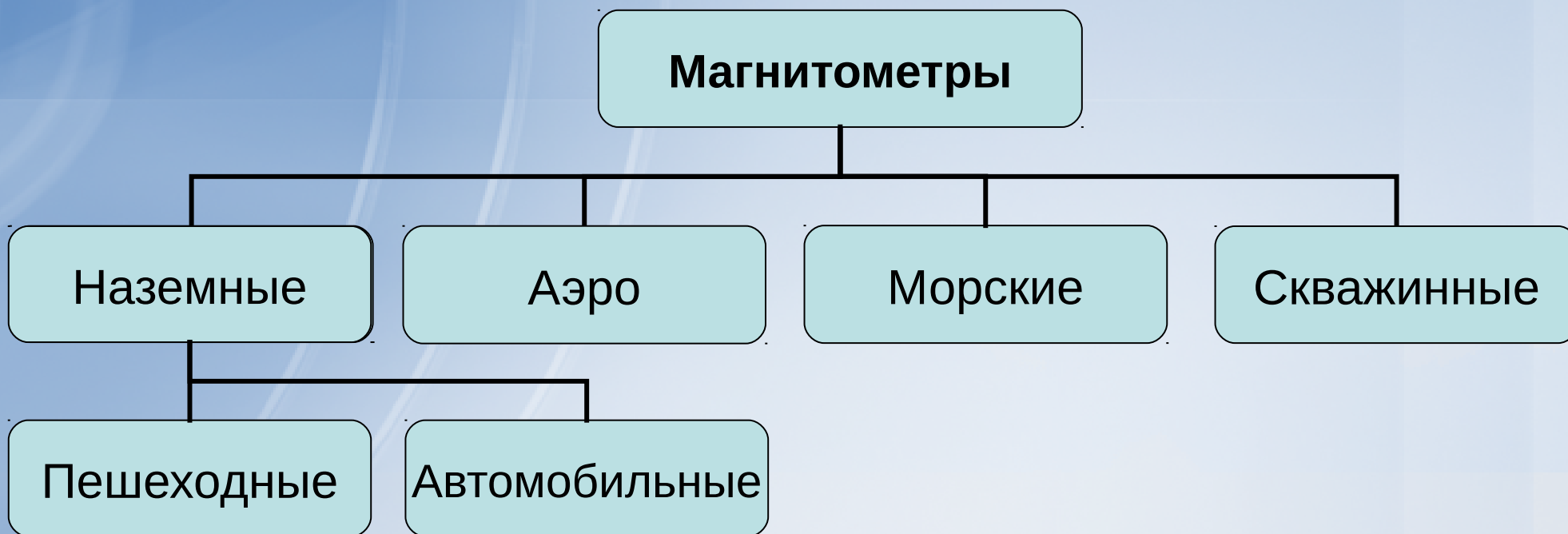
Феррозондовые

Протонные и Оверхаузера

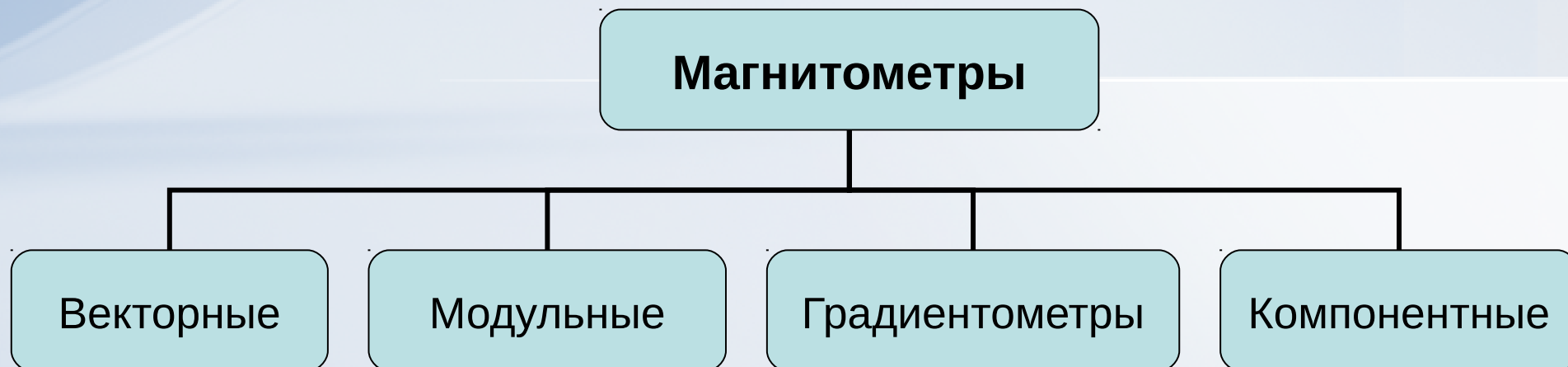
Квантовые

Криогенные

Классификация магнитометров по виду использования



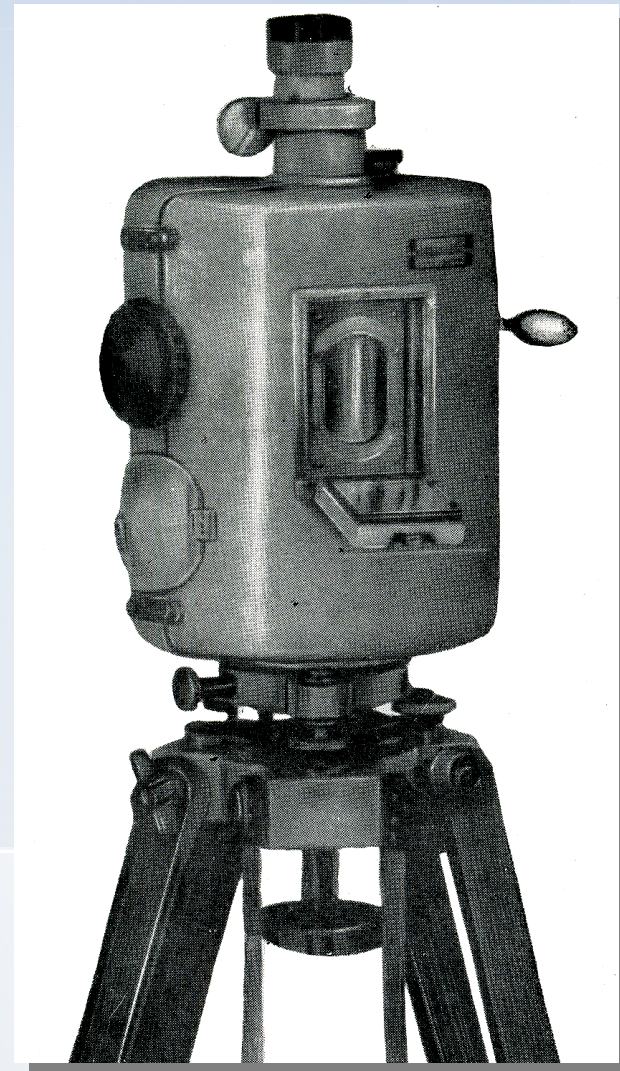
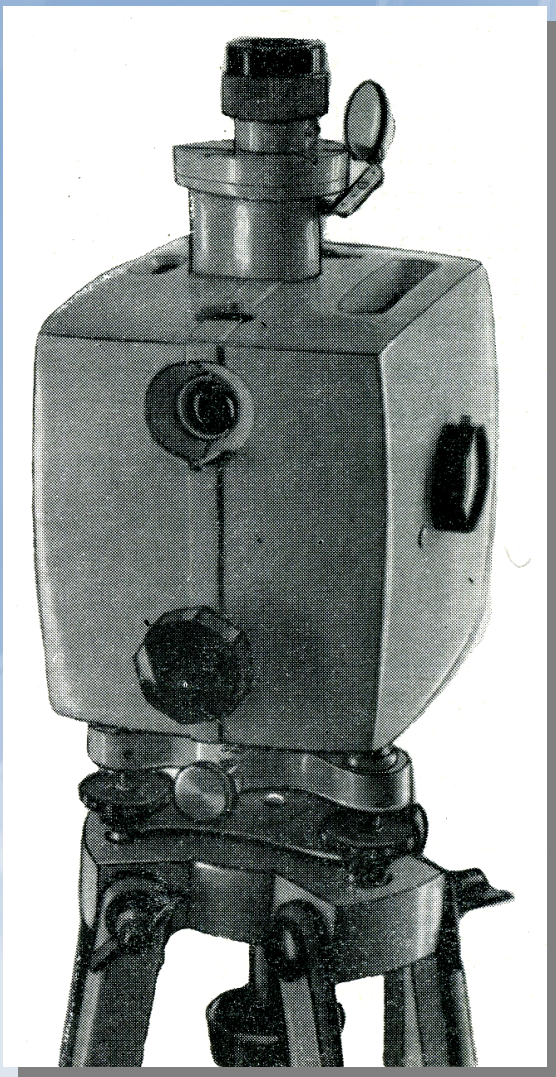
Классификация магнитометров по типу измеряемой величины



Магниточувствительные элементы и измеряемые компоненты

Тип магнитометра	Магниточувствительный элемент	Измеряемые Компоненты
Оптико-механические	Постоянный магнит	$Z, \Delta Z$
Протонные	Водородосодержащая жидкость	$T, \Delta T, \partial T/\partial x, \partial T/\partial z$
Оверхаузера	Водородосодержащая жидкость с добавлением свободных радикалов с неспаренными электронами	$T, \Delta T, \partial T/\partial x, \partial T/\partial z$
Квантовые	Пары щелочных металлов	$T, \Delta T, \partial T/\partial x, \partial T/\partial z$
Феррозондовые	Феррозонд	$X, Y, Z, \Delta X, \Delta Y, \Delta Z$
Криогенные	Сверхпроводящий квантовый интерферометр	$T, \Delta T$

3.2.1. Оптико-механические магнитометры



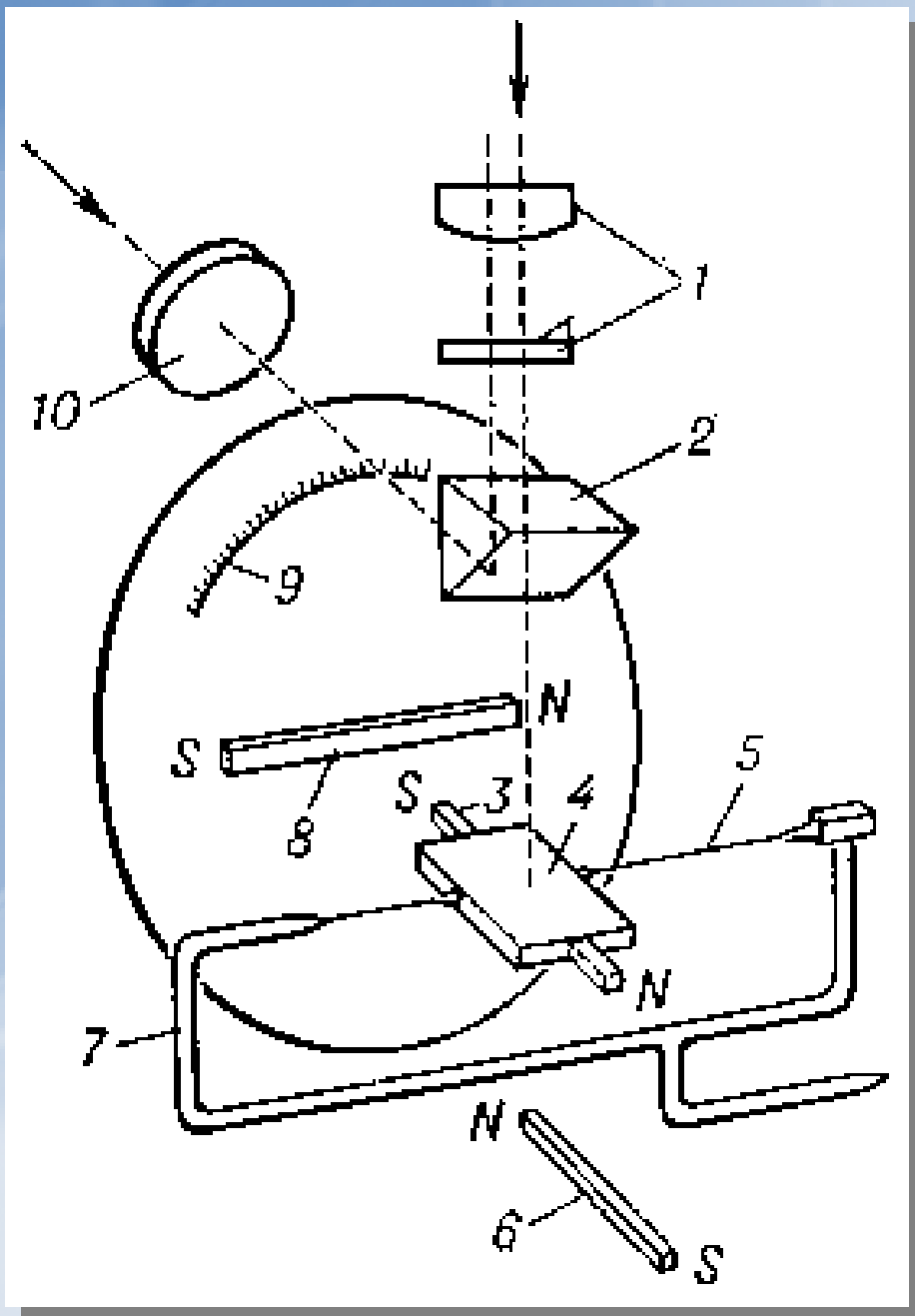
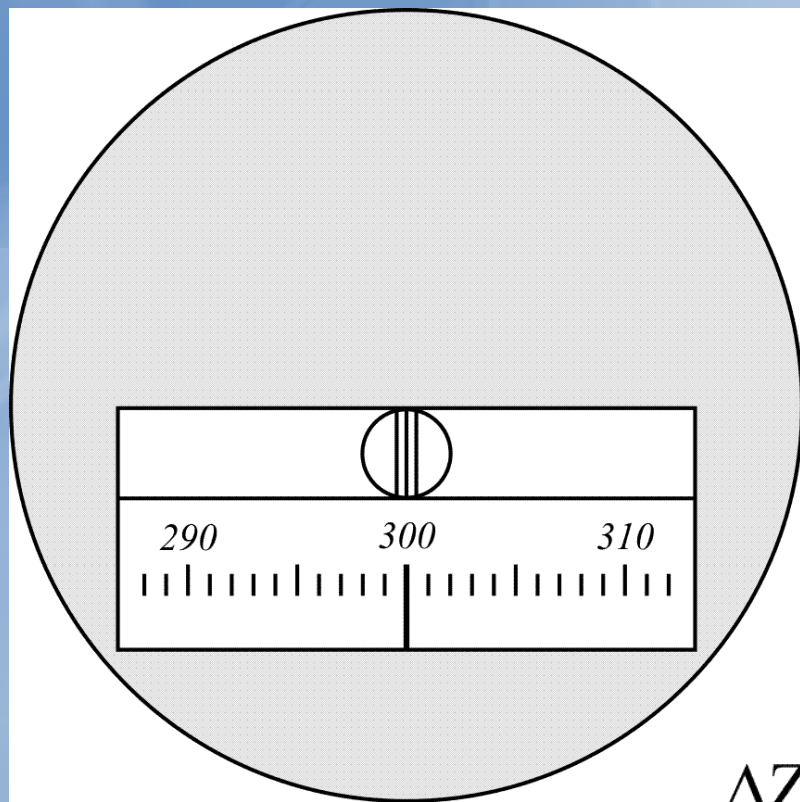
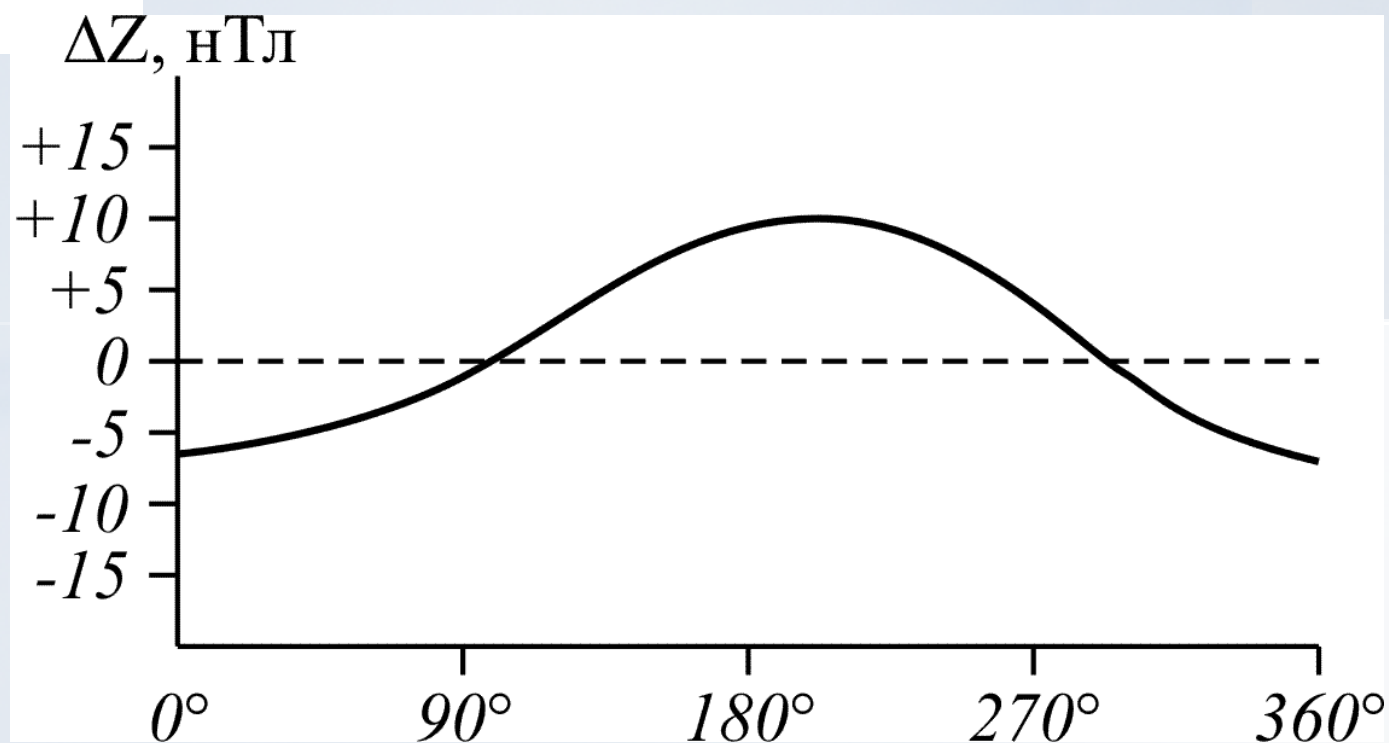


Схема кварцевого магнитометра для измерения вертикальной составляющей (Z) напряжённости геомагнитного поля: 1 – оптическая система зрительной трубы; 2 – обратная призма для совмещения шкалы 9 с полем зрения; 3 – магниточувствительная система (постоянный магнит на кварцевой растяжке 5); 4 – зеркало; 6 – магнит для частичной компенсации геомагнитного поля (изменения диапазона прибора); 7 – кварцевая рамка; 8 – измерительный магнит. Магниточувствительную систему приводят в горизонтальное положение, воздействуя измерительным магнитом. По углу поворота магнита 8 судят о величине Z – компоненты. 10 – оптическая система для освещения шкалы.

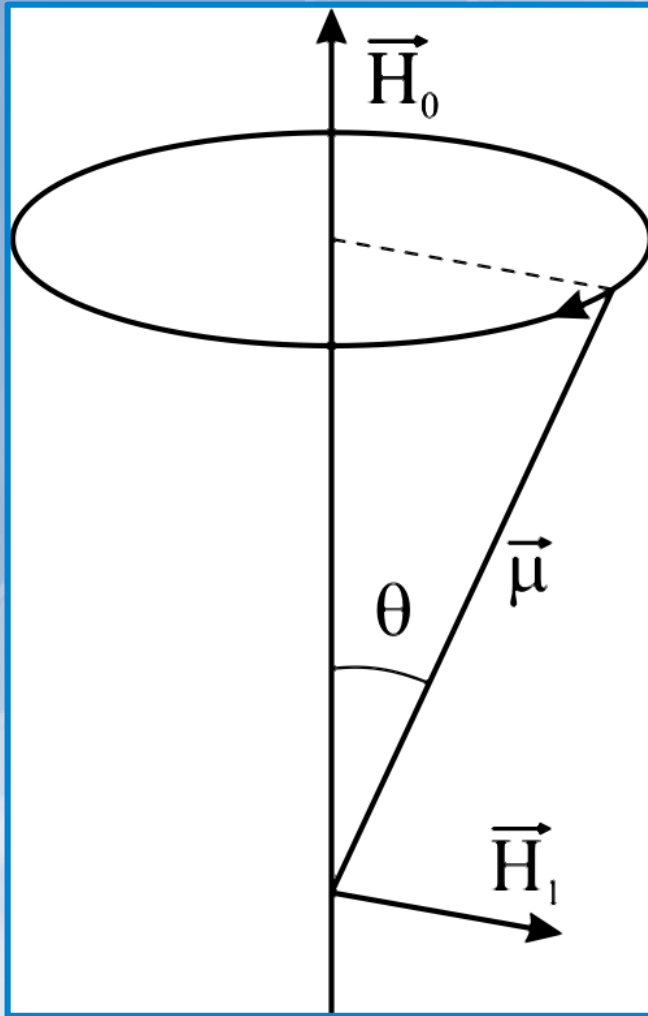


Вид шкалы с подвижных бликов в окуляре оптико-механического магнитометра М-27М.

Азимутальная кривая оптико-механического магнитометра.



3.2.2. Протонные магнитометры



$$f = \frac{\gamma}{2\pi} H$$

где f – частота прецессии протона [Гц], γ – гиромагнитное отношение ядра (атомная константа), H – напряженность внешнего магнитного поля (например, магнитного поля Земли).

$$T = 23,4874f \text{ [нТл]}$$

Схематическое изображения Ларморовой прецессии частицы с магнитным моментом μ и в магнитном поле H_0 .

3.2.3. Магнитометры Оверхаузера

Оверхаузеровские магнитометры основаны на той же связи прецессии протонов с внешним полем, но в них используется другой способ возбуждения – принцип динамической поляризации или эффект Оверхаузера (Overhauser). Здесь рабочее протонсодержащее вещество имеет добавку специальных свободных радикалов с неспаренными электронами, делающих состав парамагнитным.



Альберт
Оверхаузер

Эффект Оверхаузера – резкое (в несколько сот раз) возрастание интенсивности ядерного магнитного резонанса (ЯМР) при насыщении уровней электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) в том же веществе.

3.2.4. Феррозондовые магнитометры

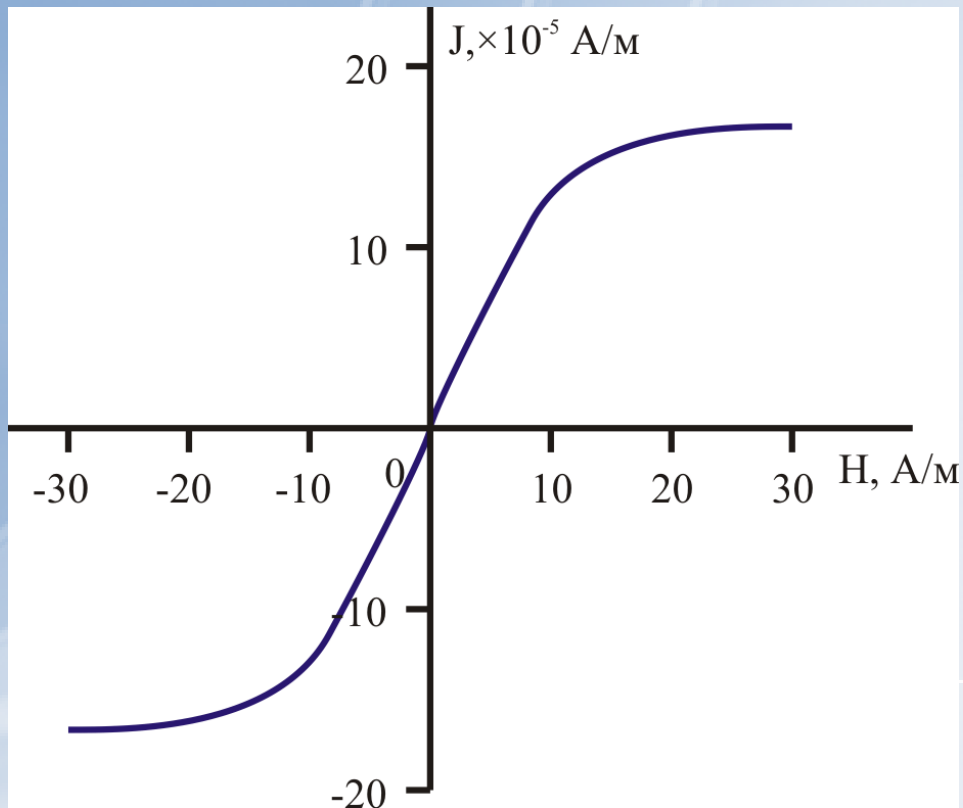


График намагничивания пермаллоя.

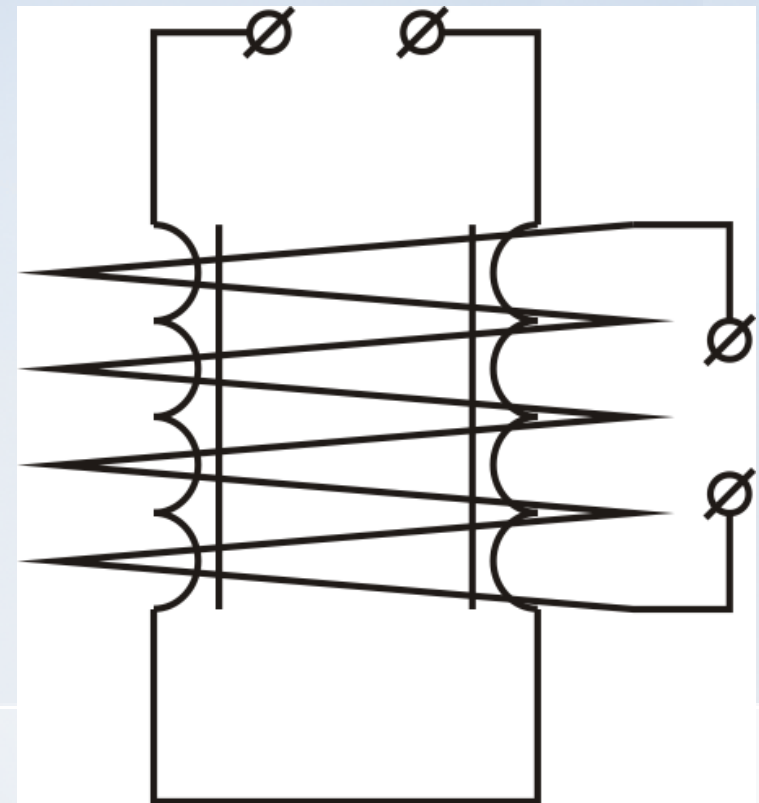


Схема феррозондового устройства с двумя зондами.

Феррозондовые магнитометры пик-типа

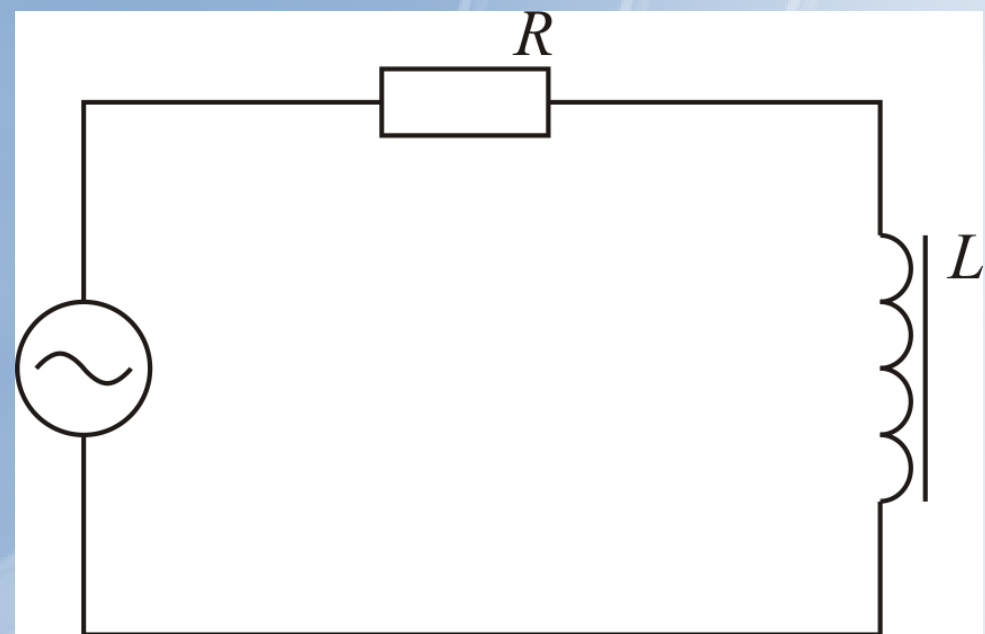
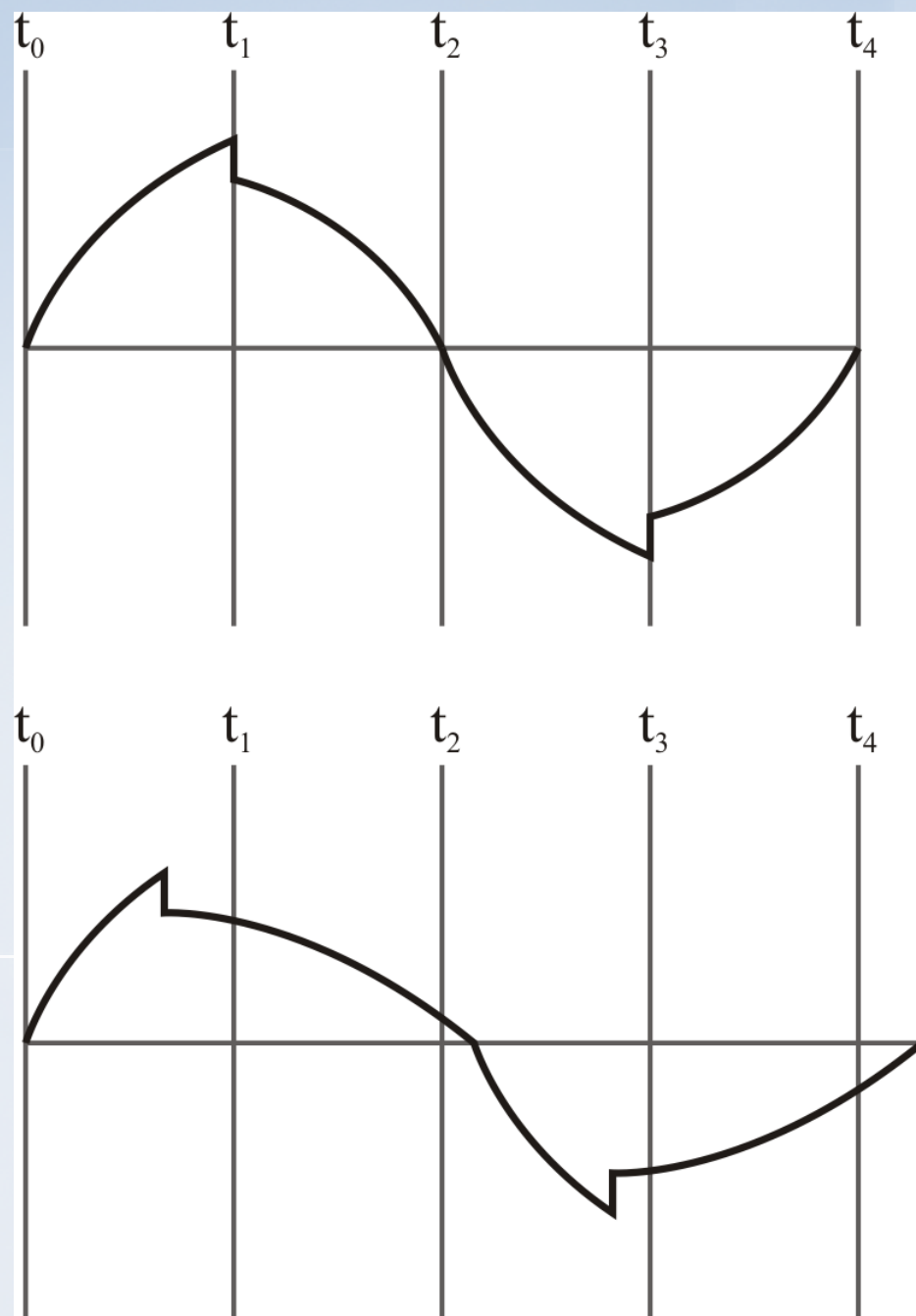


Схема простейшего феррозонда



3.2.5. Квантовые магнитометры (на принципе оптической накачки)

Эффект Зеемана – расщепление линий атомных спектров в магнитном поле. Эффект обусловлен тем, что в присутствии магнитного поля квантовая частица, обладающая спиновым магнитным моментом, приобретает дополнительную энергию. *Работа квантовых магнитометров основана на эффекте Зеемана.*

Частота излучения или поглощения Δf (в Гц) при переходе атомного электрона с одного подуровня на другой

$$\Delta f = \frac{\mu_B}{\hbar} H \approx 2,8 \cdot 10^6 H$$

μ_B – магнетон Бора

\hbar – постоянная Планка

Рабочее вещество – пары щелочных металлов, натрия, калия, рубидия, цезия.

Схема работы квантового магнитометра

Возбуждение атомов щелочных металлов под действием света.



Воздействие на сосуд с парами щелочных металлов магнитным полем H резонансной частоты, перпендикулярным к постоянному полю.



Переход с подуровня $m = +2$ на более низкие подуровни.



Снова начнется процесс поглощения света.



Измерение резонансной частоты при уменьшении интенсивности проходящего света.

3.2.6. Сравнительные анализ

Тип	Достоинства	Недостатки
<i>Протонные</i>	<p>Не боятся тряски и вибраций.</p> <p>2.Измерения не зависят от изменения внешних условий (температура, влажность, давление).</p> <p>3.Нет необходимости в точной ориентации датчика.</p>	<p>Цикличность измерений, из-за значительного времени преобразования.</p> <p>2.Нестабильность и пропадание сигнала при больших градиентах магнитного поля</p>
<i>Оверхаузера</i>	<p>Все положительные качества протонных магнитометров.</p> <p>2.Снижение времени измерения.</p> <p>3.Низкая погрешность, за счет повышения отношения сигнал/шум.</p> <p>4.Малый размер датчика.</p>	<p>Меньшее время жизни рабочего вещества.</p> <p>2.Появление систематической ошибки, за счет влияния блока СВЧ.</p>
<i>Квантовые</i>	<p>Возможность непрерывных измерений.</p> <p>2.Высокая разрешающая способность.</p>	<p>Ориентационная и азимутальная погрешность.</p> <p>2.Температурный дрейф. Смещение нуля-пункта.</p> <p>3.Чувствительность к механическим воздействиям (удары, вибрация).</p>

3.3. Современная магниторазведочная аппаратура



МИНИМАГ



ММПГ-1





**Quantum
Magnetometry
Laboratory**

Лаборатория квантовой магнитометрии Уральского Государственного Технического Университета (УГТУ - УПИ)



MMPOS-1

MMPOS

Portable Cesium Magnetometer/Gradiometer - Model G-858/G



G-856 Portable Magnetometer





GSM-19 Overhauser
Magnetometer/
Gradiometer / VLF



GSM-19T Proton
Precession
Magnetometer /
Gradiometer / VLF
system





SM-5 NAVMAG





ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНАЯ КОМПАНИЯ
НТМ-ЗАЩИТА

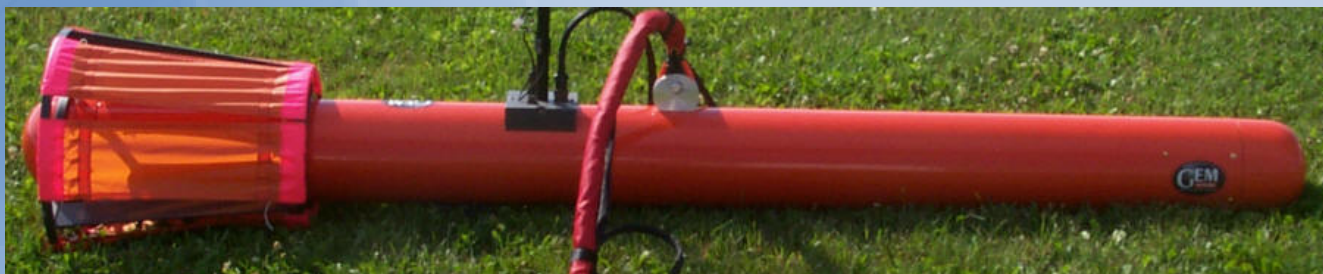
MTM-01



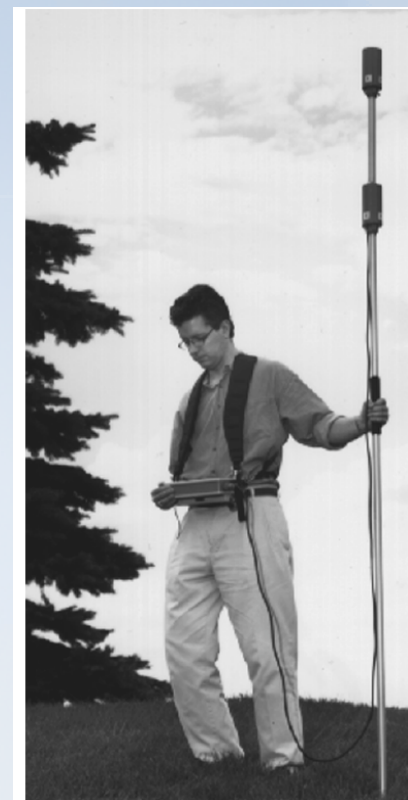
[<http://www.ntm.ru>]



феррозондовый магнитометр LEMI-018



Морской квантовый магнитометр G-882 с цезиевым датчиком (Geometrics)



Способы работы с датчиком пешеходного магнитометра



Конец главы 3