

МАГНИТОРАЗВЕДКА

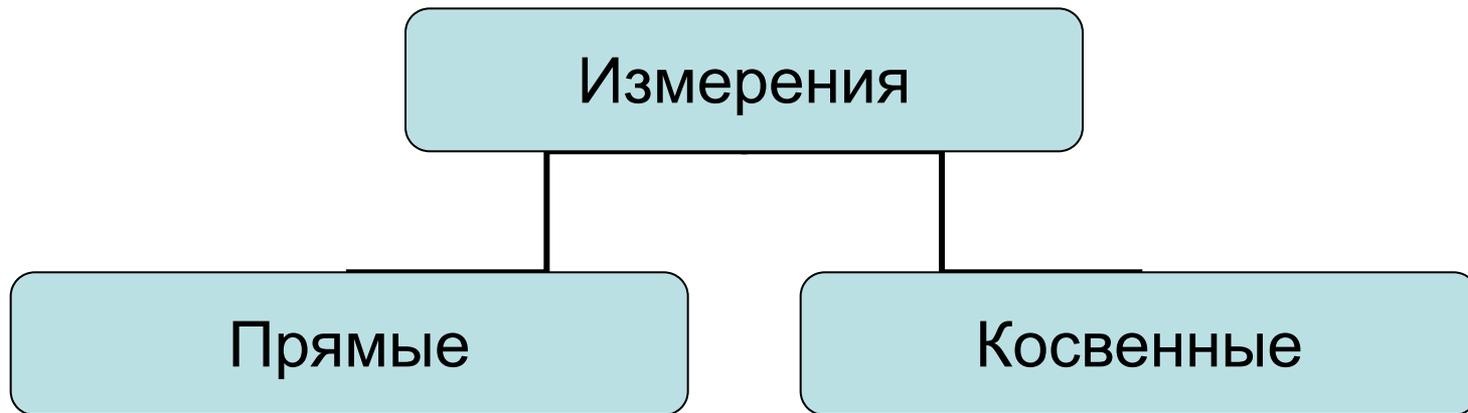
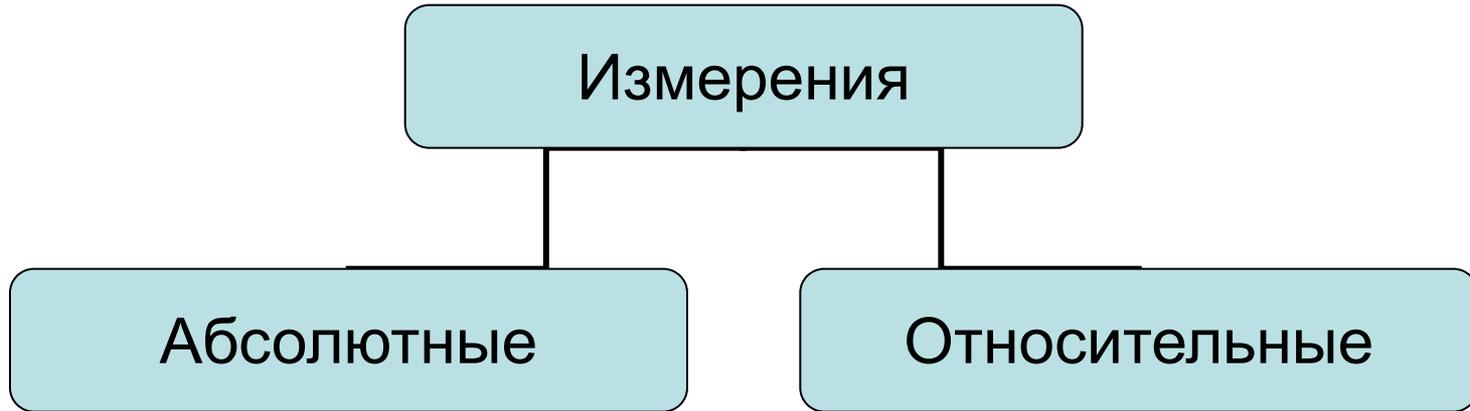
Глава 3

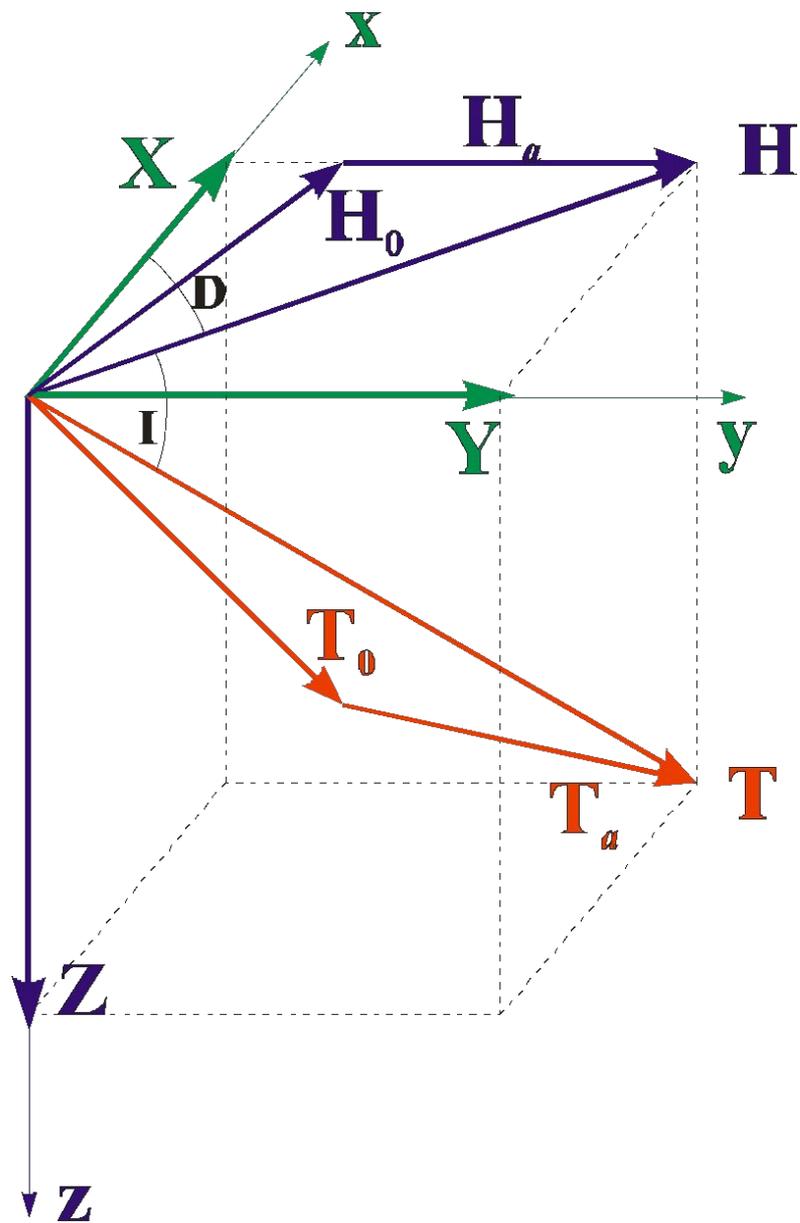
«Магниторазведочная аппаратура»

Ver 1.4.

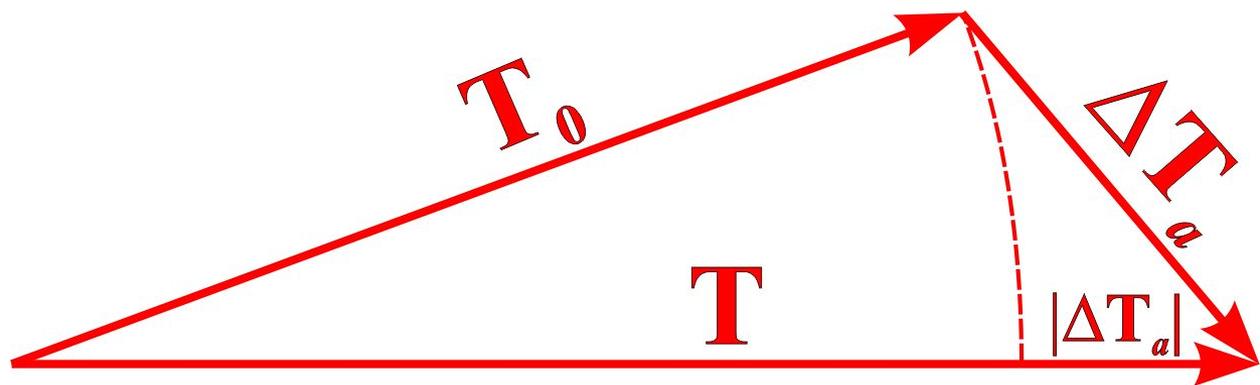
Абрамов В.Ю., Новиков К.В. 2011 – 2020 г.

3.1. Основные принципы измерений





Измеряемые в
магниторазведке
величины



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

1

Оптико-механические

2

Феррозондовые

3

Протонные и Оверхаузера

4

Квантовые

5

Криогенные

Классификация магнитометров по виду использования



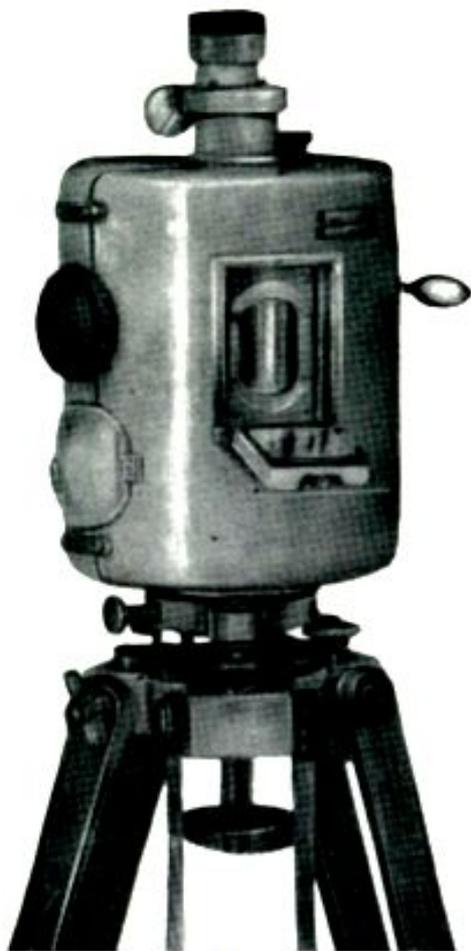
Классификация магнитометров по типу измеряемой величины



Магниточувствительные элементы и измеряемые компоненты

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

3.2.1. Оптико-механические магнитометры



а.



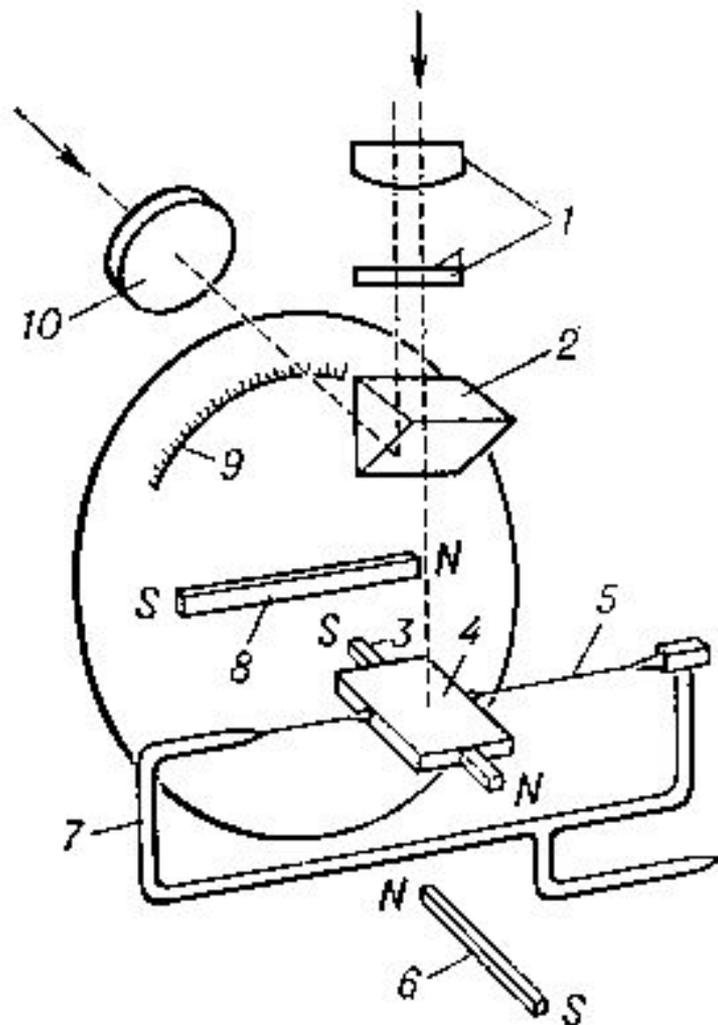
б.



в.

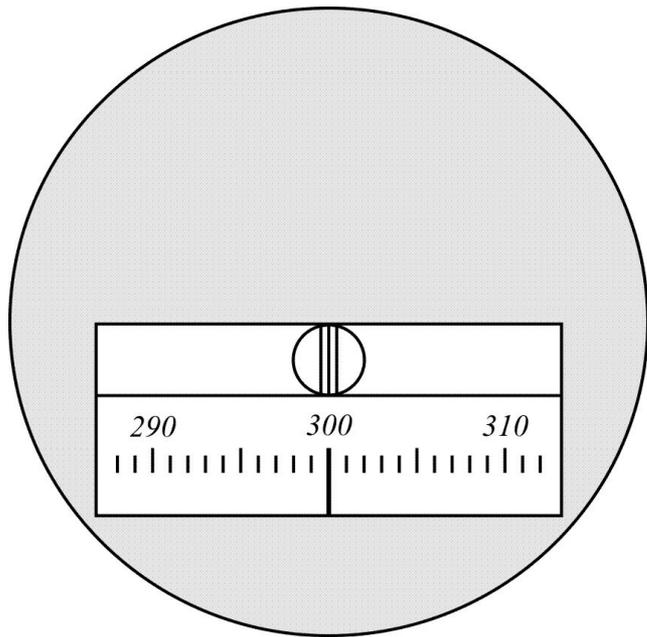
Внешний вид оптико-механического магнитометров М-27 (а), М-27М (б) и GM-30100² (Канада)

Схема кварцевого магнитометра для измерения вертикальной составляющей (Z) напряжённости геомагнитного поля



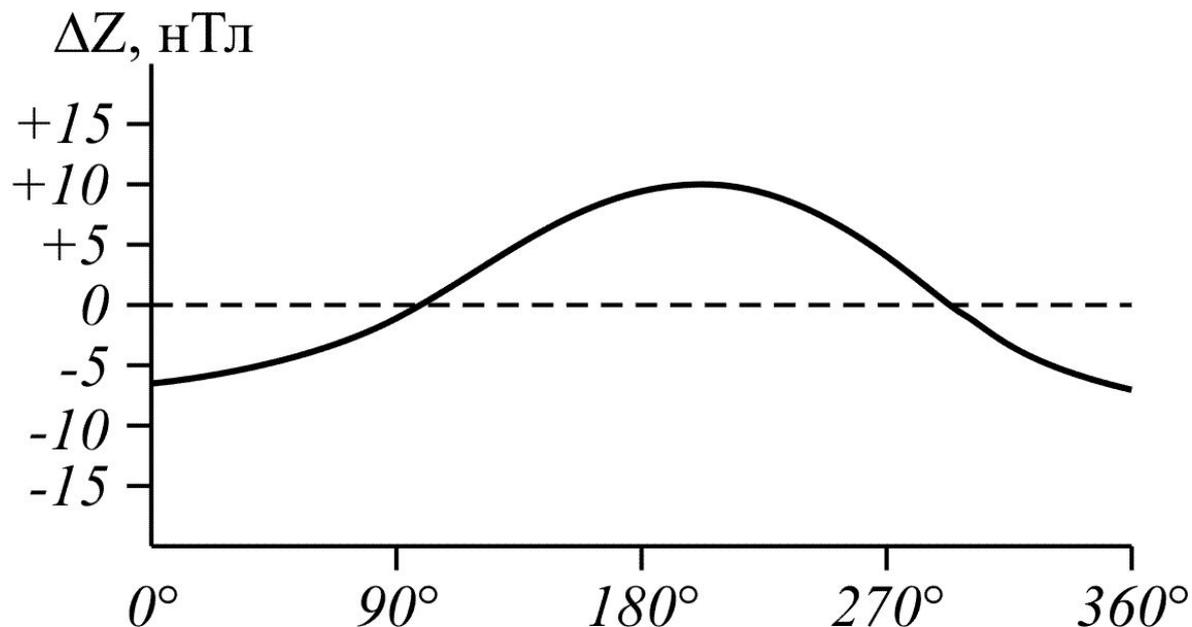
Условные обозначения:

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.

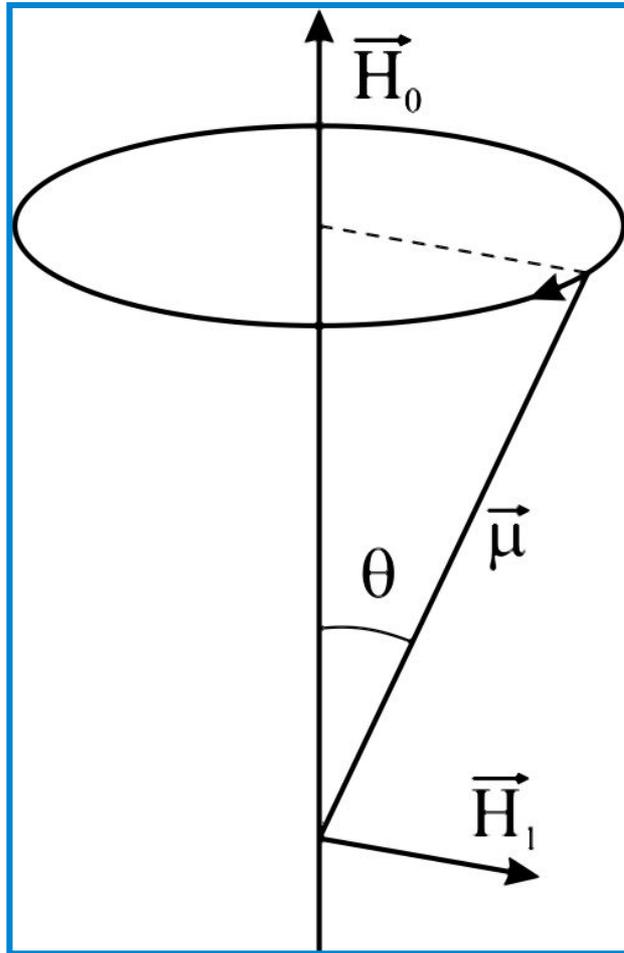


Вид шкалы с подвижных
бликов в окуляре оптико-
механического
магнитометра М-27М.

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).

$$T = 23,4874f \text{ [нТл]}$$

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

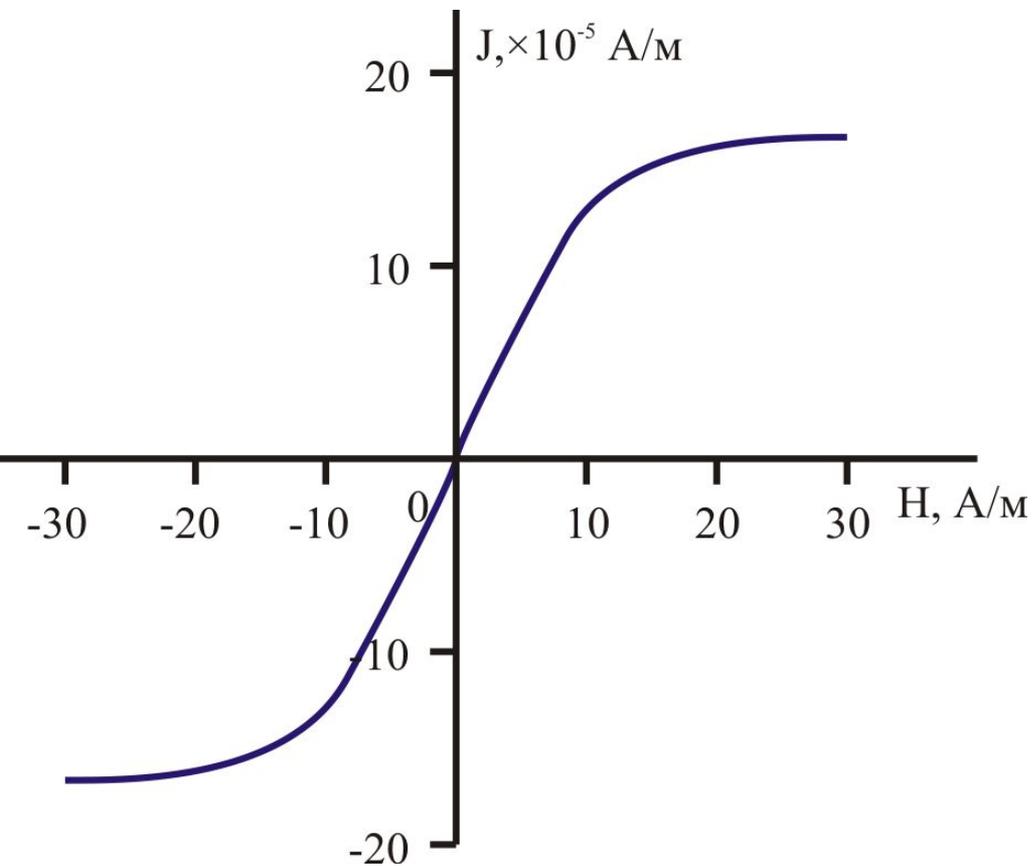


График намагничивания пермаллоя.

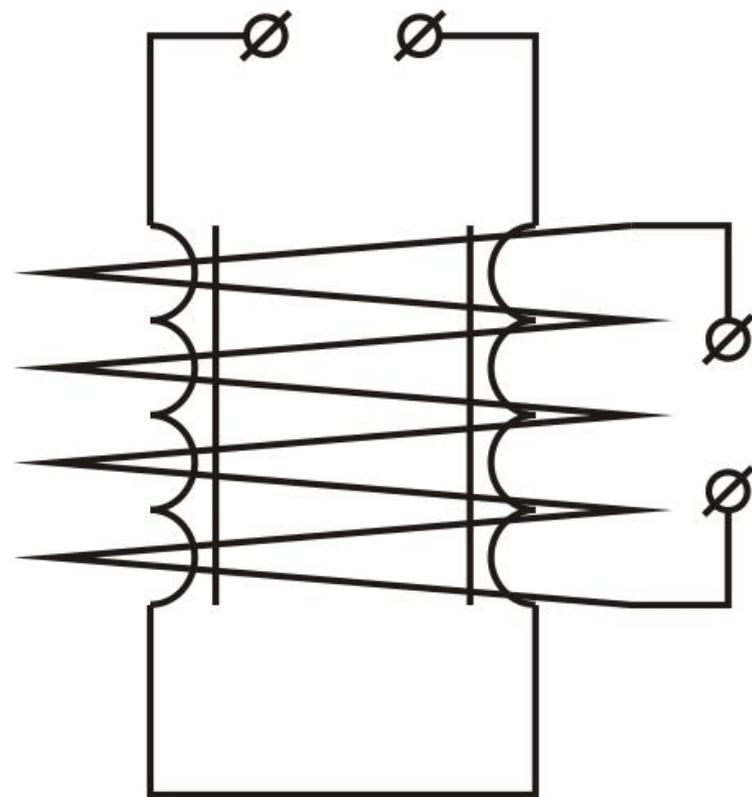


Схема датчика феррозондового устройства с двумя зондами.

Феррозондовые магнитометры пик-типа

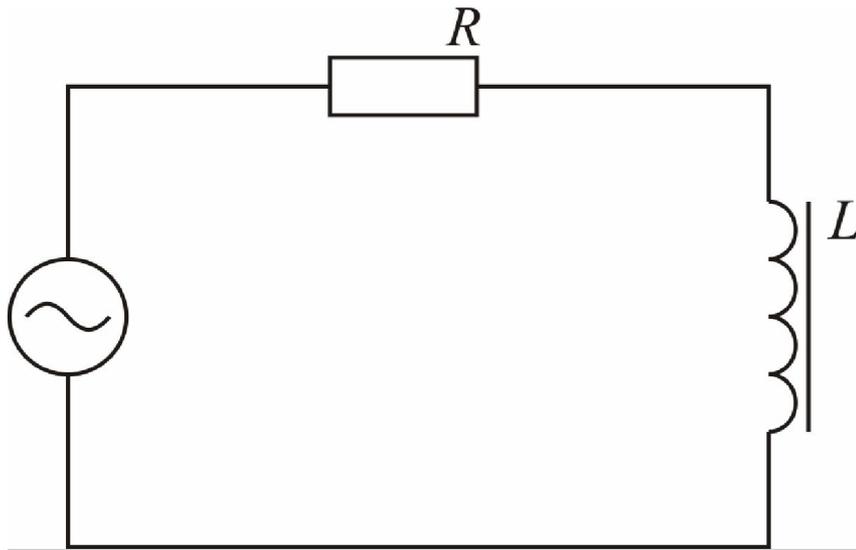
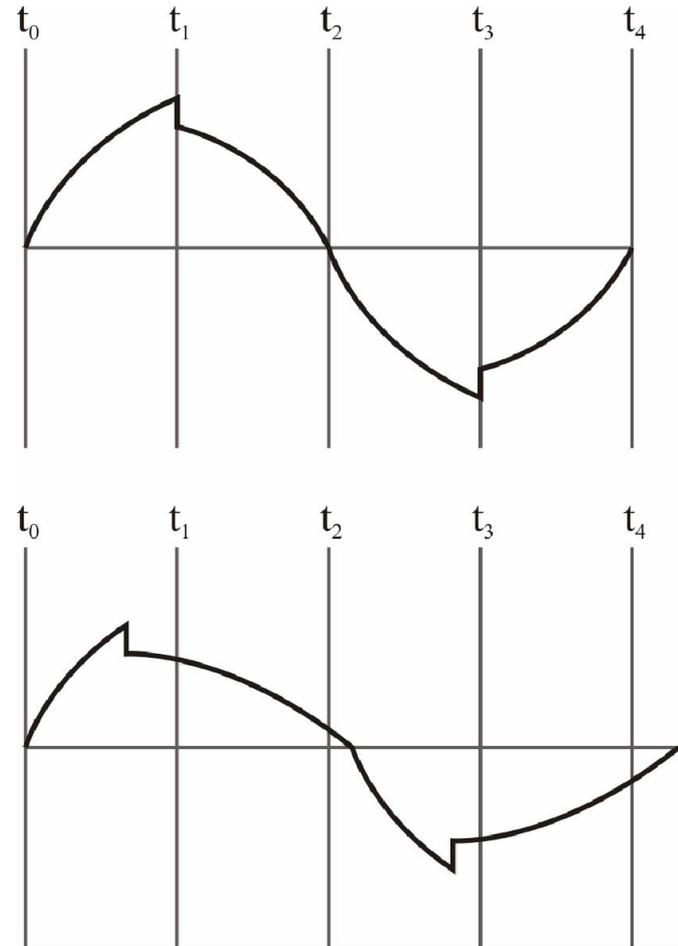


Схема простейшего феррозонда



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.*

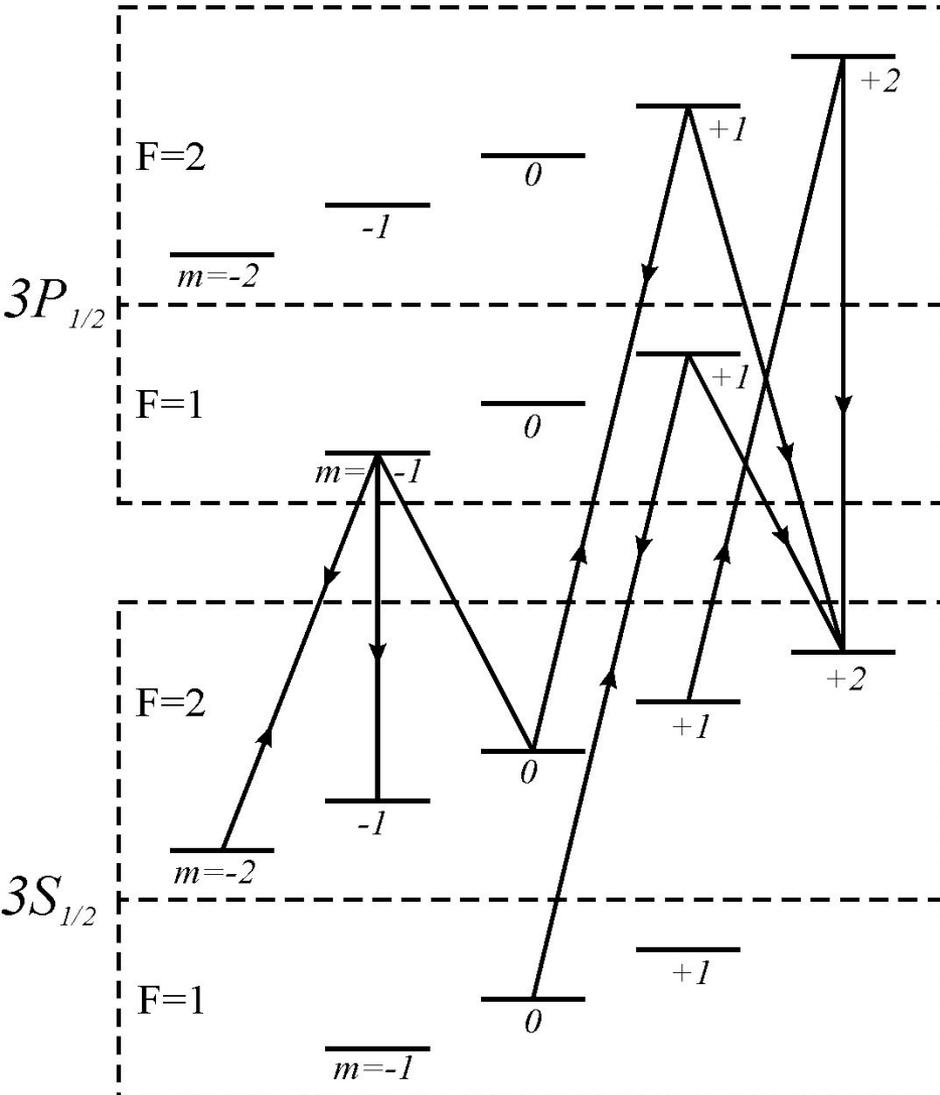
μ_B – магнетон Бора

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

h – постоянная Планка

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

Квантовые переходы атомов рабочего вещества на различные подуровни



F – квантовое число, характеризующее общий угловой момент атома, равного сумме его азимутального, спинового и ядерного угловых моментов; для натрия в основном состоянии $3S_{1/2}$ и в возбужденном $3P_{1/2}$ соответственно $F=1$ и $F=2$ (расщепление каждого уровня на сверхтонкие структуры).

3.2.6. Сравнительный 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 нуль-пункта.</p> <p>3. Чувствительность к механическим воздействиям (удары, вибрация).</p>

3.3. Современная магниторазведочная аппаратура



МИНИМАГ



ММПГ-1

**Quantum
Magnetometry
Laboratory**

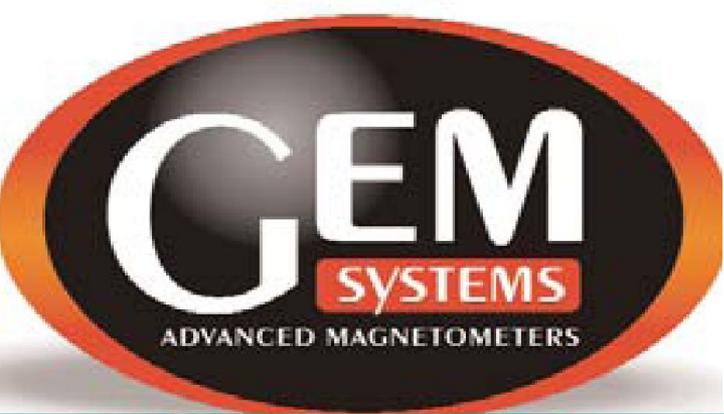
USTU - UPI

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





G-856 Portable Magnetometer



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



GSM-19 Overhauser Magnetometer/ Gradiometer / VLF



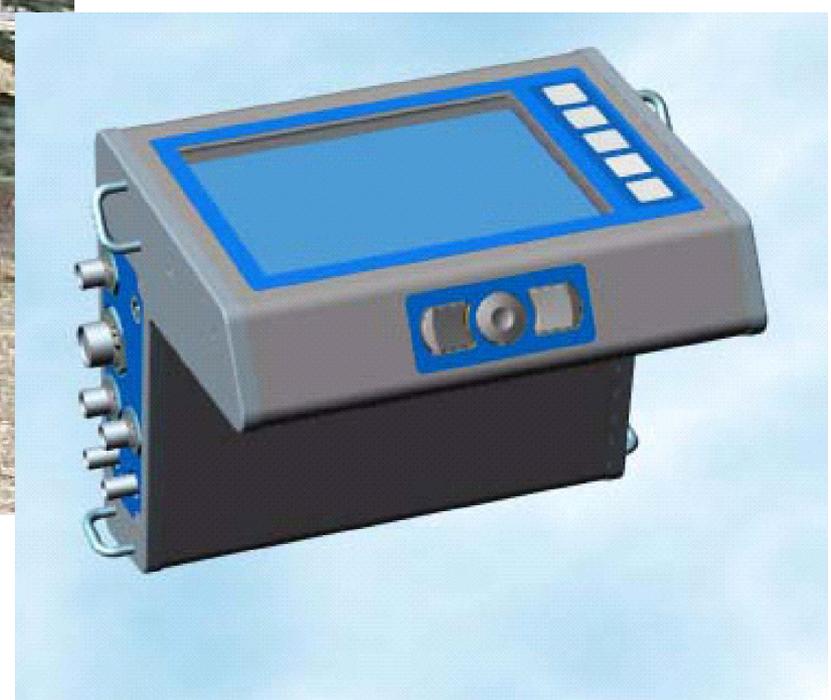


A DIVISION OF LRS

"Setting the Standards"



**SM-5
NAVMAG**



МТМ-01



National Academy of Sciences of Ukraine
National Space Agency of Ukraine

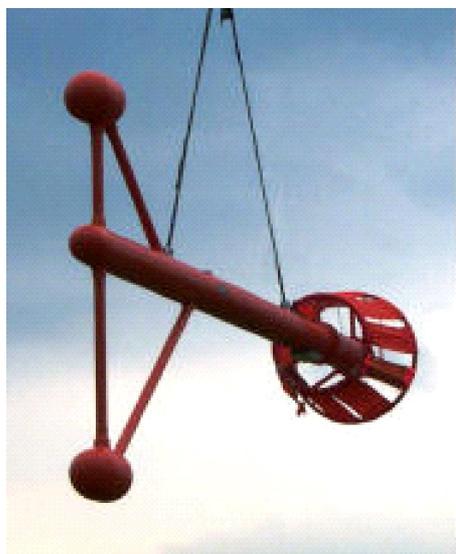
Lviv Centre of Institute for Space Research

<http://www.jsr.lviv.ua>



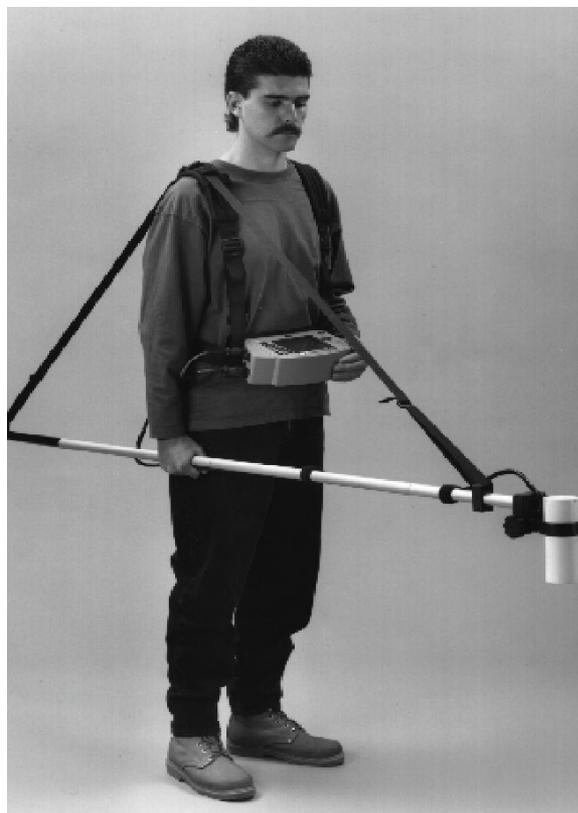
феррозондовый
магнитометр
LEMI-018

Взято с <http://isr.lviv.ua>



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

Способы работы с датчиком пешеходного магнитометра



Конец главы 3

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!