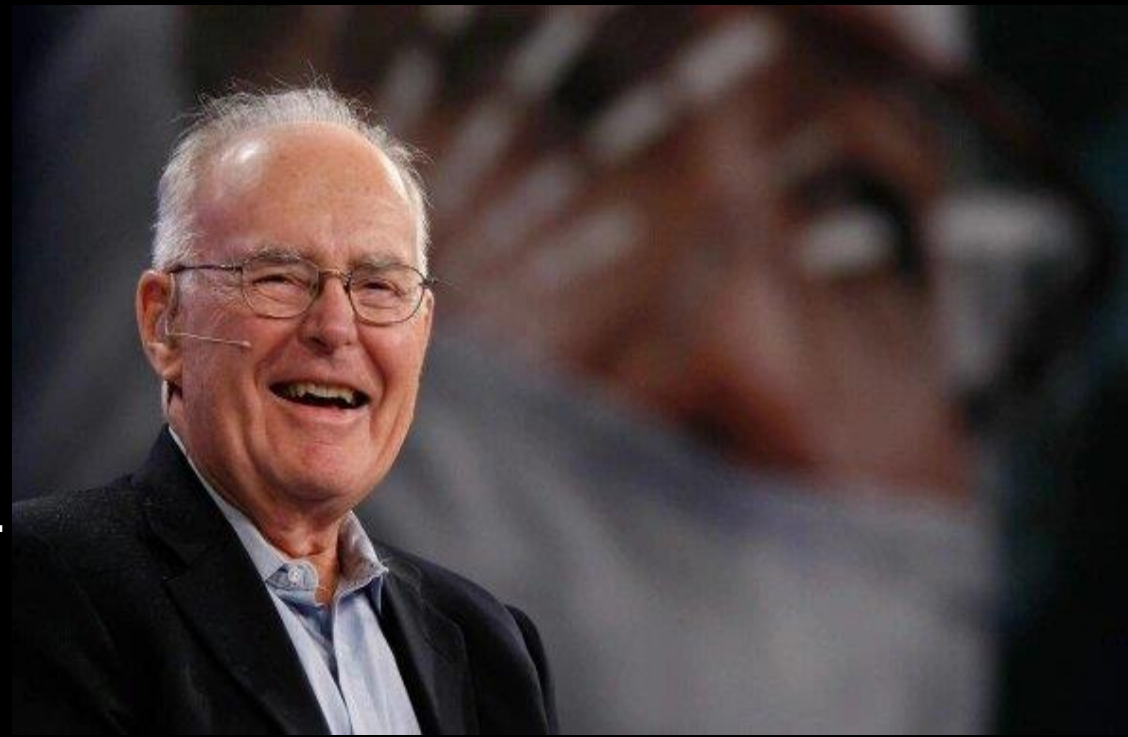


# Закон мура

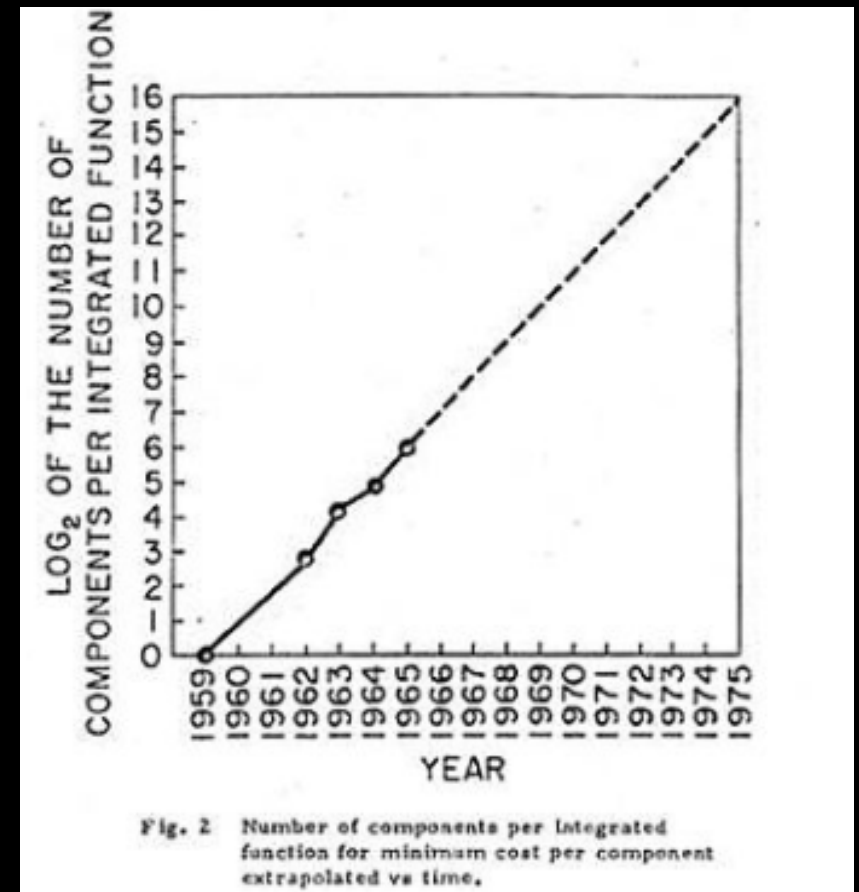


Закон Мура — это наблюдение, сделанное американским инженером и соучредителем Intel Гордоном Муром. В 1965 году он предсказал, что количество транзисторов (это полупроводниковое устройство, которое используют, чтобы усиливать или переключать электрические сигналы и питание) на кремниевом чипе будет удваиваться каждые два года.



Гордон Мур

Закон Мура не аксиома, а описание тенденции. Согласно ей количество транзисторов на интегральной микросхеме удваивается примерно каждые два года. То есть со временем на микросхеме можно разместить больше транзисторов. Таким образом, плотность интеграции транзисторов на микросхемах увеличивается, а их стоимость — снижается. Итог очевиден: технологии становятся эффективнее и дешевле.



График, отражающий закон Мура, согласно которому количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца

В основе закона — неизбежность технологического прогресса. Уменьшение размеров транзисторов и других компонентов на микросхемах позволяет производить более миниатюрные и эффективные транзисторы, что в свою очередь позволяет увеличивать их количество на чипе.

Большее количество транзисторов позволяет увеличивать вычислительную мощность компьютера, добавлять новые функции и возможности и повышает энергоэффективность устройств.

# Почему менялось отношение к закону Мура

Изменение интервала. Гордон Мур утверждал, что количество транзисторов на микросхеме будет удваиваться каждые два года. Однако в последние годы этот интервал начал увеличиваться, и некоторые исследователи говорят о переходе к удвоению каждые три года или даже более длительные интервалы.

Предмет описания. В некоторых случаях термин «закон Мура» также используется для описания не только удвоения количества транзисторов, но и других параметров, таких как производительность процессоров, объем памяти, скорость передачи данных и т.д. Это свидетельствует о расширении и адаптации идеи Мура к различным аспектам технологического прогресса.

Производство. Задача уменьшения размеров транзисторов становится все сложнее. Чтобы продолжать увеличивать плотность интеграции транзисторов в чипы, нужен переход к более сложным технологиям, которые позволяют, например, производить трехмерные интегральные схемы (3D-IC) — в них элементы сложены друг на друга наподобие сэндвича.

# Критика закона Мура

Технические ограничения. Это основной предмет критики. Дело в том, что при уменьшении размеров и так миниатюрных транзисторов возникают проблемы. Например, с увеличением плотности размещения транзисторов возникает больше тепла, что сказывается на производительности.

Финансы и экономика. Развитие новых технологий для поддержания роста плотности интеграции требует значительных инвестиций в исследования и разработку. Экономические ограничения и затраты на развитие новых технологий могут замедлить или остановить соблюдение закона Мура.

Естественные пределы. Никто не отменял основные законы физики, которые могут ограничить дальнейшую плотность интеграции транзисторов. При уменьшении размеров до нанометров (нм) возникают различные физические ограничения, из-за которых возникают нежелательные эффекты или теряется энергия.

Технологические инновации. История человечества не раз показывала, что на смену старым технологиям приходят новые. Такая участь может постигнуть и кремниевую электронику — и тогда сам разговор об увеличении числа транзисторов на микросхемах потеряет смысл.

# Валерий Шунков, кандидат технических наук:

«Физика усложняется с каждым новым поколением. В самых первых микросхемах было десять химических элементов, в современных — три четверти таблицы Менделеева. Сегодня, когда мы говорим о новых проектах, то это колоссальный вызов с точки зрения физики. 0,4 нм — 4 атома. Всем было понятно, что 20 микрон — с точки зрения физики твердого тела очень большие цифры. Единицы нм — физика переходит из физики твердого тела в кванты. Было понятно, что все такие штуки упрутся в фундаментальные физические ограничения — переход в кванты. Сейчас это обманули ушлые технологи: закон Мура отвязался от физики».

# Работает ли закон Мура сейчас и когда он перестанет работать

Сегодня некоторые аспекты закона Мура продолжают соблюдаться, но выполнение его прямого условия — удвоение числа транзисторов на чипе каждые два года — стало более сложным. Вместо этого индустрия полупроводников исследует и применяет различные стратегии для поддержания роста производительности и функциональности чипов. Для этого используют новые материалы, разрабатывают более эффективные архитектуры и специализированные решения.



Скорость удвоения количества транзисторов на чипе снижается, что противоречит закону Мура. В этом случае используется термин «антимуровский закон».

У него нет конкретного автора и строгого определения. Предположительно, он появился в научном сообществе или индустрии для обозначения расхождений в ожиданиях и действительности в развитии кремниевой электроники. Он, как и закон Мура, не является непреложным правилом, а лишь отражает тенденцию.

По некоторым оценкам, до 40% глобального роста производительности, достигнутого за последние два десятилетия, объясняется распространением информационных и коммуникационных технологий, которое стало возможным благодаря именно повышению производительности и стоимости полупроводников.

Валерий Шунков:

«Соревнование между ведущими производителями продолжается и даже приобретает новые смыслы. Последние лет десять многие говорили, что закон Мура исчерпал себя и не нужен. Драйвером закона Мура всегда были персональные компьютеры, а сейчас любые необходимые человеку вычислительные мощности можно засунуть не то что в мобильник, а даже в часы. Вопрос в размере батарейки.

С ростом популярности искусственного интеллекта и технологий, основанных на нем, стало понятно, в чем может быть польза закона. Мощности, которые потребляют AI-фичи, — это уже проценты от общего энергопотребления планеты, и оно только растет. Задача оптимизировать технологии, чтобы повысить энергоэффективность, снова актуальна. В последние года два эксперты опять говорят, что закон Мура нужен, важен и надо искать способы, чтобы он продолжал работать».

# Вывод:

В последнее время, чтобы получить возможность задействовать на практике ту дополнительную вычислительную мощность, которую предсказывает закон Мура, стало необходимо задействовать параллельные вычисления. На протяжении многих лет производители процессоров постоянно увеличивали тактовую частоту и параллелизм на уровне инструкций, так что на новых процессорах старые однопоточные приложения исполнялись быстрее без каких-либо изменений в программном коде.

Примерно с середины 2000-х годов производители процессоров предпочитают, по разным причинам, многоядерные архитектуры, и для получения всей выгоды от возросшей производительности ЦП программы должны переписываться в соответствующей манере. Однако не каждый алгоритм поддается распараллеливанию, определяя, таким образом, фундаментальный предел эффективности решения вычислительной задачи согласно закону Амдала.

Спасибо за внимание!