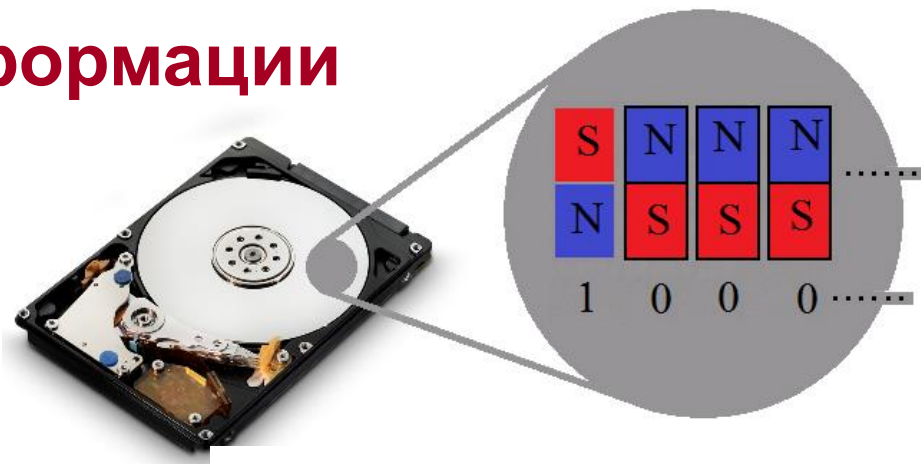
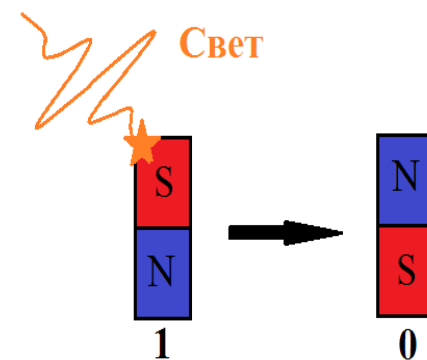
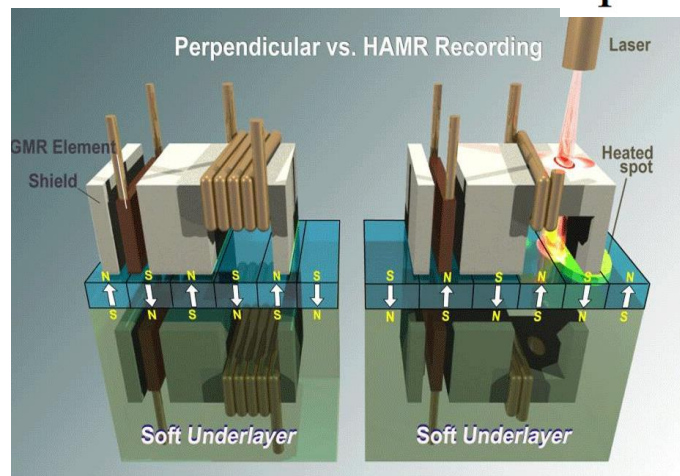
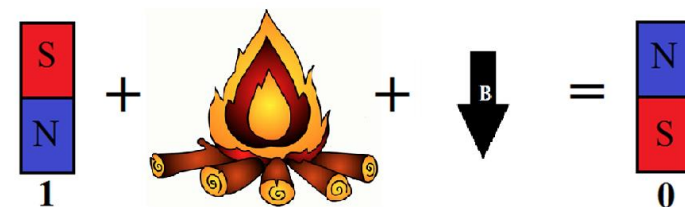
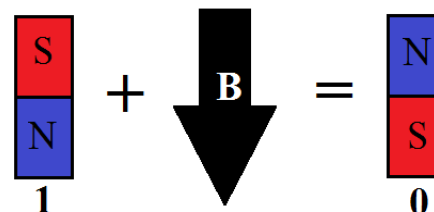


Магнитная запись информации

К.ф.м.н. доцент кафедры
магнетизма
физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова
Шапаева Т.Б.
shapaeva@mail.ru



- ✓ Запись звука
- ✓ Двоичная система счисления
- ✓ Первые компьютеры
- ✓ Принцип магнитной записи
- ✓ Перспективы развития





Фонограф Эдисона
представлен
21 ноября 1877 года

Звук записывается на носителе в форме дорожки, глубина которой пропорциональна громкости звука. Звуковая дорожка фонографа размещается по цилиндрической спирали на сменном вращающемся барабане. При воспроизведении игла, движущаяся по канавке, передаёт колебания на упругую мембрану, которая излучает звук.



Оберлин Смит (1840 – 1926)
американский инженер.

В 1888 г. опубликовал самую
первую работу, посвященной
магнитной записи информации.

Телеграфон Поульсена



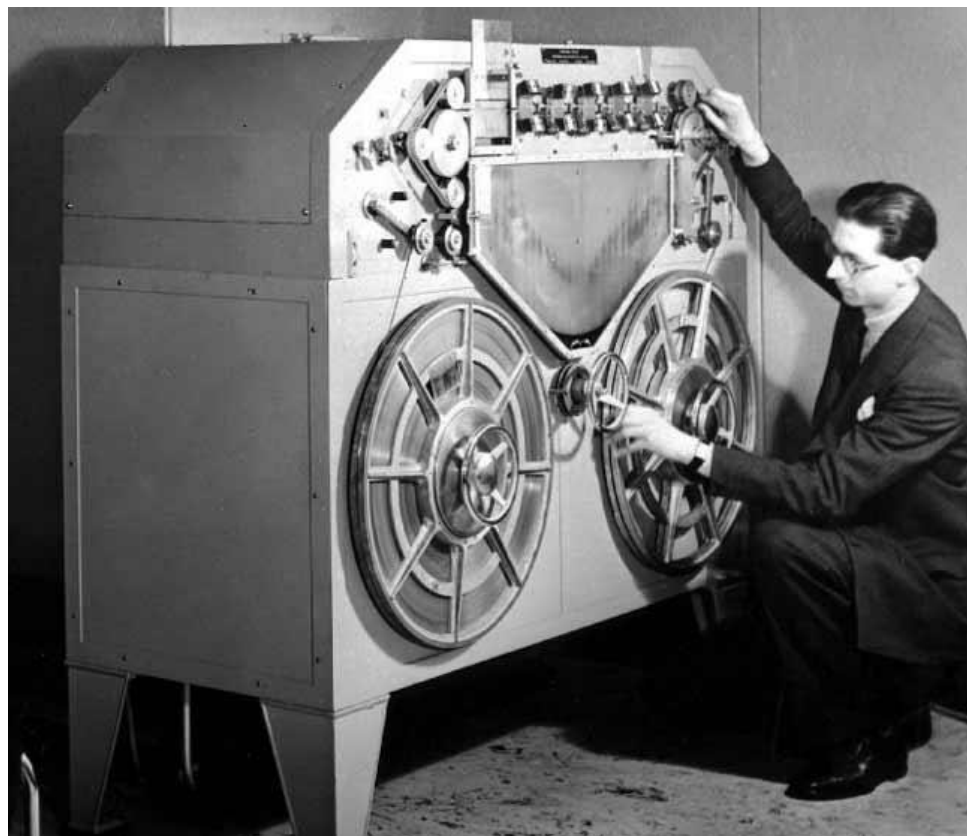
Вальдемар Поульсен (1869 — 1942) — датский инженер. Разработал способ магнитной записи на проволоку в 1899 г.



**Схема опыта
Поульсена по
магнитной записи
информации**

- ✓ В 1929 г. Луи Блаттнер заменил проволоку на тонкую стальную ленту
- ✓ В 1931 г. Кларенс Н. Хикман из американской корпорации Bell Labs создал прототип автоответчика на стальной ленте.
- ✓ В 1932 г. BBC впервые применила в своем вещании аппарат магнитной записи на тонкой стальной ленте шириной 3 мм и толщиной 0,08 мм.
- ✓ Скорость движения ленты относительно записывающей и воспроизводящей головок составляла 1,5 м/с.
- ✓ В 1936 году на фирме BASF впервые был записан концерт классической музыки.

Первые устройства для магнитной записи звука.



На получасовую программу уходило 3 км ленты, а катушка с лентой весила 25 кг.



Кассетный
магнитофон
(80 – 90 г.г. 20 века)



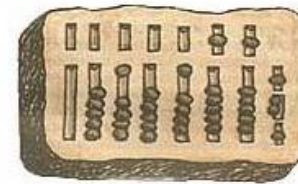
Катушечный
Магнитофон
(70-е г. 20 века)



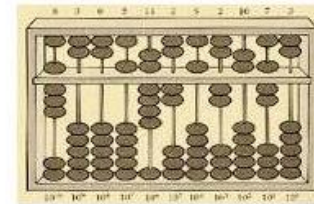
Счетные механические устройства

Абак и его «родственники»

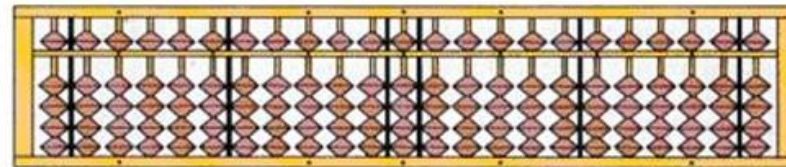
Абак (Древний Рим) – V-VI в.



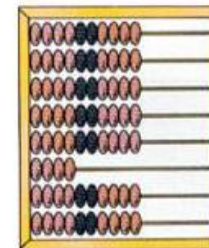
Суан-пан (Китай) – VI в.

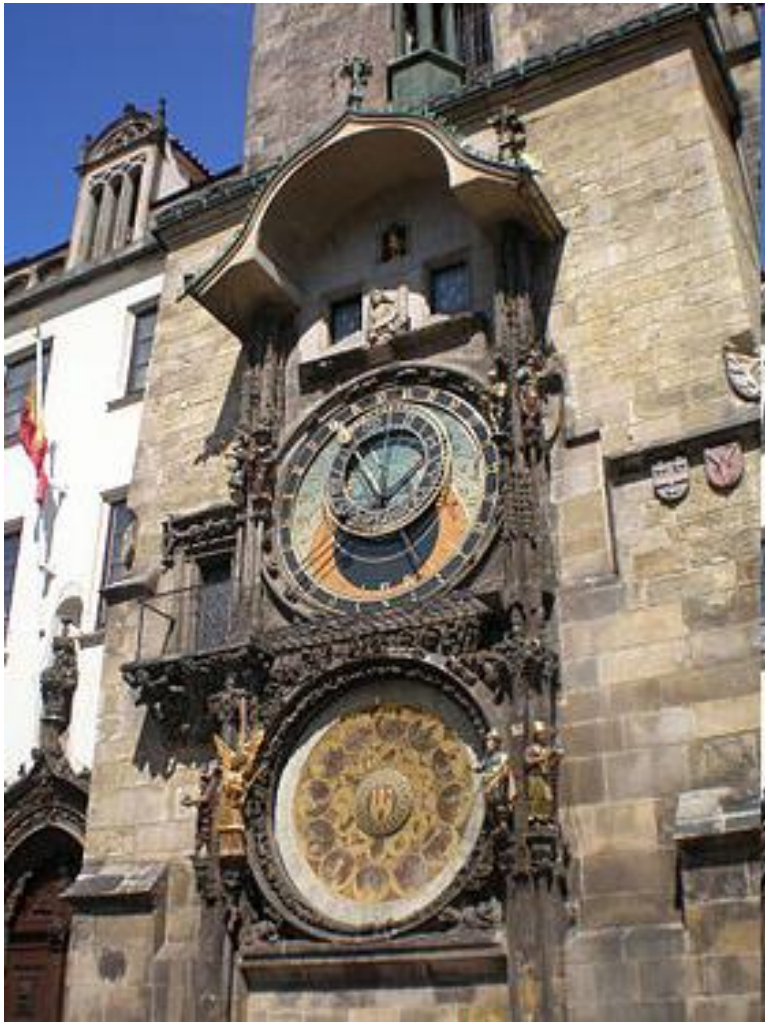


Соробан (Япония)
XV-XVI в.



Счеты (Россия) – XVII в.

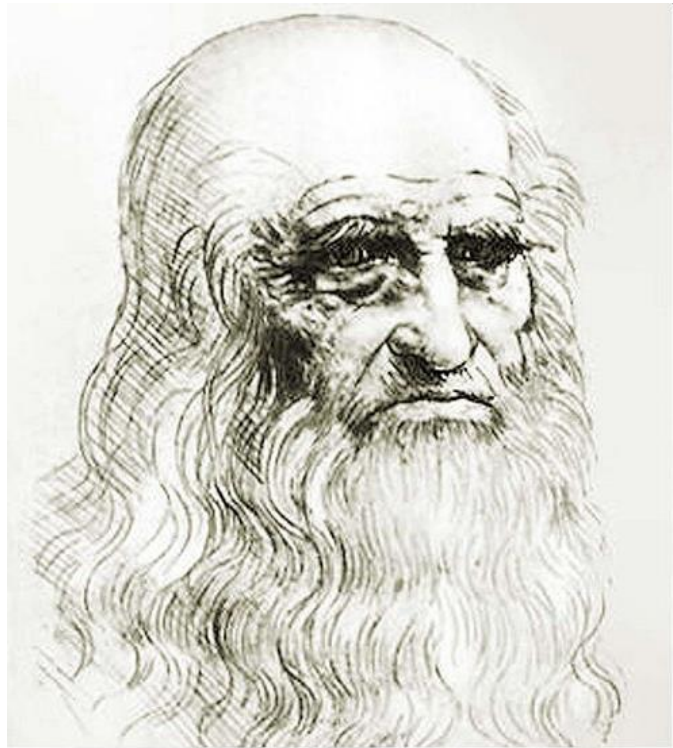




Часы – прибор, способный автоматически выполнять вычисления.

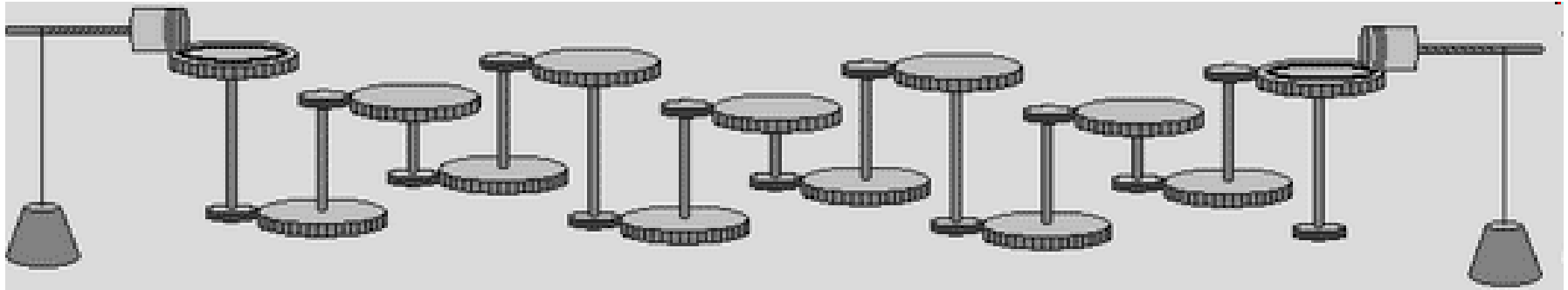
Первые башенные часы в Западной Европе были построены в 1288 г. английскими мастерами в Вестминстере.

Пражские куранты (1410) — средневековые башенные часы, установленные на южной стене башни Староместской ратуши в Праге.



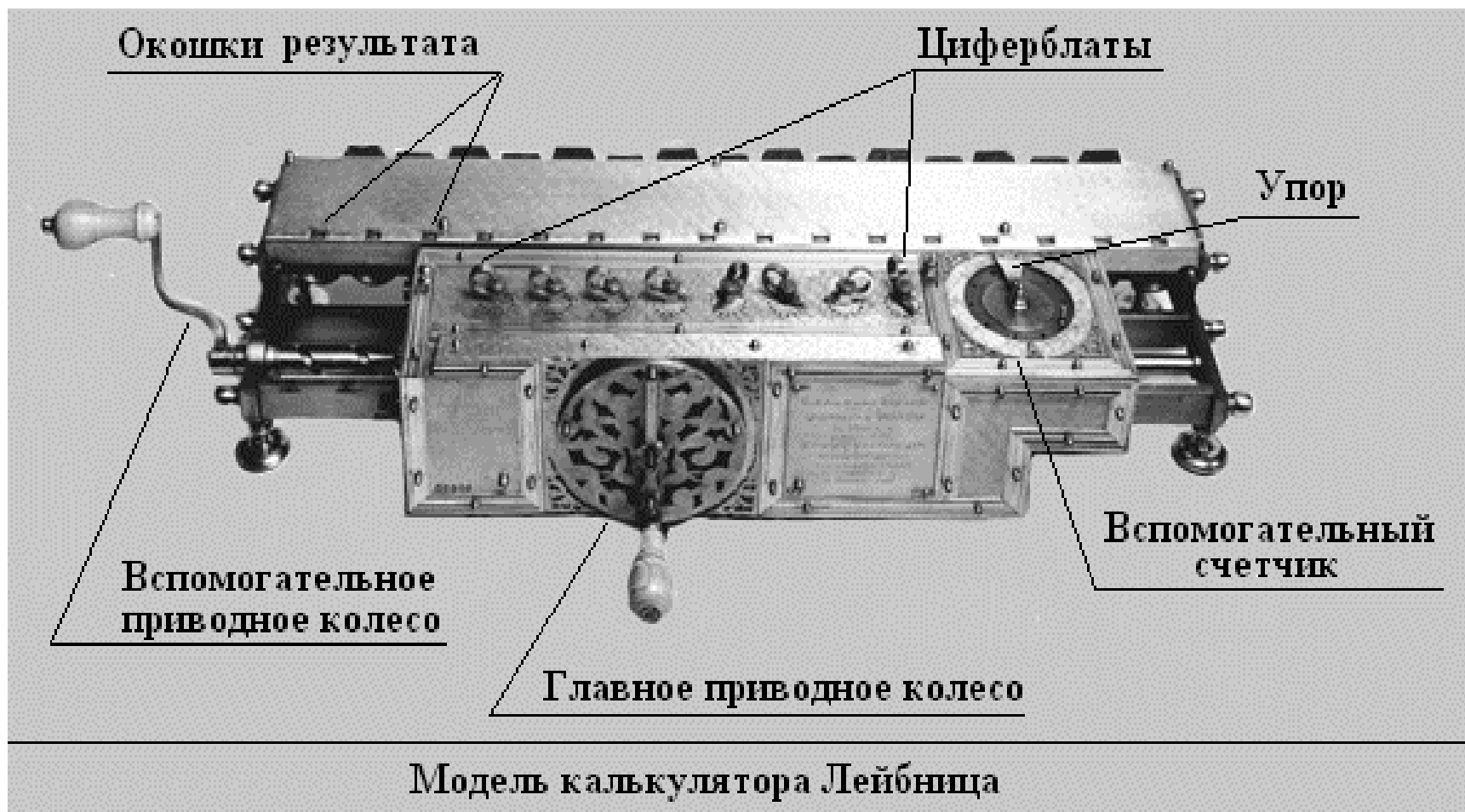
(1452 – 1519) — итальянский художник (живописец, скульптор, архитектор), ученый (анатом, естествоиспытатель), изобретатель, писатель, один из крупнейших представителей искусства эпохи Возрождения.

Леонардо да Винчи



Эскиз счетной машины Леонардо да Винчи

В 1673 году Г.В. Лейбниц создал механический калькулятор (первая счетная машина)



Современная двоичная система была полностью описана Г.В. Лейбницем



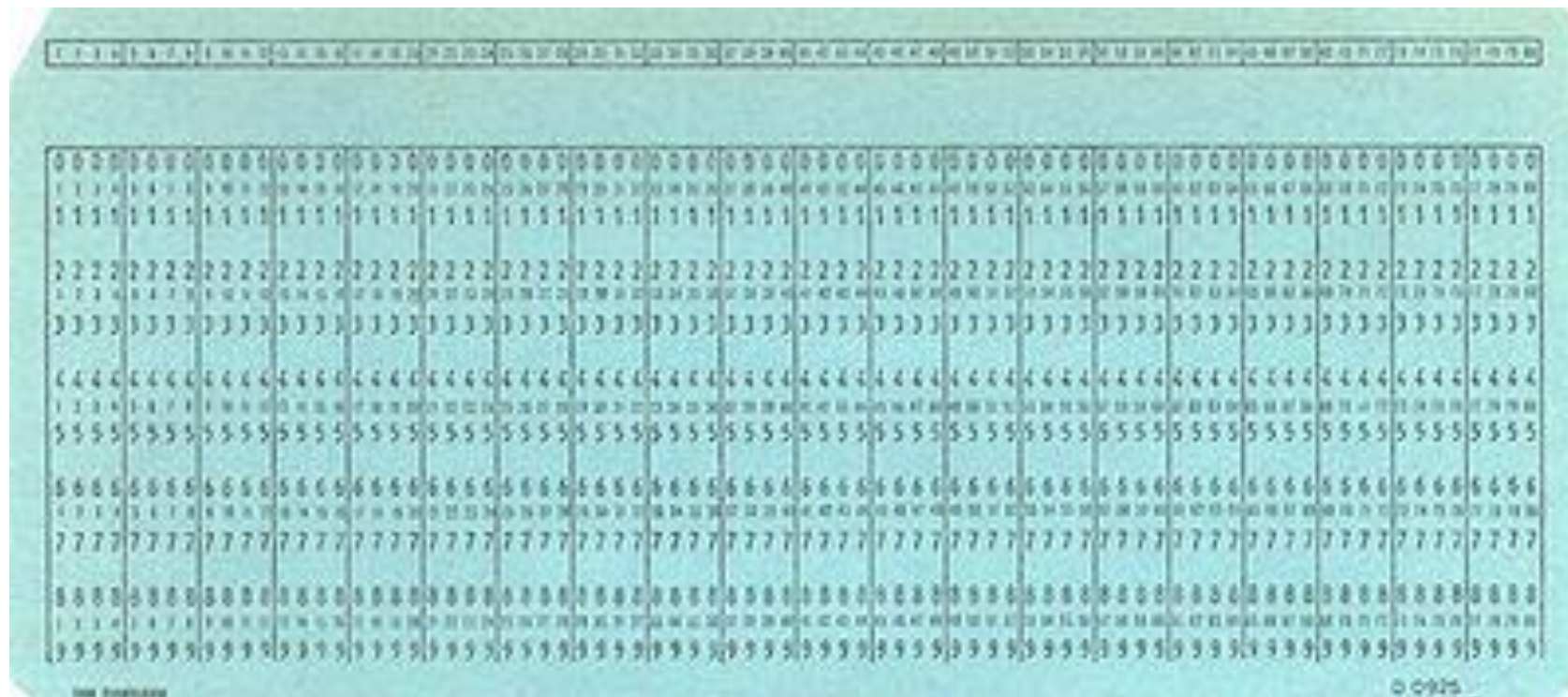
Готфрид Вильгельм
Лейбниц

(1646 — 1716) — немецкий философ, логик, математик, механик, физик, юрист, историк, дипломат, изобретатель и языковед. Основатель и первый президент Берлинской Академии наук, иностранный член Французской Академии наук.

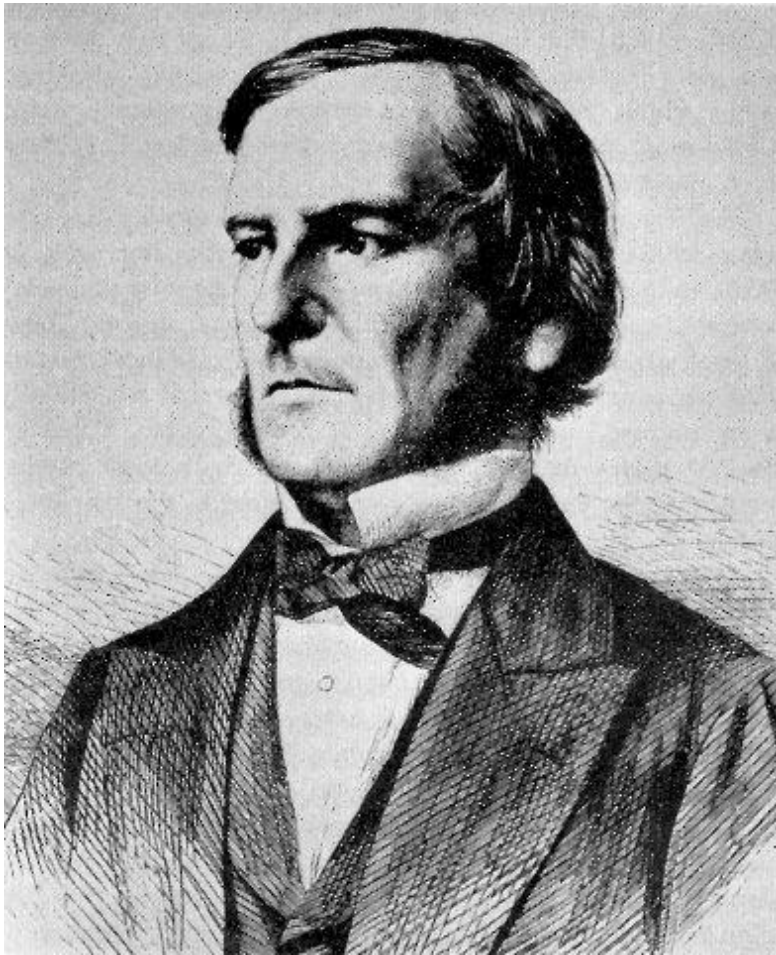
**Жаккардова
машина (1804) —
механизм ткацкого
станка для выработки
тканей с крупным
узором.**



Перфокарта IBM.



Перфокарта — носитель информации, предназначенный для использования в системах автоматической обработки данных.



Джордж Буль
(1815 — 1854) —
английский математик и
логик.

**Основатель
математической
логики.**

**«Исследование законов
мышления» 1854 г**

**Три основные операции
булевой алгебры – это
И, ИЛИ и НЕ.**

**Логические действия
оперируют лишь с двумя
сущностями – «истина»
или «ложь»**



Конрад Цузе
(1910 — 1995) —
немецкий инженер,
пионер
компьютеростроения.

**Создатель первого
программируемого компьютера
на электромеханических
элементах (1941) и первого
языка программирования
высокого уровня (1945).**

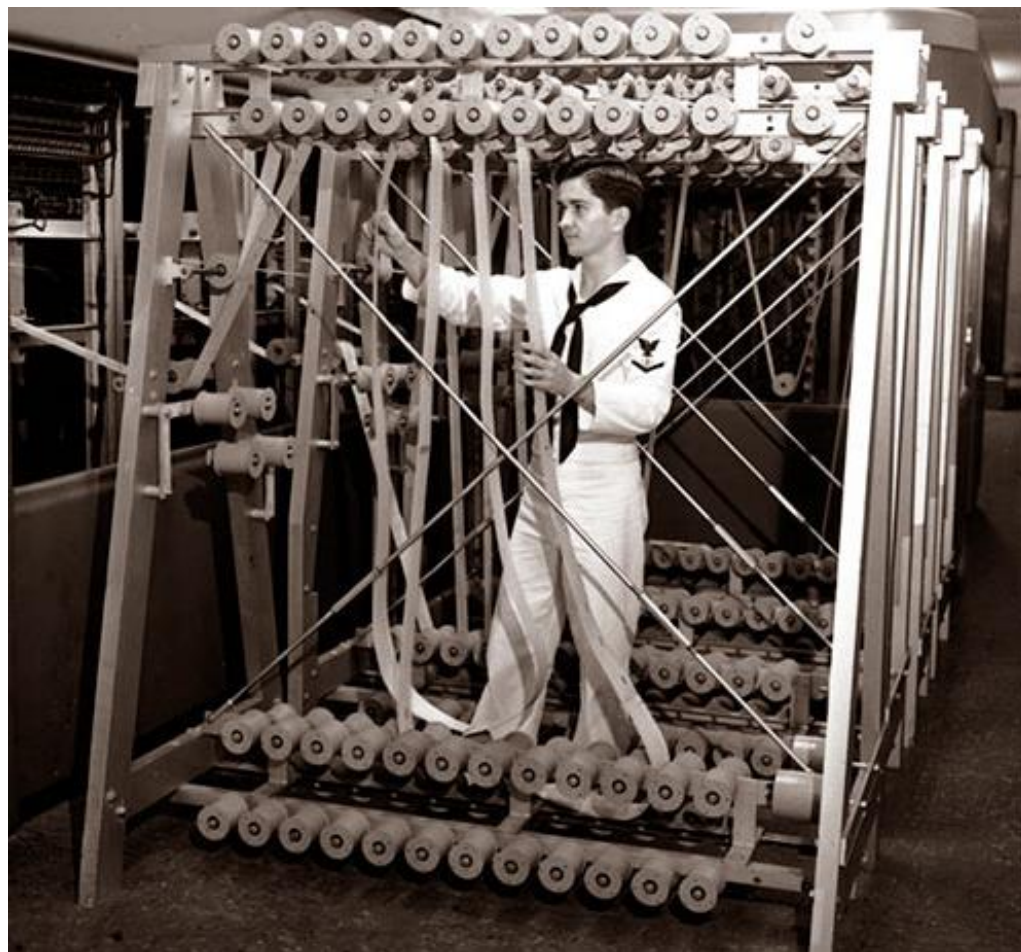




На одну бобину
наматывали до
400 м ленты
шириной в 1,2 см
(более 10^6
символов = 10^4
перфокарт).
Электронное
устройство
считывало
 $1,25 \cdot 10^4$
символов в
секунду.

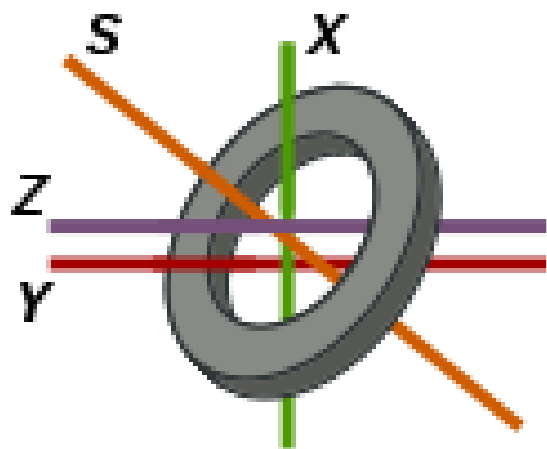
Инженер подключает кабели, при помощи которых осуществлялось программирование машины ENIAC.

Одновременно с постройкой *ENIAC*, также в обстановке секретности, создавалась ЭВМ в Великобритании.

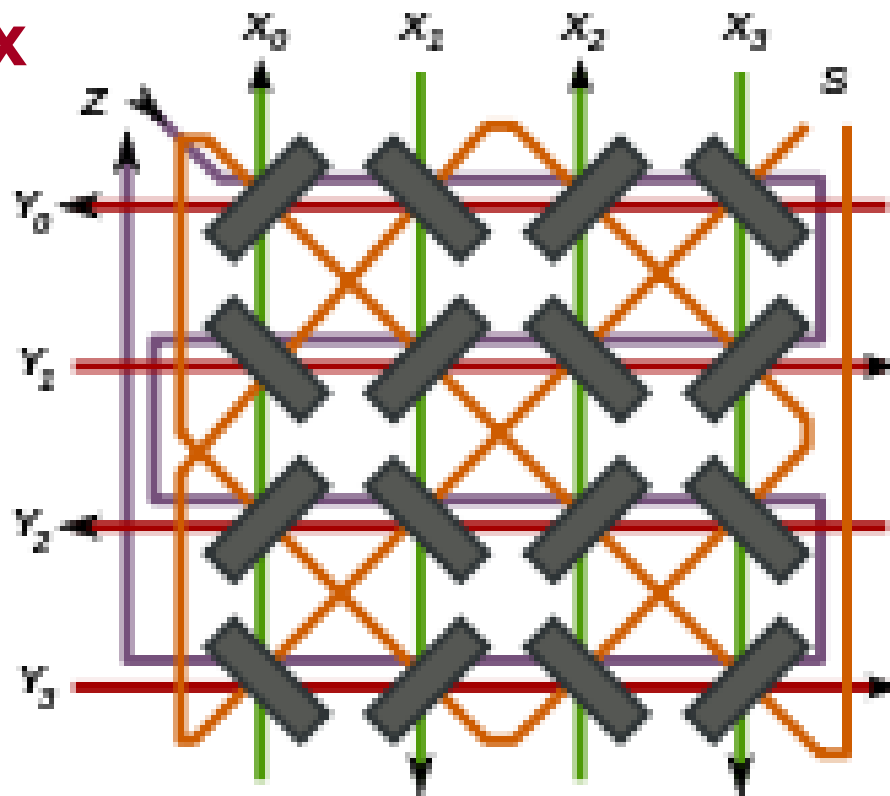


В течение 1943 году в Лондоне была построена машина *Colossus* на 1500 электронных лампах. Разработчики машины – *М.Ньюмен и Т.Ф.Флауэрс*.

Память на магнитных сердечниках (1949 г.)

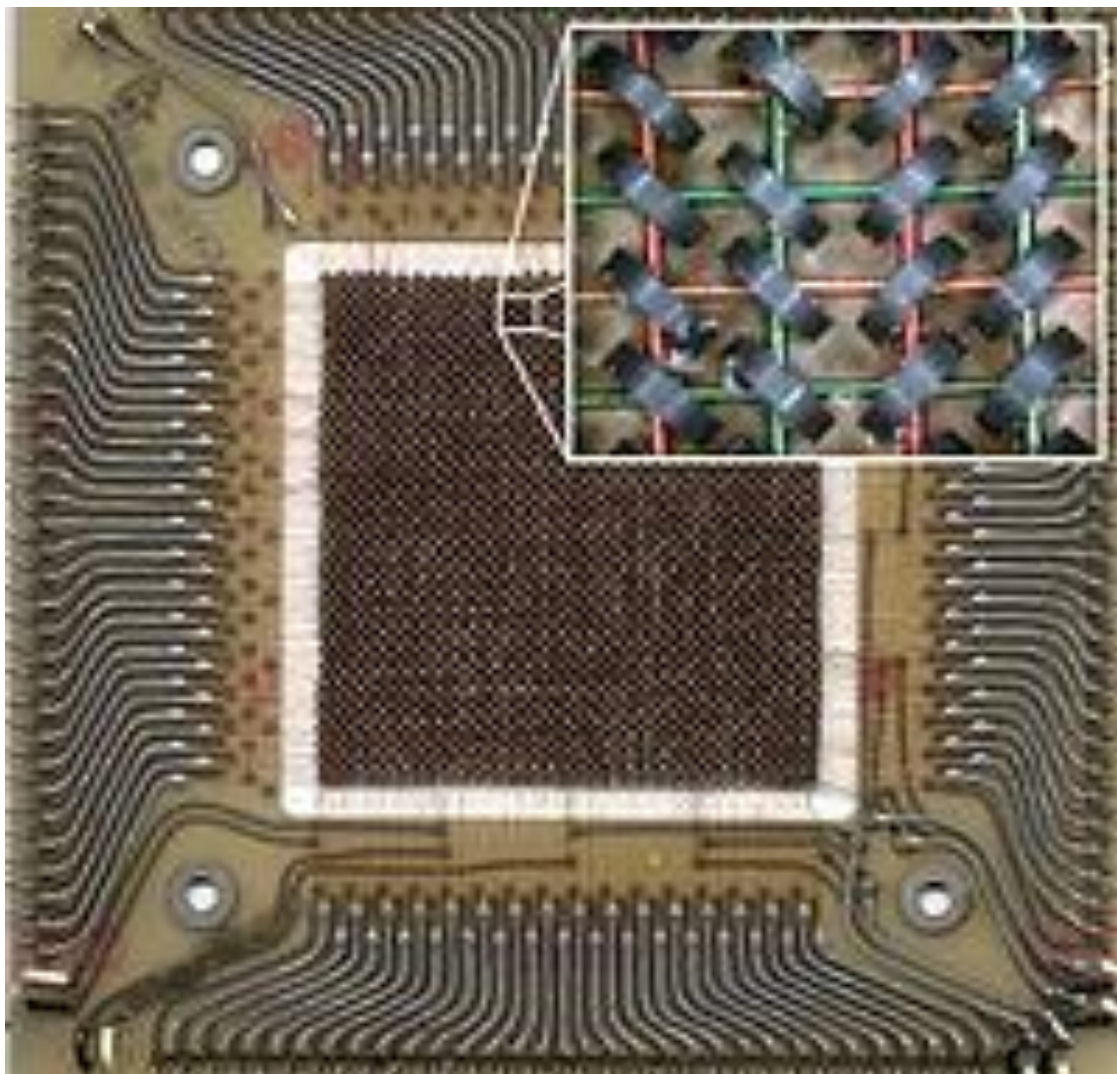


X , Y — провода возбуждения, S — считывания, Z — запрета



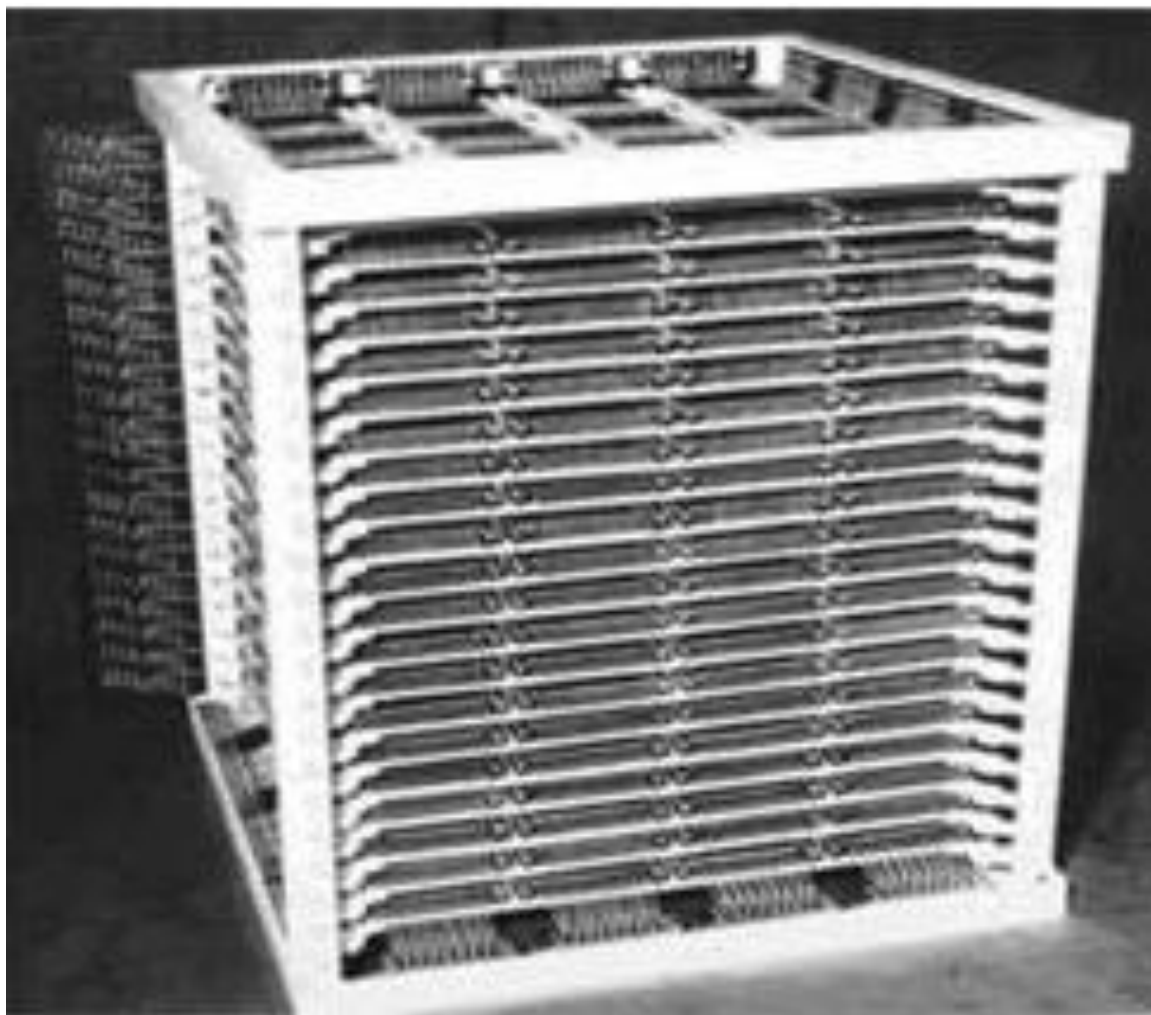
Матрица памяти на магнитных сердечниках позволяет считывать или записывать биты только последовательно

Была основным типом компьютерной памяти с середины 1950-х и до середины 1970-х годов.



Матрица
ферритовой
памяти
суперкомпьютера
1964 г. Размер
 $10,8 \times 10,8$ см,
ёмкость 4096 бит.

Феритовый куб в сборке



Магнитная запись информации

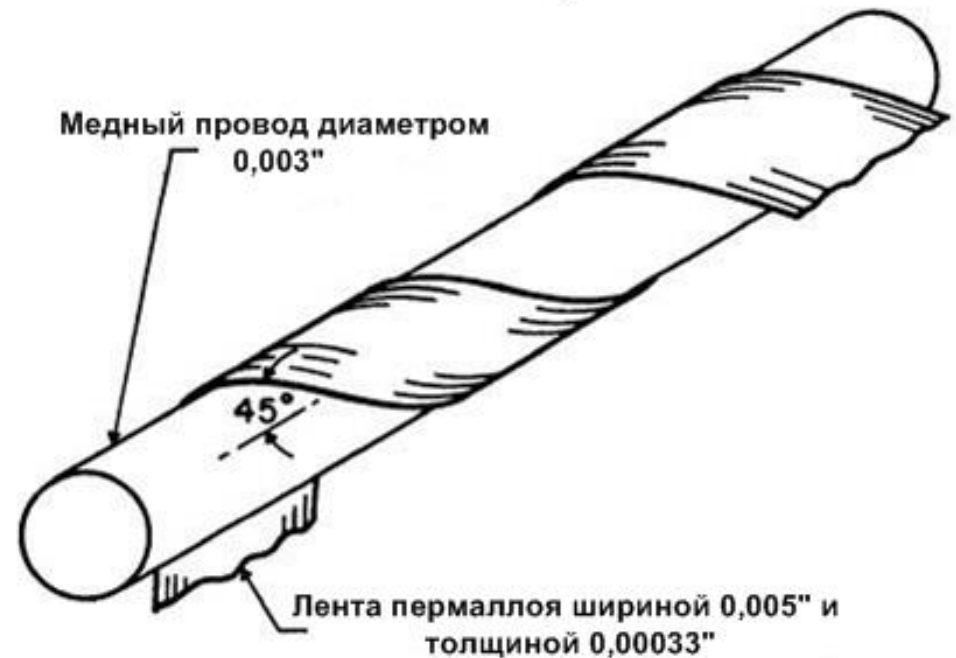


Один из первых
коммерческих
компьютеров

IBM 305 RAMAC,
1956 год

- ✓ плотность: 2 кб/дюйм²
- ✓ скорость: 70 кб/с
- ✓ емкость: 5 Мб

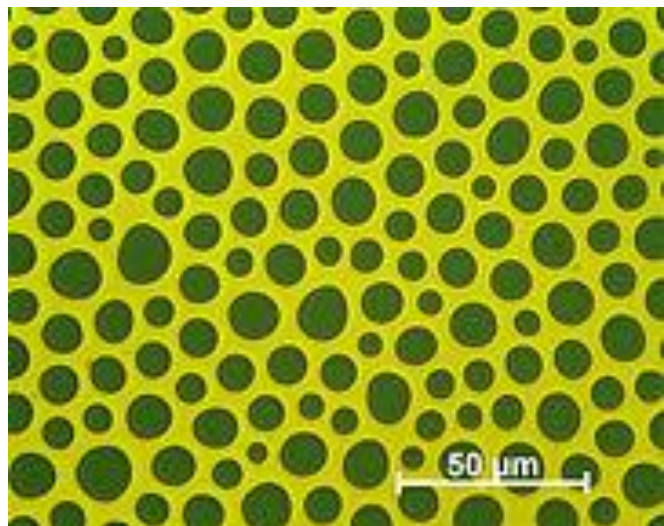
Twistor memory.



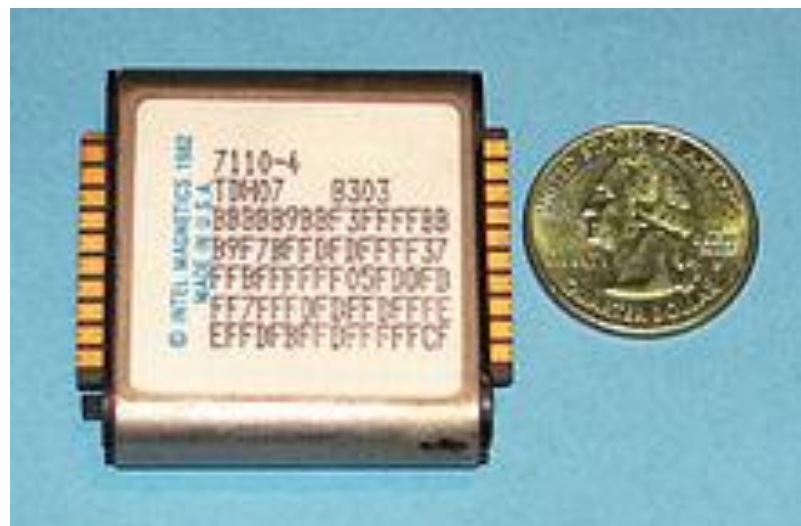
Твистор-кабель

Эндрю Бобек. Американский инженер.

В 1967 г. **Эндрю Бобек** создал ЦМД-память (bubble memory) на гранатовой пленке ($1\text{см}^2 \rightarrow 4096$ бит)



Решетка ЦМД
(цилиндрический
магнитный домен)



Модуль ЦМД памяти
фирмы Интел.

**ЦМД-память (70-е и 80-е г.г.) – один из видов
энергонезависимой памяти**

Современное состояние магнитной записи информации.

Продольная и поперечная магнитная запись

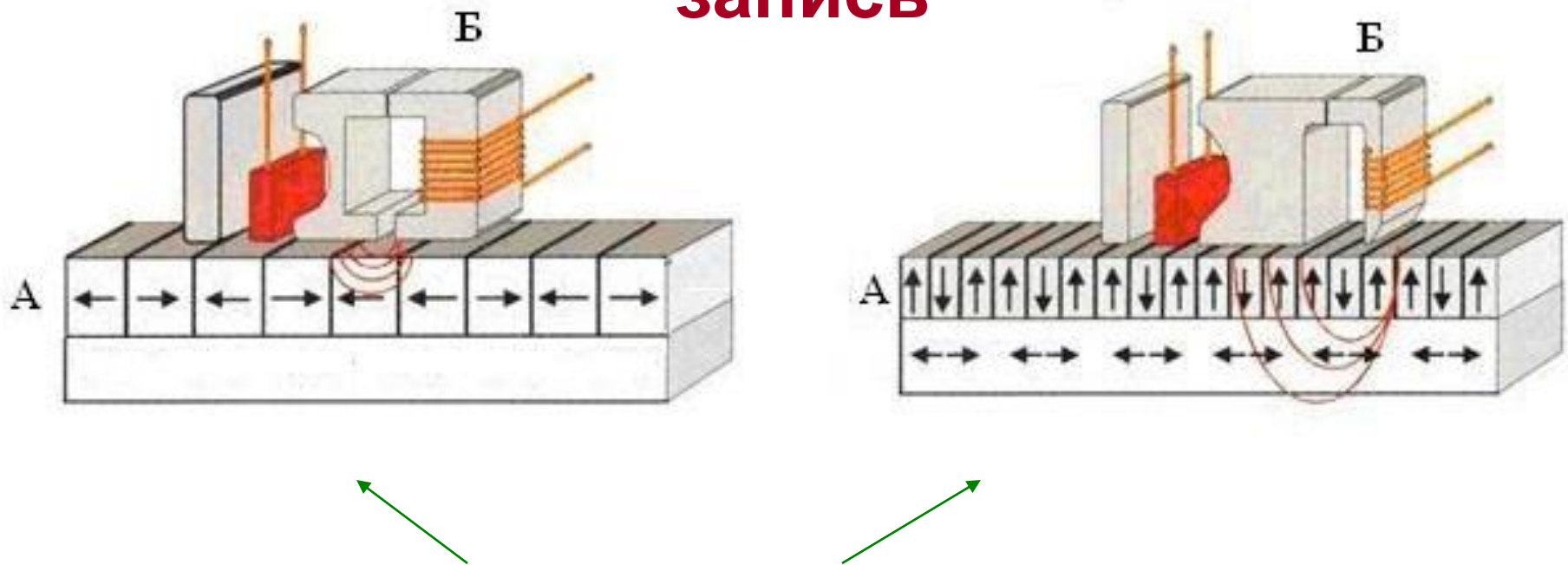


Схема продольной и поперечной записи на магнитный диск: А – ферромагнитный слой, Б – записывающая головка.

**Современный жесткий диск
Toshiba, 2018 год**

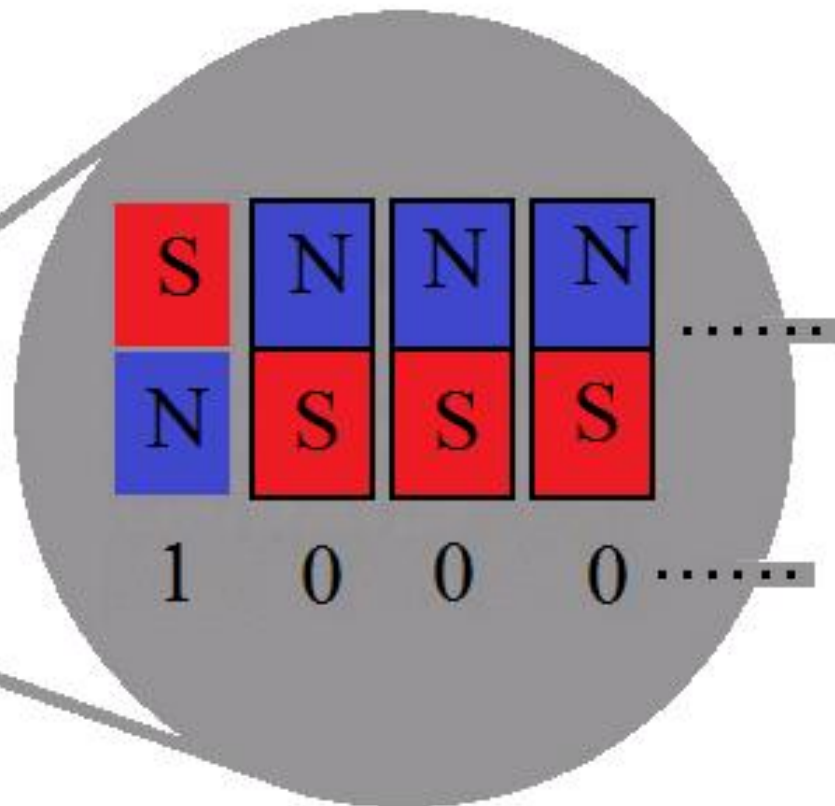
**плотность: ~1 ТБ/дюйм²
скорость: 70 МБ/с
емкость: 1 ТБ**

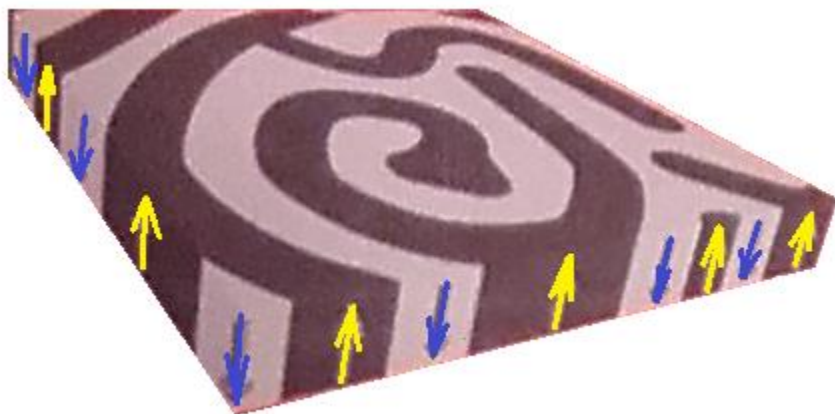


**IBM 305 RAMAC,
1956 год**

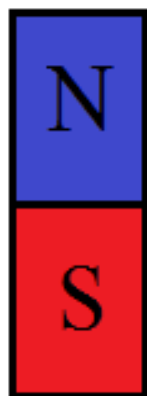
**плотность: 2 кб/дюйм²
скорость: 70 кб/с
емкость: 5 Мб**

Кодирование информации на жестком диске

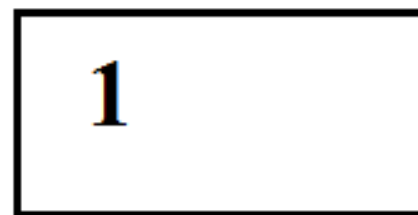




Доменная
структура
материала и
кодирование
информации

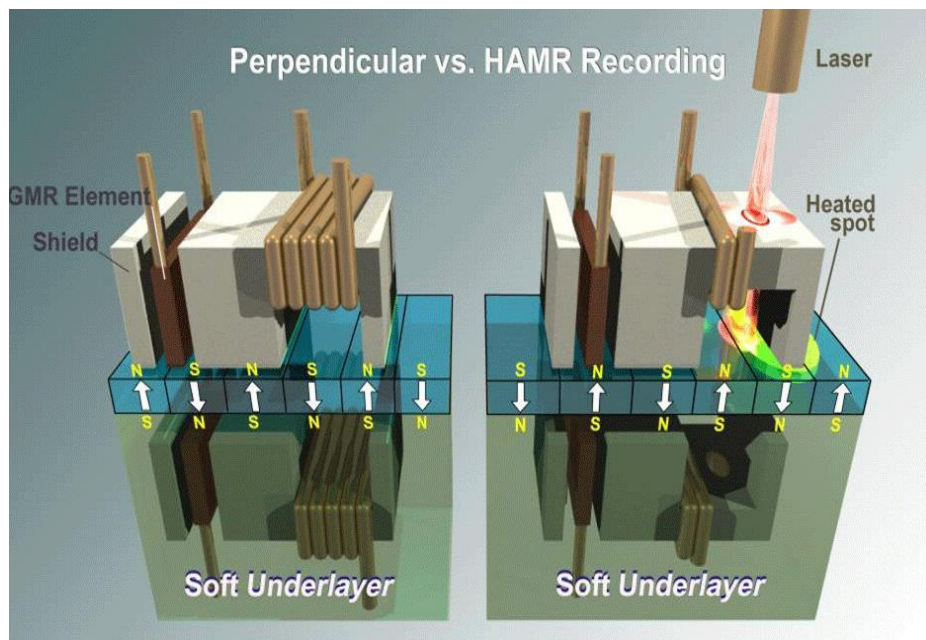


0

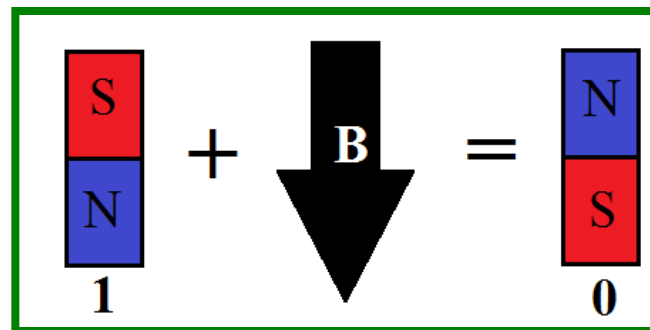
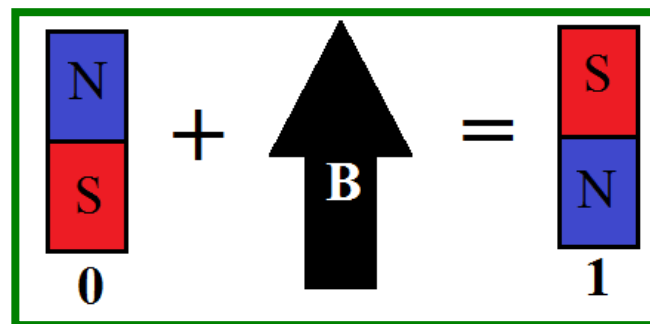


1

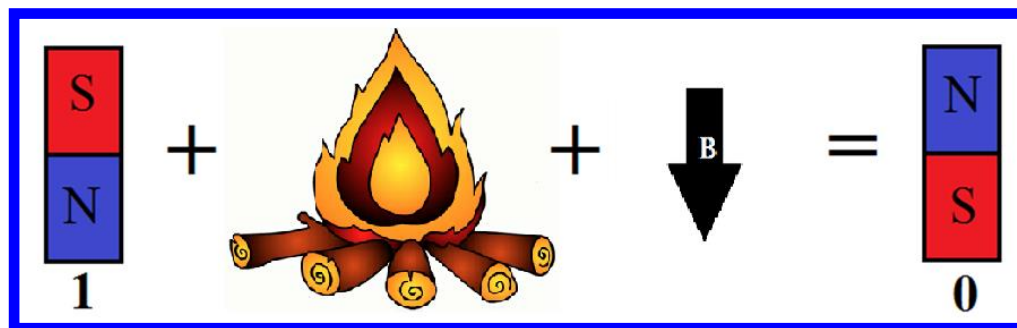
Как перезаписать единицу информации



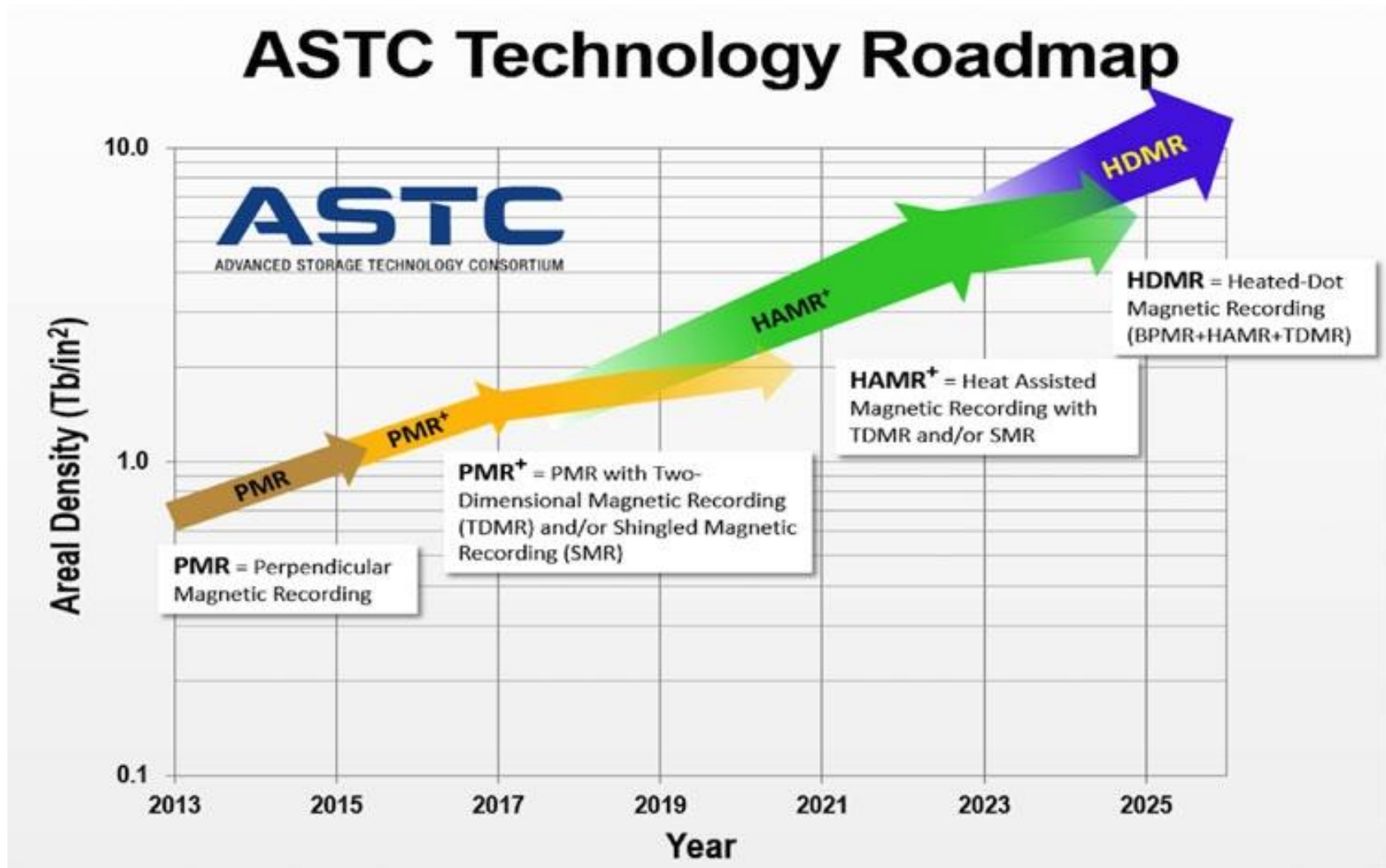
Использовать
магнитное поле



Использовать
магнитное поле и
нагрев



Дорожная карта технологий производства жестких дисков



Для повышения плотности записи на магнитных пластинах жёстких дисков Western Digital делает ставку на технологию вспомогательной микроволновой записи (MAMR – microwave-assisted magnetic recording).



Источник микроволнового излучения (MAMR) компактен и интегрируется в записывающую головку

MAMR – это технология альтернативная HAMR (heat assisted magnetic recording).

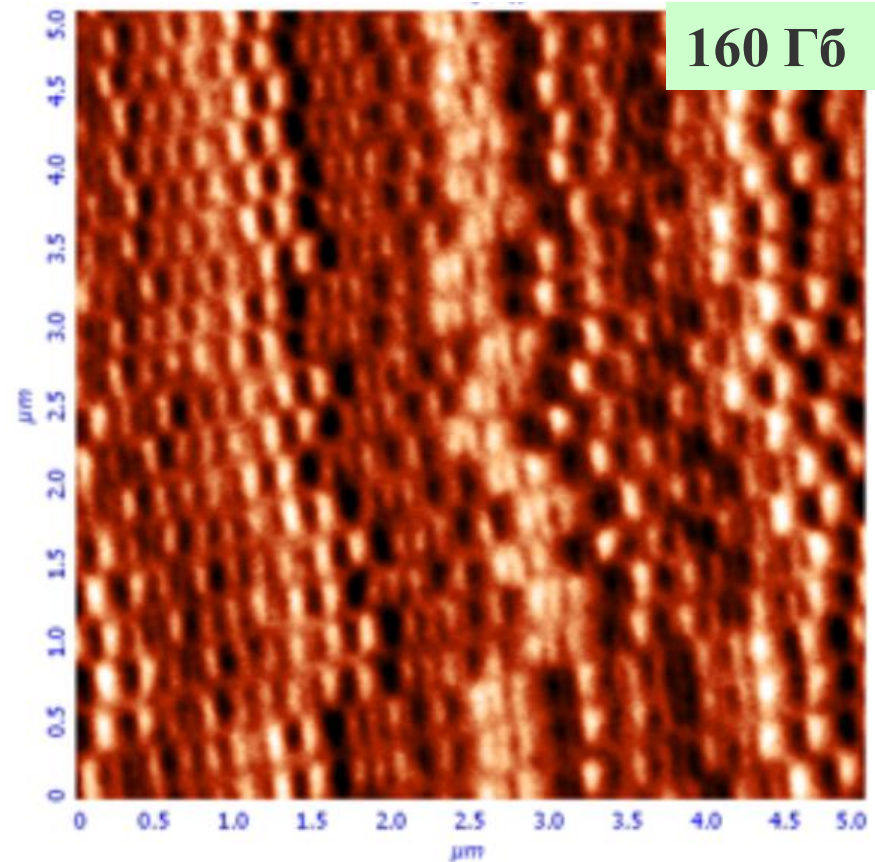
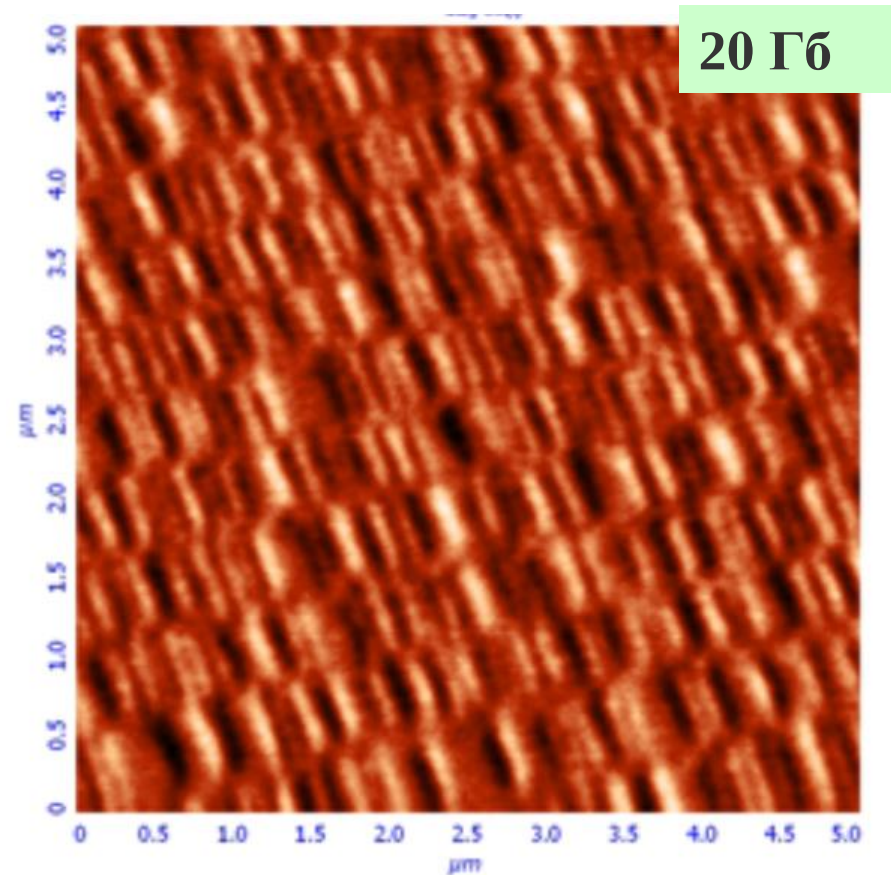
Будущее жёстких дисков

Emerging Technologies For Capacity Growth



Seagate заявляет о намерениях выпустить 40-Тбайт 3,5-дюймовый HAMR жёсткий диск уже в 2025 году (на два года раньше ожидаемого выхода 40-Тбайт MAMR HDD Western Digital).

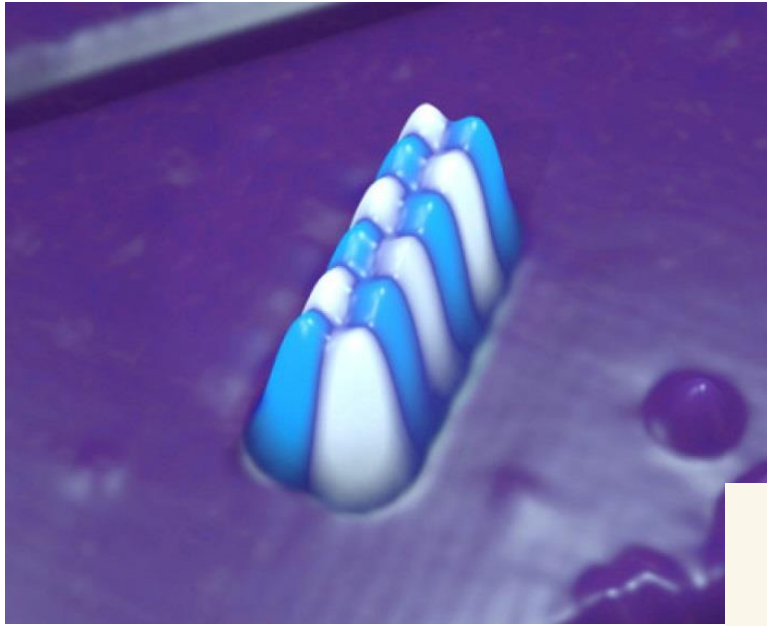
Доменная структура на поверхности дисков разной емкости (фото сделаны с помощью зондового микроскопа)



Магнитная запись информации

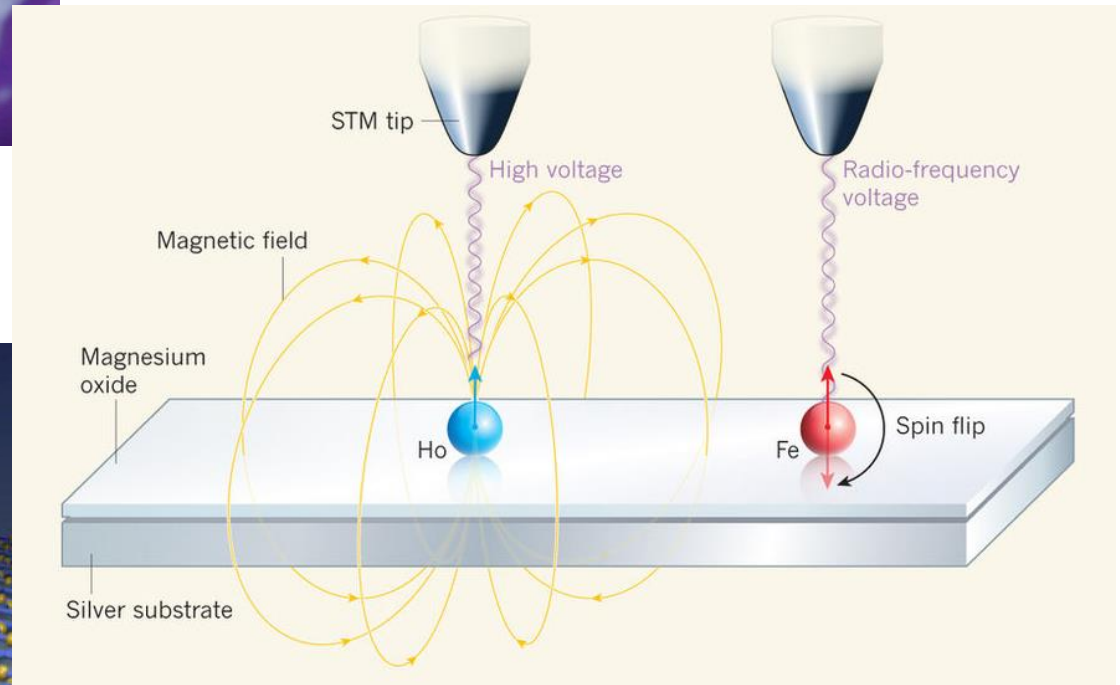
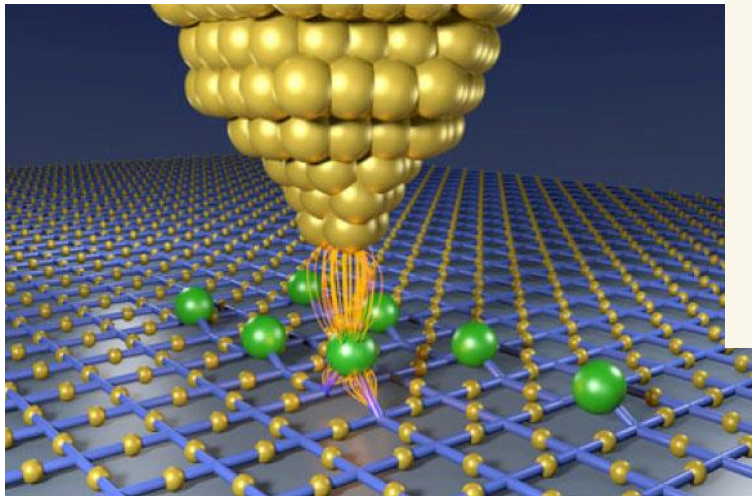
Фирма, изготовившая устройство	Плотность записи, размер бита	Время обращения к биту
1949 г. BINAK (США)	400 бит/см ² 500 мкм	12500 бит/с 80 мкс
Verbatim 80-е гг 20 в	15,6 Мбит/см ² 2,6 мкм	1 МГц 1 мкс
Sony 80-е гг 20 в	11,5 Мбит/см ² 2,9 мкм	2,88 МГц 0,35 мкс
Seagate Toshiba	20 Гбит/дюйм ² 0,2 мкм	200 Мбит/с 5 нс

**Плотность записи на жёстких дисках за 50 лет
увеличилась в 60 миллионов раз.**



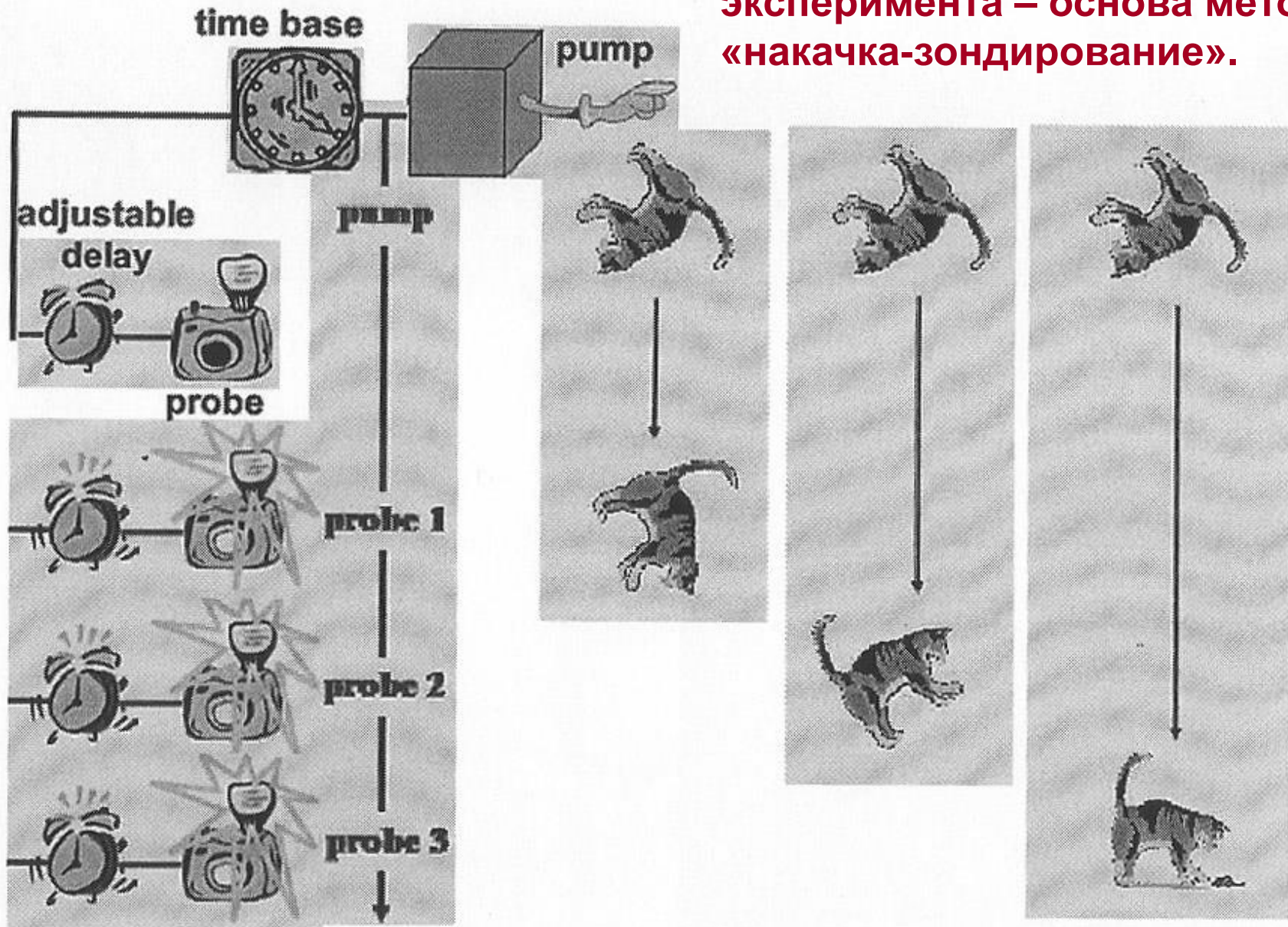
Магнитная память на атомном уровне

Единица памяти – 12
атомов железа

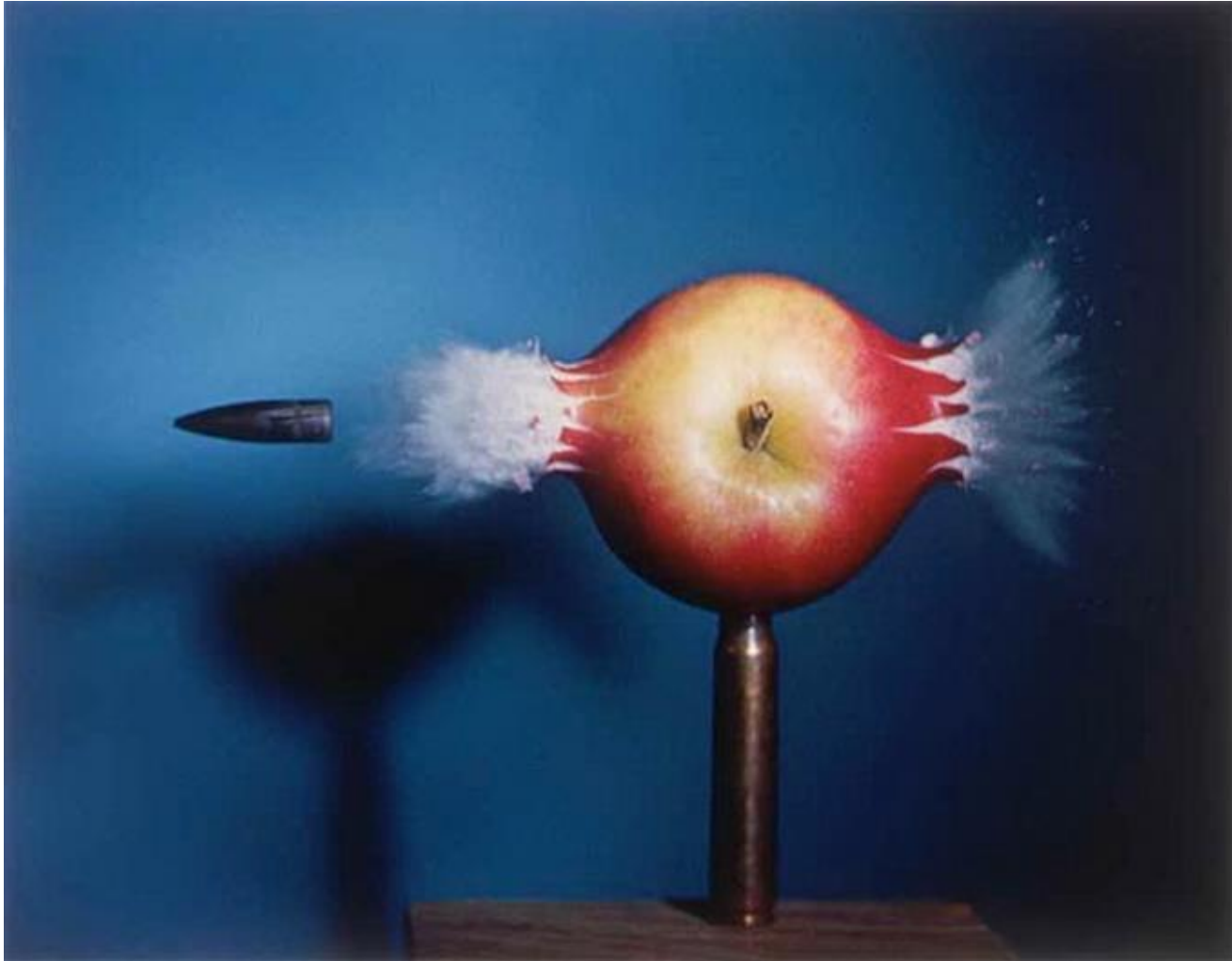


1 атом – 1 бит

Надежная повторяемость
эксперимента – основа метода
«накачка-зондирование».

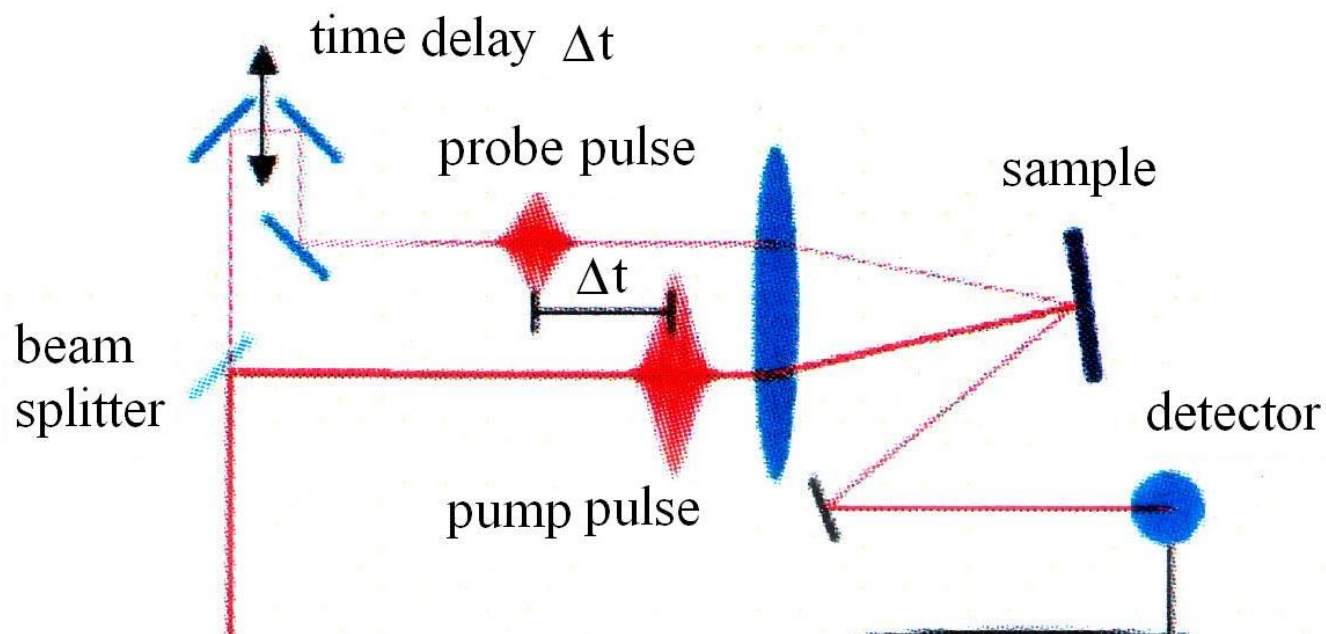


Высокоскоростная фотография



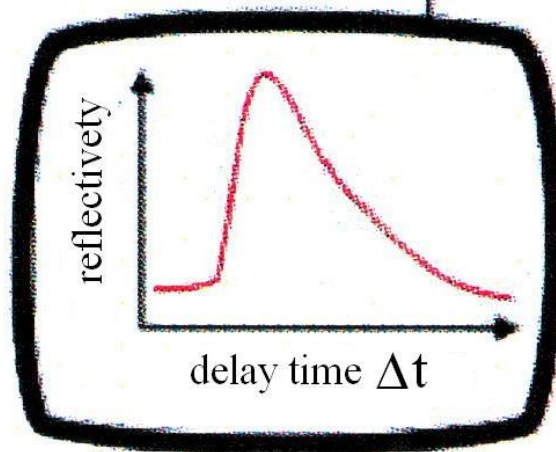
Пуля, пробивающая яблоко.

Сверхбыстрая магнитная динамика

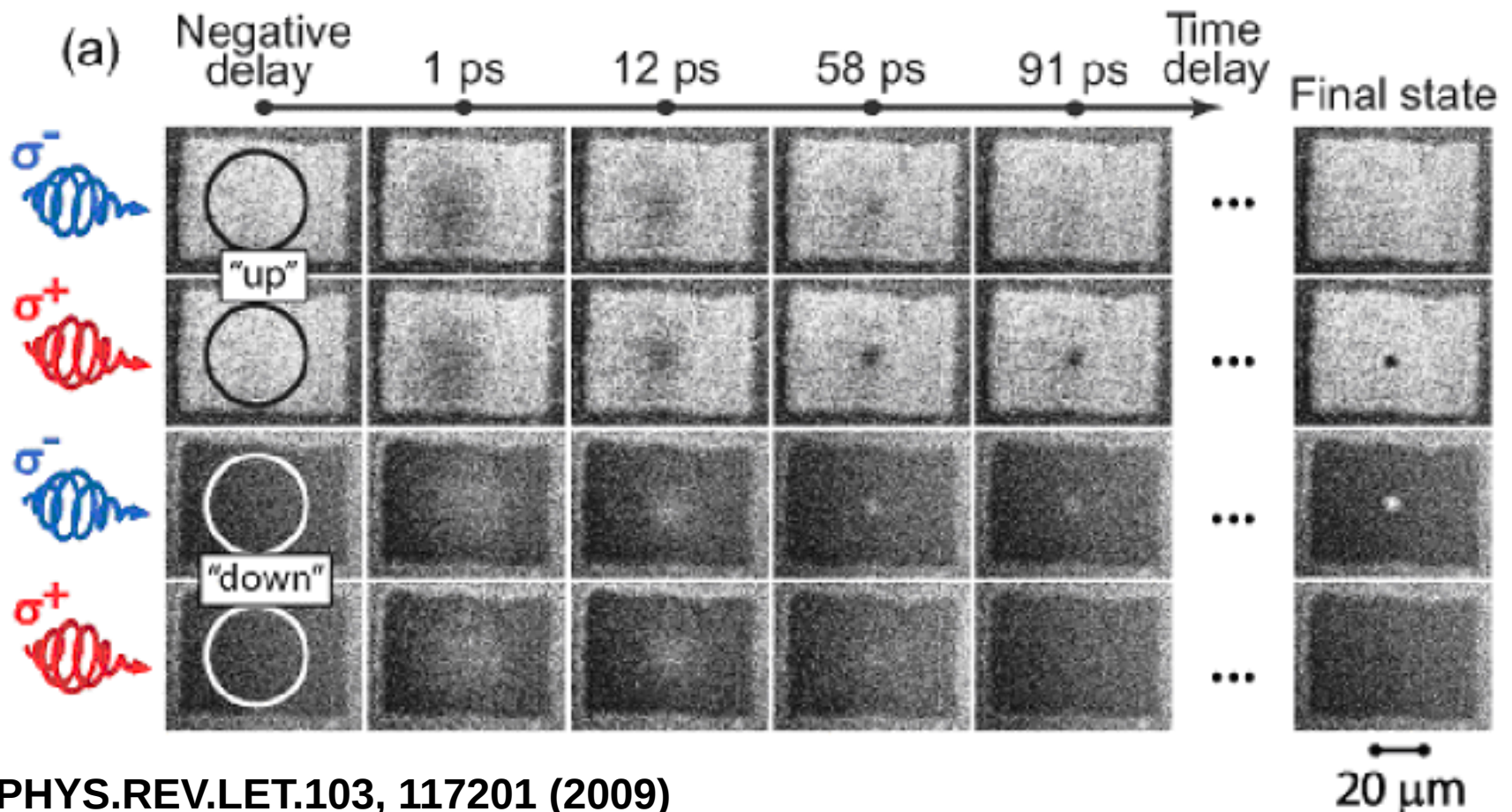


- Энергия в импульсе накачки:
- ✓ превышает норму освещенности помещений в 10^{13} раз
 - ✓ Соответствует магнитному полю 1 Тл

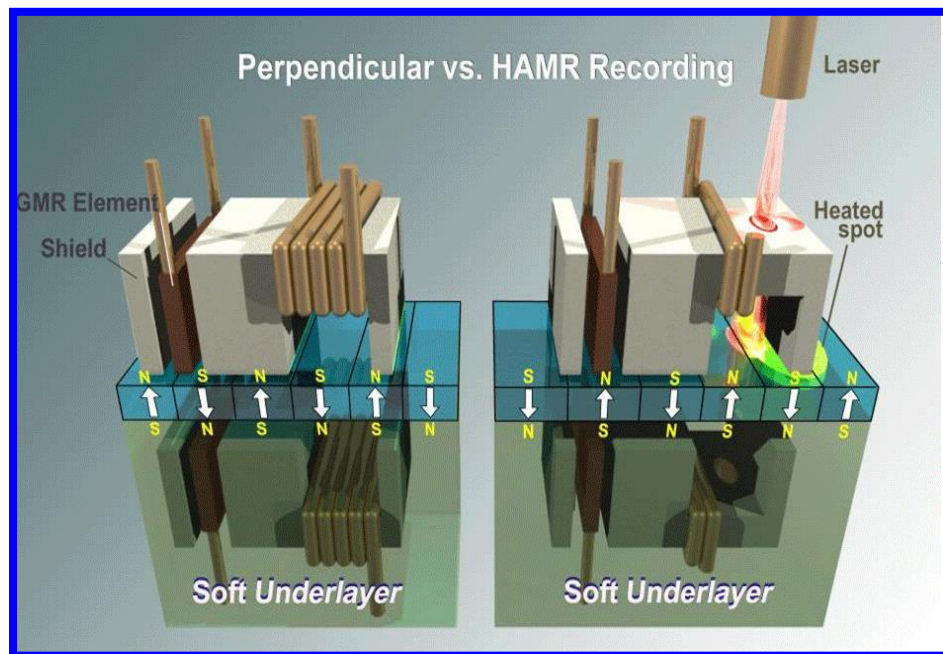
Энергия в импульсе накачки 1 – 10 мДж/см²
длительность импульса около 100 фс.



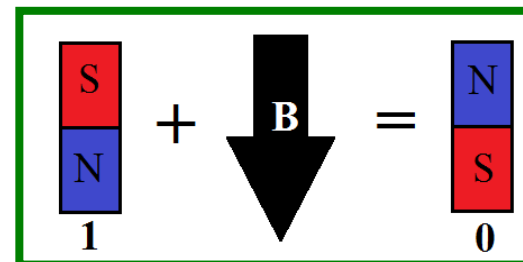
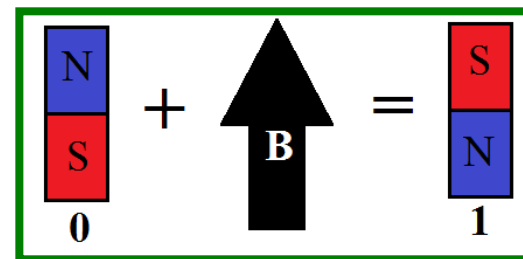
Эволюция намагниченности $\text{Cd}_{24}\text{Fe}_{66,5}\text{Co}_{9,5}$ после возбуждения циркулярно поляризованным светом противоположной киральности при комнатной температуре.



Как перезаписать единицу информации

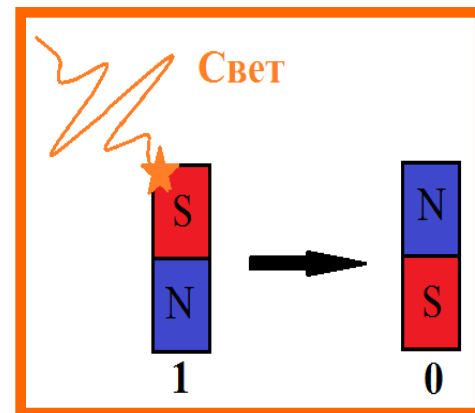
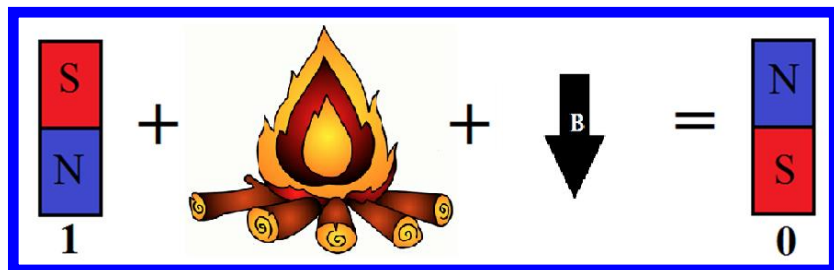


Использовать магнитное поле



Использовать свет

Использовать магнитное поле и нагрев

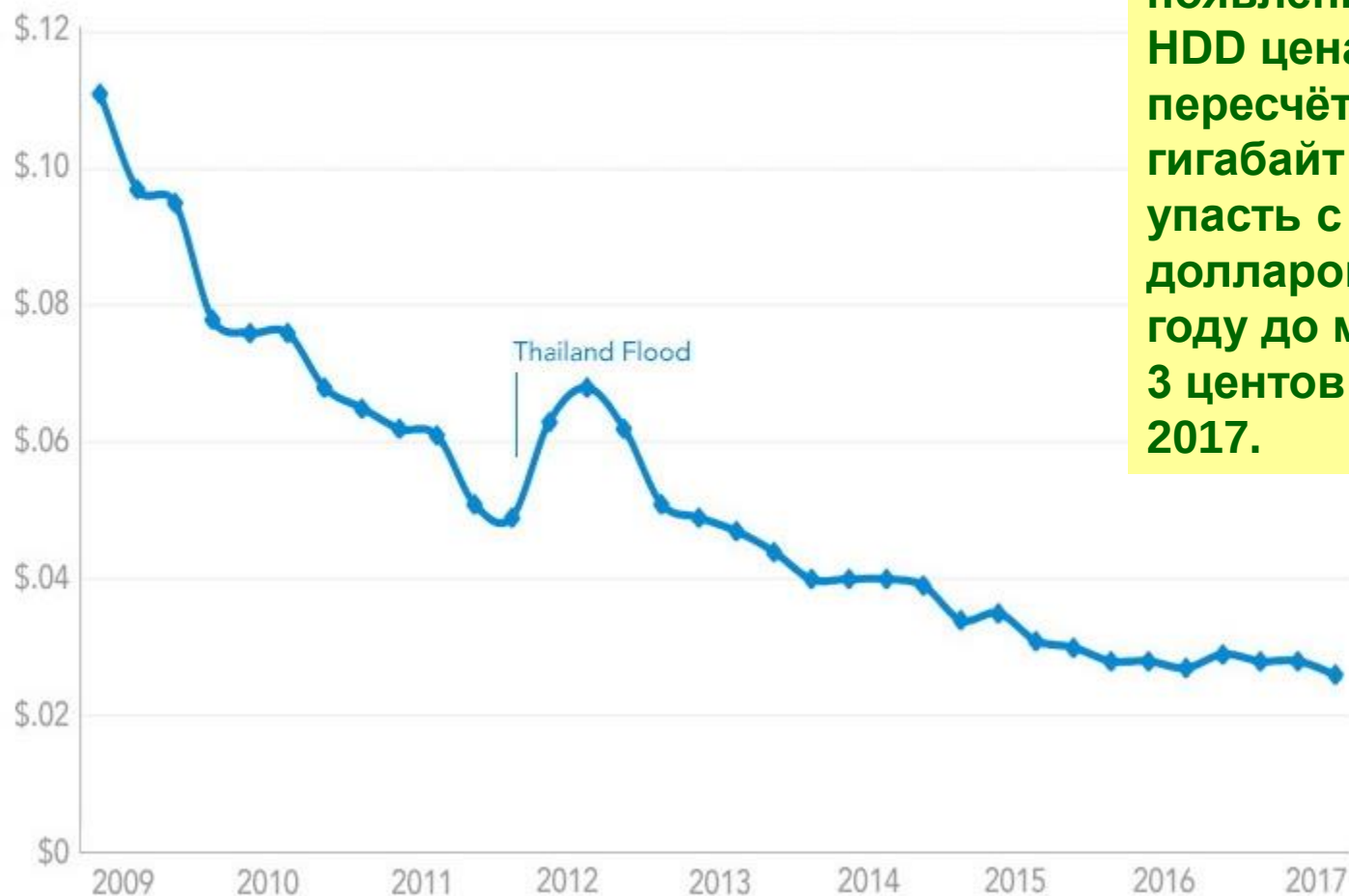


Удельная стоимость хранения данных

Backblaze Average Cost per GB for Hard Drives

By Quarter: Q1 2009 - Q2 2017

С момента появления первого HDD цена в пересчёте на гигабайт успела упасть с 300 тысяч долларов в 1981 году до менее чем 3 центов в году 2017.



В настоящее время облачные центры хранения данных потребляют около 5 % всей энергии, вырабатываемой человечеством.



Только 2 % данных носит долгосрочный характер

В 2020 году наша цивилизация создала 59 триллиона гигабайт (59 зеттабайта = $59 \cdot 10^{21}$)!

В 2025 году ожидается создание – 175 зеттабайт!

Магнитная запись информации

Шапаева Т.Б.

sharaeva@mail.ru

физический факультет МГУ

- ✓ Запись звука
- ✓ Двоичная система счисления
- ✓ Первые компьютеры
- ✓ Принцип магнитной записи
- ✓ Перспективы развития

Время записи 1 бита

1 нс $\rightarrow$ 20 пс = $2 \cdot 10^{-11}$ с

Энергия, необходимая для записи бита

1 нДж $\rightarrow$ 20 аДж = $2 \cdot 10^{-17}$ Дж

