



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ВЕЛИЧИНЫ, ОПИСЫВАЮЩИЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Андижанской техникума №1

Учительницы Физики

Мамадалиевой Лолы

91 606 07 40

Аннотация

Магнитное поле является одним из фундаментальных понятий электромагнетизма и создается движущимися зарядами, электрическими токами и постоянными магнитами. В данной статье подробно рассматриваются основные физические величины, характеризующие магнитное поле: **магнитная индукция (В)**, **напряженность магнитного поля (Н)**, **магнитный поток (Ф)**, **магнитная проницаемость (μ)** и **намагниченность (М)**. Для каждой величины приведены математическое определение, единицы измерения, физический смысл и практические примеры из реальной жизни.

В рамках уравнений Максвелла анализируются свойства поля, его взаимодействие с материалами (диамагнетиками, парамагнетиками, ферромагнетиками), а также применение в медицине (МРТ), энергетике (генераторы, трансформаторы), транспорте (поезда на магнитной подушке **Maglev**) и научных исследованиях (БАК, ИТЭР). Статья написана на основе классического электромагнетизма и включает примеры силовых линий магнитного поля, петли гистерезиса и соленоидов для глубокого понимания и визуализации темы читателями.



Ключевые слова: магнитное поле, магнитная индукция, напряженность магнитного поля, магнитный поток, магнитная проницаемость, намагниченность, сила Лоренца, закон Ампера, закон Фарадея, уравнения Максвелла, ферромагнетики, гистерезис, МРТ, Maglev, соленоид, электромагнитные волны.

Магнитное поле занимает центральное место в разделе электромагнетизма физики. Оно возникает в результате движения электрических токов, постоянных магнитов или переменных электрических полей и оказывает силовое воздействие на другие магнитные объекты или движущиеся заряды. В классической физике магнитное поле описывается через **силу Лоренца**: $\mathbf{F} = q (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$, где q — заряд, \mathbf{v} — скорость, \mathbf{B} — магнитная индукция.

В квантовой физике магнитное поле связано со спином и орбитальным магнитным моментом.

Исторически первые наблюдения магнитного поля относятся к древнему Китаю и Греции, где использовались магнитные камни (магнитный железняк, lodestone). В XIX веке Ханс Кристиан Эрстед открыл, что электрический ток создаёт магнитное поле, затем появились законы Фарадея и Ампера. Джеймс Клерк Максвелл в 1860-х годах сформулировал уравнения электромагнитного поля и предсказал, что свет — это электромагнитная волна.

В настоящее время магнитное поле широко применяется в технологиях: в электродвигателях, генераторах, магнитно-резонансной томографии (МРТ), жёстких дисках компьютеров и даже в квантовых компьютерах. В этой статье мы подробно рассмотрим основные величины, описывающие магнитное поле, их определения, единицы измерения, математические выражения и примеры



из реальной жизни. Статья основана на классическом электромагнетизме, с краткими упоминаниями квантовых и релятивистских аспектов.

Основные величины, описывающие магнитное поле

Для описания магнитного поля используются несколько векторных и скалярных величин. Они отражают напряжённость поля, поток, свойства материала и т.д. Ниже рассмотрим каждую из них с примерами.

1. Магнитная индукция (напряжённость магнитного поля) — \mathbf{B} Магнитная индукция — векторная величина, определяющая направление и силу магнитного поля в каждой точке. Она характеризует действие поля на движущиеся заряженные частицы.

- Математическое выражение: Сила Лоренца $\mathbf{F} = q (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$. В вакууме $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mu_0 \mathbf{M}$, где $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная вакуума.
- Единица измерения: **тесла (Тл)**. $1 \text{ Тл} = 1 \text{ Н}/(\text{А}\cdot\text{м})$ или $1 \text{ Вб}/\text{м}^2$.
- Значение и примеры: B показывает «силу» поля. Например:
 - Магнитное поле Земли: примерно 25–65 мкТл (микротесла). Именно оно ориентирует стрелку компаса на север и играет роль в миграции птиц.
 - Постоянные магниты: в обычном стержневом магните 0,1–1 Тл. Неодимовые магниты (NdFeB) достигают до 1,4 Тл — используются в динамиках телефонов.
 - Сверхпроводящие магниты: в Большом адронном коллайдере (ЛHC) более 8 Тл — для ускорения частиц.



2. Интенсивность магнитного поля – H H описывает причины, создающие магнитное поле (токи или магниты), не учитывая влияние материальной среды.

- Математическое выражение: Закон Ампера: $\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I_{\text{enclosed}}$, где I — пронизывающий ток.
- Единица измерения: **ампер на метр (А/м)**.
- Значение и примеры: В материалах $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$. Примеры:
 - Внутри соленоида: Если в соленоиде N витков и ток I , то $\mathbf{H} = N I / L$ (L — длина). Например, в медицинских аппаратах МРТ соленоид создаёт H до 10^4 А/м.
 - В воздухе (близко к вакууму): $\mathbf{H} \approx \mathbf{B} / \mu_0$. В магнитном поле солнечного ветра H составляет около 10–100 А/м, что влияет на навигацию космических аппаратов.
 - В ферромагнетиках: Кривая гистерезиса показывает связь между H и B . Например, в сердечнике трансформатора H относительно низкое, но B высокое, что снижает потери энергии.

3. Магнитный поток – Φ Магнитный поток выражает общее «количество» поля, проходящего через поверхность.

- Математическое выражение: $\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$.
- Единица измерения: **вебер (Вб)**. $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$.
- Значение и примеры: Закон Фарадея: $\mathcal{E} = -d\Phi/dt$. Примеры:
 - В генераторах: Вращение витка провода в магнитном поле создаёт переменный ток. Например, в ветряной турбине изменение Φ достигает 1000 Вб/с, что генерирует электрическую энергию.
 - В сверхпроводниках: Эффект Мейснера — $\Phi = 0$ внутри (поле не проникает). Это используется в магнитной левитации поездов



(Maglev), например, на линии Яманаши в Японии скорость достигает 600 км/ч.

- В медицине: В МРТ изменение Φ позволяет получать изображения тканей мозга.

4. Магнитная проницаемость – μ Эта величина описывает, как вещество реагирует на магнитное поле.

- Математическое выражение: $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$, где $\mu = \mu_0 \mu_r$ (μ_r — относительная проницаемость).
- Единица измерения: **генри на метр (Гн/м)**.
- Значение и примеры:
 - Диаммагнетики ($\mu_r < 1$): В воде $\mu_r \approx 0,99999$, поле слегка ослабляется. В экспериментах капля воды может «левитировать» в сильном магнитном поле.
 - Парамагнетики ($\mu_r > 1$): В кислороде $\mu_r \approx 1,000002$, поле слегка усиливается. Это учитывается в безопасности медицинских кислородных баллонов.
 - Ферромагнетики ($\mu_r \gg 1$): В железе μ_r до 5000. Используется в трансформаторах для усиления поля и повышения эффективности.

5. Намагниченность – \mathbf{M} \mathbf{M} показывает плотность магнитных моментов в материале.

- Математическое выражение: $\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$.
- Единица измерения: **А/м**.
- Значение и примеры:
 - В ферромагнетиках: Остаточная намагниченность (релланенция). Например, в жёстких дисках \mathbf{M} сохраняет данные через магнитные домены.



- В парамагнетиках: По закону Кюри $M \propto H/T$ (T — температура). Намагниченность спинов в молекулах кислорода.
- Квантовый эффект: Суперпарамагнитные наночастицы используются в медицине как контрастные агенты, например, для выявления раковых клеток.

Уравнения Максвелла и магнитное поле Уравнения Максвелла полностью описывают магнитное поле:

1. $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$ — магнитный поток через замкнутую поверхность равен нулю (монополей нет).
2. $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t$ — закон Ампера-Максвелла: переменное электрическое поле создаёт магнитное поле.

Пример: В электромагнитных волнах (радиоволны, свет) векторы \mathbf{B} и \mathbf{E} взаимно перпендикулярны, скорость волны $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$. На этом принципе работают сигналы Wi-Fi.

Практические применения и эксперименты

- Энергетика: В генераторах изменение магнитного потока производит электричество. Например, в гидроэлектростанциях турбина вращается в магнитном поле, вырабатывая миллионы ватт.
- Медицина: В МРТ поле B 1,5–3 Тл измеряет резонанс ядер водорода. Эксперимент: под действием магнитного поля визуализируется активность мозга пациента.
- Транспорт: В поездах Maglev сверхпроводящие магниты обеспечивают левитацию, устраняя трение и экономя энергию.
- Научные эксперименты: Опыт Эрстеда — пропускание тока по проводу вызывает отклонение стрелки компаса.



- Технологии будущего: В термоядерных реакторах (ITER) поля 5–10 Тл удерживают плазму, создавая источник неограниченной энергии.

Основные величины, описывающие магнитное поле

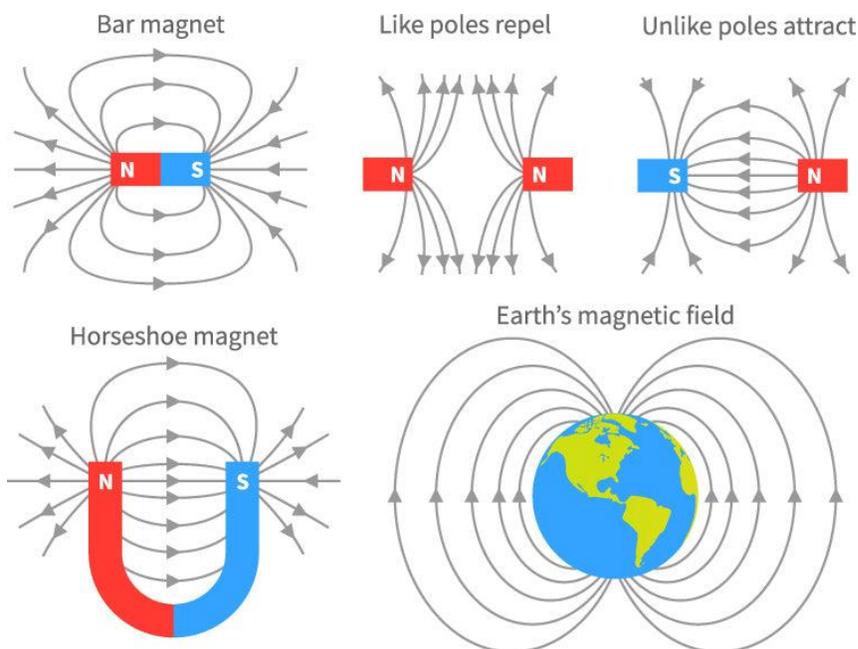
1. Магнитная индукция (В) Векторная величина, показывающая напряжённость и направление поля. Единица: тесла (Тл). Примеры:

- Магнитное поле Земли $\approx 25\text{--}65$ мкТл
- Неодимовый магнит $\approx 1\text{--}1,4$ Тл
- Аппараты МРТ $\approx 1,5\text{--}7$ Тл
- Сверхпроводящие магниты ЛНС ≈ 8 Тл

Линии магнитного поля вокруг полосового магнита выглядят следующим образом:

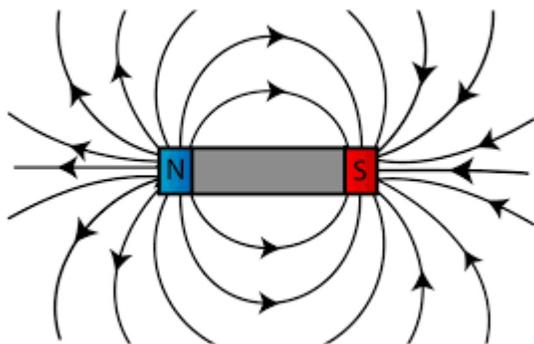
stickmanphysics.com

study.com





totalelement.com



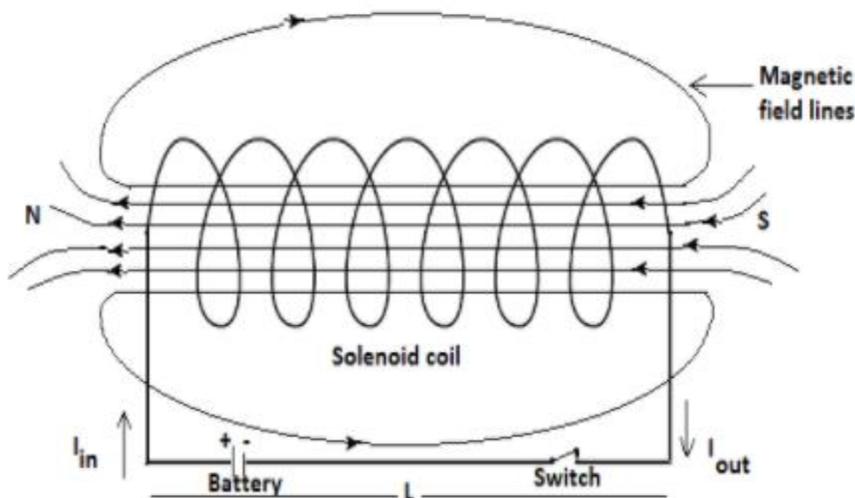
physics.stackexchange.com

Линии магнитного поля выходят из северного полюса (N) и входят в южный полюс (S), образуя замкнутые кривые. Они никогда не пересекаются, а их густота отражает силу поля — ближе к полюсам линии плотнее.

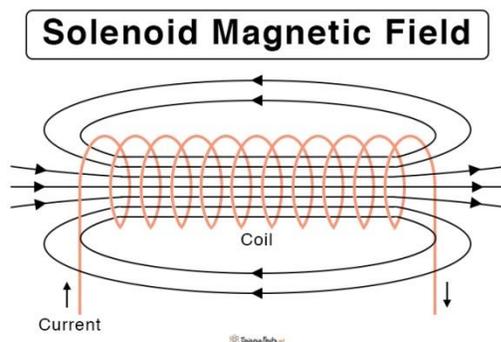
study.com

2. Интенсивность магнитного поля (H) H описывает причины, создающие магнитное поле (токи, магнитные моменты). Единица измерения: А/м. Закон Ампера: $\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I$. Пример: внутри соленоида $\mathbf{H} = n\mathbf{I}$ (n — плотность витков).

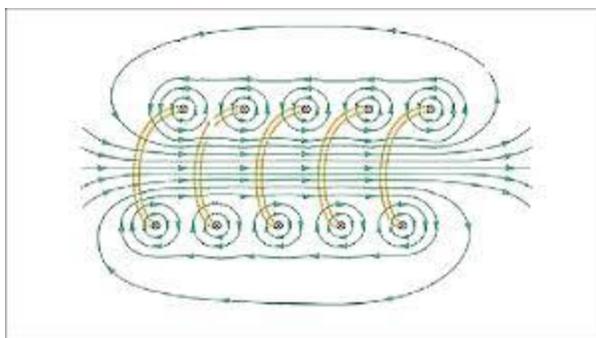
Линии магнитного поля соленоида выглядят следующим образом:



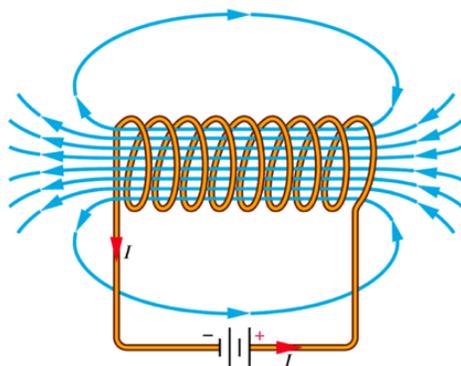
vedantu.com



sciencefacts.net



researchgate.net



online-learning-college.com

3. Магнитный поток (Φ) Количество поля, проходящего через поверхность.
 $\Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$. Единица измерения: **вебер (Вб)**. Закон Фарадея: $\varepsilon = -d\Phi/dt$.
Примеры: в генераторе ветряной турбины изменение Φ генерирует

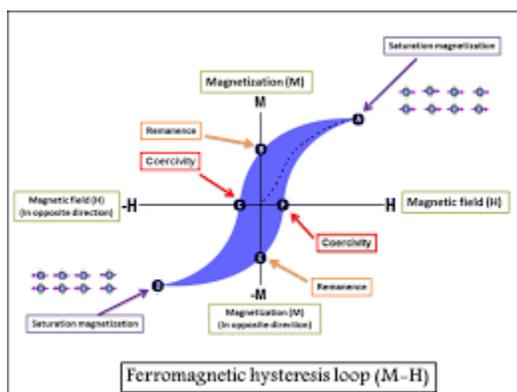


электрическую энергию; в поездах Maglev сверхпроводники обеспечивают $\Phi = 0$ (эффект Мейснера).

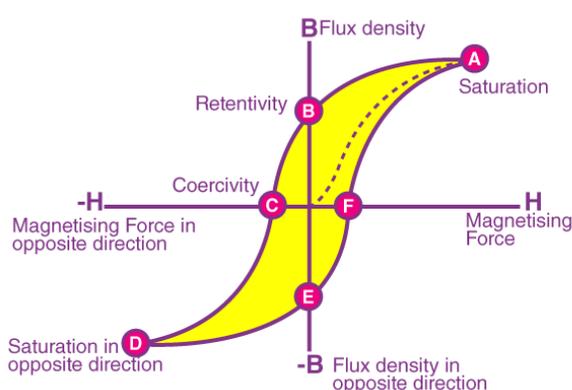
4. Магнитная проницаемость (μ) Характеризует отклик вещества на магнитное поле. $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H}$. Примеры:

- Железо: $\mu_r \approx 200-5000$
- Вода: $\mu_r \approx 0.99999$ (диамагнетик)

5. Намагниченность (M) Плотность магнитных моментов в материале. $\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$. В ферромагнетиках важна кривая гистерезиса:



[researchgate.net](https://www.researchgate.net)



[byjus.com](https://www.byjus.com)



Уравнения Максвелла

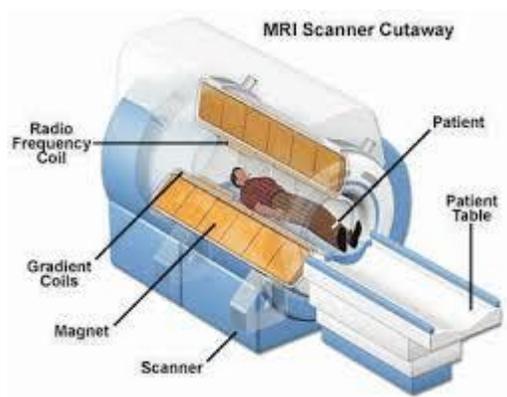
1. $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$

2. $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t$

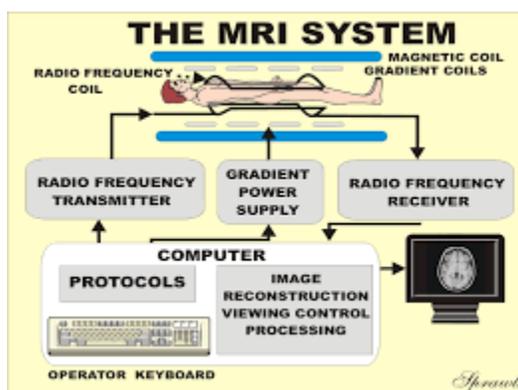
Эти уравнения объясняют электромагнитные волны (свет, радиоволны).

Практические применения

- Медицина: аппараты МРТ измеряют резонанс ядер водорода в сильном поле В.



[researchgate.net](https://www.researchgate.net)



[sprawls.org](https://www.sprawls.org)



[shutterstock.com](https://www.shutterstock.com)

- Транспорт: поезда Maglev движутся без трения благодаря магнитной левитации.
- Энергетика: трансформаторы, генераторы, термоядерные реакторы (ITER).
- Хранение данных: жёсткие диски используют магнитные домены.

Заключение Магнитное поле — фундаментальный элемент физики и современных технологий. Величины B , H , Φ , μ и M полностью его описывают. Благодаря им объясняются явления от простого компаса до квантовых компьютеров и источников неограниченной энергии. Изучение этой темы имеет огромное значение для физики, инженерии и материаловедения.

Рекомендуемая литература

1. Griffiths, D. J. (2017). Introduction to Electrodynamics (4-е издание). Cambridge University Press.
2. Jackson, J. D. (1999). Classical Electrodynamics (3-е издание). Wiley.
3. Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M. (1964). The Feynman Lectures on Physics, Vol. II. Addison-Wesley.
4. Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2013). Fundamentals of Physics (10-е издание). Wiley.
5. Purcell, E. M., Morin, D. J. (2013). Electricity and Magnetism (3-е издание). Cambridge University Press.