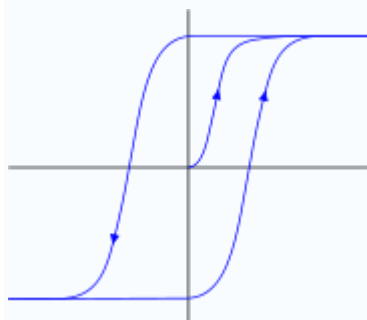


# Гистерезис

Материал из Википедии — свободной энциклопедии



Петля гистерезиса. Подобная зависимость величин характерна для всех видов гистерезиса

**Гистерéзис** (*греч.* ὑστέρησις — «отстающий») — свойство **систем** (обычно **физических**), которые не сразу следуют приложенным силам. Реакция этих систем зависит от сил, действовавших ранее, то есть системы зависят от собственной истории.

## Содержание

- [1 В физике](#)
  - [1.1 Магнитный гистерезис](#)
  - [1.2 Сегнетоэлектрический гистерезис](#)
  - [1.3 Упругий гистерезис](#)
- [2 В биологии](#)
- [3 В почвоведении](#)
- [4 В гидрологии](#)
- [5 В экономике](#)
- [6 Математические модели гистерезиса](#)
- [7 Литература](#)
- [8 См. также](#)

## В физике

Наибольший интерес представляют магнитный гистерезис, сегнетоэлектрический гистерезис и упругий гистерезис.

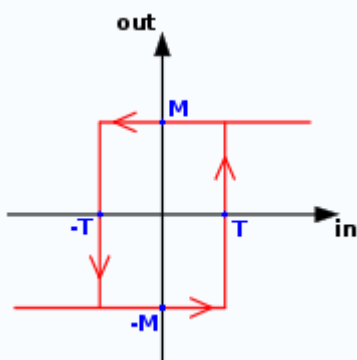
### Магнитный гистерезис

**Магнитный гистерезис** — явление зависимости **вектора намагничивания** и вектора **напряженности магнитного поля** в веществе не только от приложенного внешнего поля, но и от предыстории данного образца. Магнитный гистерезис обычно проявляется в **ферромагнетиках** — **Fe**, **Co**, **Ni** и сплавах на их основе. Именно магнитным гистерезисом объясняется существование **постоянных магнитов**.

Явление магнитного гистерезиса наблюдается не только при изменении поля **H** по величине и знаку, но также и при его вращении (гистерезис магнитного вращения), что соответствует отставанию (задержке) в изменении направления **M** с изменением

направления  $\mathbf{H}$ . Гистерезис магнитного вращения возникает также при вращении образца относительно фиксированного направления  $\mathbf{H}$ .

Теория явления гистерезиса учитывает конкретную магнитную доменную структуру образца и её изменения в ходе намагничивания и перемангничивания. Эти изменения обусловлены смещением доменных границ и ростом одних доменов за счёт других, а также вращением вектора намагниченности в доменах под действием внешнего магнитного поля. Всё, что задерживает эти процессы и способствует попаданию магнетиков в метастабильные состояния, может служить причиной магнитного гистерезиса.



Петля гистерезиса для [триггера Шмитта](#) имеет прямоугольный вид.

В однодоменных ферромагнитных частицах (в частицах малых размеров, в которых образование доменов энергетически невыгодно) могут идти только процессы вращения  $\mathbf{M}$ . Этим процессам препятствует магнитная анизотропия различного происхождения (анизотропия самого кристалла, анизотропия формы частиц и анизотропия упругих напряжений). Благодаря анизотропии,  $\mathbf{M}$  как бы удерживается некоторым внутренним полем  $H_A$  (эффективным полем магнитной анизотропии) вдоль одной из осей лёгкого намагничивания, соответствующей минимуму энергии. Магнитный гистерезис возникает из-за того, что два направления  $\mathbf{M}$  (по и против) этой оси в магнитоодноосном образце или несколько эквивалентных (по энергии) направлений  $\mathbf{M}$  в магнитомногоосном образце соответствуют состояниям, отделённым друг от друга потенциальным барьером (пропорциональным  $H_A$ ). При перемангничивании однодоменных частиц вектор  $\mathbf{M}$  рядом последовательных необратимых скачков поворачивается в направлении  $\mathbf{H}$ . Такие повороты могут происходить как однородно, так и неоднородно по объёму. При однородном вращении  $\mathbf{M}$  коэрцитивная сила  $H_c \approx H_A$ . Более универсальным является механизм неоднородного вращения  $\mathbf{M}$ . Однако наибольшее влияние на  $H_c$  он оказывает в случае, когда основную роль играет анизотропия формы частиц. При этом  $H_c$  может быть существенно меньше эффективного поля анизотропии формы.

В электронике и электротехнике используются устройства, обладающие магнитным - различными магнитными носителями информации, или электрическим гистерезисом, например, [триггер Шмитта](#) или [гистерезисный двигатель](#).

## Сегнетоэлектрический гистерезис

**Сегнетоэлектрический гистерезис** — неоднозначная петлеобразная зависимость поляризации  $\mathbf{P}$  сегнетоэлектриков от внешнего электрического поля  $\mathbf{E}$  при его циклическом изменении. Сегнетоэлектрические кристаллы обладают в определенном температурном интервале спонтанной (самопроизвольной, то есть возникающей в отсутствие внешнего электрического поля) электрической поляризацией  $\mathbf{P}_c$ . Направление

поляризации может быть изменено электрическим полем. При этом зависимость  $\mathbf{P}(\mathbf{E})$  в полярной фазе неоднозначна, значение  $\mathbf{P}$  при данном  $\mathbf{E}$  зависит от предыстории, то есть от того, каким было электрическое поле в предшествующие моменты времени. Основные параметры сегнетоэлектрического гистерезиса:

- остаточная поляризация кристалла  $\mathbf{P}_{\text{ост}}$ , при  $\mathbf{E} = 0$
- значение поля  $\mathbf{E}_{\text{кт}}$  (коэрцитивное поле) при котором происходит *переполяризация*

## Упругий гистерезис

В [теории упругости](#) явление гистерезиса наблюдается в поведении упругих материалов, которые под воздействием больших давлений способны сохранять деформацию и утрачивать её при воздействии обратного давления (например, вытягивание сжатого стержня). Во многом именно это явление объясняет [анизотропию](#) механических характеристик кованных изделий, а также их высокие механические качества.

Различают два вида упругого гистерезиса — динамический и статический.

**Динамический гистерезис** наблюдают при циклически изменяющихся напряжениях, максимальная амплитуда которых существенно ниже предела упругости. Причиной этого вида гистерезиса является неупругость либо [вязкоупругость](#). При неупругости, помимо чисто упругой деформации (отвечающей [закону Гука](#)), имеется составляющая, которая полностью исчезает при снятии напряжений, но с некоторым запаздыванием, а при вязкоупругости эта составляющая полностью со временем не исчезает. Как при неупругом, так и вязкоупругом поведении величина  $\Delta U$  — энергия упругой деформации не зависит от амплитуды деформации и меняется с частотой изменения нагрузки. Также динамический гистерезис возникает в результате термоупругости, магнитоупругих явлений и изменения положения точечных дефектов и растворённых атомов в кристаллической решётке тела под влиянием приложенных напряжений.

## В биологии

Гистерезисные свойства характерны для скелетных мышц млекопитающих.

## В почвоведении

[Основная гидрофизическая характеристика](#) почвы обладает гистерезисом.

## В гидрологии

Зависимость  $Q=f(H)$  - связь расходов и уровней воды в реках - имеет петлеобразную форму.

## В экономике

Некоторые экономические системы проявляют признаки гистерезиса: например, могут потребоваться значительные усилия, чтобы начать [экспорт](#) в какой-либо отрасли, но для его поддержания на постоянном уровне — небольшие.

В [теории игр](#) эффект гистерезиса проявляется в том, что небольшие отличия по одному или нескольким параметрам приводят две системы в противоположные стабильные равновесия, например, «хорошее» — доверие, честность и высокое [благосостояние](#); и «плохое» — воровство, недоверие, коррупция и бедность. Несмотря на небольшие первоначальные различия, системы требуют огромных усилий для перехода из одного равновесия в другое.

Эффект гистерезиса - состояние безработицы; достигнув достаточно высокого уровня, она может в определенной мере самовоспроизводиться и удерживаться на нем. Экономические причины гистерезиса (долгосрочной негибкости рынка труда) неоднозначны. Некоторые институциональные факторы ведут к гистерезису. Например, социальное страхование, особенно страхование по безработице, может через налоговую систему снижать спрос фирм на рабочую силу в официальной экономике. Безработица может вести к потере человеческого капитала и к "помечиванию" тех, кто долгое время остается безработным. Профсоюзы могут вести переговоры с целью поддерживать благосостояние их настоящих членов, игнорируя интересы аутсайдеров, оказавшихся безработными. Фиксированные издержки, связанные со сменой должности, места работы или отрасли, также могут приводит к гистерезису. Наконец, возможны трудности при различении реальных и кажущихся явлений гистерезиса, когда конечное состояние системы определяется ее текущей динамикой или ее начальным состоянием. В первом случае гистерезис отражает наше незнание: добавив недостающие переменные и информацию, можно более полно описать эволюцию изучаемой системы. Др. интерпретация явления гистерезиса - простое существование нескольких состояний равновесия, когда невидимые воздействия перемещают экономику из одного состояния равновесия в др.

## Математические модели гистерезиса

Появление математических моделей гистерезисных явлений обуславливалось достаточно богатым набором прикладных задач (прежде всего в теории автоматического регулирования), в которых носители гистерезиса нельзя рассматривать изолированно, поскольку они являлись частью некоторой системы. Создание математической теории гистерезиса относится к 60-м годам XX-го века, когда в Воронежском университете начал работать семинар под руководством [М. А. Красносельского](#), "гистерезисной" тематики. Позднее, в 1983 году появилась монография <sup>[1]</sup>, в которой различные гистерезисные явления получили формальное описание в рамках теории систем: гистерезисные преобразователи трактовались как операторы, зависящие от своего начального состояния как от параметра, определённые на достаточно богатом функциональном пространстве (например, в пространстве непрерывных функций), действующие в некотором функциональном пространстве. Простое параметрическое описание различных петель гистерезиса можно найти в работе <sup>[2]</sup> (замена в данной модели гармонических функций на прямоугольные, треугольные или трапециевидальные импульсы позволяет также получить кусочно-линейные петли гистерезисы, которые часто встречаются в дискретной автоматике).

## Литература

1. <sup>↑</sup> М. А. Красносельский, А. В. Покровский. [Системы с гистерезисом](#) М., Наука, 1983. 271 стр.
2. <sup>↑</sup> R. V. Lapshin (1995). "[Analytical model for the approximation of hysteresis loop and its application to the scanning tunneling microscope](#)" (PDF). *Review of Scientific*

*Instruments* **66** (9): 4718-4730. [DOI:10.1063/1.1145314](https://doi.org/10.1063/1.1145314). [ISSN 0034-6748](https://www.tandfonline.com/ISSN/0034-6748). (имеется [перевод на русский](#)).

## См. также

В.А. Костицын, ["Опыт математической теории гистерезиса", Матем. сб., 32:1 \(1924\), 192–202.](#)

[Обменное смещение](#) - как особенность петель гистерезиса.

Источник

«<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81>»

Категории: [Физика](#) | [Электроника](#) | [Теория игр](#)