Рандомизированные алгоритмы в управлении и обработке данных II

Олег Николаевич Граничин
Санкт-Петербургский государственный университет
Oleg_granichin@mail.ru

«III ТМШ», Усадьба Гончаровых , 16 июня 2011 г.

Что такое вычисления?

- от Абака
- до Компьютера
- ...?

Тезис Черча-Тьюринга

1. В информатике принимают на веру тезис Черча-Тьюринга о том, что любой процесс, который интуитивно мог бы быть назван процедурой, реализуем машиной Тьюринга

При разработке нового вычислительного устройства "в железе" надо только уметь реализовывать несколько элементарных операций, а любой более сложный алгоритм может быть составлен из их последовательного или параллельного применения

2. Это ведет к разделению направлений работ:

одни создают "железо", другие разрабатывают алгоритмы

Уменьшение элементной базы

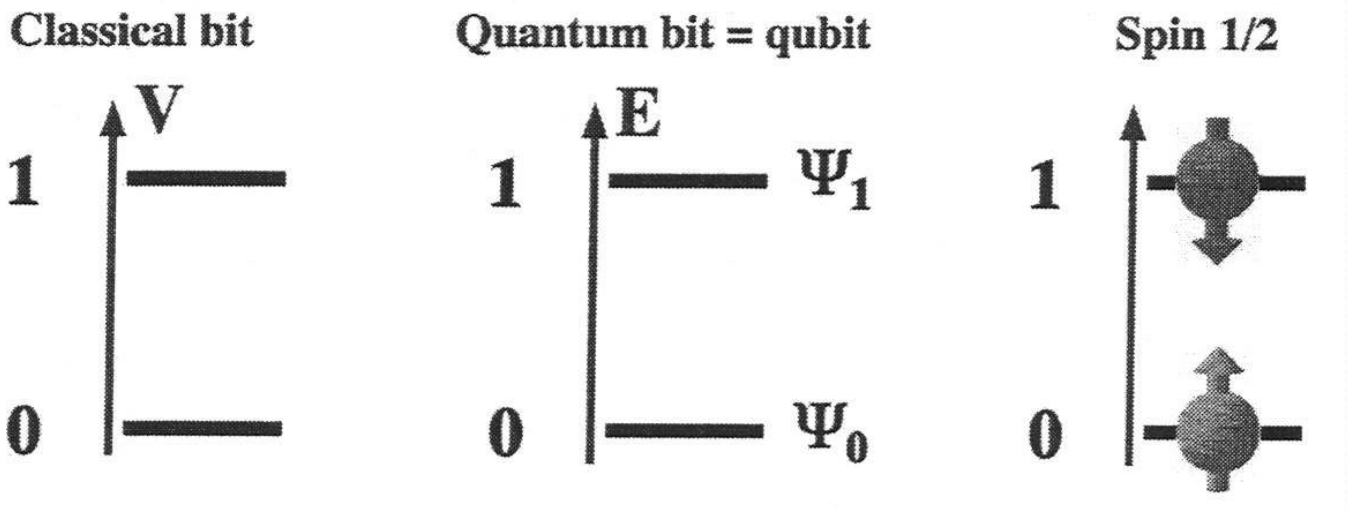
3. Основа современной ВТ – полупроводники (диоды и транзисторы)

- За последние 40 лет каждые 18 месяцев размер "вентиля" в ВУ уменьшается в два раза (Закон Мура)
- В 2011 будет запущен завод производящий микросхемы по технологии 22 нм
- Уровень 100А=10нм – размер молекул – предельная величина
- Вся логика развития элементной базы ВТ ведет к "молекулярной электронике", но в силу принципа неопределенности Гейзенберга в ней очень мало места для классической информации – битов {0} и {1}, неизменяющихся на протяжении одного такта ВУ

Основы квантовых вычислений: Квантовая информация

Дискретная

Непрерывная



Система не обязательно находится в одном из состояний {0} или {1}.
Она может быть линейной комбинацией этих состояний:

$$|\Psi\rangle = a|\Psi 0\rangle + b|\Psi 1\rangle$$

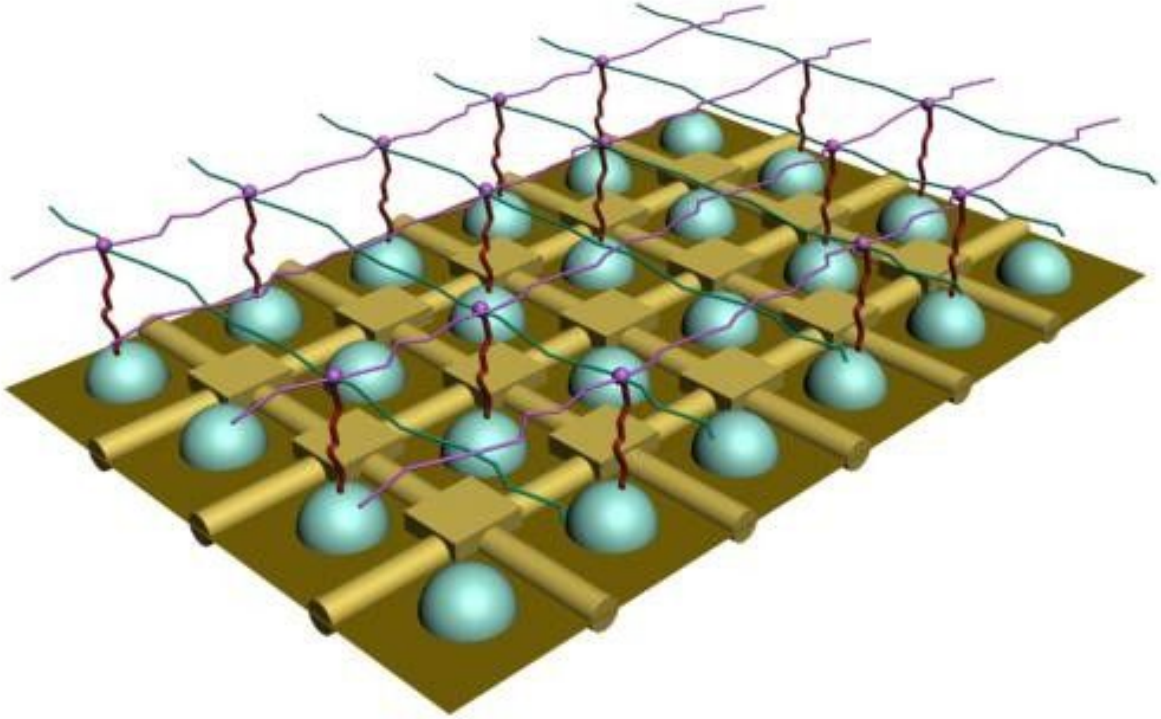
Будущий «скачок»

Изучение проблем в математическом описании различных быстроизменяющихся динамических процессов приводит к выводу о том, что в природе есть очень много важных процессов, которые принципиально не описываются конечномерными моделями

Примеры: кластеризация в потоках концентрированных дисперсных смесей, образование многомасштабных вихревых структур в турбулентных течениях жидкости и пластических течениях твердых материалов при импульсном нагружении, образование белка в клетках живых микроорганизмов, а также иерархии структур в живых системах

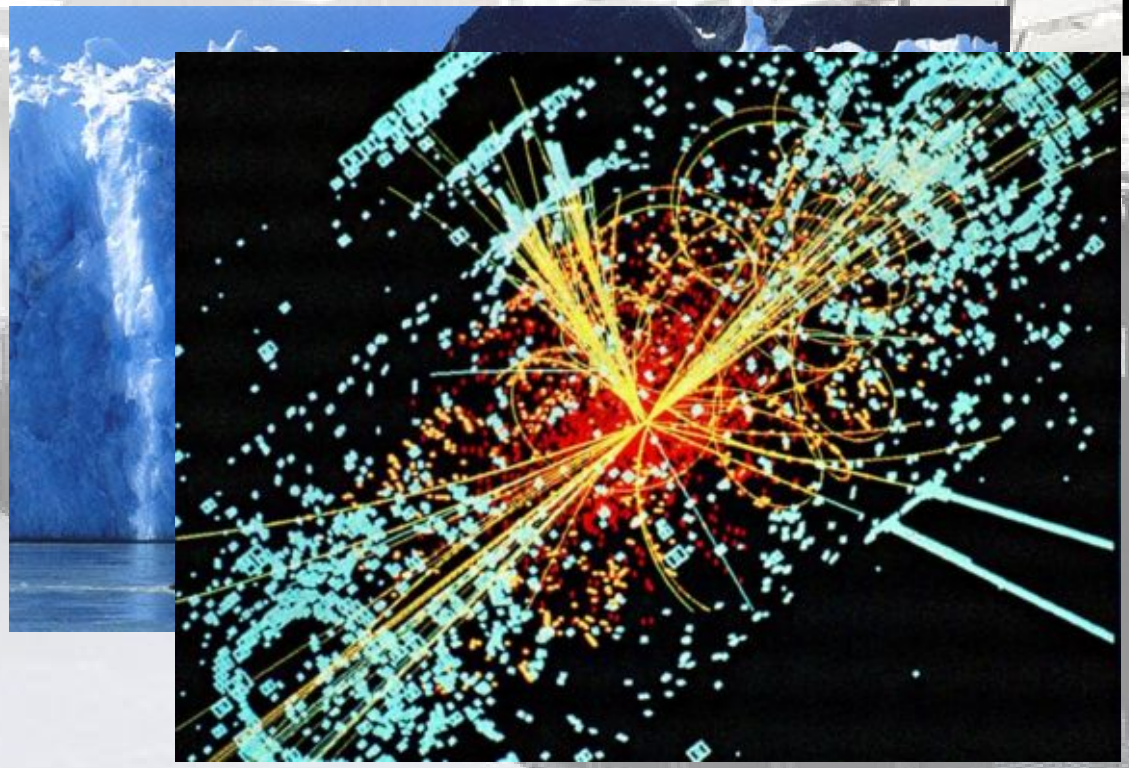
Вполне вероятна ошибочность тезиса Черча-Тьюринга, т. е. совсем не обязательно какое-то вновь придуманное изобретателем новое вычислительное устройство будет эквивалентно (в смысле вычислительной мощности) набору из более простых

***Вывод**:* качественный скачок в развитии ВТ произойдет при соединении усилий разработчиков "железа" и алгоритмов на разработке высокоэффективных сложных "железок", способных решать сложные задачи

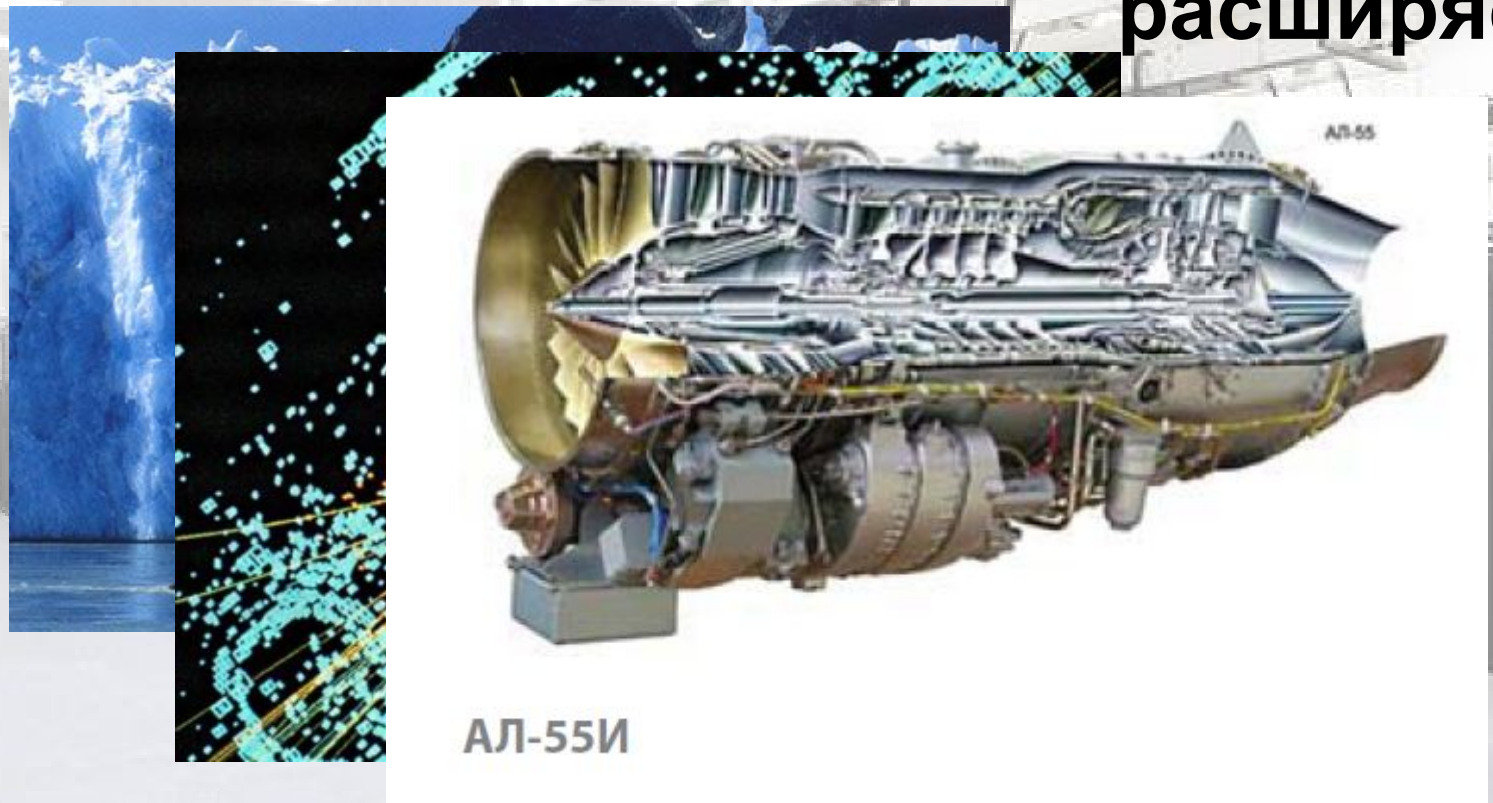


Область применения суперкомпьютеров постоянно расширяется !

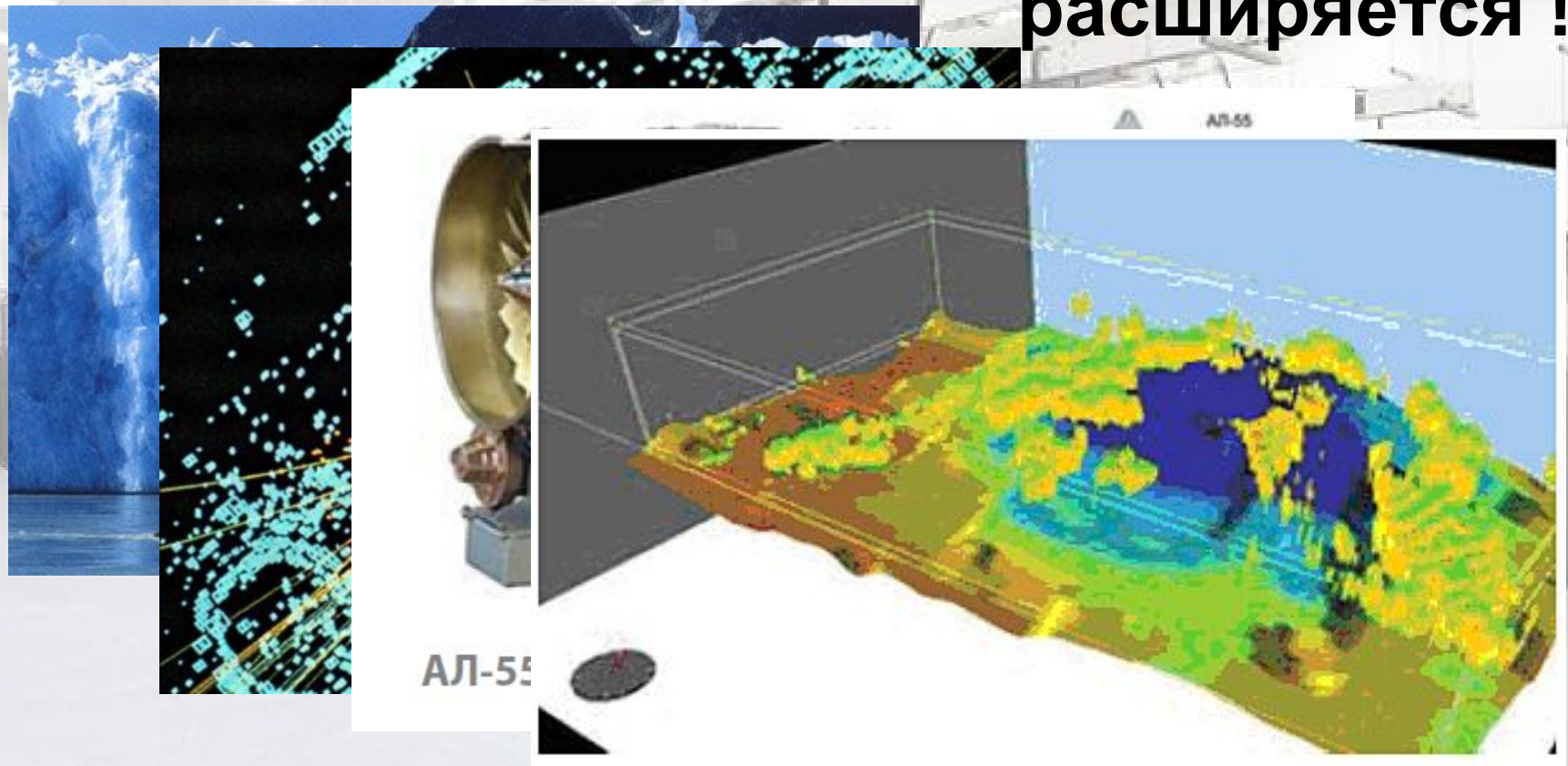
Область применения суперкомпьютеров постоянно расширяется !



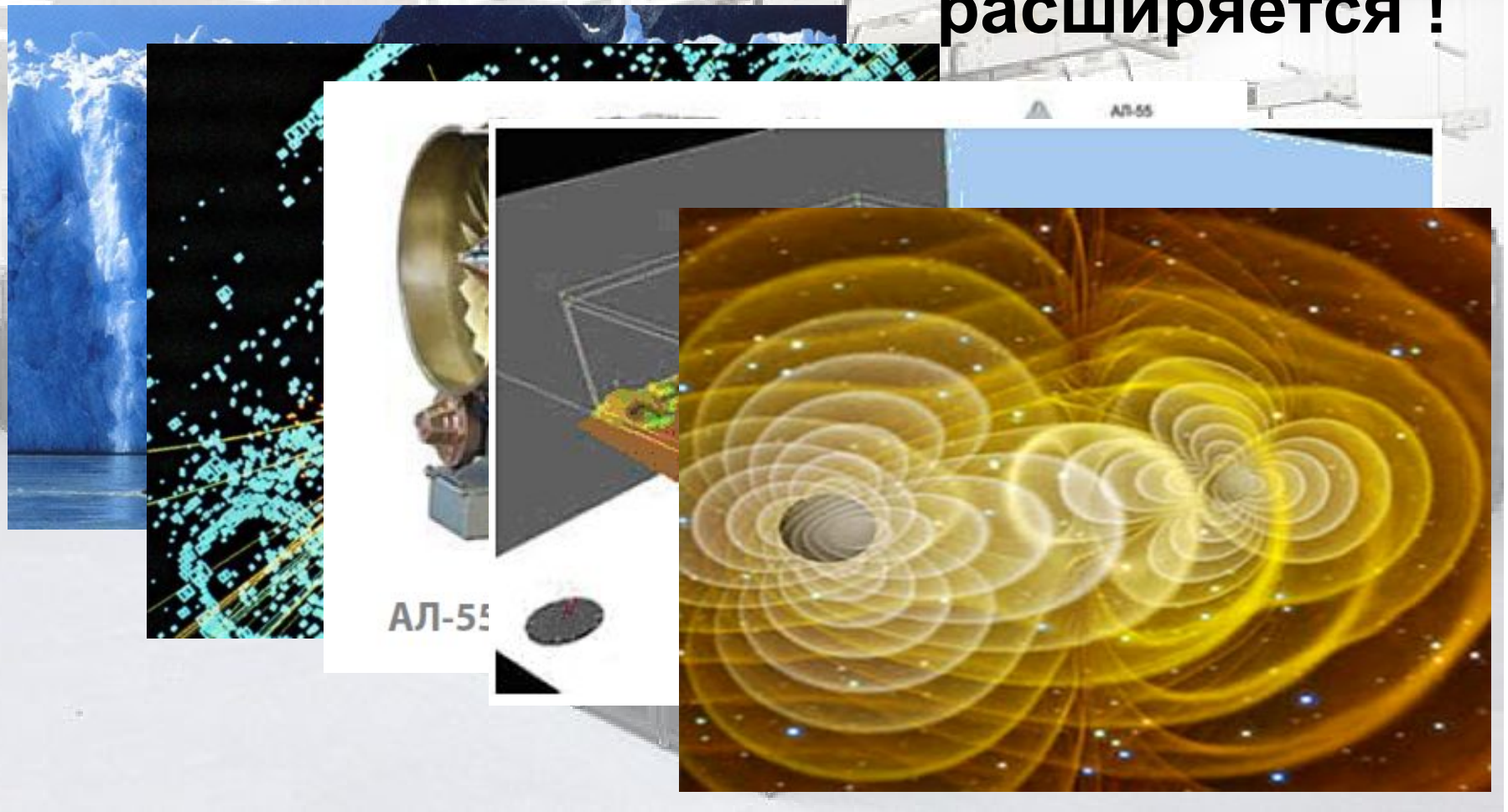
Область применения суперкомпьютеров постоянно расширяется !



Область применения суперкомпьютеров постоянно расширяется !

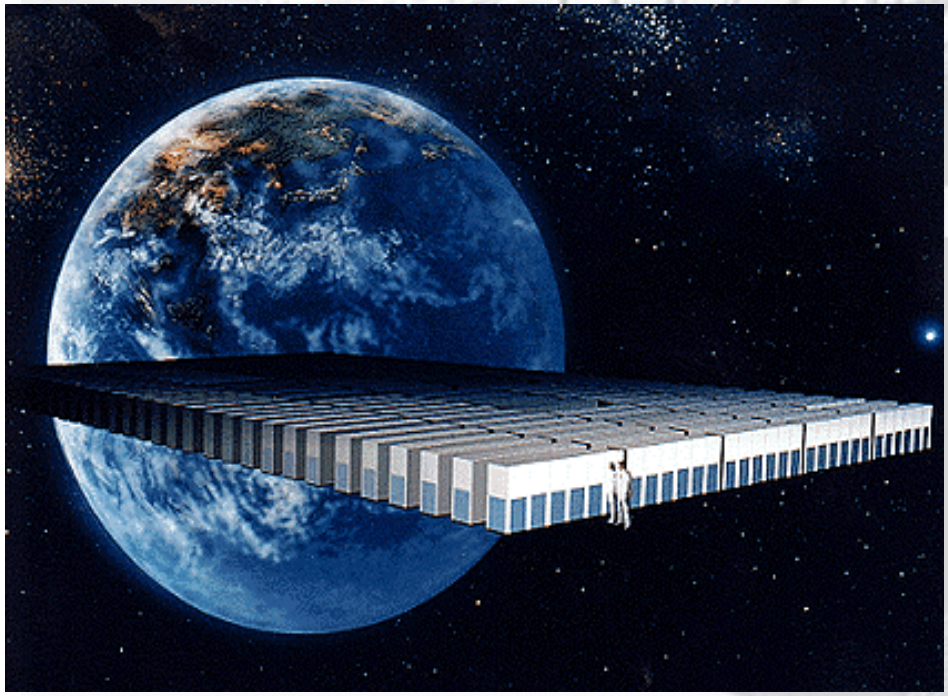


Область применения суперкомпьютеров постоянно расширяется !



Новые потребности

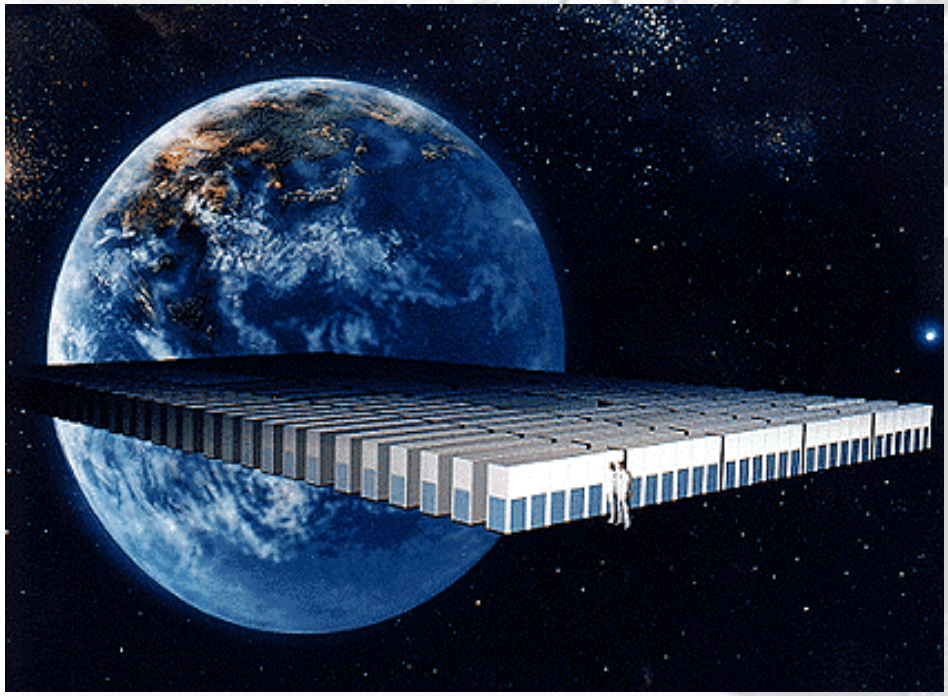
- Глобализация задач
- Возрастающие вычислительные мощности



- Экспоненциальное возрастание сложности вычислительных систем

Новые потребности

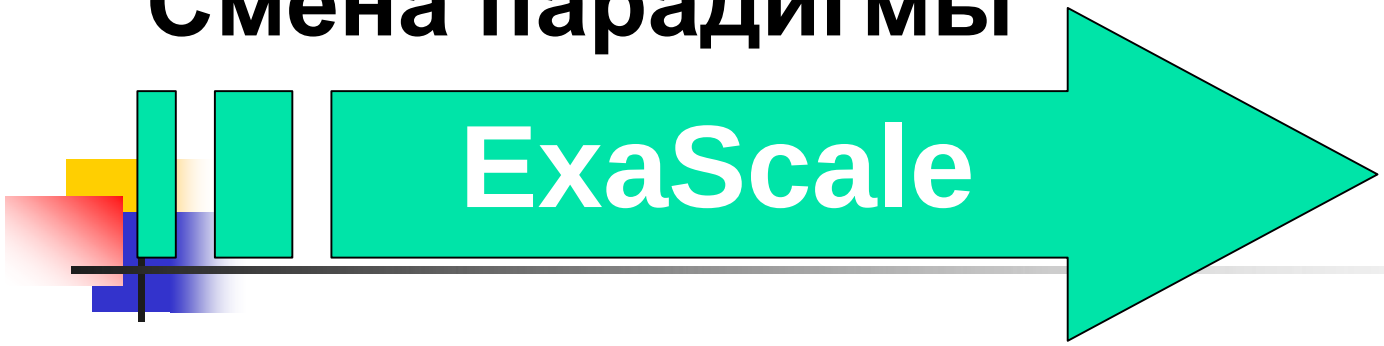
- Глобализация задач
- Возрастающие вычислительные мощности



Экспоненциальное возрастание сложности вычислительных систем

Назревает смена парадигмы !

Смена парадигмы



- *Степень параллельности*
- *Надежность*
- *Энергопотребление*
- *Модель программирования*
- *Неоднородность*
- *Сложная иерархия памяти*
- *Сверхпараллельный ввод/вывод*
- *Стек системного и прикладного ПО*
- *…*

Смена парадигмы

ExaScale

Процесс вычисления – набор асинхронных моделей взаимодействующих динамических систем

Стохастичность

Гибридность

Асинхронность

Кластерность

……

Поколения компьютеров

1

2

3

4

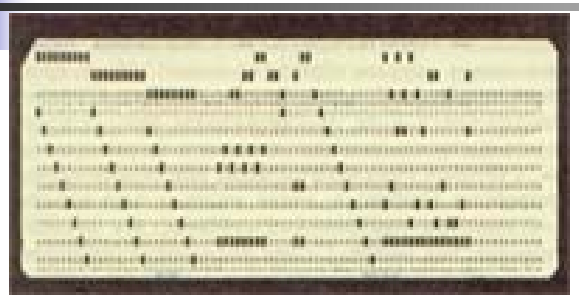
5

?

Поколения развития теории управления

- регуляторы механических систем (XIX в.)
- ...
- глубокая интеграция с цифровыми технологиями обработки данных и принятия решений (конец XX в.)
- управления на сетях объектов (XXI в.)
- ?

Изменение функциональности



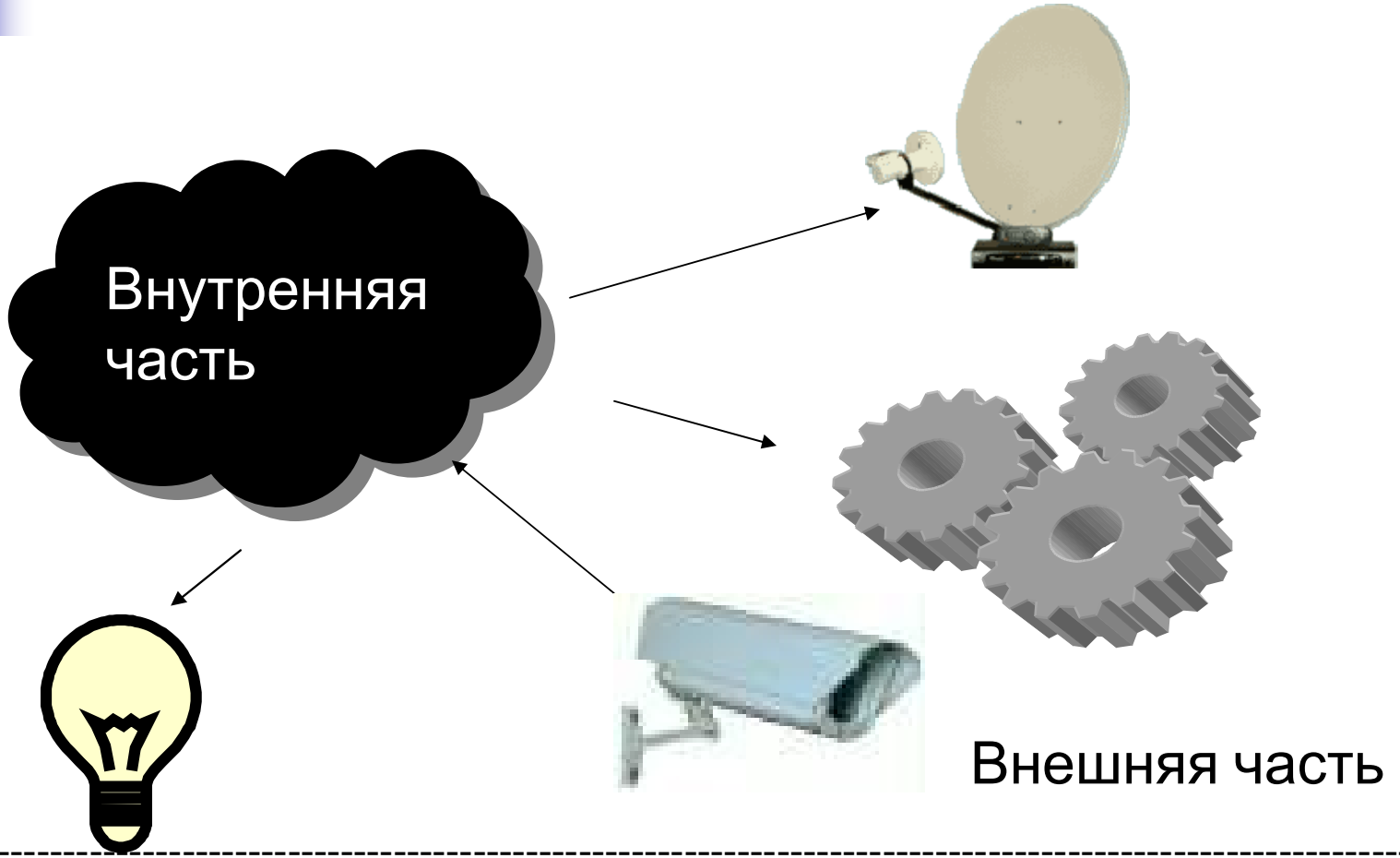
Компьютеры, ориентированные на задачу

Операционные системы, многозадачность, универсальность и т.п.

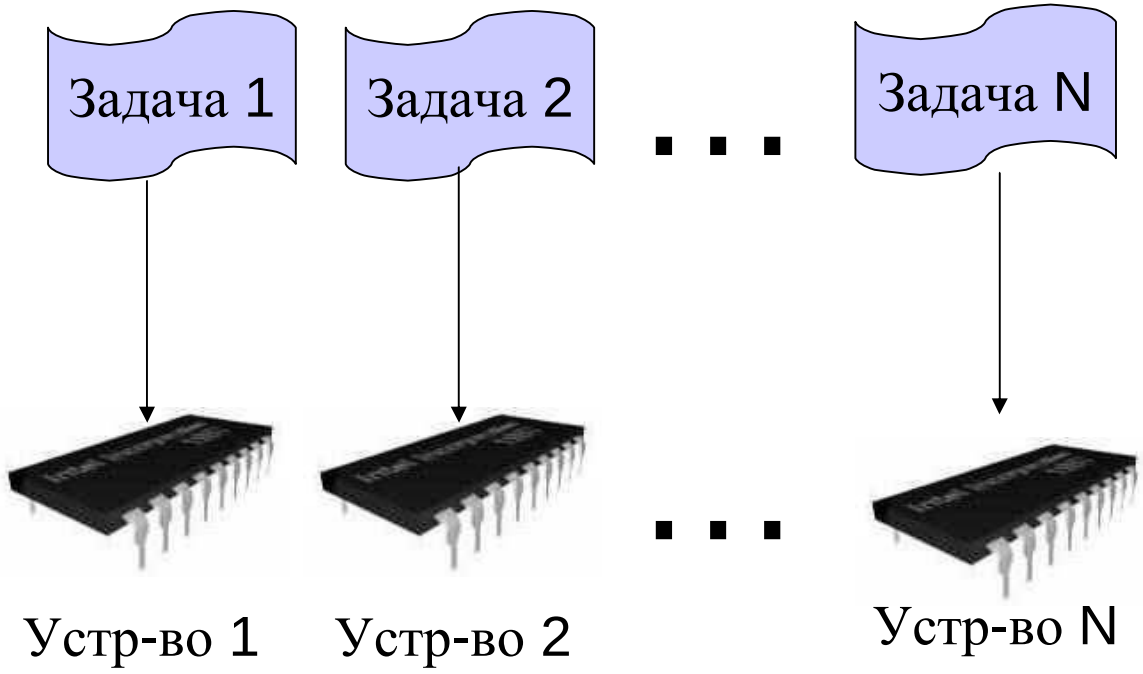
Что дальше?

The Intelligent System

Как создать искусственный интеллект ?



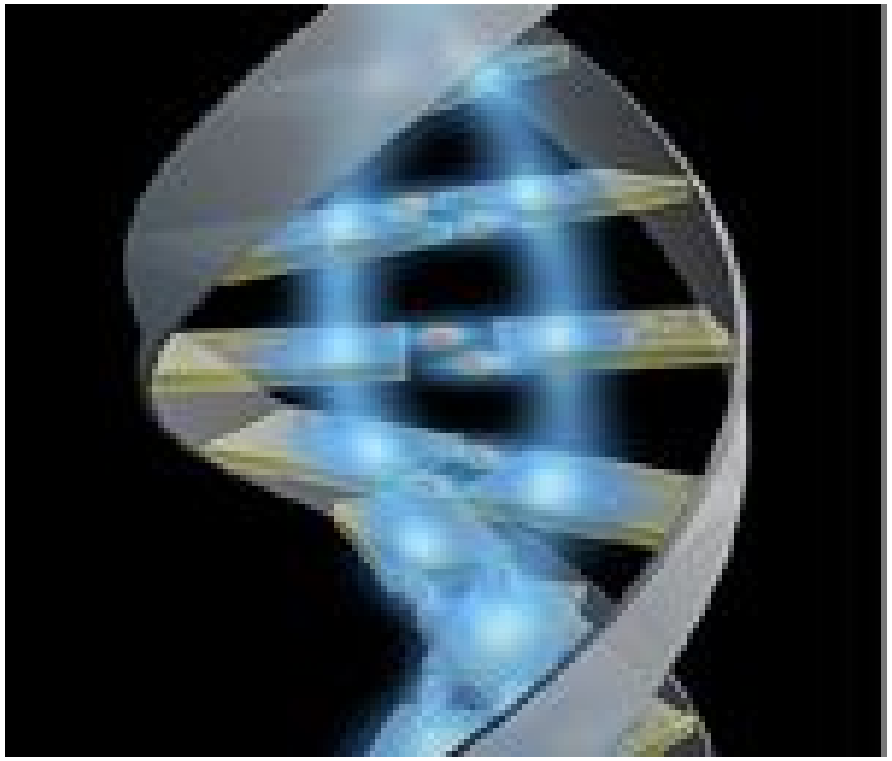
Интеллектуальный выбор

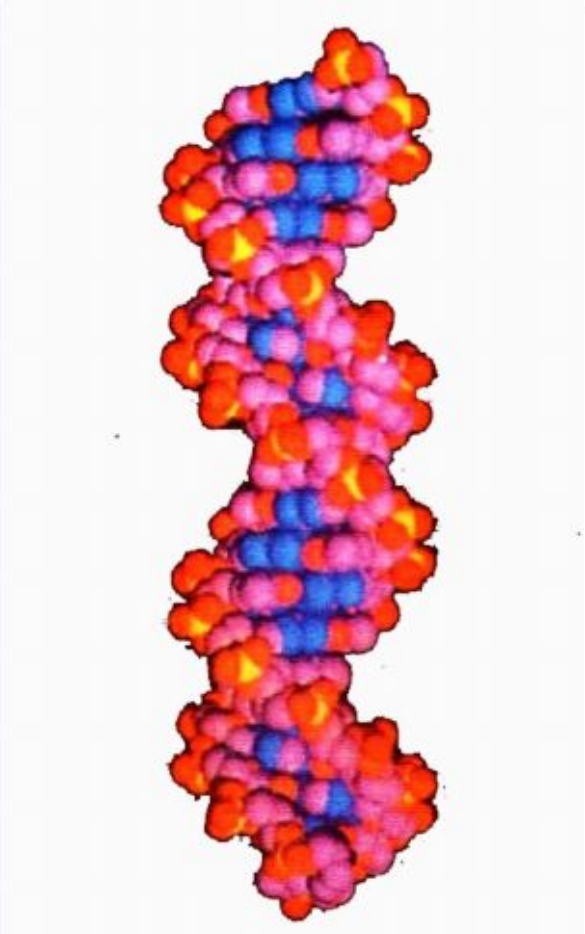


Условия для внутренней части ИС

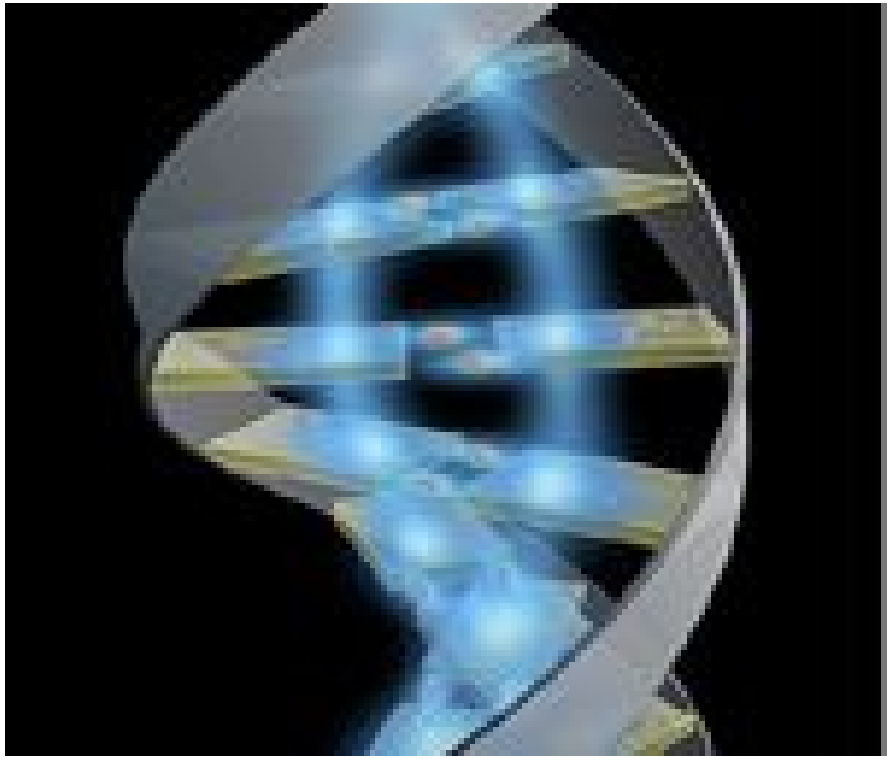
- Для любой задачи в системе есть специальное устройство для ее решения
- Информация из внешнего мира «доставляется» ко всем таким устройства одновременно

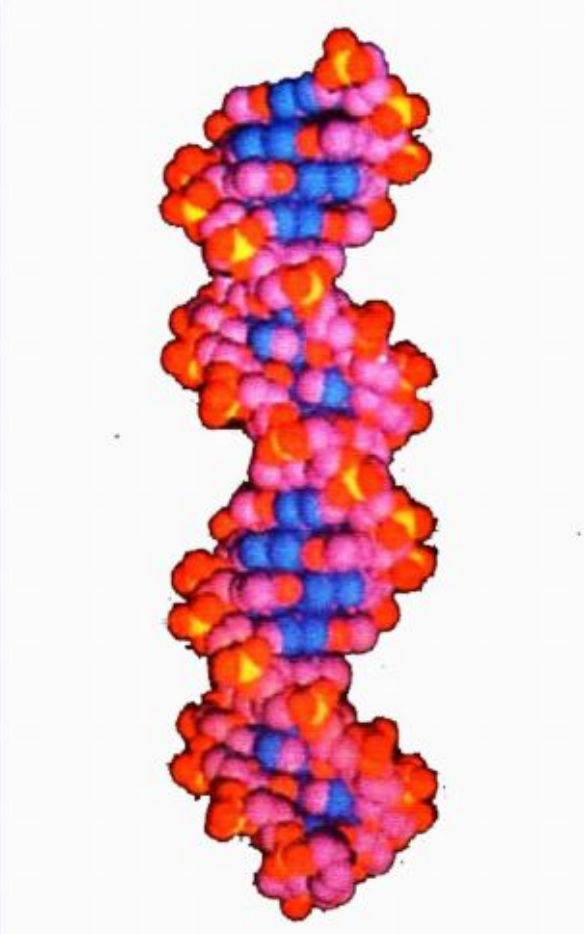
Реализация внутренней части



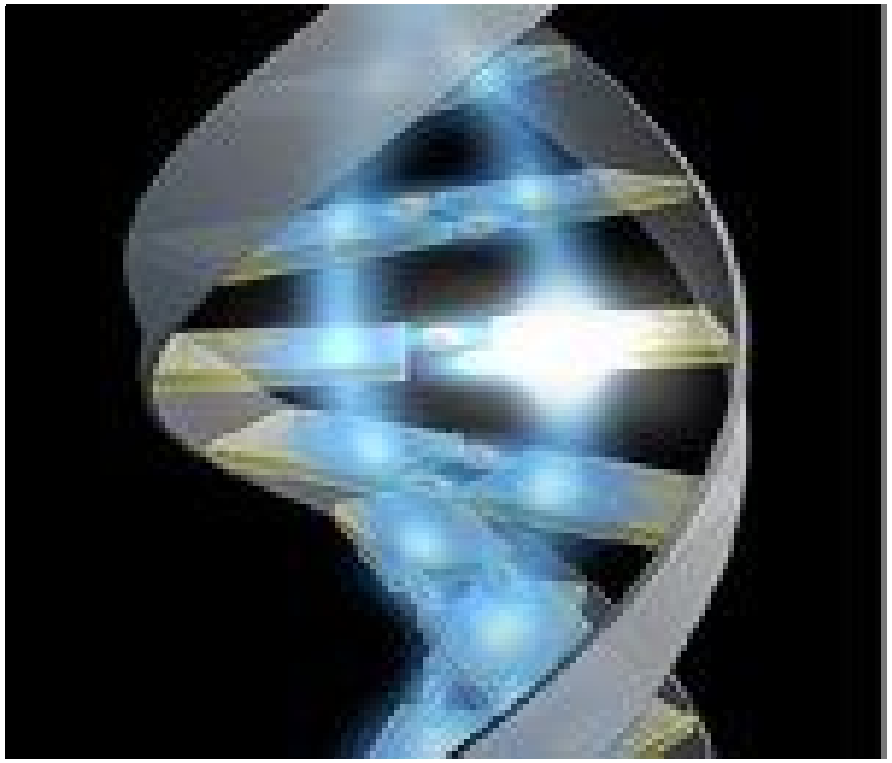


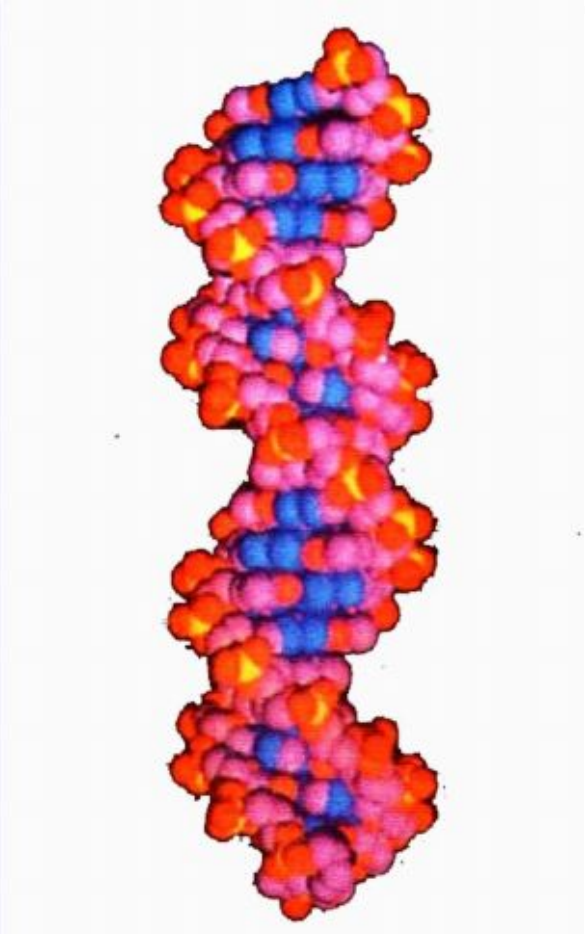
Информационный резонанс





Информационный резонанс





Многомерная оптимизация

$x_1, x_2, \ldots$ — точки наблюдений $\in \mathbb{R}^d$

$y_1, y_2, \ldots$ — наблюдения $\in \mathbb{R}^1$

$$y_n = F(x_n, w_n) + v_n$$

$w_1, w_2, \ldots$ — неконтролируемые случайные возмущения с неизвестным распределением $\mathsf{P}(\cdot)$

$v_1, v_2, \ldots$ — неизв., но ограниченные (неслучайн.)

Цель

$$f(x) = \int F(x, w)\mathsf{P}(dw) \to \min$$

Алгоритм SPSA

$\Delta_1, \Delta_2, \ldots$ — probing sampling with Bernoulli distribution (simultaneous perturbation) $\Delta_n = \begin{pmatrix} \pm 1 \\ \pm 1 \\ \vdots \\ \pm 1 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^d$

$$\widehat{\theta}_0 \in \mathbb{R}^d$$

$$x_n^{\pm} = \widehat{\theta}_{n-1} \pm \beta_n^{\pm} \Delta_n$$

$$\widehat{\theta}_n = \widehat{\theta}_{n-1} - \frac{\alpha_n}{\beta_n^+ + \beta_n^-} \Delta_n (y_n^+ - y_n^-)$$

Алгоритм с одним измерением

$$x_n = \widehat{\theta}_{n-1} - \beta_n \Delta_n$$

$$\widehat{\theta}_n = \widehat{\theta}_{n-1} - \frac{\alpha_n}{\beta_n} \Delta_n y_n$$

Алгоритм с одним измерением

$$x_n = \widehat{\theta}_{n-1} - \beta_n \Delta_n$$

$$\widehat{\theta}_n = \widehat{\theta}_{n-1} - \frac{\alpha_n}{\beta_n} \Delta_n y_n$$

- Сокращение числа наблюдений до 1 или 2 вместо $2d$

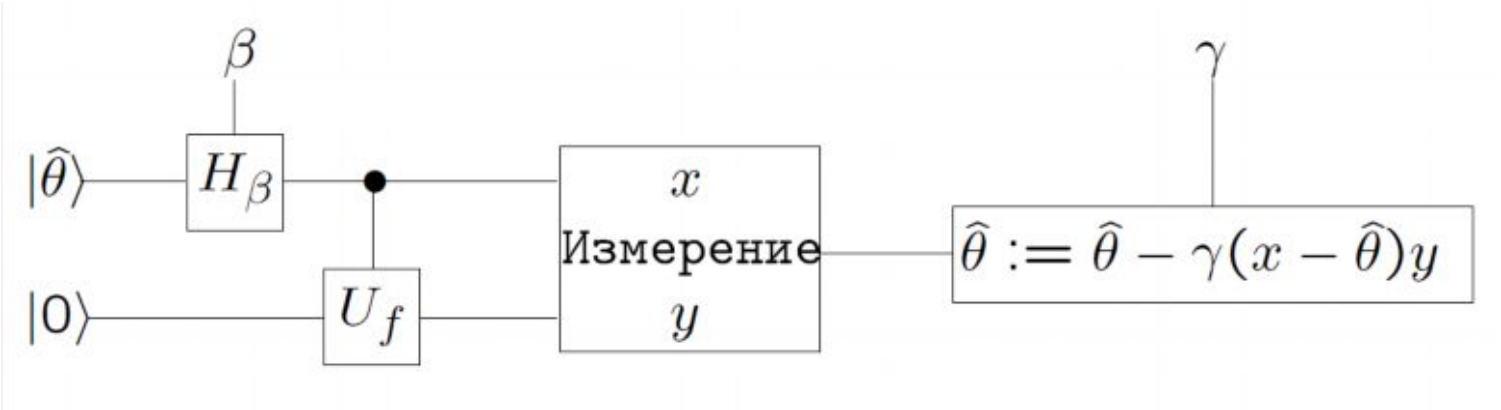
Преимущества SPSA

- Асимптотически оптимальная скорость сходимости
- Min число измерений на итерации
- Состоятельность при почти произвольных помехах
- Работоспособность в нестационарных задачах
- Легко может быть реализован на квантовом компьютере

Вычисление градиента «за такт»

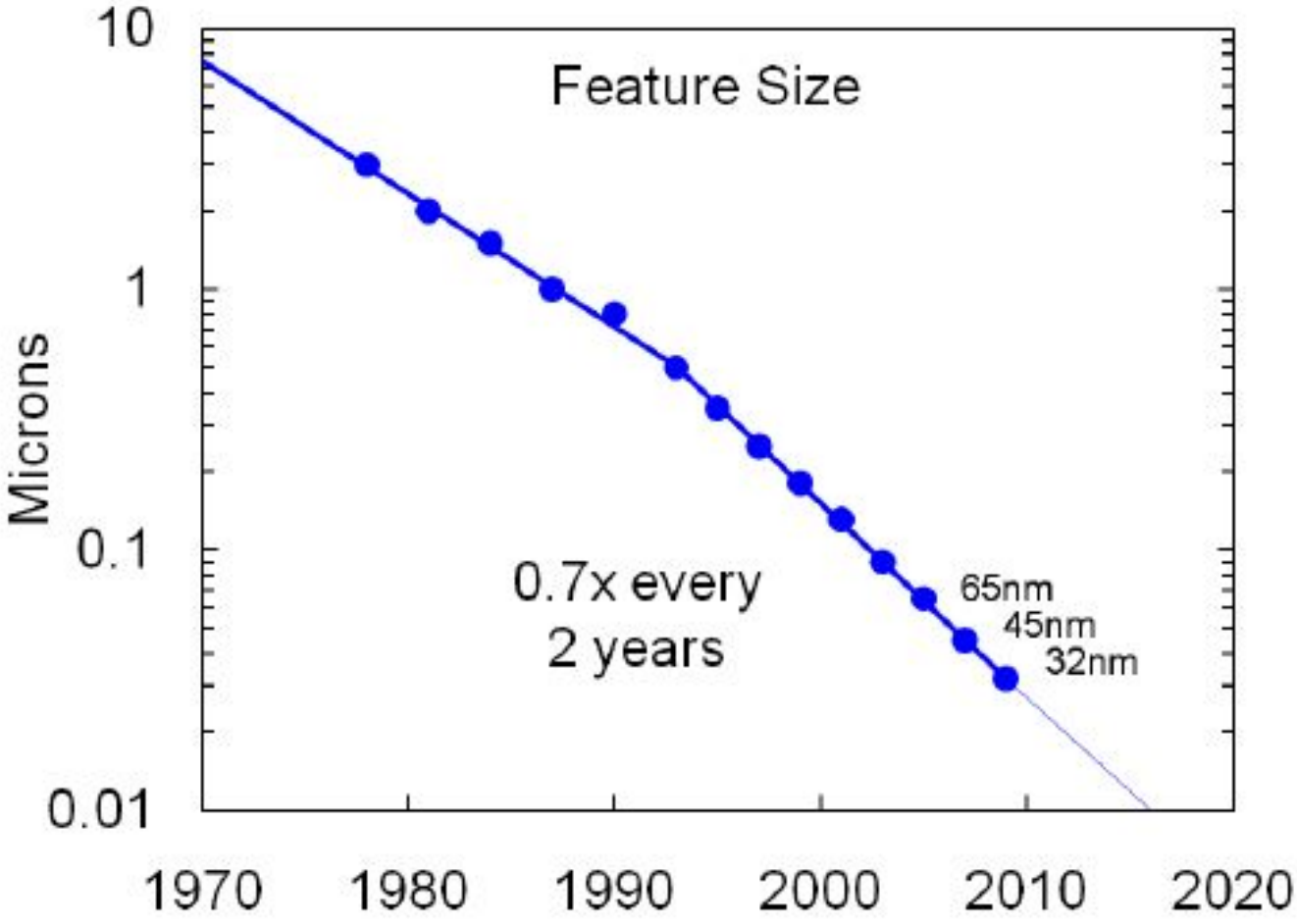
$$\hat{\theta}_k = \hat{\theta}_{k-1} - \gamma_k (x_k - \hat{\theta}_{k-1}) y_k, \quad x_k = \hat{\theta}_{k-1} + \beta_k \Delta_k, \quad y_k = f(x_k) + v_k, \quad \gamma_k = \frac{\alpha_k}{\beta_k^2}$$

$$U_f : |x\rangle |z\rangle \to |x\rangle |z \oplus f(x)\rangle, \quad x_k = H_\beta |\hat{\theta}_{k-1}\rangle = \frac{1}{2^{\frac{d}{2}}} \sum_{\Delta_i \in \{-1,+1\}^d} |\hat{\theta}_{k-1} + \beta_k \Delta_i\rangle$$



$$|\hat{\theta}_{k-1} + \beta_k \Delta_i\rangle |f(\hat{\theta}_{k-1} + \beta_k \Delta_i)\rangle, \quad \Delta_i \in \{-1,+1\}^d.$$

- Количество транзисторов на единице поверхности удваивается каждые 18 месяцев (закон Мура)



- Меньшие транзисторы повышают потребительские свойства, сокращают энергозатраты и стоимость

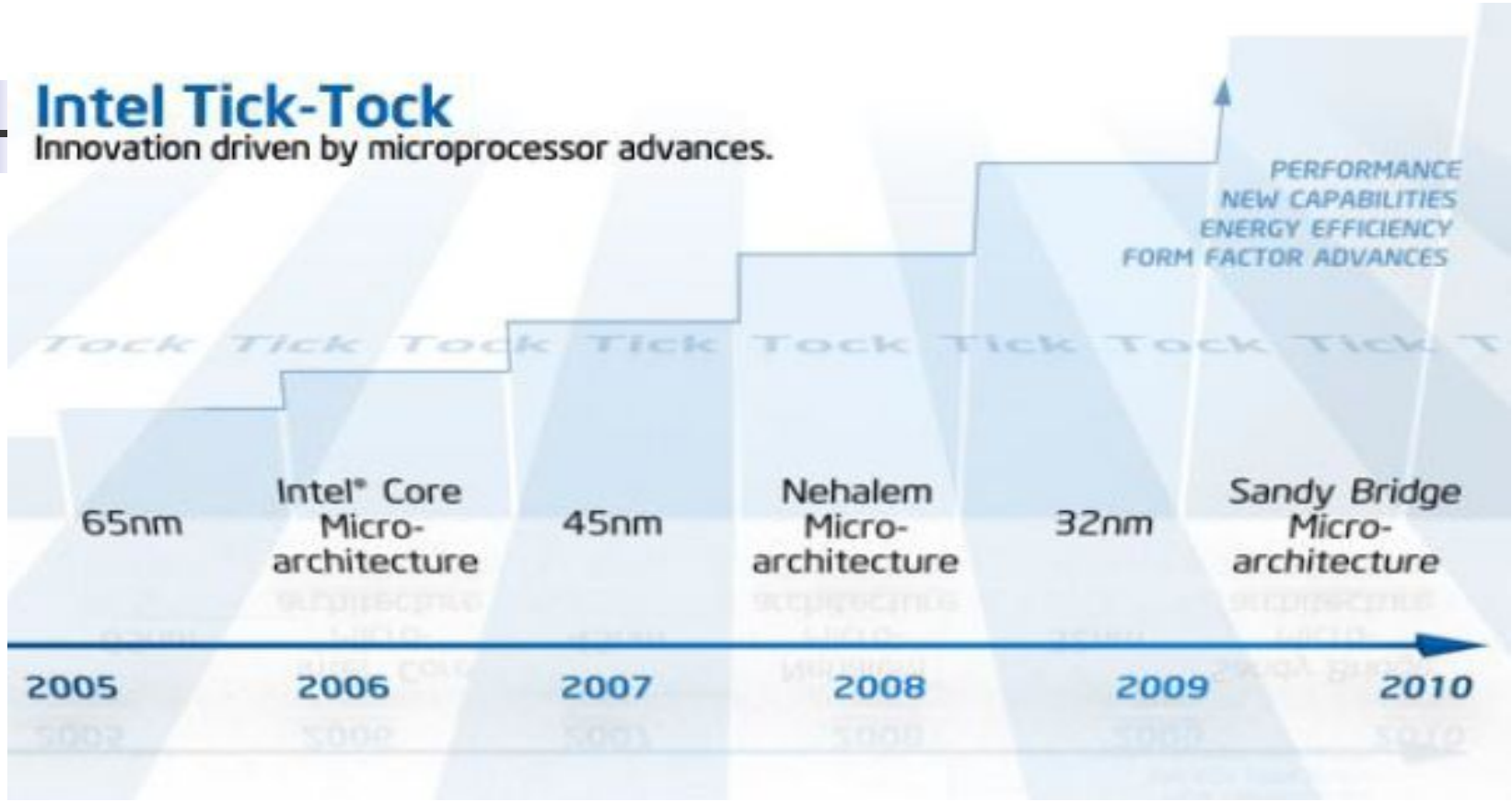
Intel: Tick-Tock Model

Первый год: "Tick"

- Разрабатывается новый технологический процесс на базе существующей микроархитектуры

Второй год: "Tock"

- Разрабатывается новая архитектура процессоров с учетом возможностей новой технологии


Intel Tick-Tock
Innovation driven by microprocessor advances.
PERFORMANCE
NEW CAPABILITIES
ENERGY EFFICIENCY
FORM FACTOR ADVANCES
65nm
Intel® Core Micro-architecture
45nm
Nehalem Micro-architecture
32nm
Sandy Bridge Micro-architecture
2005
2006
2007
2008
2009
2010

32 нм фабрики

D1D Oregon - Now

D1C Oregon - now

Fab 32 Arizona - 2010

Fab 11X New Mexico - 2010

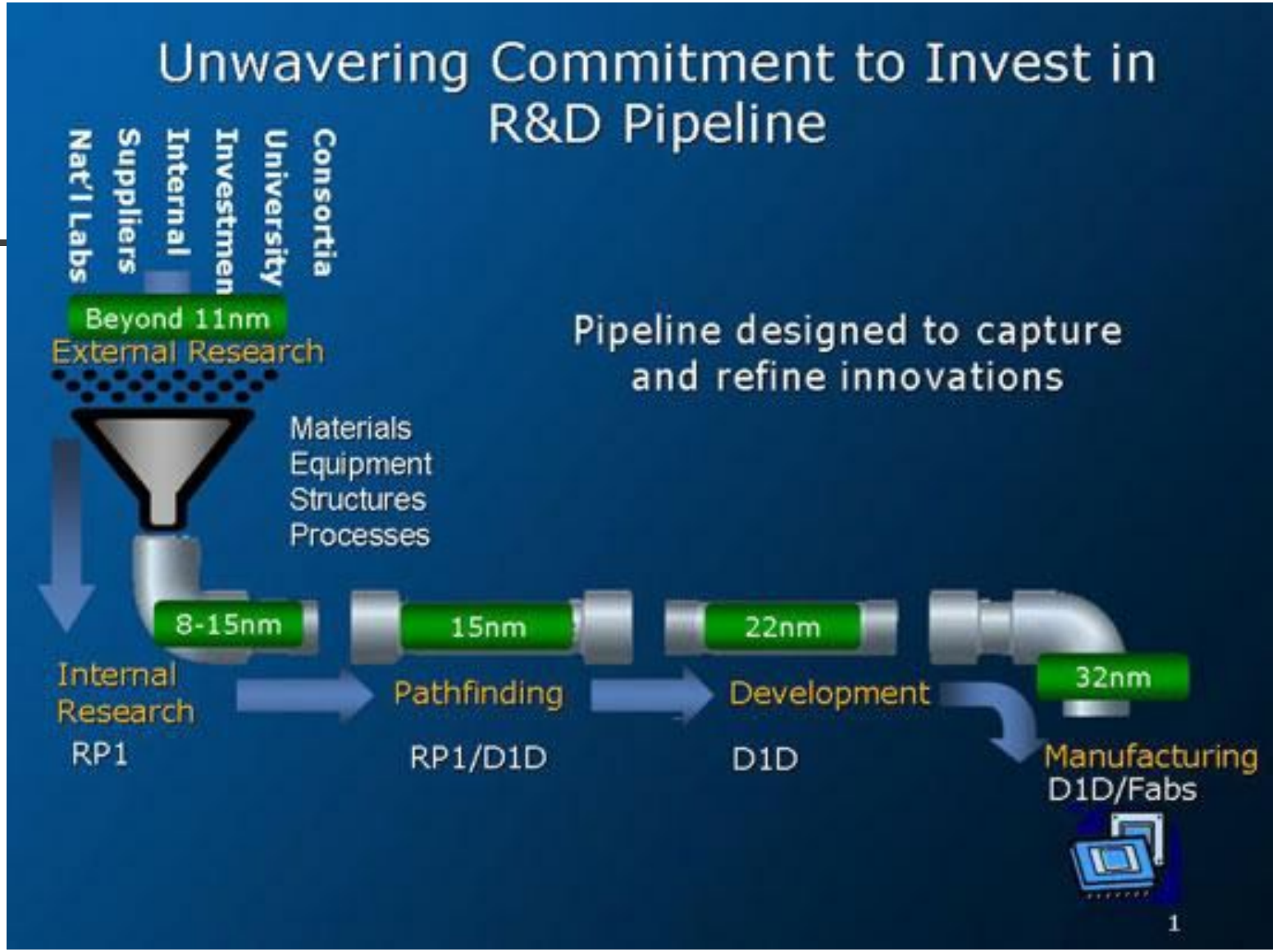
Intel: Эволюция технологий

Process Name	P1264	P1266	P1268	P1270	P1272
Lithography	65nm	45nm	32nm	22nm	16nm
1st Production	2005	2007	2009	2011	2013

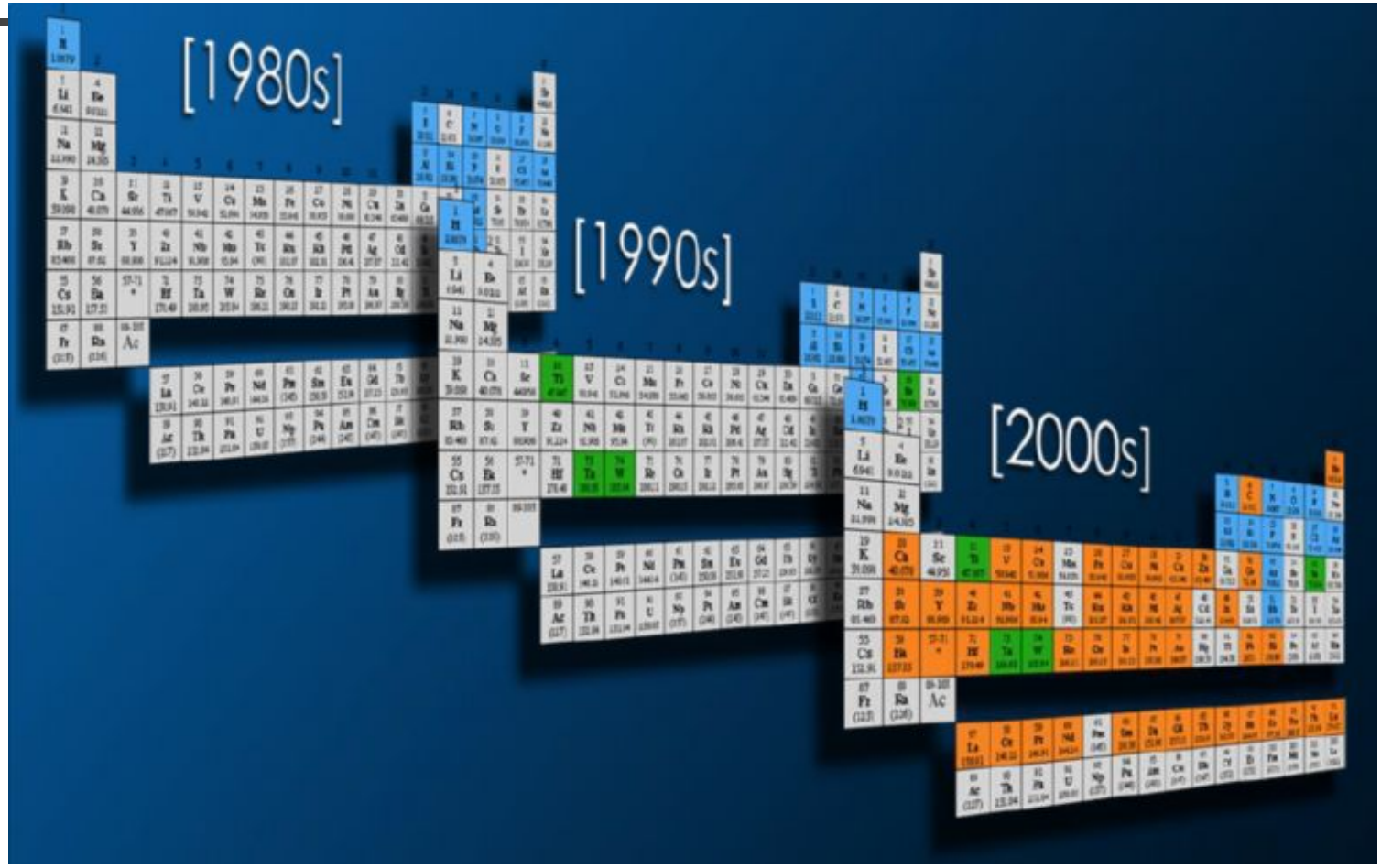
Manufacturing

Development

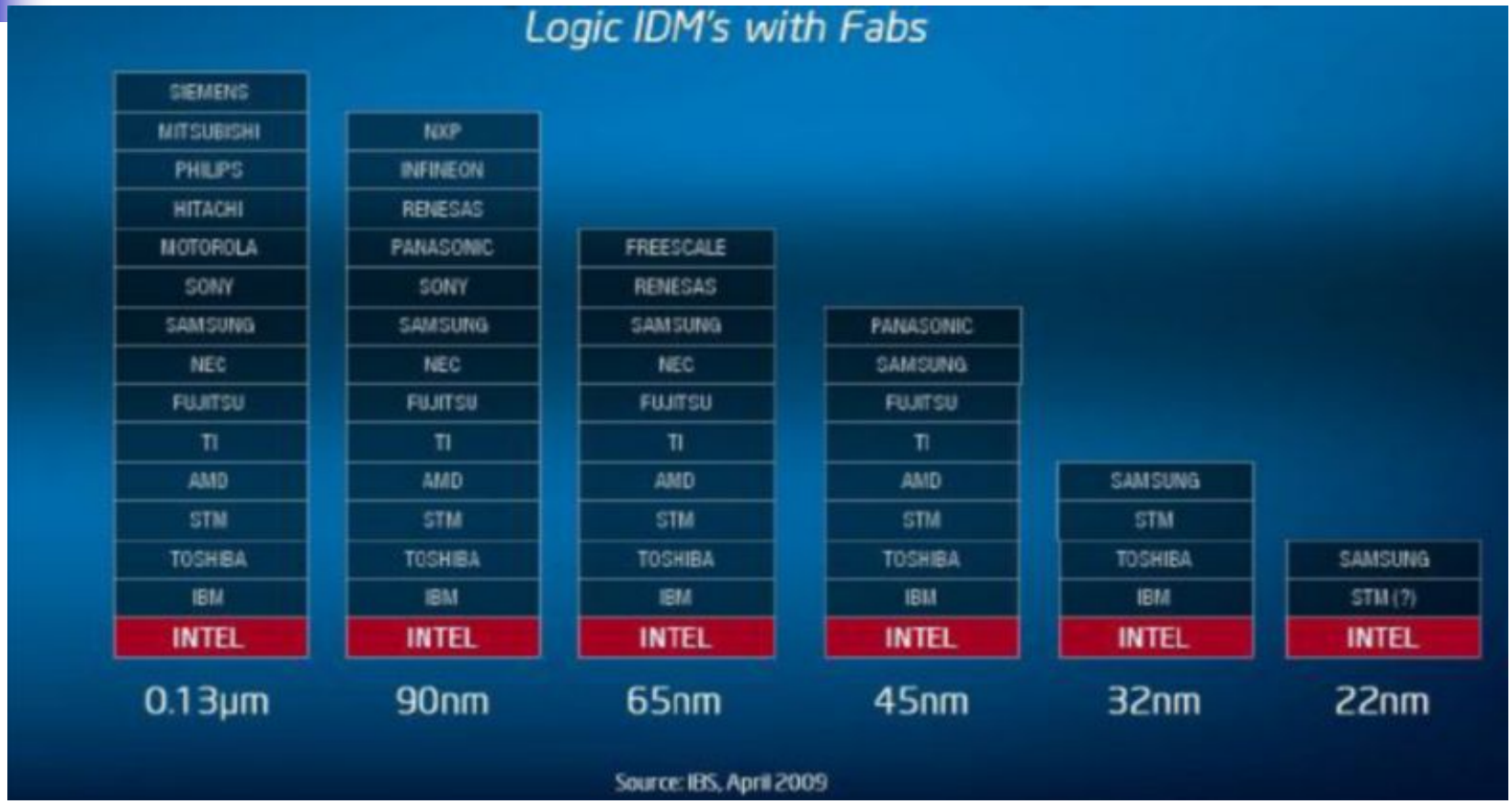
- Постоянный поток новых технологий из сферы исследований в сферу производства


Unwavering Commitment to Invest in R&D Pipeline
Nat'l Labs
Suppliers
Internal
Investmen
University
Consortia
Beyond 11nm
External Research
Pipeline designed to capture and refine innovations
Materials
Equipment
Structures
Processes
8-15nm
15nm
22nm
32nm
Internal Research
RP1
Pathfinding
RP1/D1D
Development
D1D
Manufacturing
D1D/Fabs
1

Новые материалы



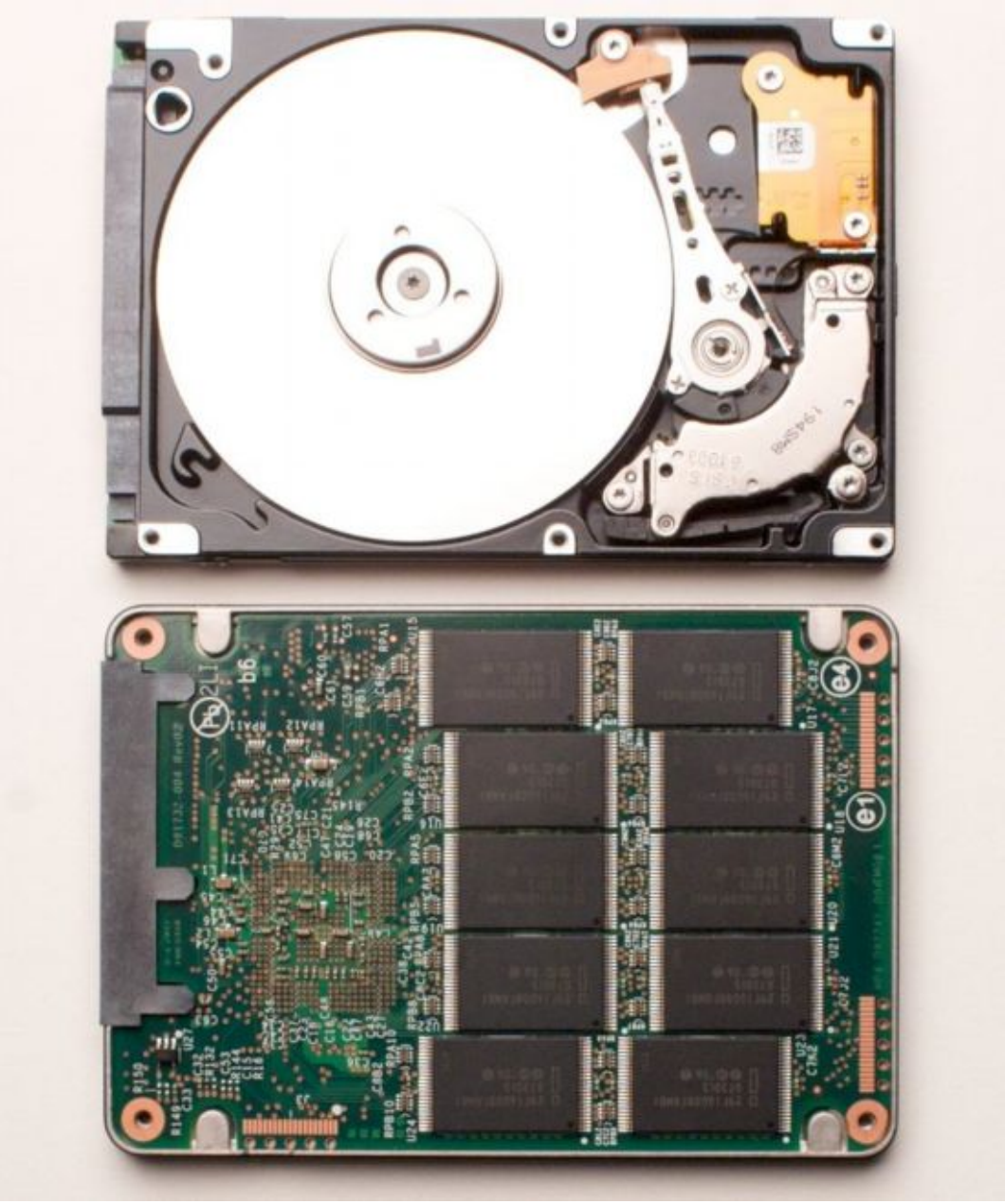
Производители логических схем, имеющие собственные фабрики



Что это?

Intel X18-M SATA SSD 160 GB

в продаже!

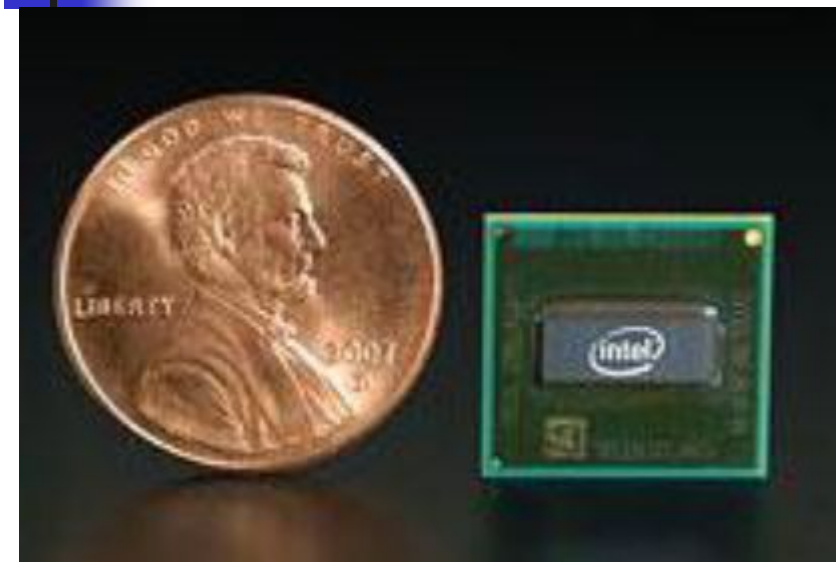


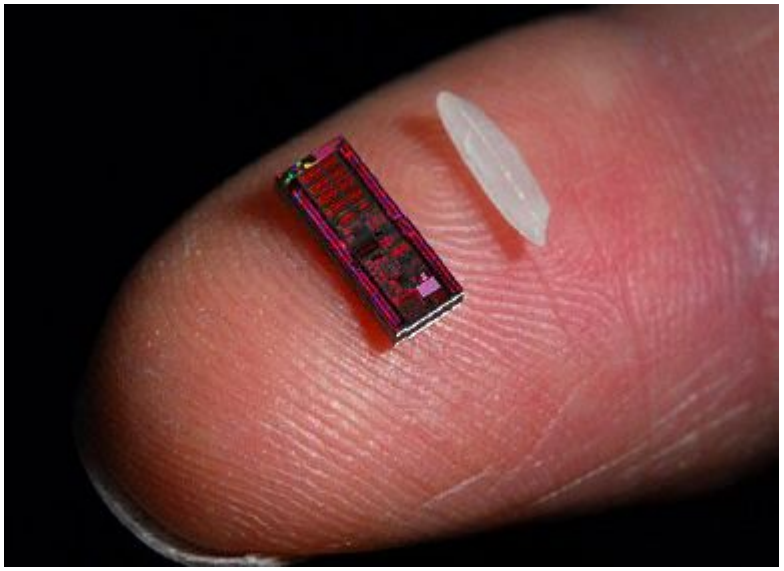
Основные тенденции полупроводниковой индустрии

- Закон Мура продолжает действовать
- Рост стоимости разработки новых технологий и материалов, а также затрат на содержание фабрик
- Производительность также растет; ожидается скачок при переходе на 450 мм пластины

Новая инициатива:450 мм кремний

Процессор Atom





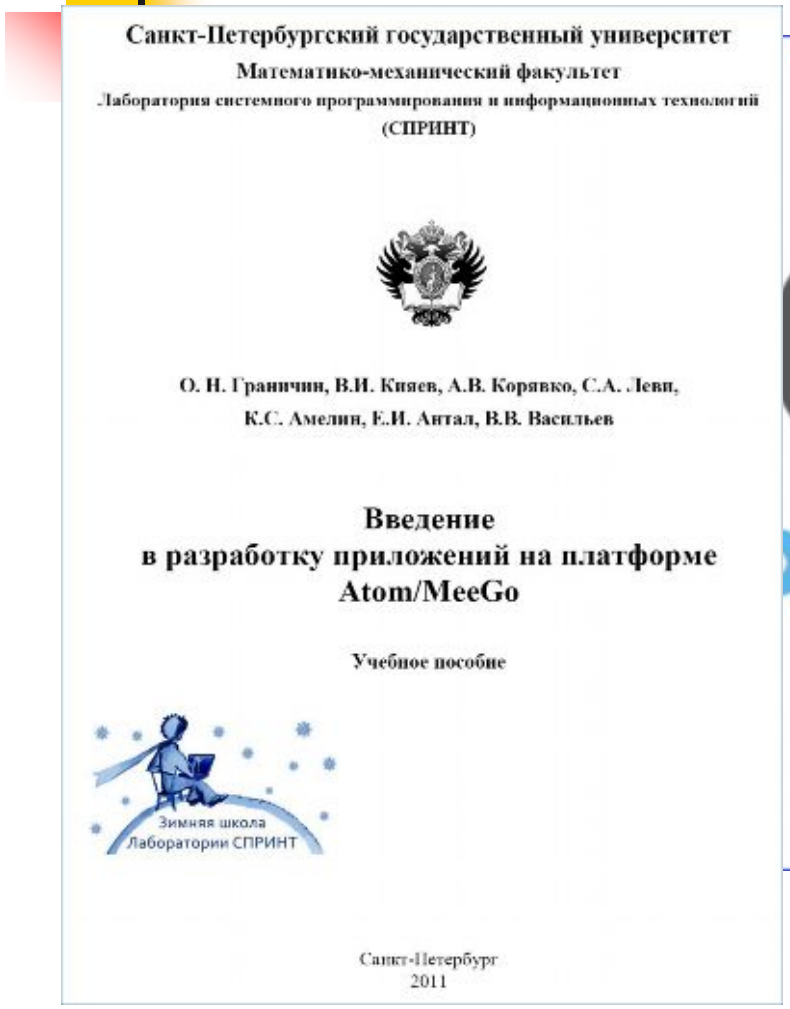
- Производится по 45 и 32 нм технологии. Каждое ядро состоит из 47 миллионов транзисторов. Новый двухядерный Intel® Atom™ работает на 1.6GHz, имеет память1MB второго уровня, потребляет не более 8W TDP

Новые направления

Компьютерный континуум Intel®

Открытая платформа для устройств на основе процессора Atom™

Проект: Разработка учебного курса и учебного пособия «Введение в разработку приложений на платформе Atom/MeeGo»



Санкт-Петербургский государственный университет

Математико-механический факультет

Лаборатория системного программирования и информационных технологий (СПРИНТ)

О. Н. Граничин, В.И. Кияев, А.В. Корявко, С.А. Леви, К.С. Амелин, Е.И. Антал, В.В. Васильев

Введение в разработку приложений на платформе Atom/MeeGo

Учебное пособие

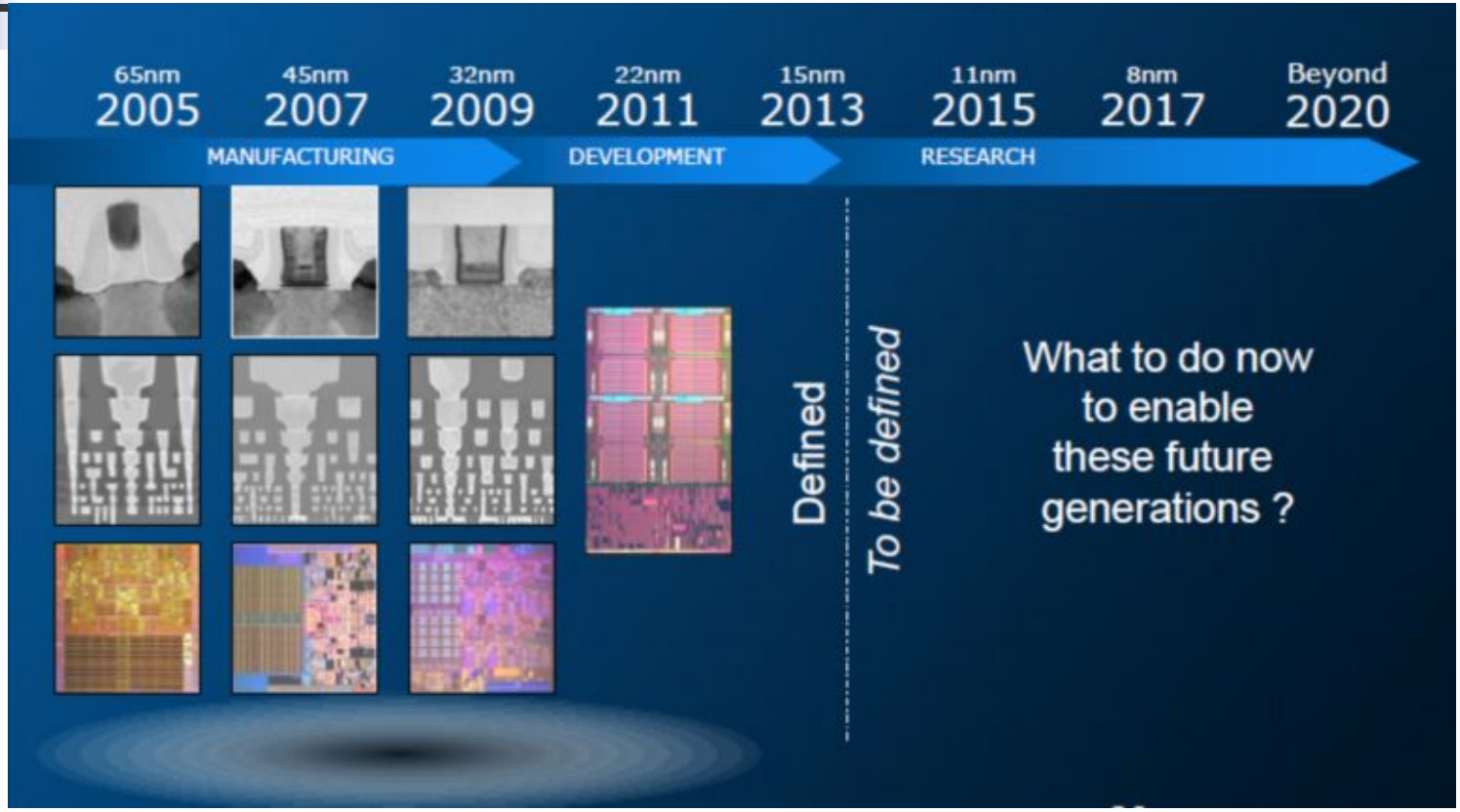
Зимняя школа Лаборатории СПРИНТ

Санкт-Петербург 2011

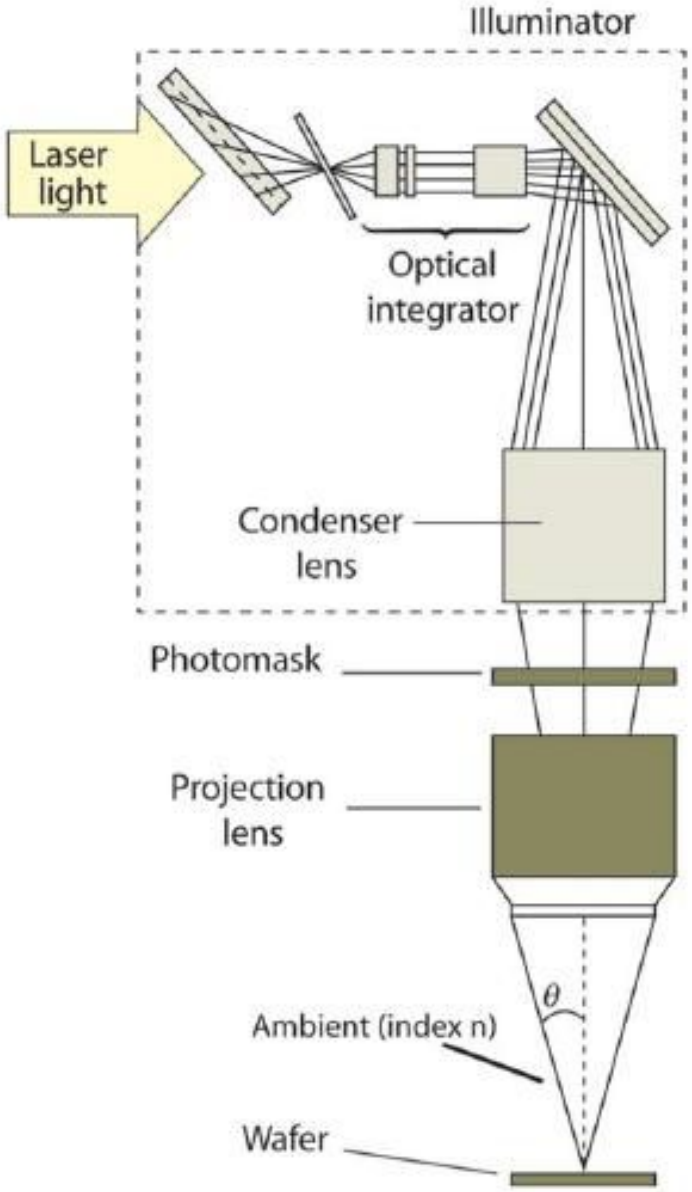
Учебный курс содержит 16 лекций и 12 лабораторных работ, последовательно раскрывающих технологию разработки мобильных приложений на платформе MeeGo, пути реализации качества и коммерциализации продукта

SPRINT SPbSU-Intel Laboratory

Технологии будущего



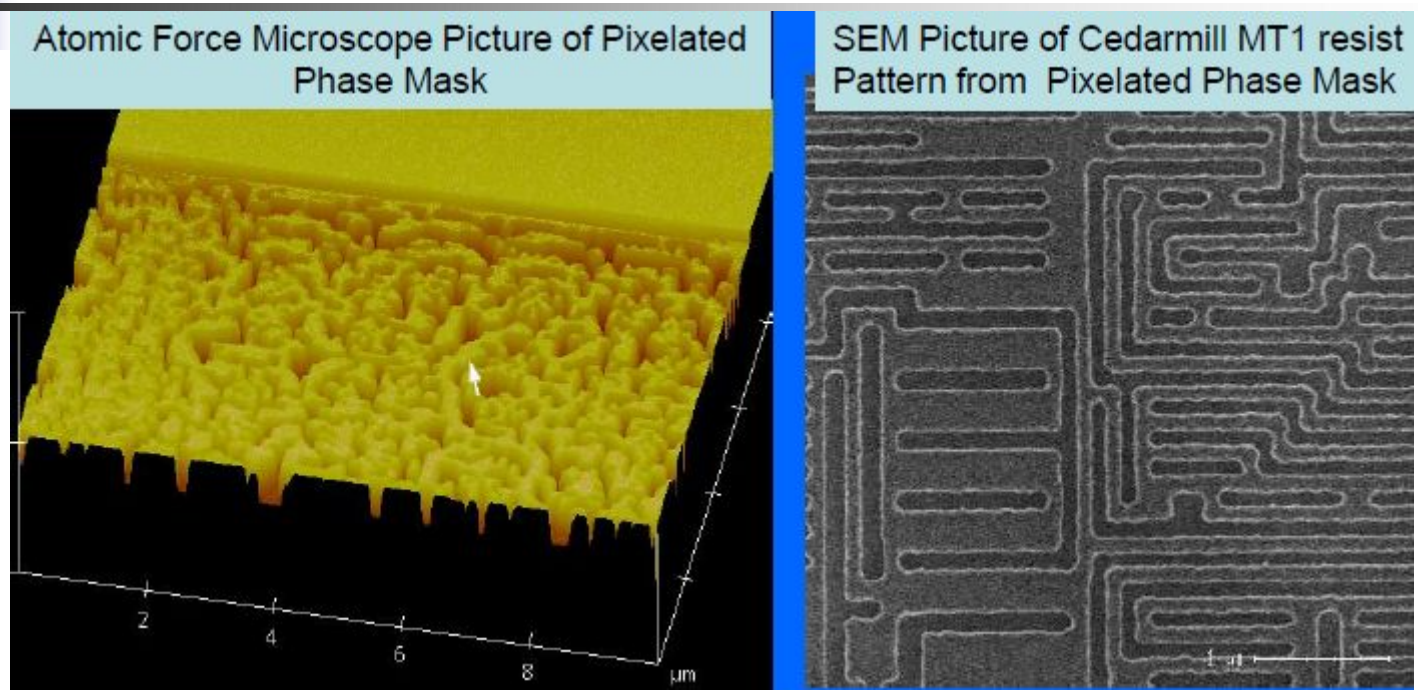
Оптическая система литографии



Проблемы иммерсионной литографии

- Очень большие (дорогие) линзы
- Проблемы с гидродинамикой и механическими перемещениями
- Образование пузырьков в жидкости в процессе экспозиции
- Все вибрации распространяются через жидкость и передаются линзам
- Нагрев (неравномерный) жидкости в процессе экспозиции
- Возникновение новых механизмов возникновения дефектов на пластине
- Взаимодействие резиста с жидкостью
- Загрязнение жидкости
- Эффекты поляризации, снижение контраста

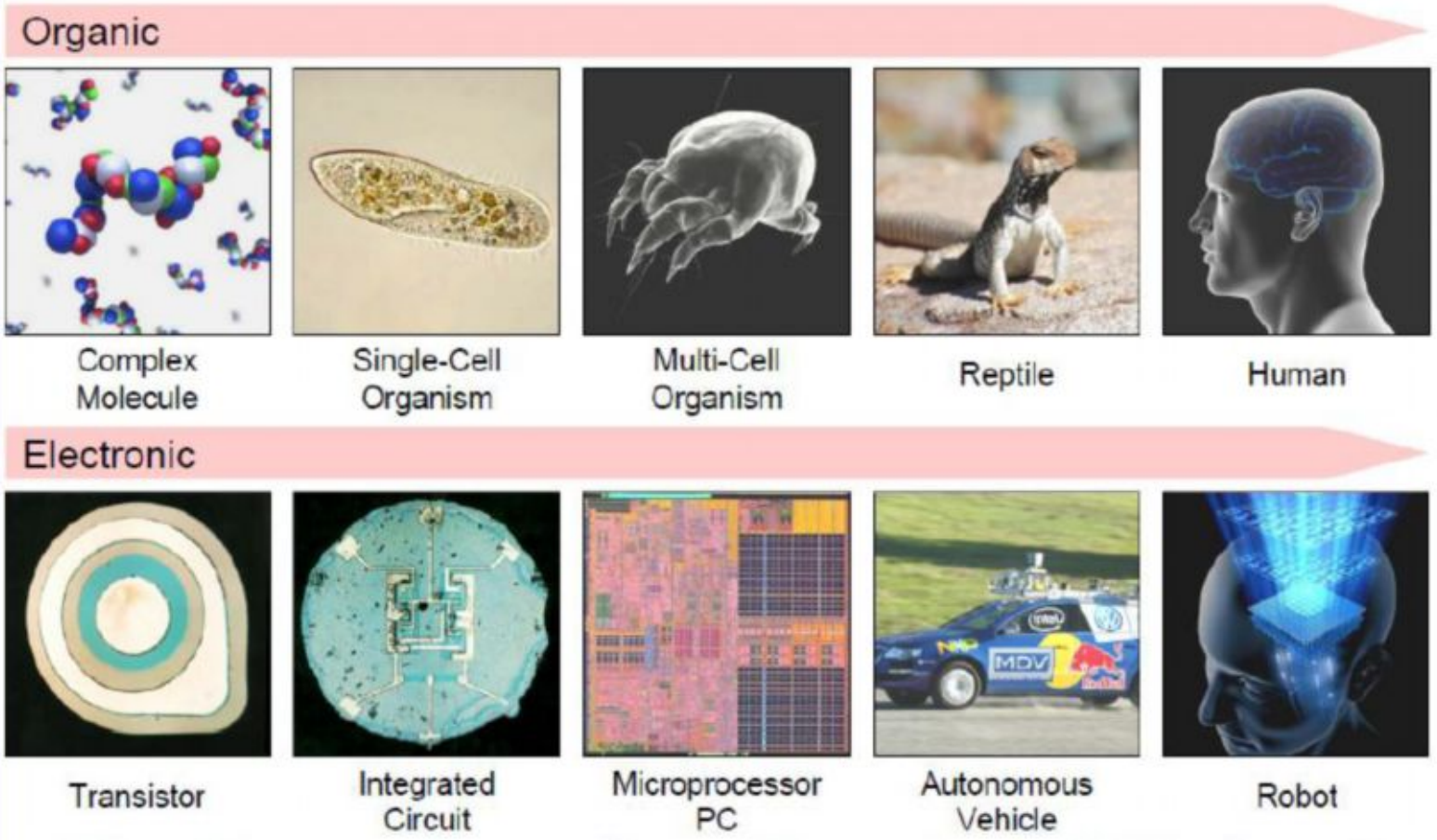
Пиксельная фазовая маска



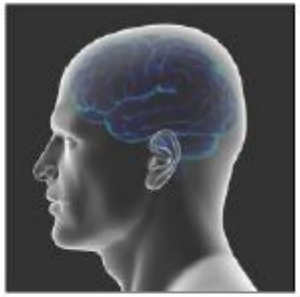
Рандомизированный алгоритм расчета

Y. Borodovsky, W. Cheng, R. Schenker, V. Singh, "Pixelated Phase Mask as Novel Lithography RET", Proc. SPIE 6924, 69240E(2008)

Сравнение эволюций



«Живые» и электронные системы



# Devices:	10^{11} Neurons 10^{14} Synapses ✓	>10^{8} CPU Transistors 10^{11} System Total
Input Devices:	Eyes, Ears, Taste, Touch, Smell ✓	Keyboard, Radio, USB Port
Operating Freq:	100 Hz	>2 GHz ✓
Power:	20 Watts ✓	40 Watts

Смена парадигмы

SPRINT
SPbSU-Intel Laboratory

ExaScale

Необходимость в новых формах обучения и подготовки специалистов

Специализированные порталы, лекционные курсы, практикумы, семинары, вебинары, мастер-классы, учебно-исследовательские проекты и лаборатории

Учебно-исследовательская лаборатория СПРИНТ (СПбГУ-Intel)

SPRINT
SPbSU-Intel Laboratory

Стратегические цели лаборатории:

Обновление и совершенствование образовательной деятельности в СПбГУ за счёт формирования целевых образовательных программ

Решение актуальных научно-исследовательских задач в области современных компьютерных систем и высокопроизводительных вычислений

Комплексная подготовки в СПбГУ высококвалифицированных специалистов в этой области

Широкое сотрудничество Лаборатории с ведущими IT-компаниями

SPRINT
SPbSU-Intel Laboratory

Обучение технологиям HPC

Широкое сотрудничество Лаборатории с ведущими IT-компаниями

SPRINT
SPbSU-Intel Laboratory

Обучение технологиям HPC

Мобильные системы

SPRINT
SPbSU-Intel Laboratory

Мобильные системы

SPRINT
SPbSU-Intel Laboratory

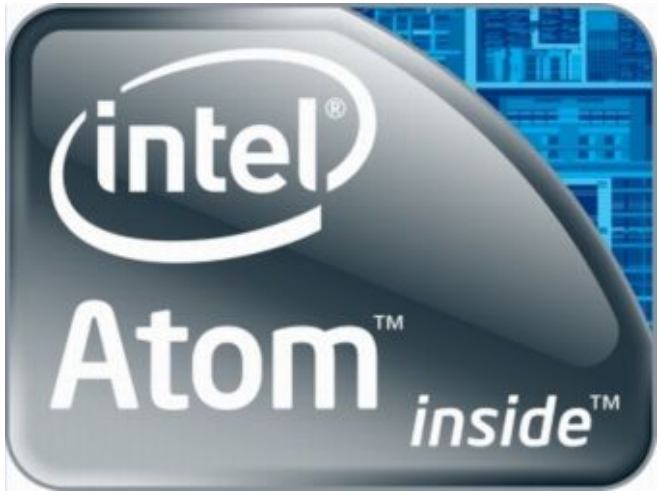
Разработка мультиагентной системы для БПЛА

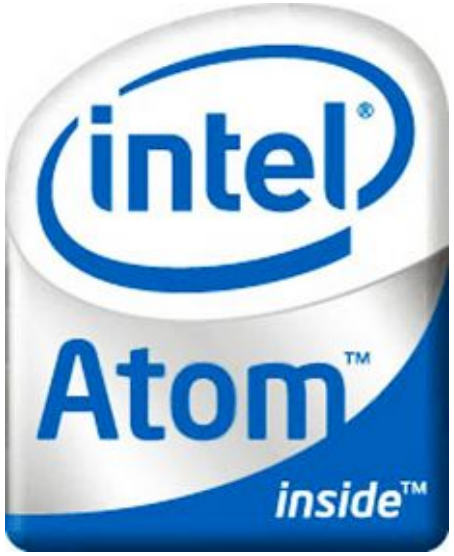
Программа «Атомосфера»

SPRINT
SPbSU-Intel Laboratory

Конкурс студенческих проектов

Мирная «атомная» программа Intel





Победители и лауреаты конкурса «Атомосфера» в СПбГУ

Методические материалы

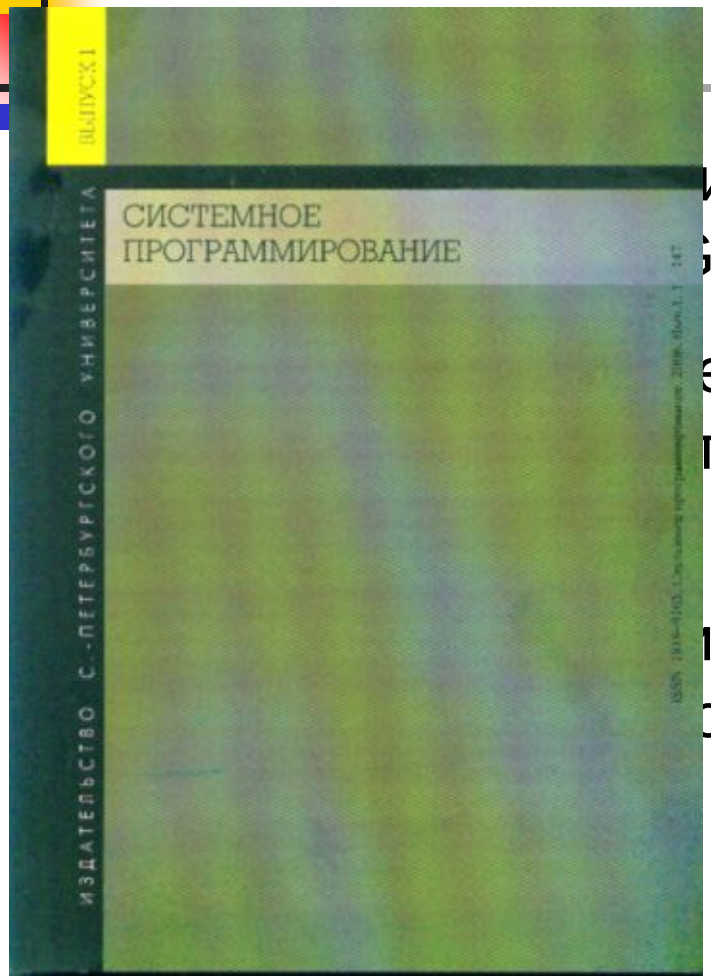
SPRINT
SPbSU-Intel Laboratory

Учебный курс «Введение в разработку приложений на платформе Atom/MeeGo»

Научные журналы кафедры системного программирования Математико-механического факультета СПбГУ

Тематические лекции и конкурсы для студентов факультетов СПбГУ и стажеров Лаборатории

Методические материалы



ие в ра на

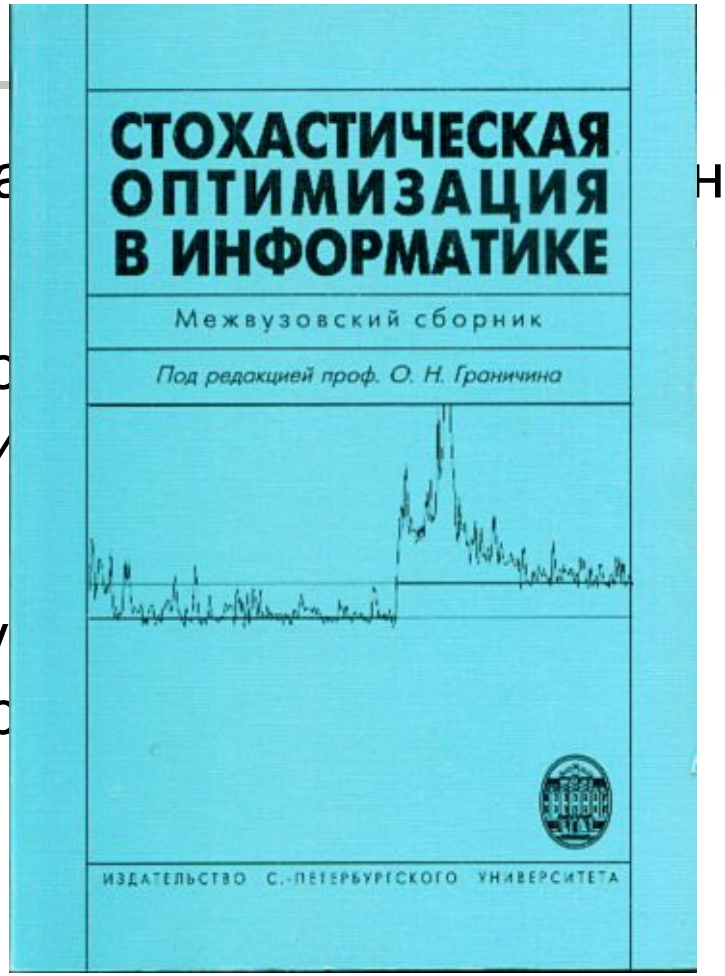
Go»

едры с

темати

и конку

стажер



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Благодарю за внимание!

Вопросы?

«III ТМШ», Усадьба Гончаровых , 16 июня 2011 г.

Литература

- Вахитов А.Т., Граничин О.Н., Сысоев С.С., (2006) Точность оценивания рандомизированного алгоритма стохастической оптимизации. *Автоматика и телемеханика*, № 4 , с. 86-96.
- Вахитов А.Т., Граничин О.Н., Гуревич Л.С. (2009) Алгоритм стохастической аппроксимации с пробным возмущением на входе в нестационарной задаче оптимизации // Автоматика и телемеханика, № 11, с. 70-79.
- Воеводин В.В., (2010) *Всерос. научн. конф. «Научный сервис в сети Интернет: суперкомпьютерные центры и задачи»* 20-25 сент. 2010 г., Новороссийск – М.
- Граничин О.Н., (1989) Об одной стохастической рекуррентной процедуре при зависимых помехах в наблюдении, использующей на входе пробные возмущения. *Вестник Ленингр. ун-та*, сер. 1, вып. 1, с. 19--21.
- Граничин О.Н., Васильев В.И., (2010) Гибридная модель процесса вычислений: обобщение концепции машины Тьюринга. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*, № 6, с. 51 -58.
- Граничин О.Н., Молодцов С.Л., (2006) *Создание гибридных сверхбыстрых компьютеров и системное программирование*. СПб, 108 с.
- Граничин О.Н., Поляк Б.Т., (2003) *Рандомизированные алгоритмы оценивания и оптимизации при почти произвольных помехах*. М.: Наука, 291с.
- Поляк Б.Т., Цыбаков А.Б., (1990) Оптимальные порядки точности поисковых
- алгоритмов стохастической аппроксимации. *Проблемы передачи информации*, № 2, с. 45-53.
- Shor, P., (1997) Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer. *SIAM J. Comput. 26*, pp. 1484-1509.
- Tien, D.K., (2003) Computing the non-computable, *Contemporary Physics, 44,* pp. 51-71.
- Granichin O.N., Vasil'ev V.I., (2010) Computational model based on evolutionary primitives. Turing machine generalization. *International Journal of Nanotechnology and Molecular Computation*, v. 2, no. 2, pp. 30-43.
- Robbins H., Siegmuud D., (1971) A convergence theorem for nonnegative almost super--martingales and some applications. In: *Optimizing Methods in*
- *Statistics*, Rustagi J.S. ed.. New York: Academic Press, pp. 233-257.
- Spall J.C., (1992) Multivariate stochastic approximation using a simultaneous perturbation gradient approximation. *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 37, pp. 332-341.

Electronic structure of pristine and activated bacterial S-layers (*Bacillus spharicus*)

S.L. Molodtsov *Inst. of Solid State Physics TU Dresden*

* Supported by SFB463

Cooperation

Institut für Werkstoffwissenschaft

Professur für Materialwissenschaft und Nanotechnik

Inhaber: Wolfgang Pompe

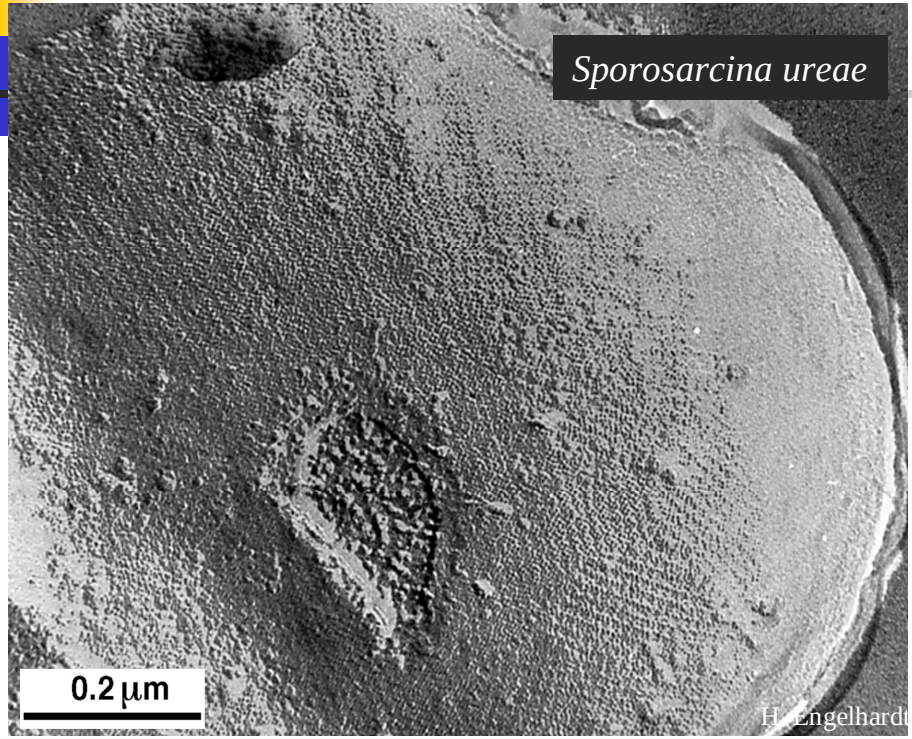
IFP Institut für Festkörperphysik

A. Kirchner, M. Mertig
W. Pompe

D.V. Vyalikh, S. Danzenbächer, M. Besold
Yu.S. Dedkov, S.L. Molodtsov

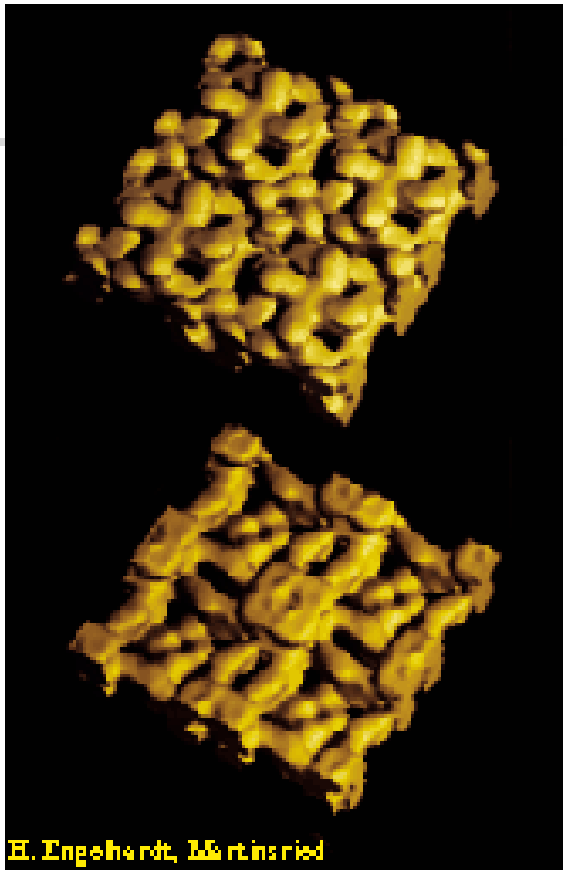
S layer: Structural properties

H. Eberhardt *et al.*, J. Bacteriol. 168 (1986) 309



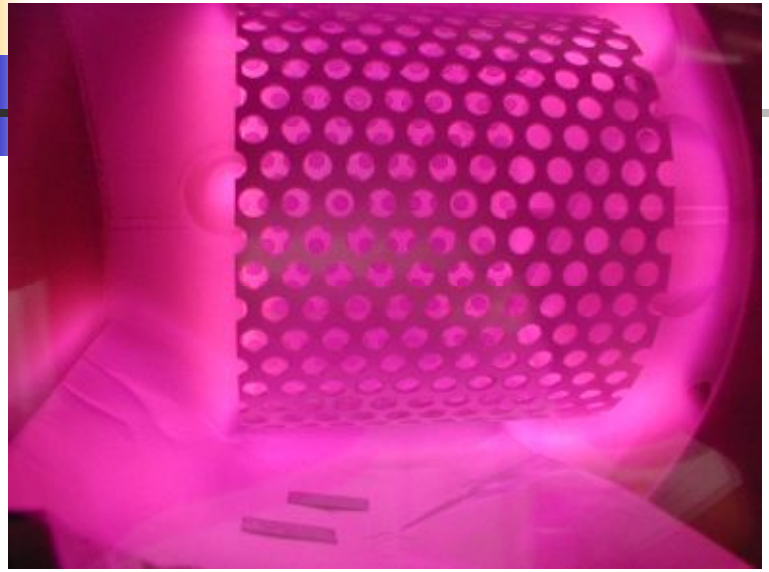
H. Eberhardt, NATO ASI Series (Springer-Verlag,1991)

Transmission electron microscopy image



3D reconstruction of S layer viewed from outer (top) and inner (bottom) surface

Growth of S layer on SiO_x/Si substrates



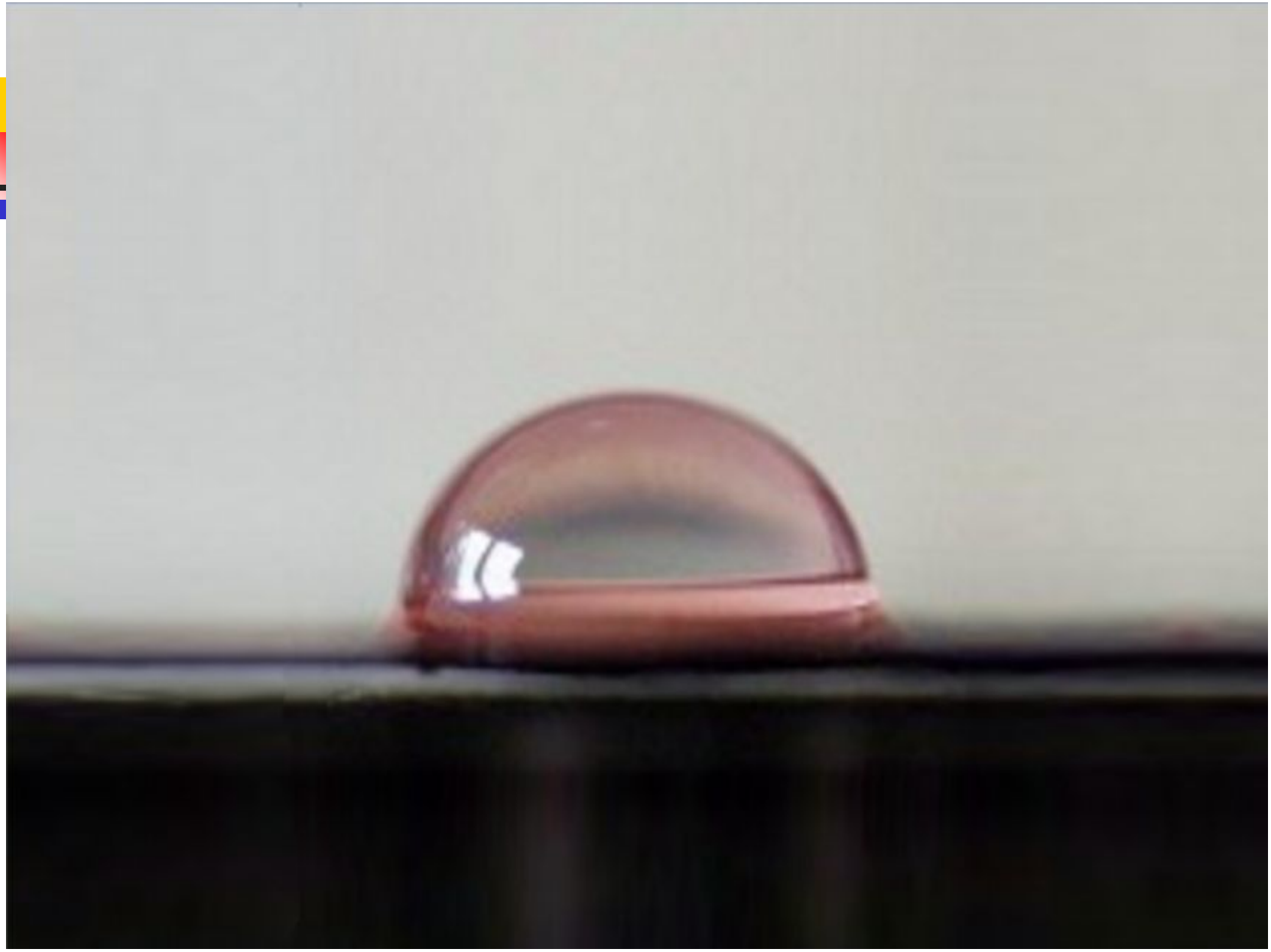
Plasma treatment of substrates

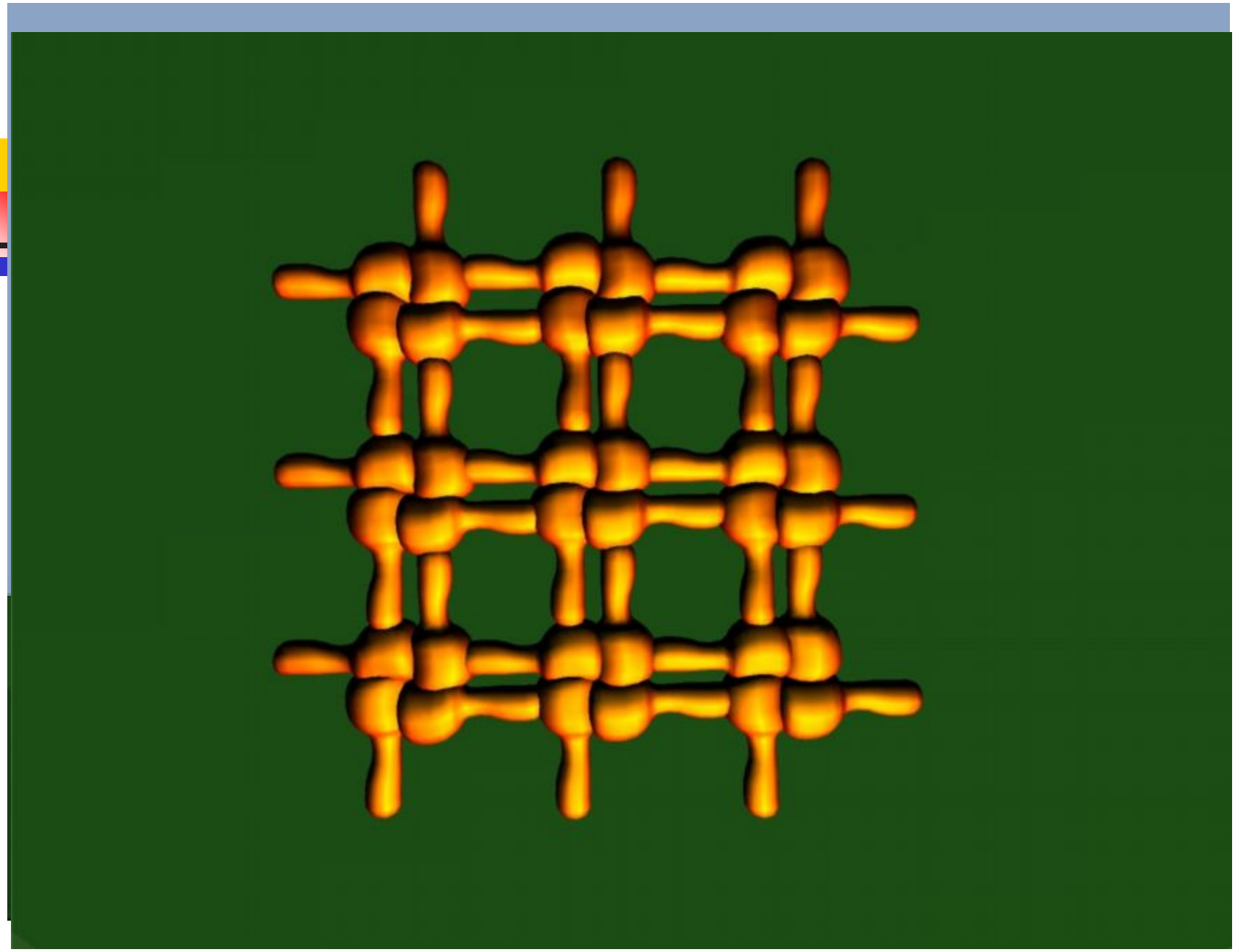
without plasma treatment

Solution of sodium phosphate, $MgCl_2$ and NaN_3

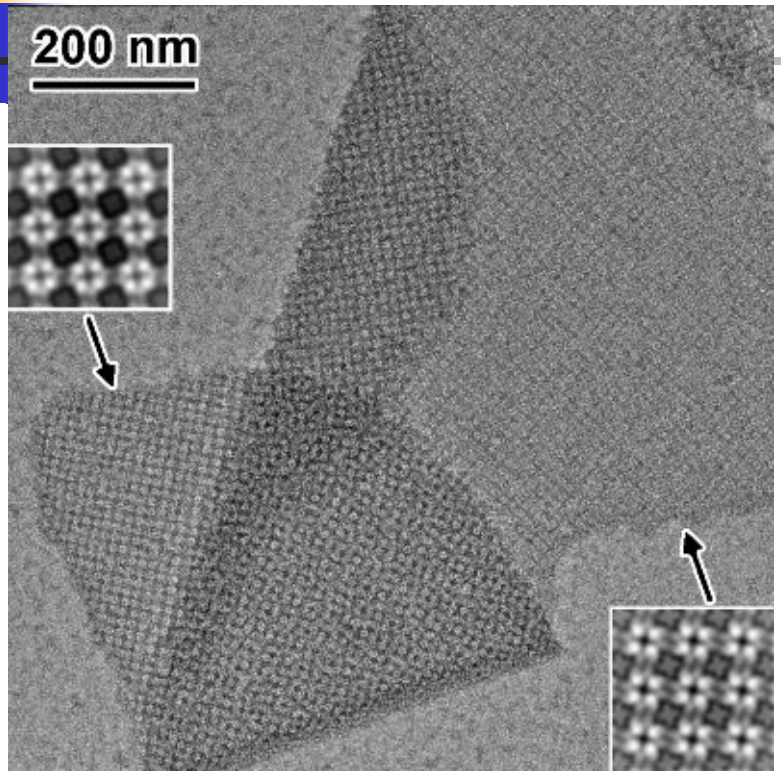
with plasma treatment

Protein subunits are composed of 20 different amino acids. Their atomic composition is $C_{4912}H_{7860}N_{1324}O_{1615}S_5$

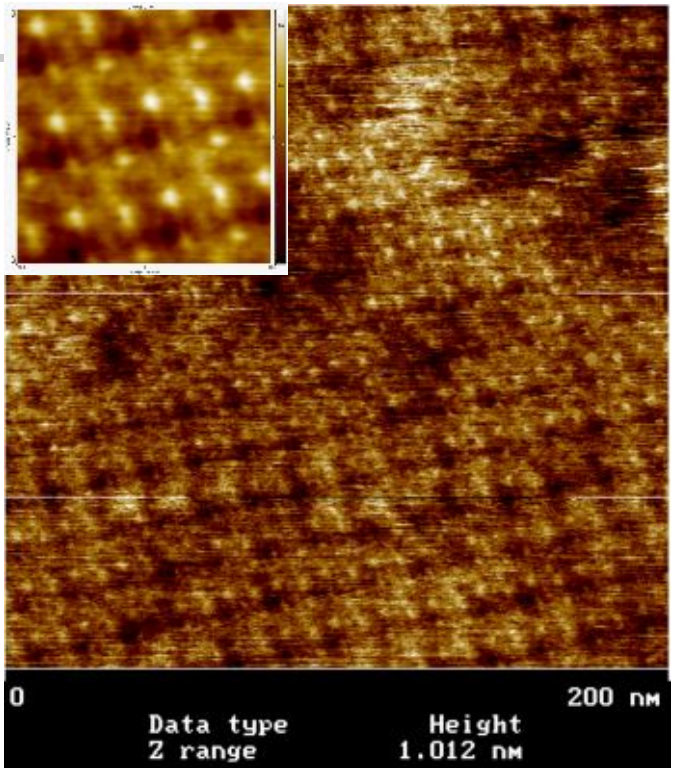




S layer: Sample characterization

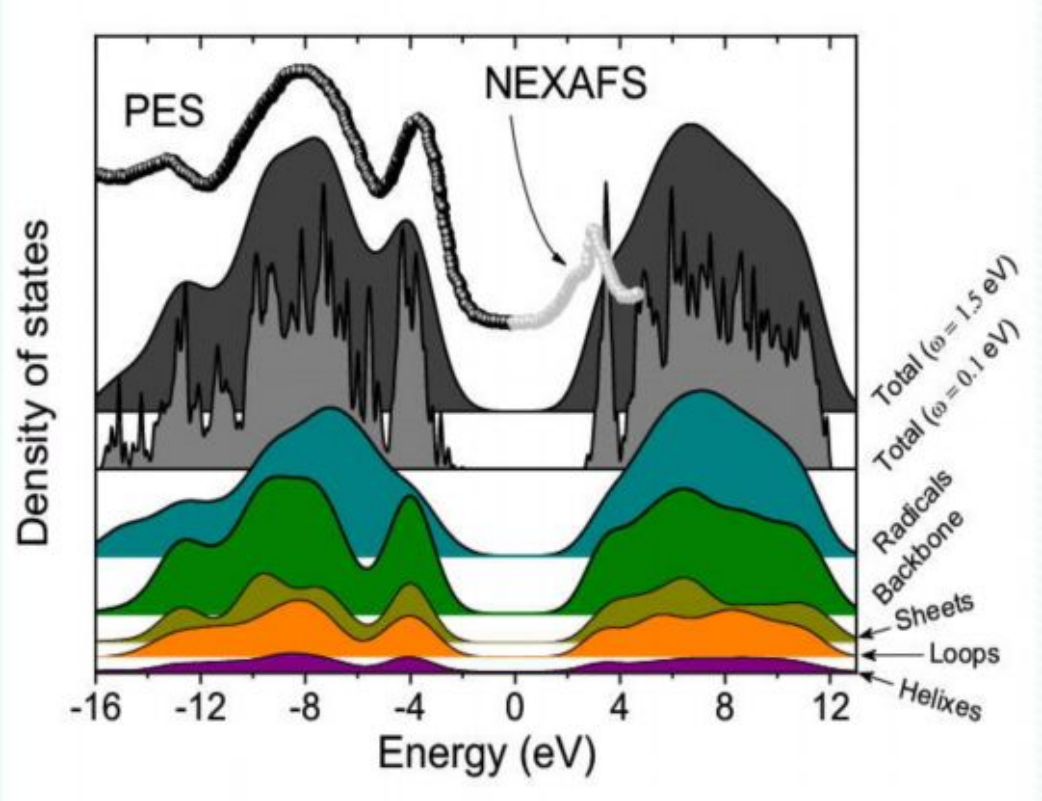


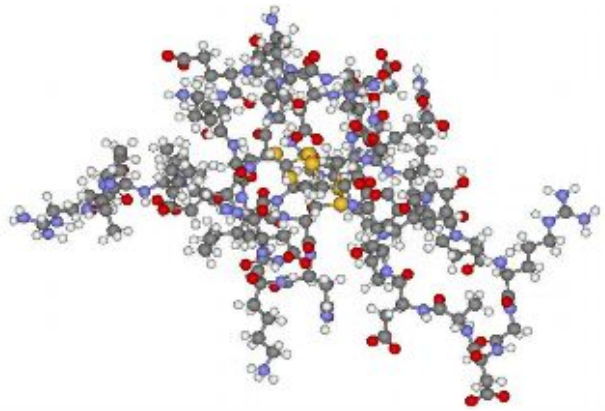
TEM micrograph image

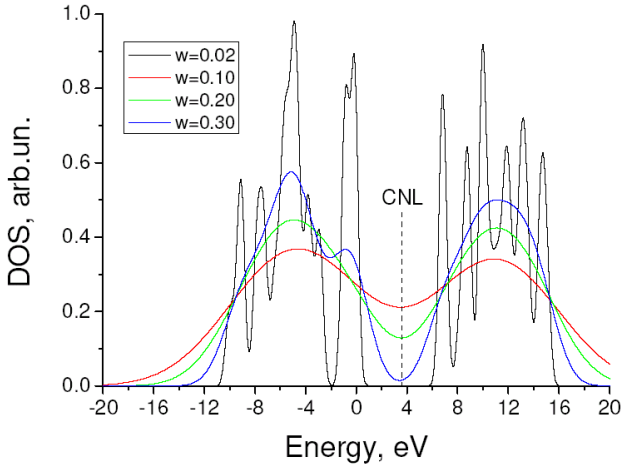


AFM image

Electronic structure of S-layer: LDA, building-block model



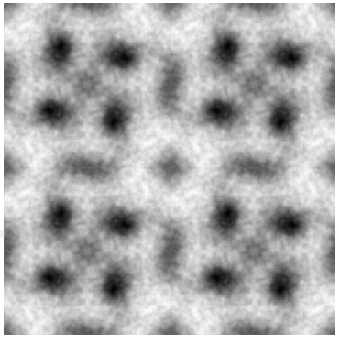




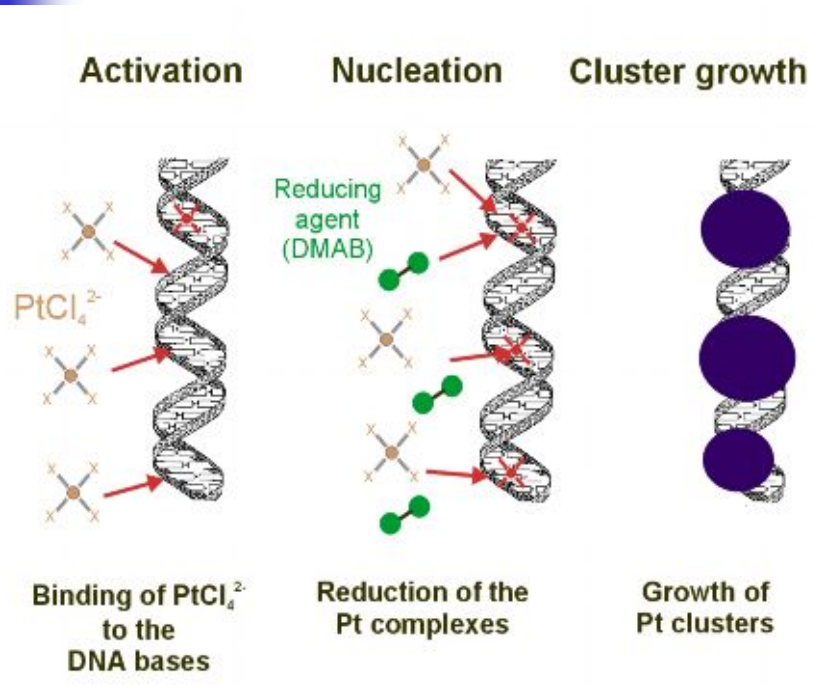
Theory: broadened with exp. resolution

Charge-neutrality level model

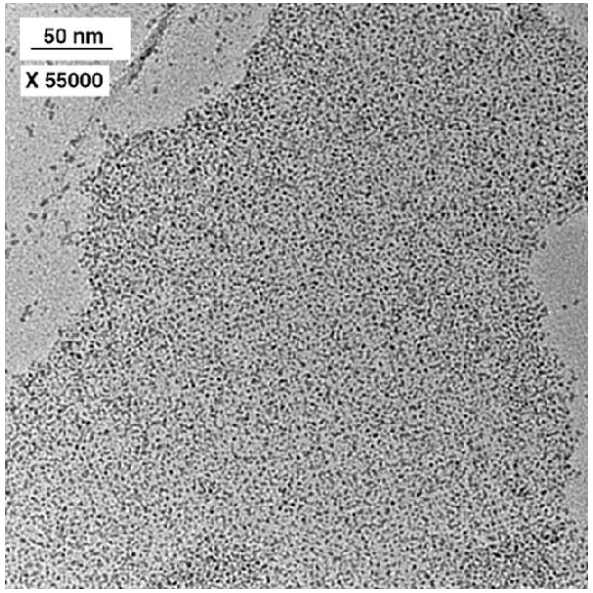
Electronic structure of activated (K_2PtCl_4) and reduced (DMAB) Pt/S-layer



Averaged symmetrized unit cells

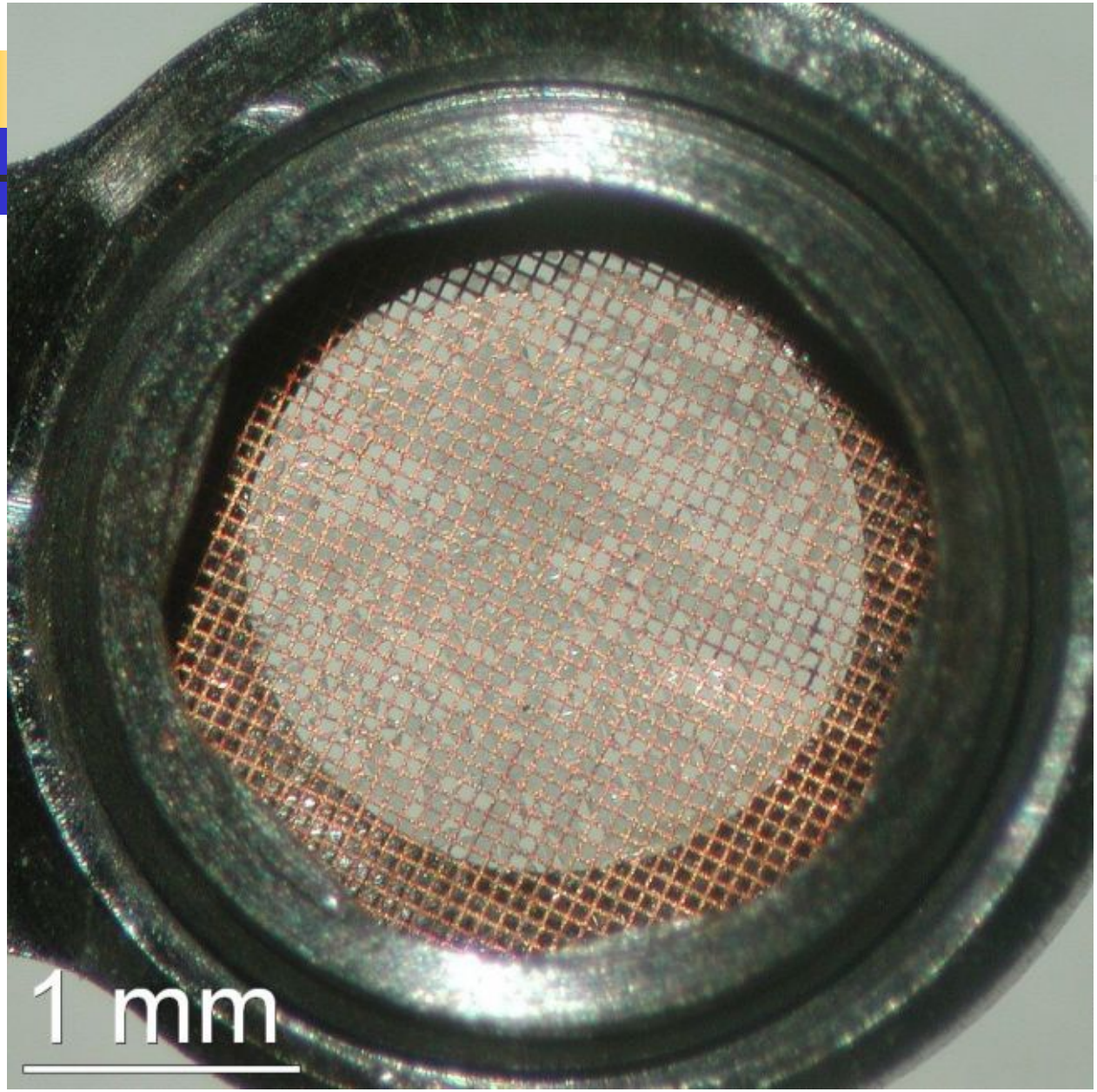


Sample preparation

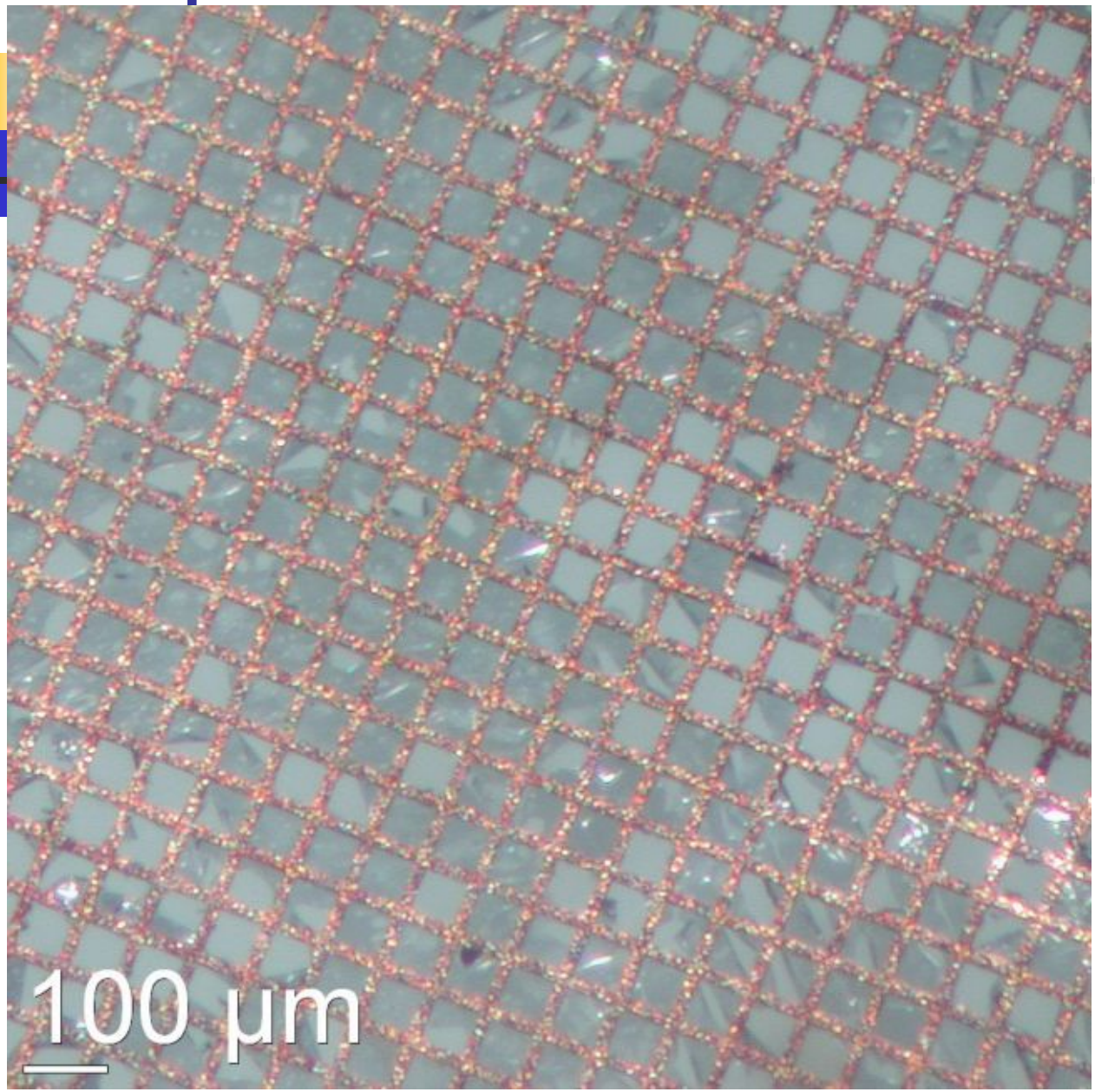


Regular metal cluster arrays

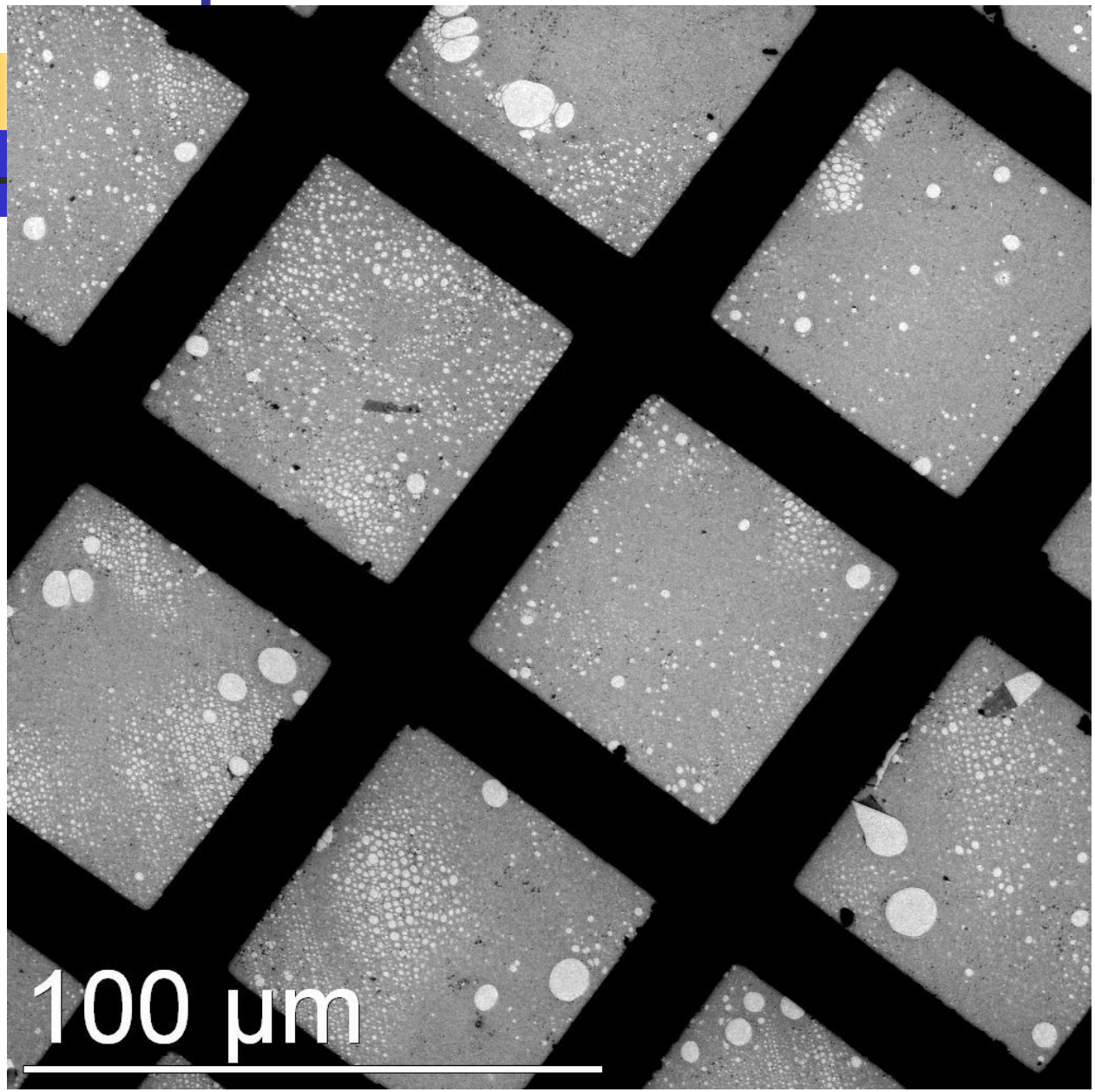
1 mm = 10^{-3} m = 0.001 m



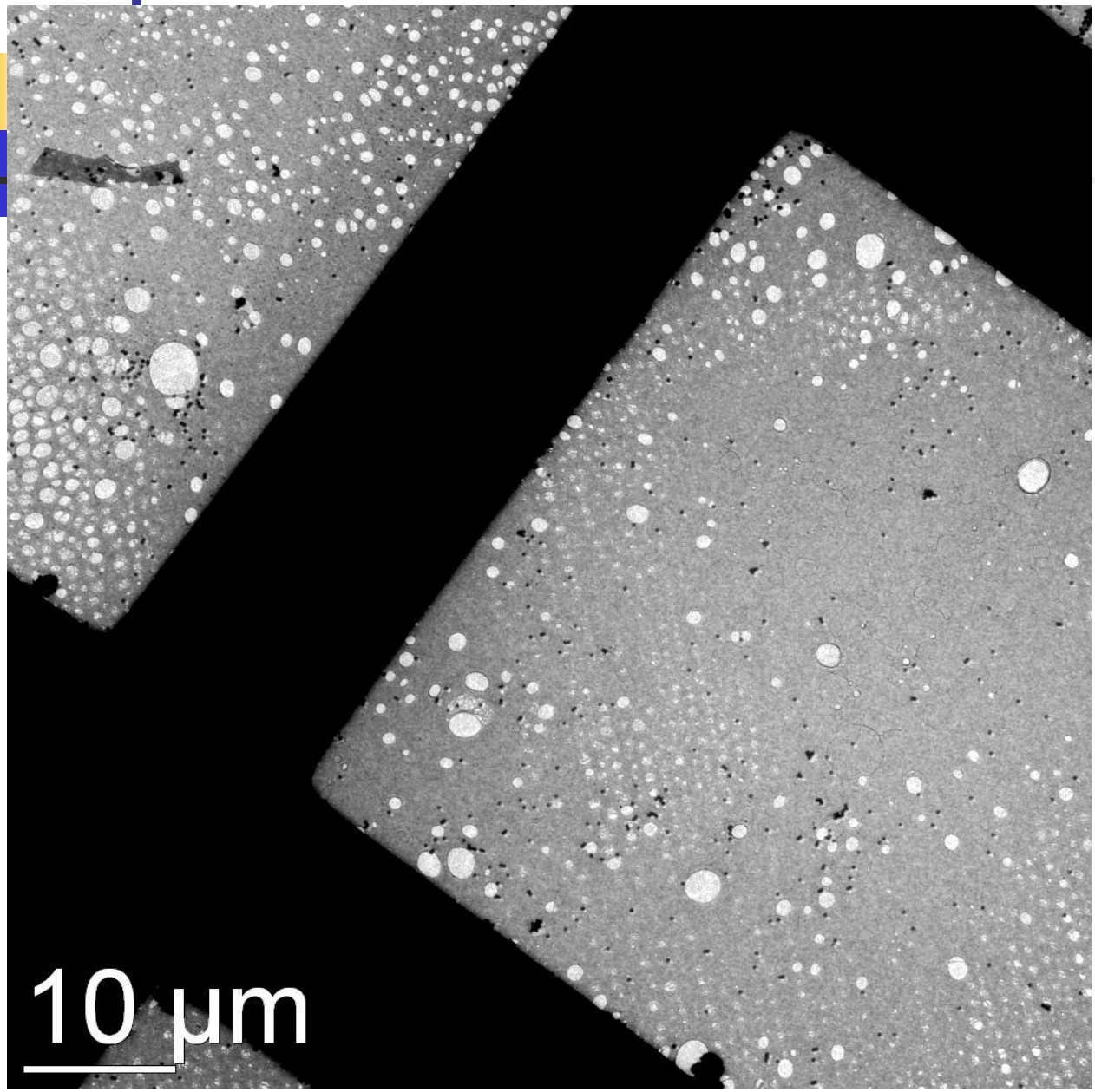
100 μm = 10^{-4} m = 0.0001 m



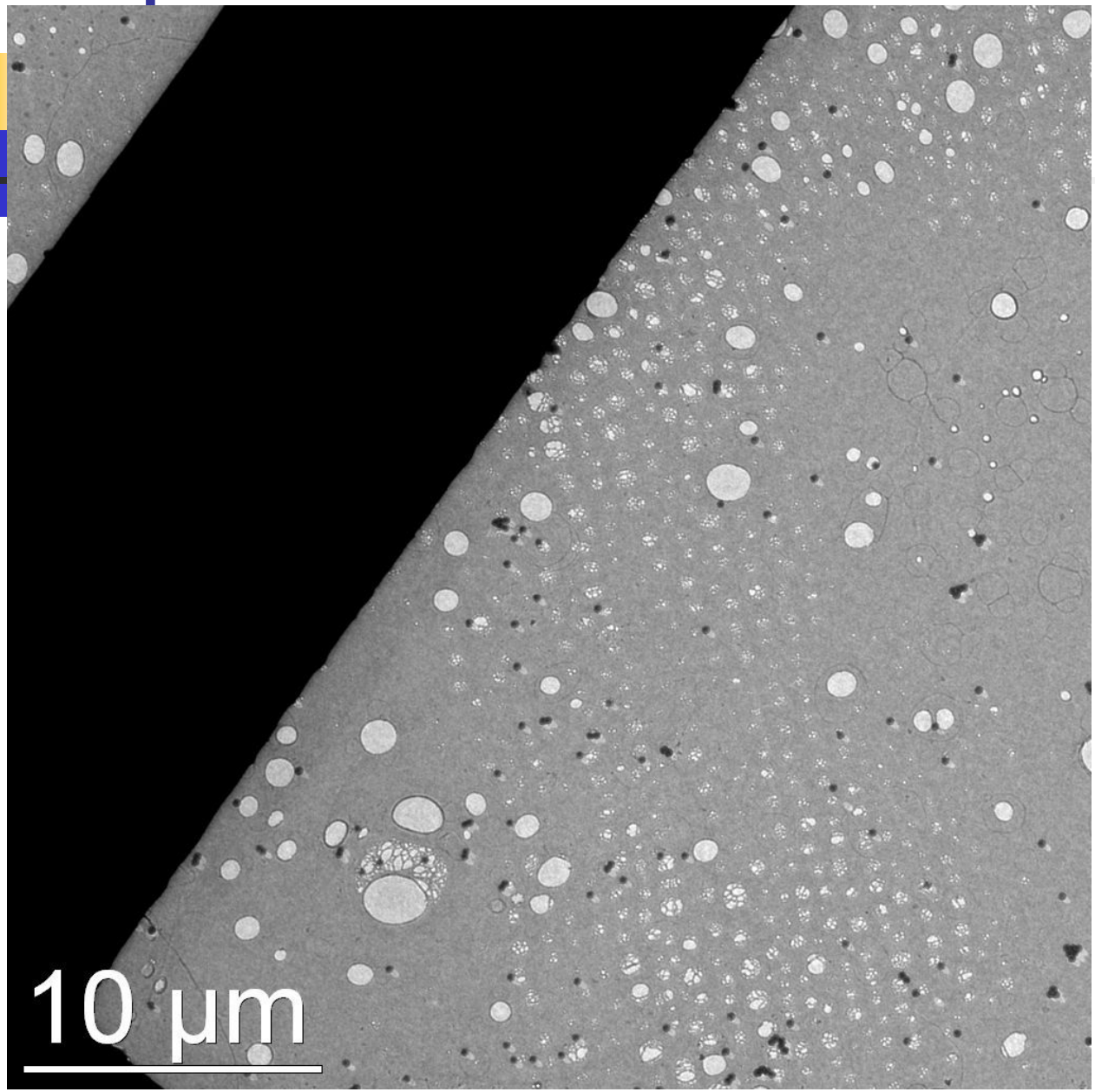
100 μm = 10^{-4} m = 0.0001 m



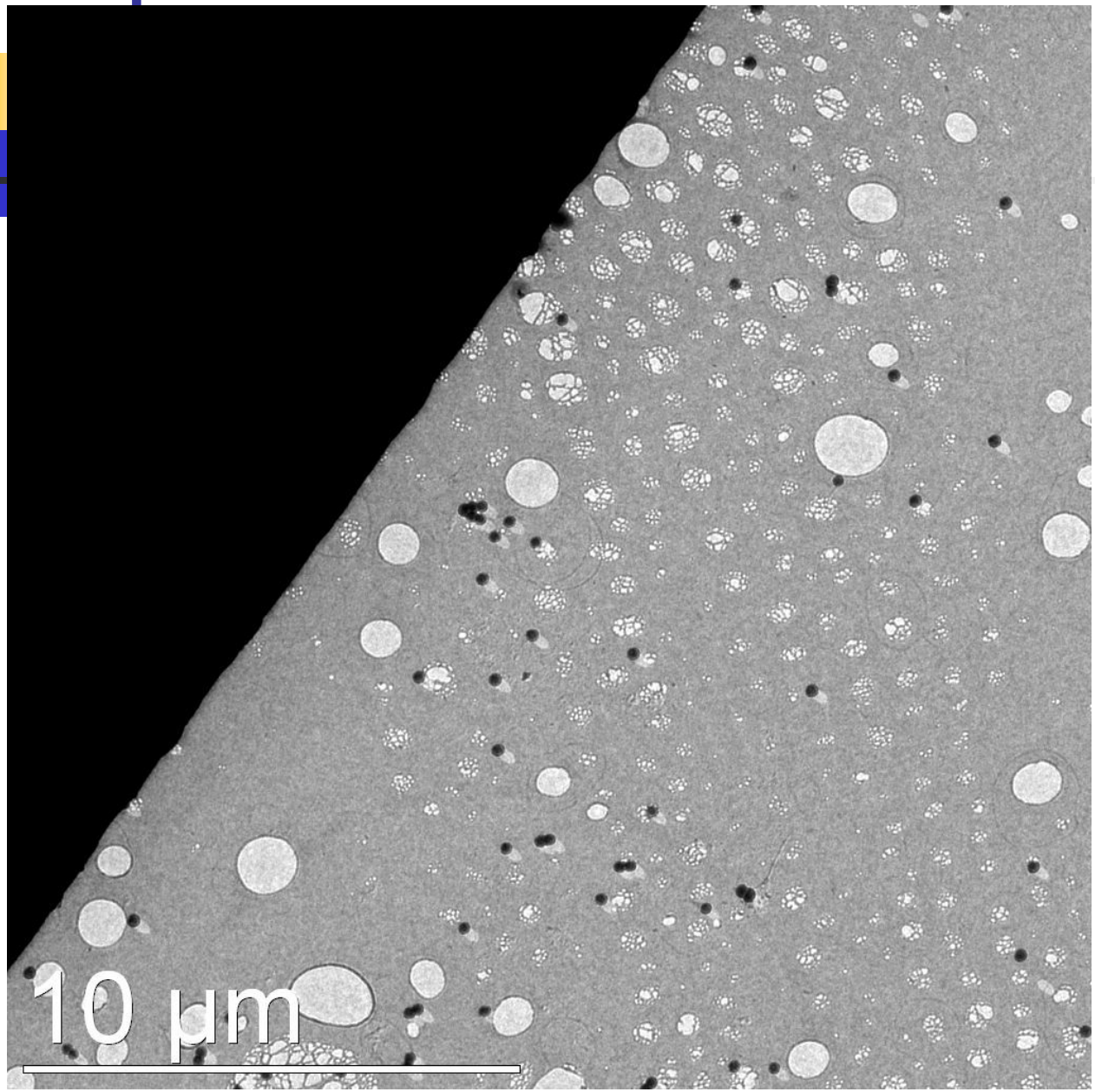
10 μm = 10^{-5} m = 0.00001 m



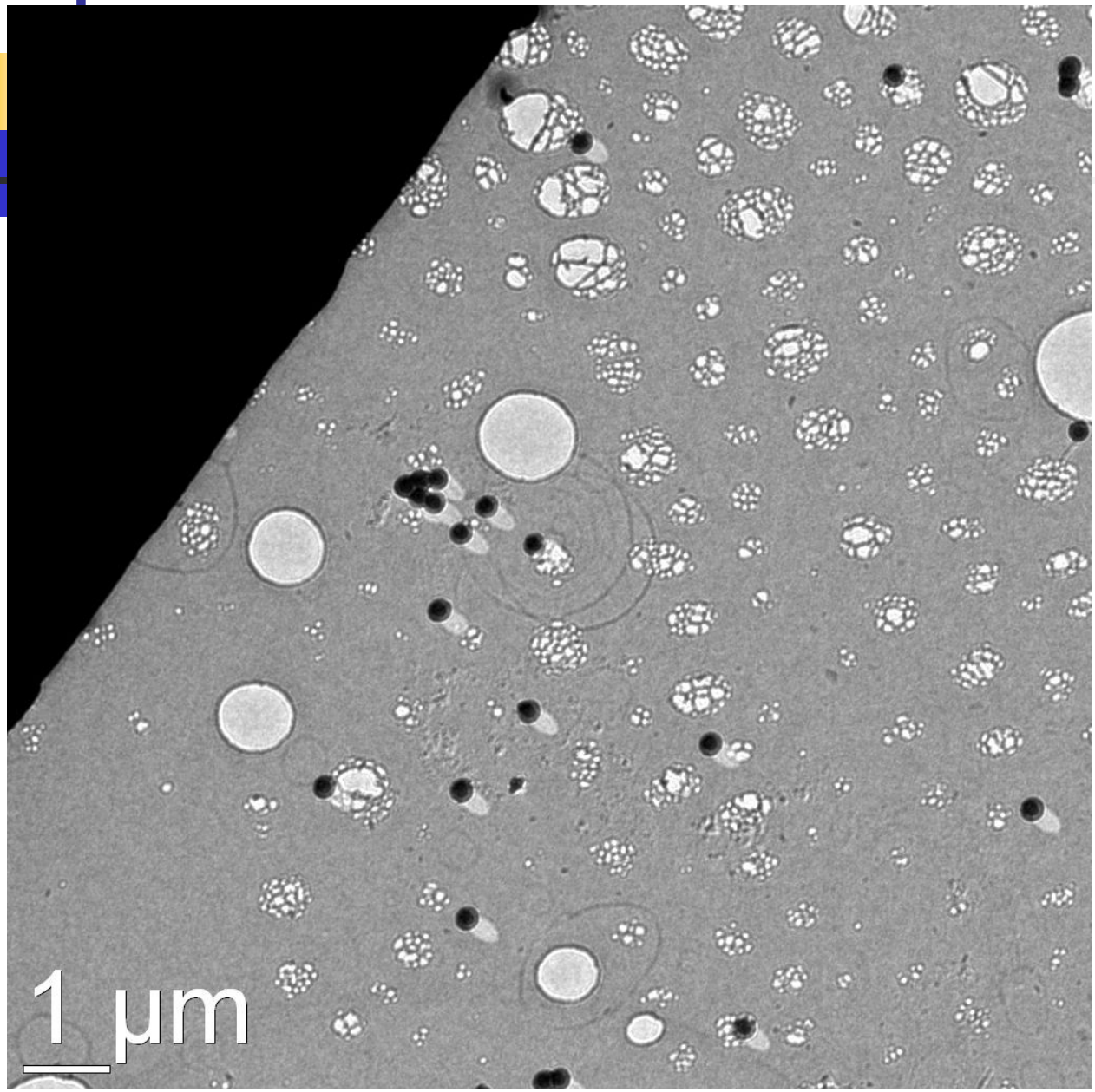
10 μm = 10^{-5} m = 0.00001 m



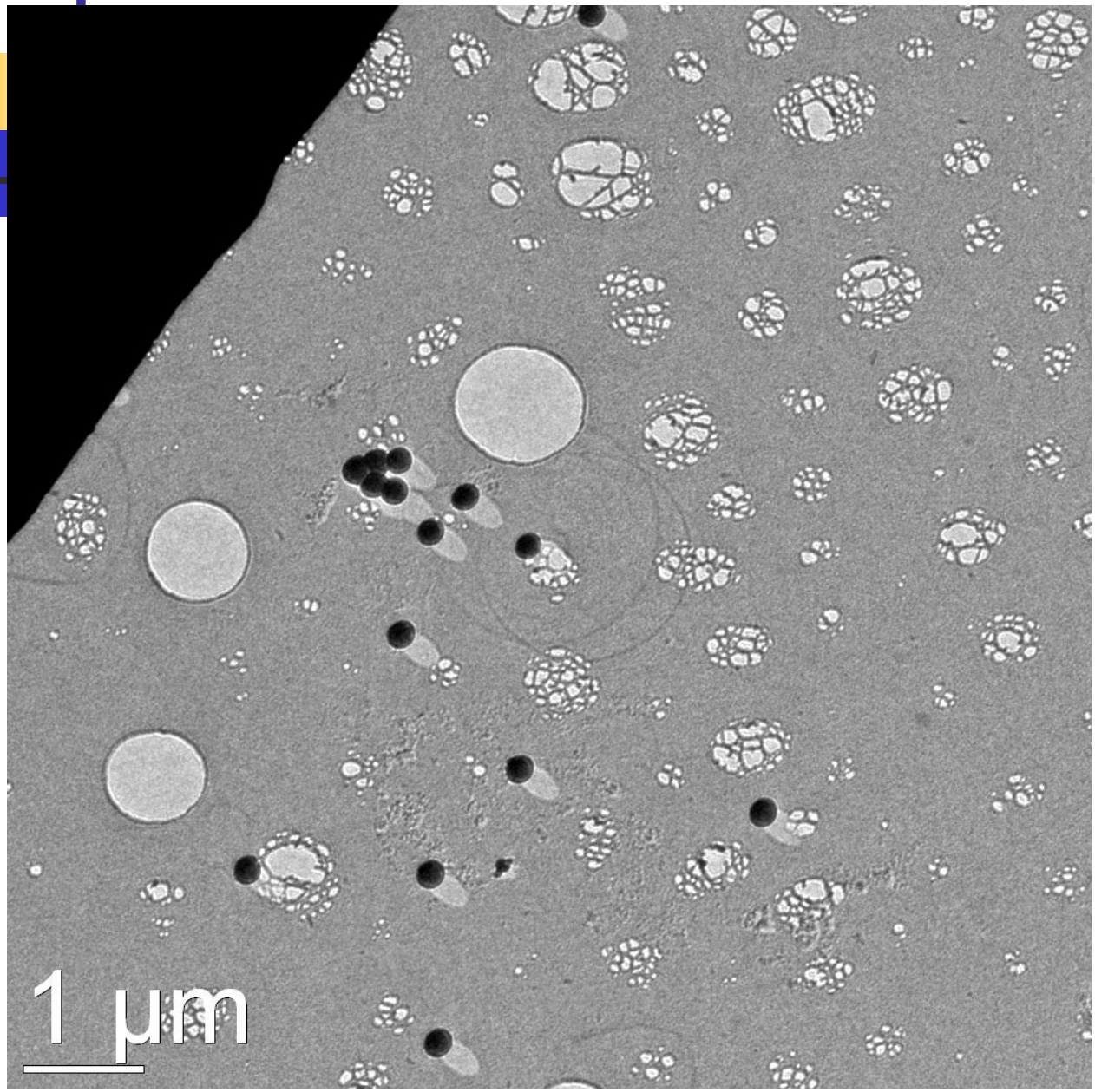
10 µm = 10^{-5} m = 0.00001 m



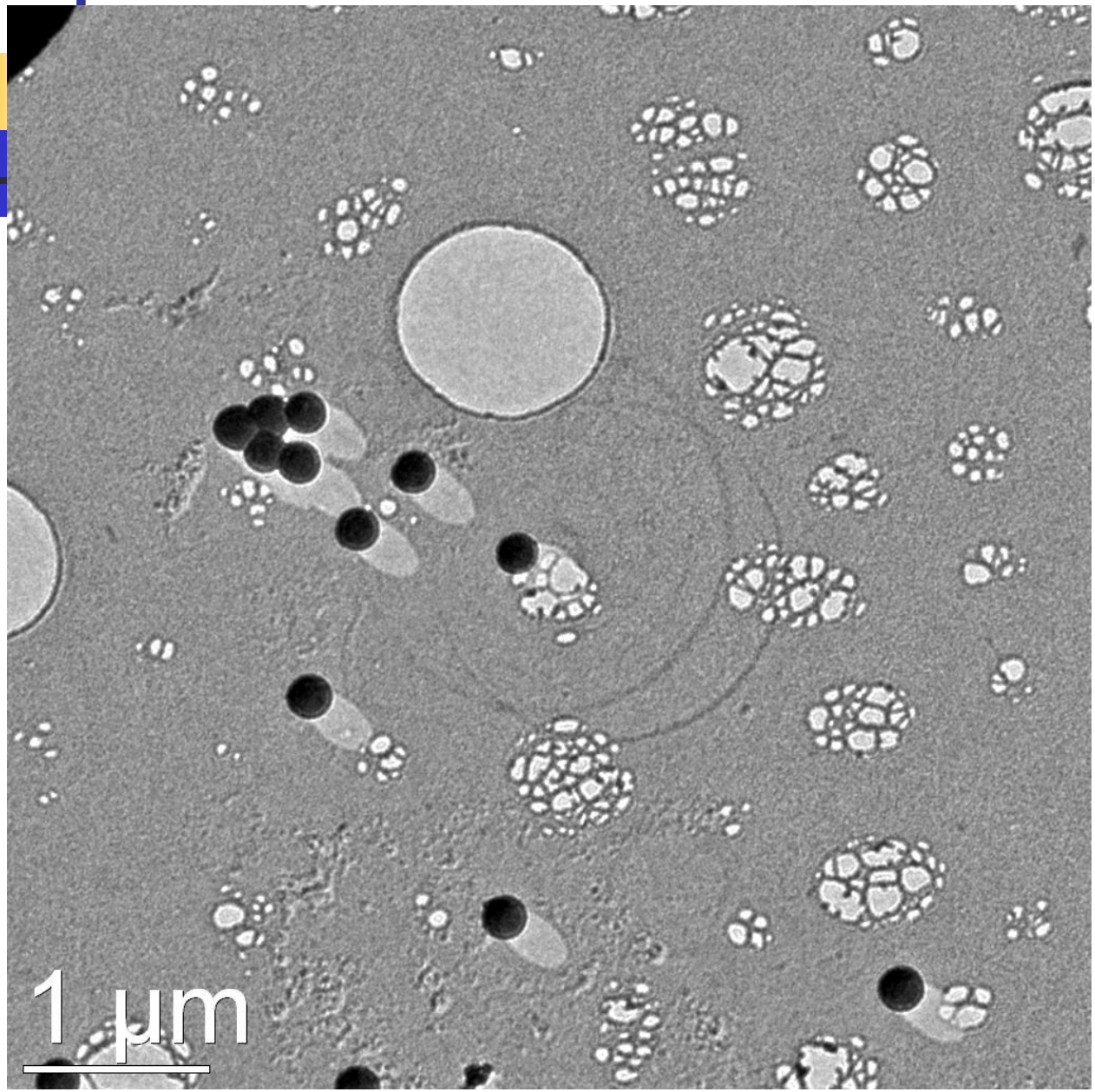
1 μm = 10^{-6} m = 0.000001 m



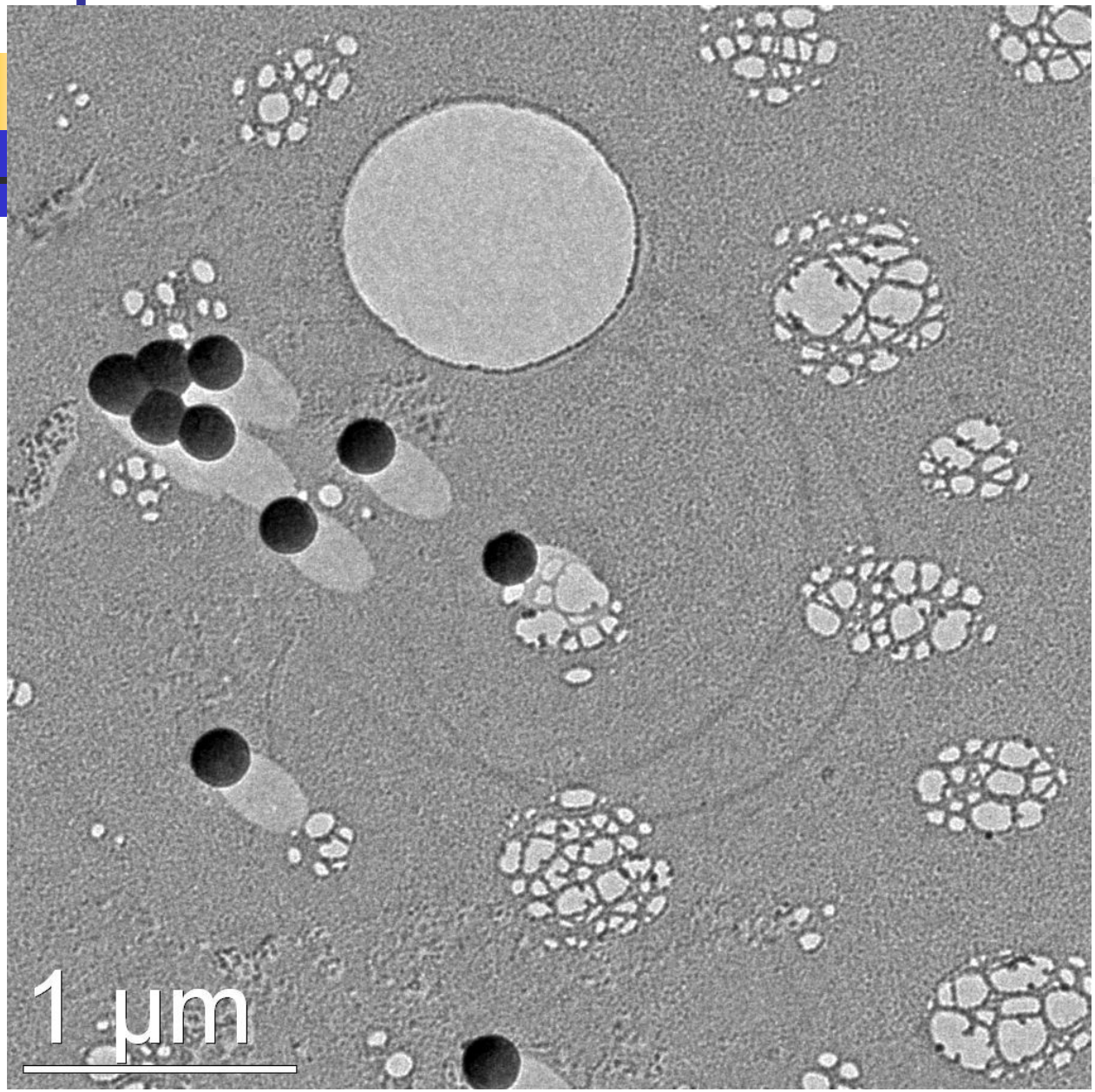
1 μm = 10^{-6} m = 0.000001 m



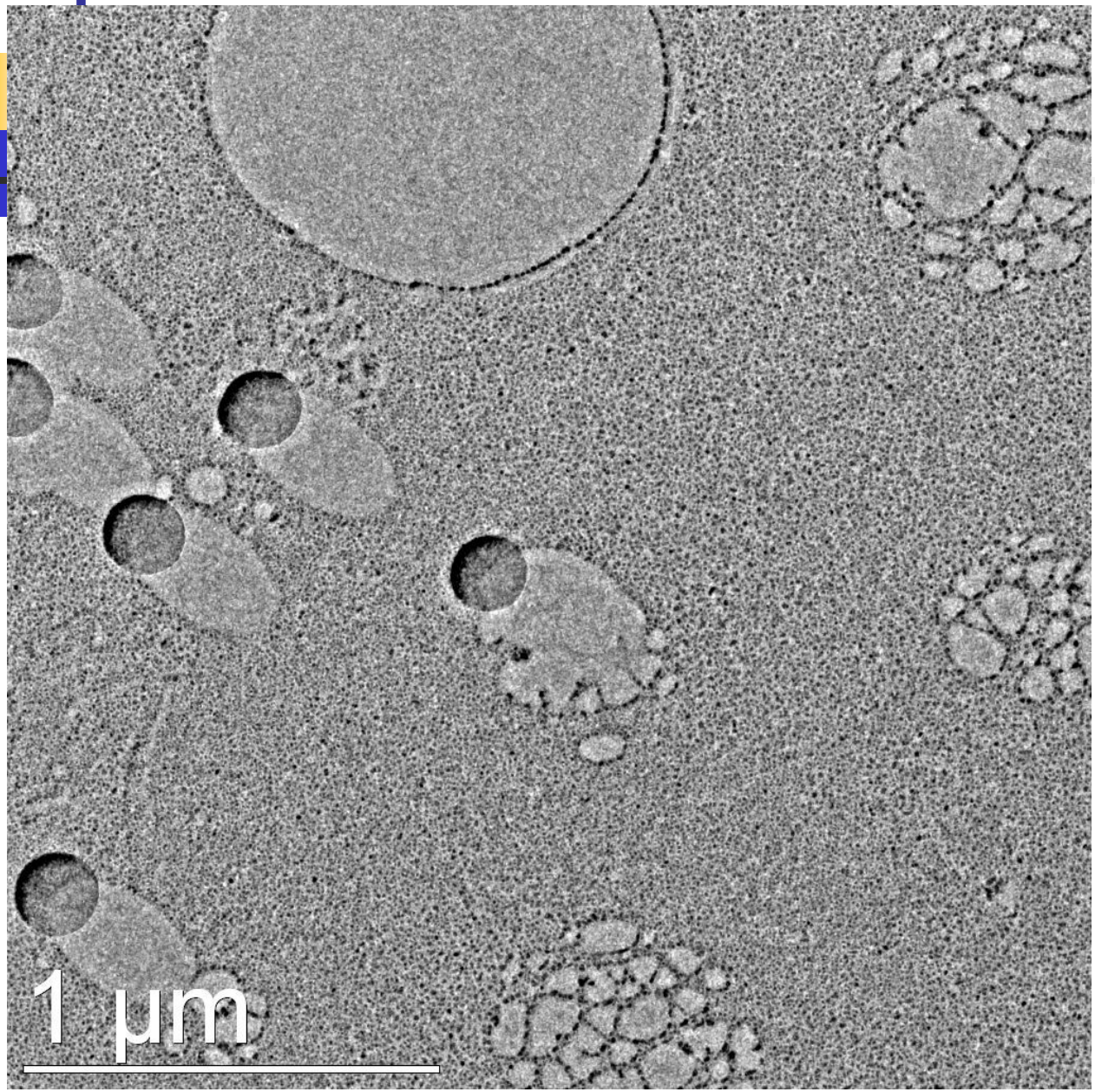
1 µm = 10^{-6} m = 0.000001



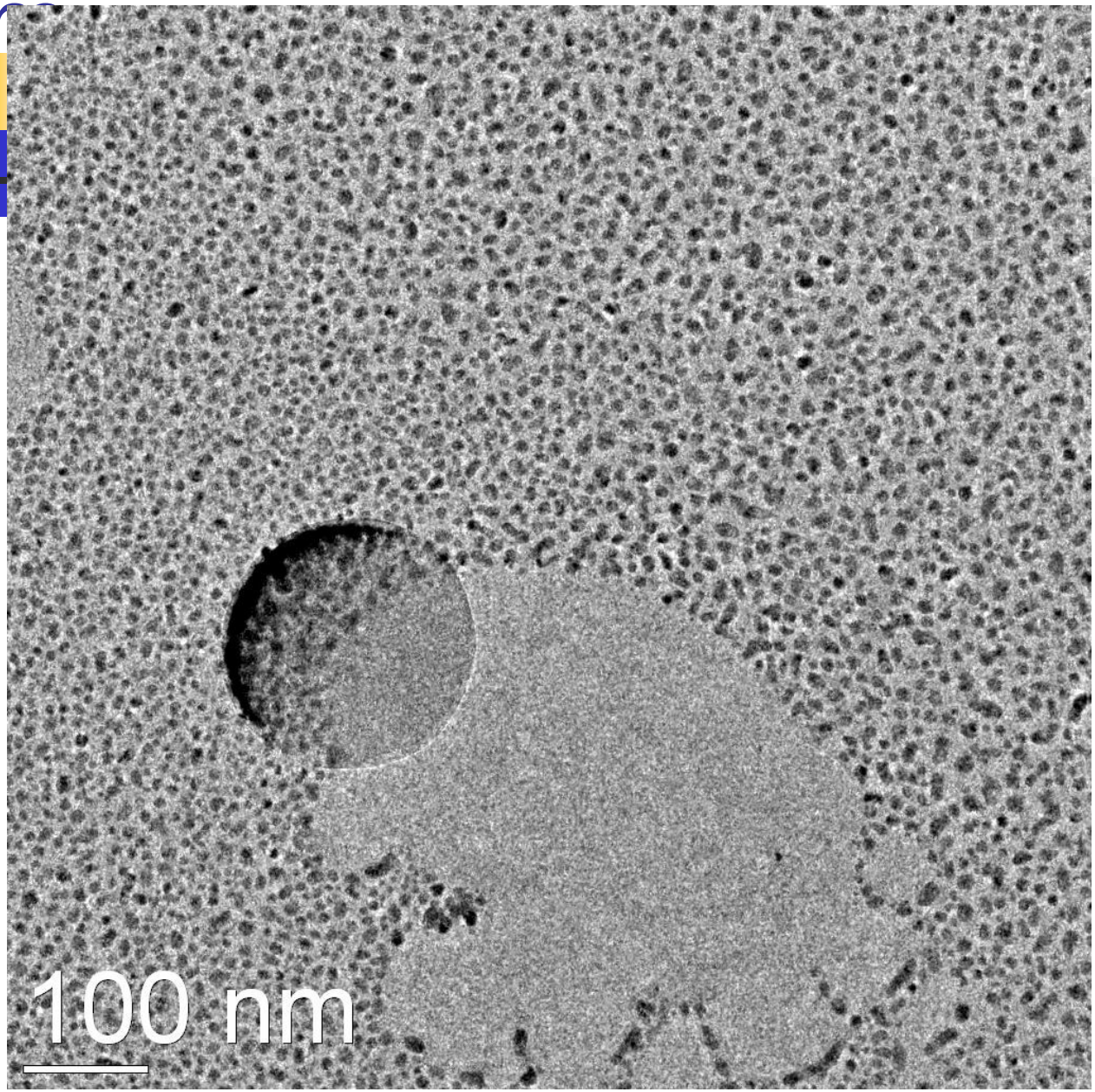
1 μm = 10^{-6} m = 0.000001 m



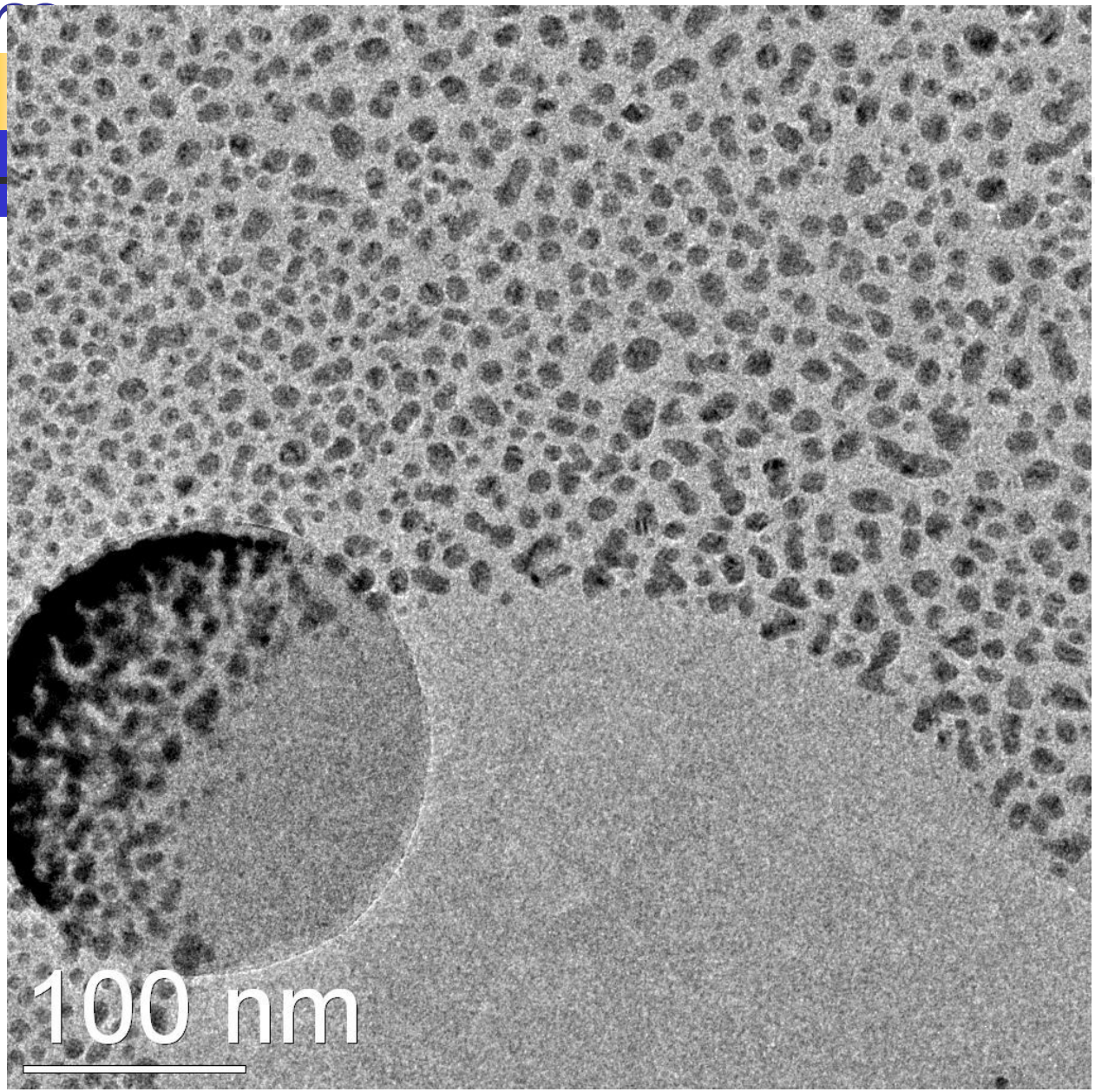
1 μm = 10^{-6} m = 0.000001 m



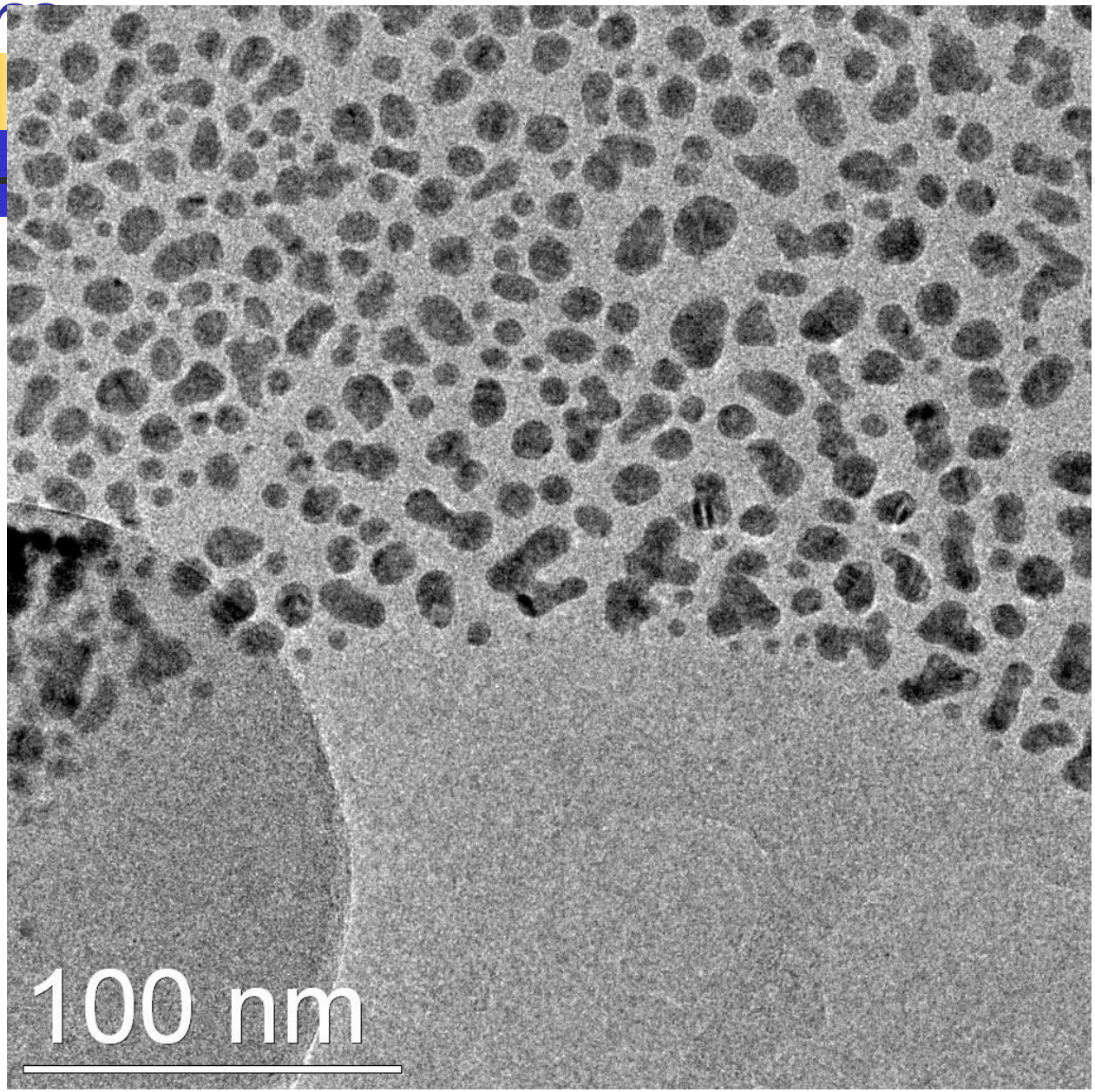
100 nm = 10^{-7} m = 0.0000001 m



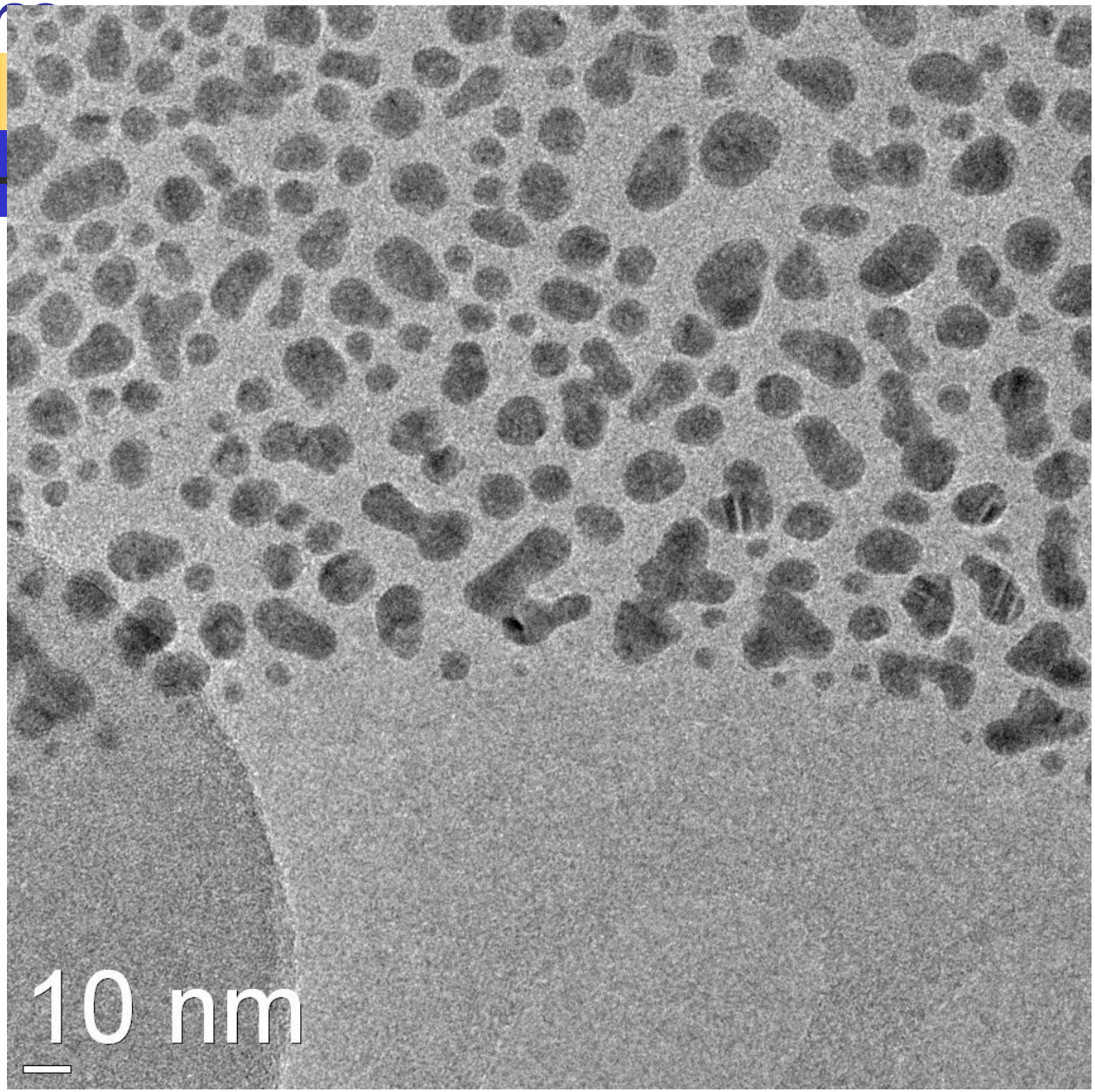
100 nm = 10^{-7} m = 0.0000001 m



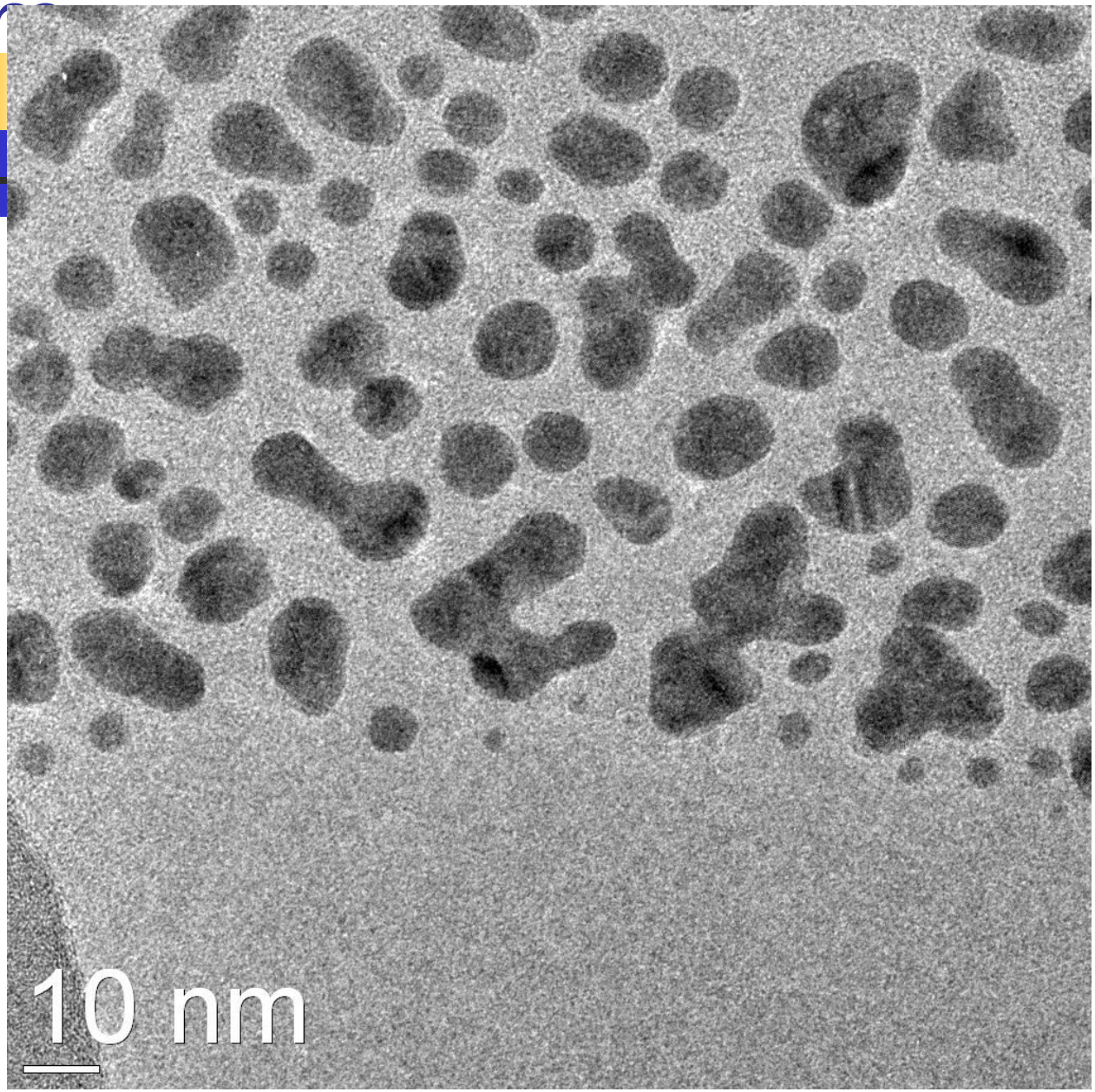
100 nm = 10^{-7} m = 0.0000001 m



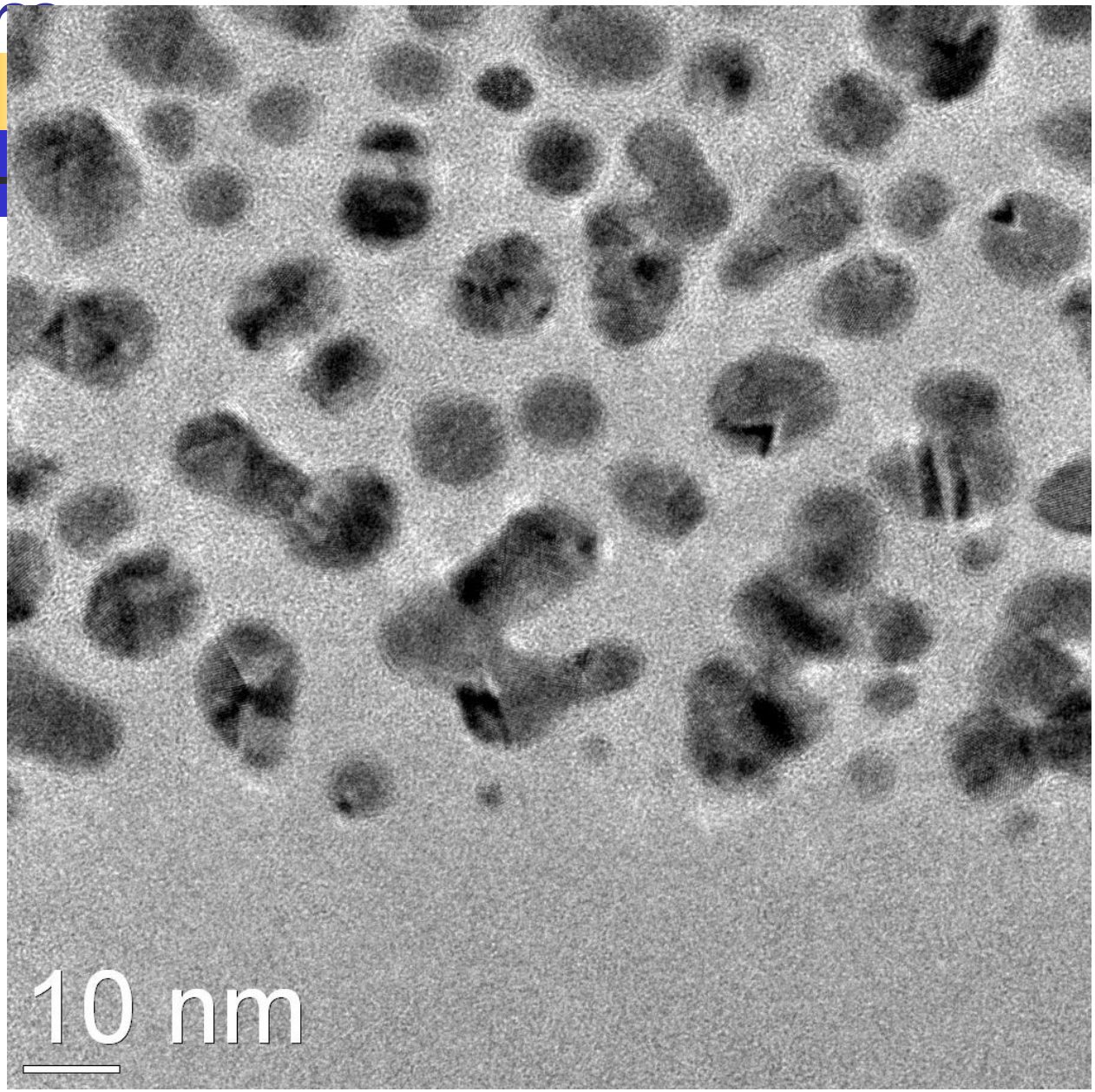
10 nm = 10^{-8} m = 0.00000001 m



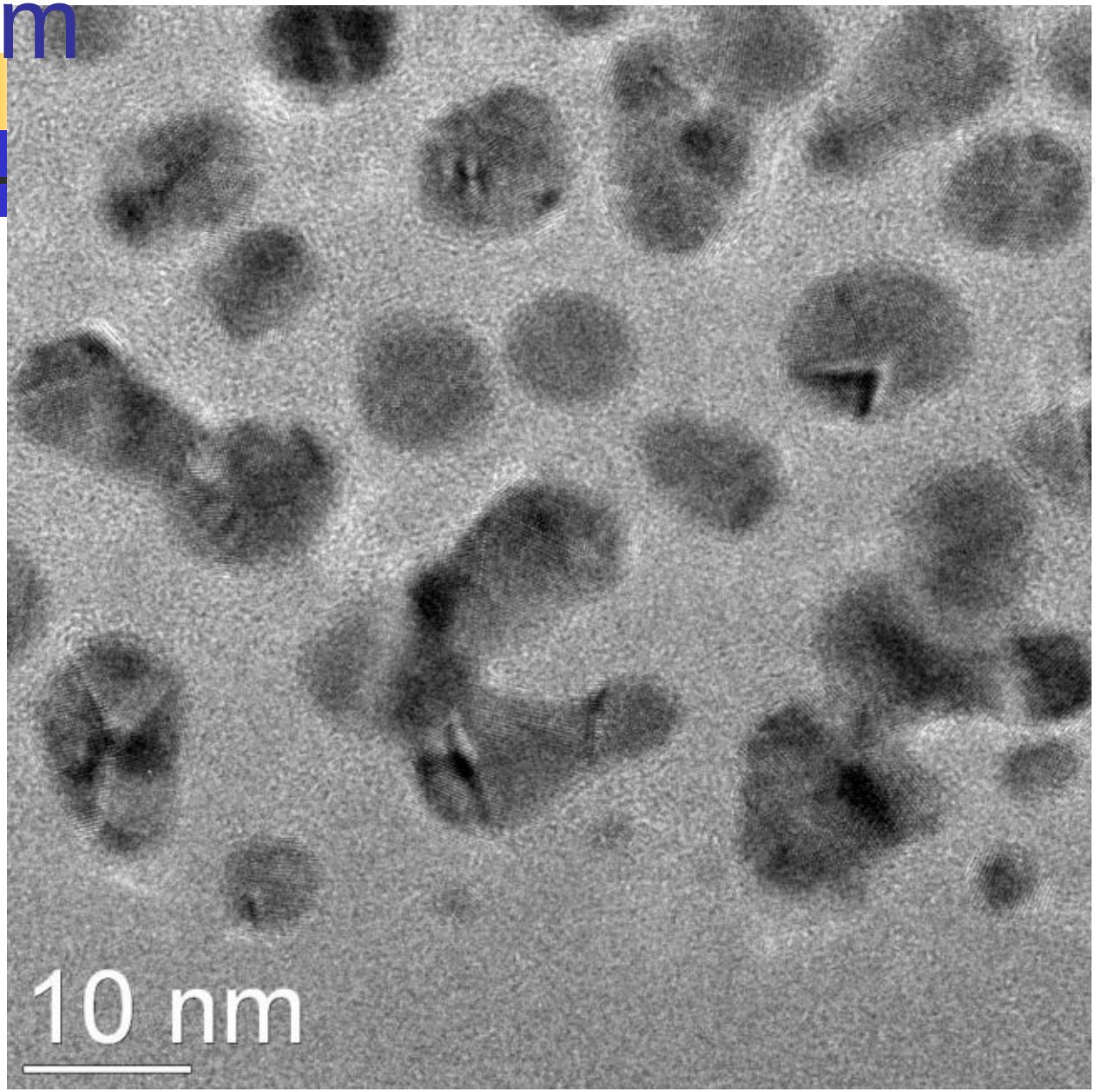
10 nm = 10^{-8} m = 0.00000001 m



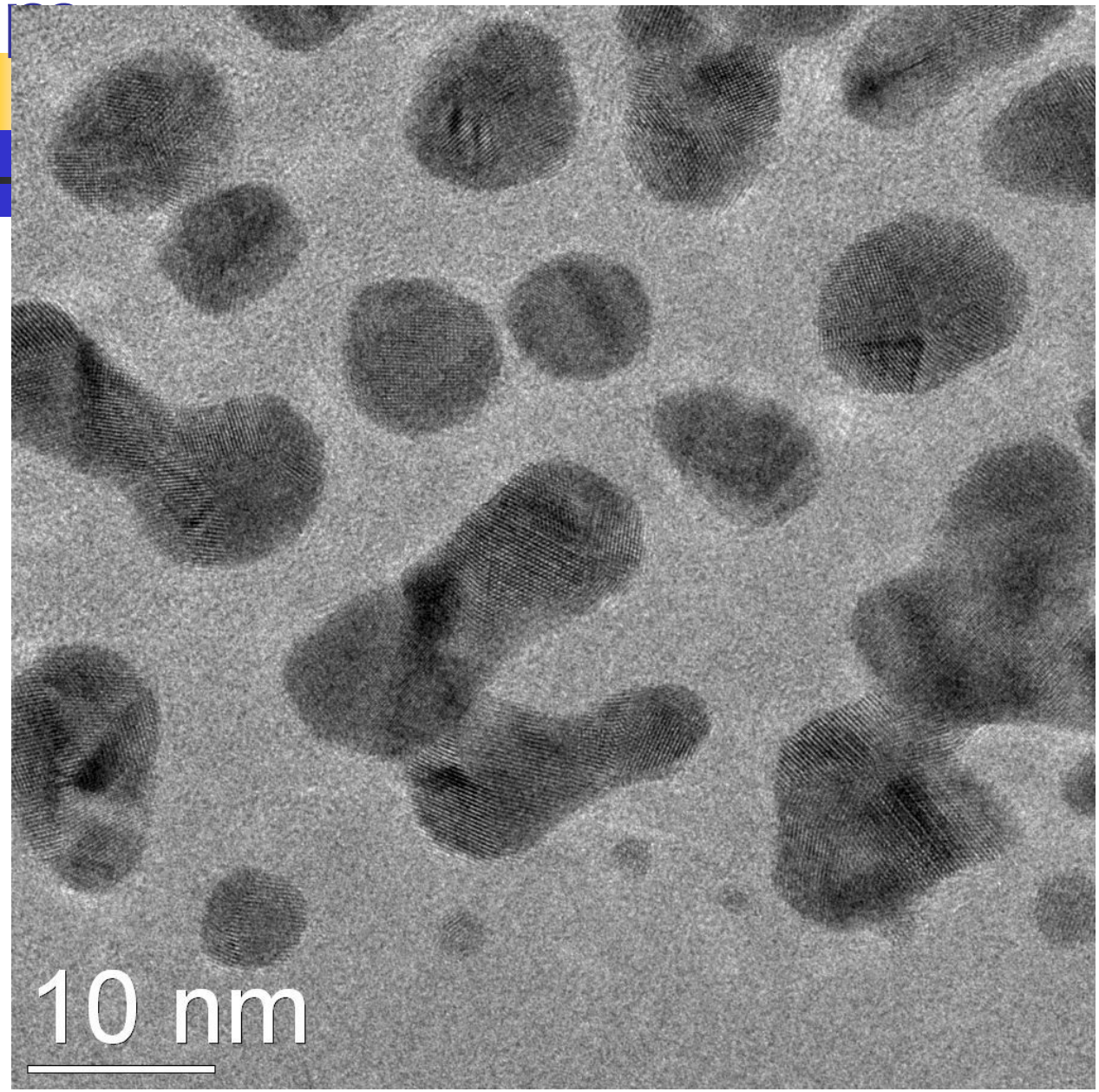
10 nm = 10^{-8} m = 0.00000001 m



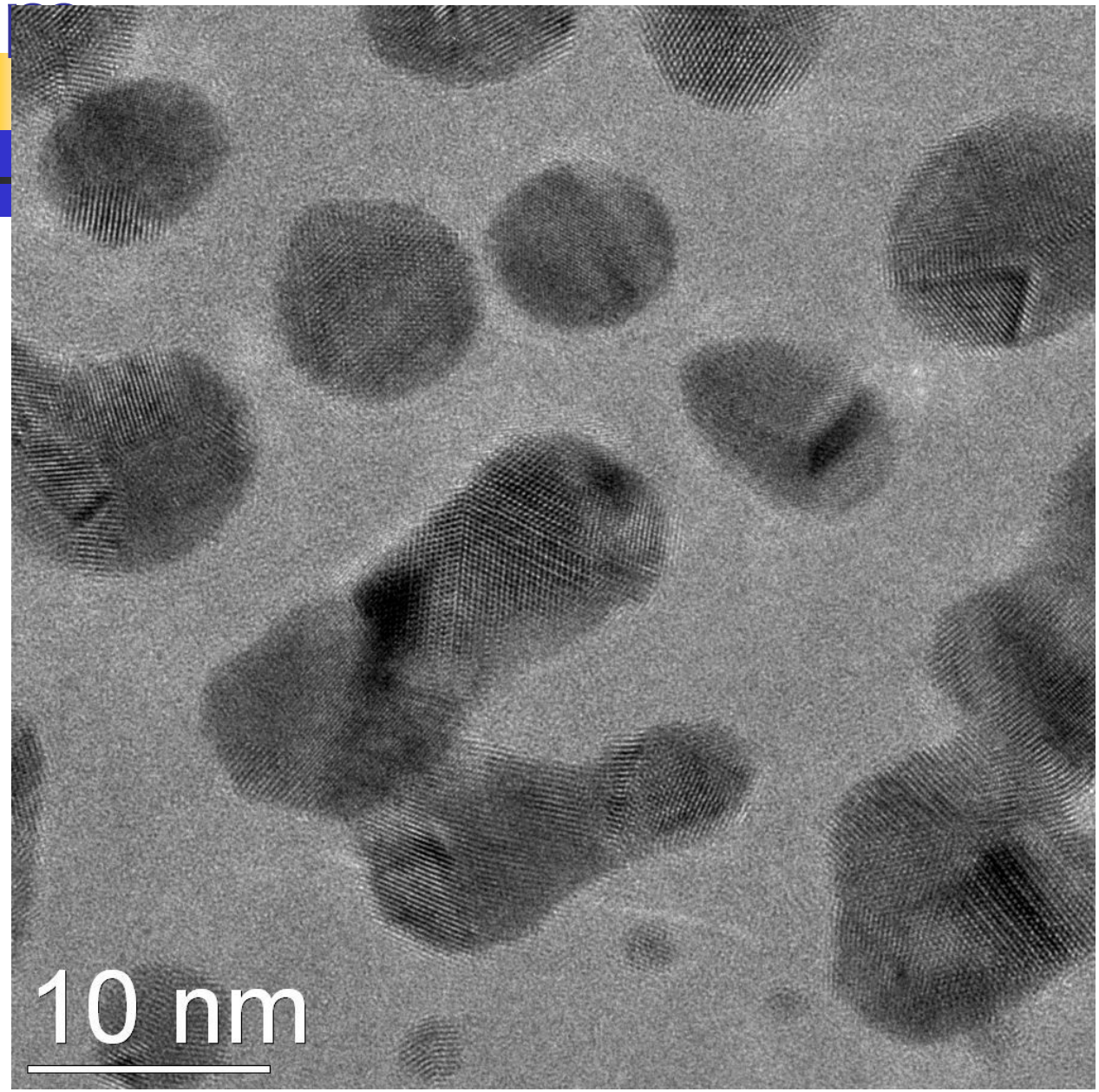
10 nm = 10^{-8} m = 0.00000001 m



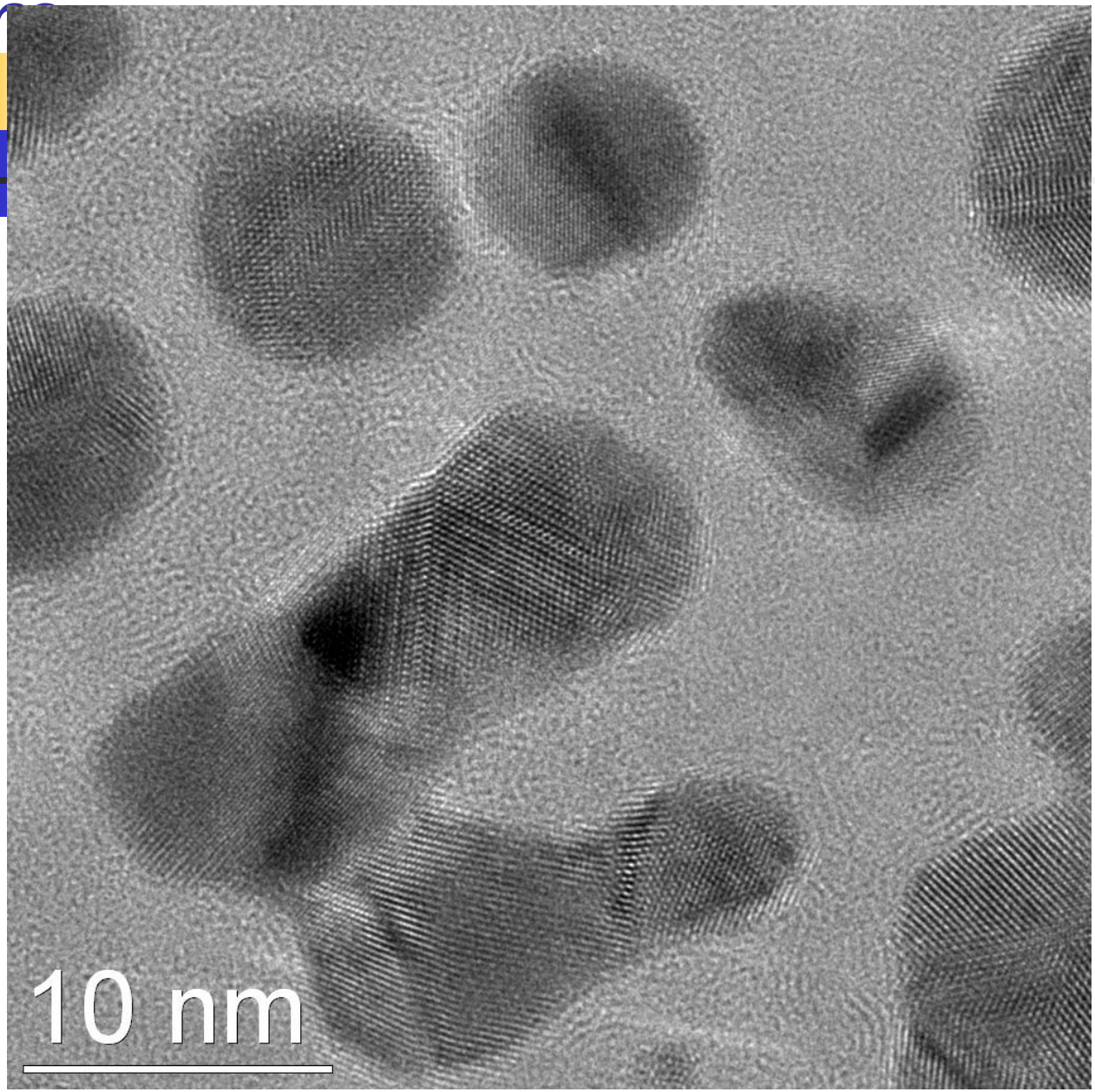
10 nm = 10^{-8} m = 0.00000001



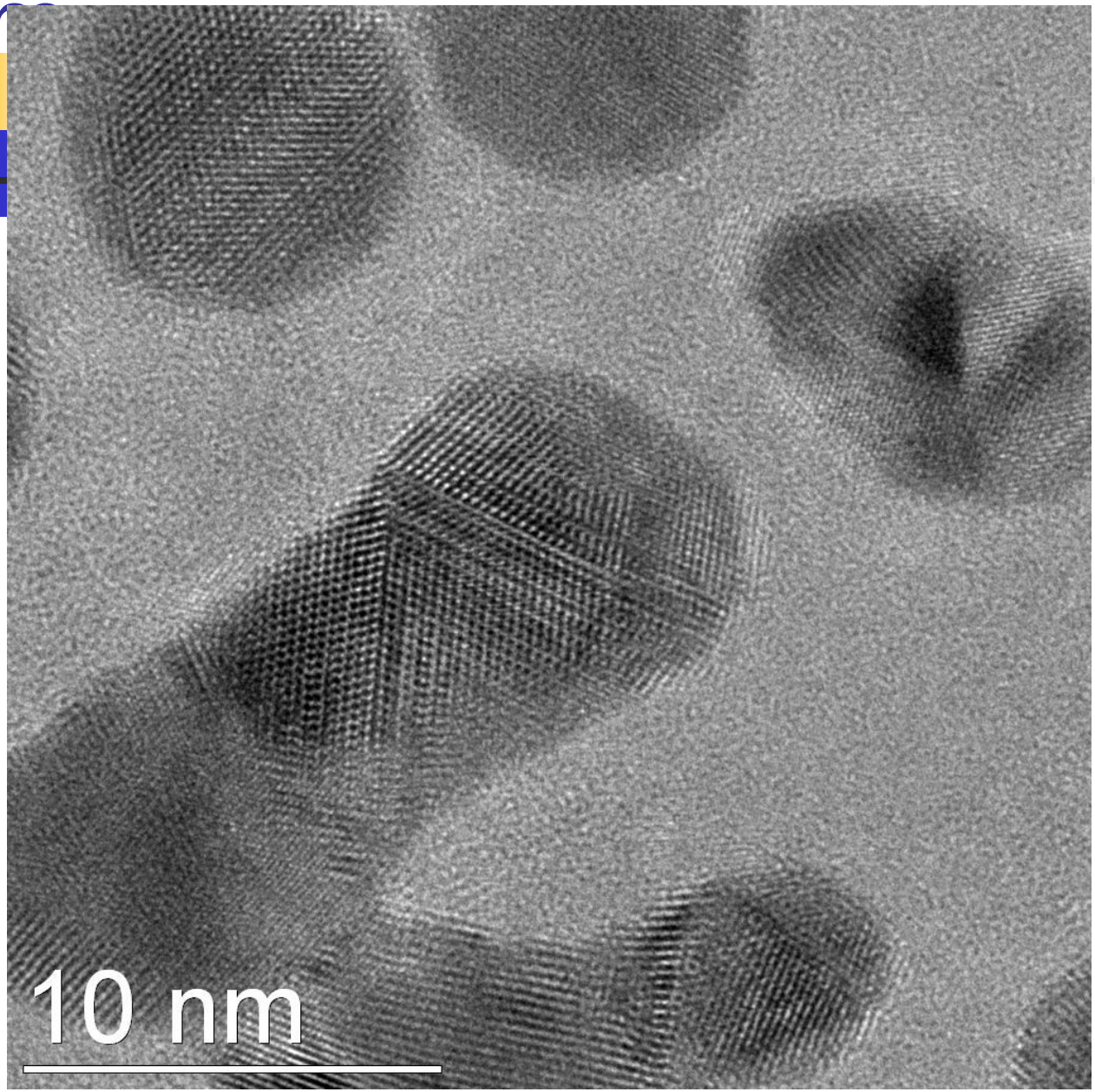
10 nm = 10^{-8} m = 0.00000001



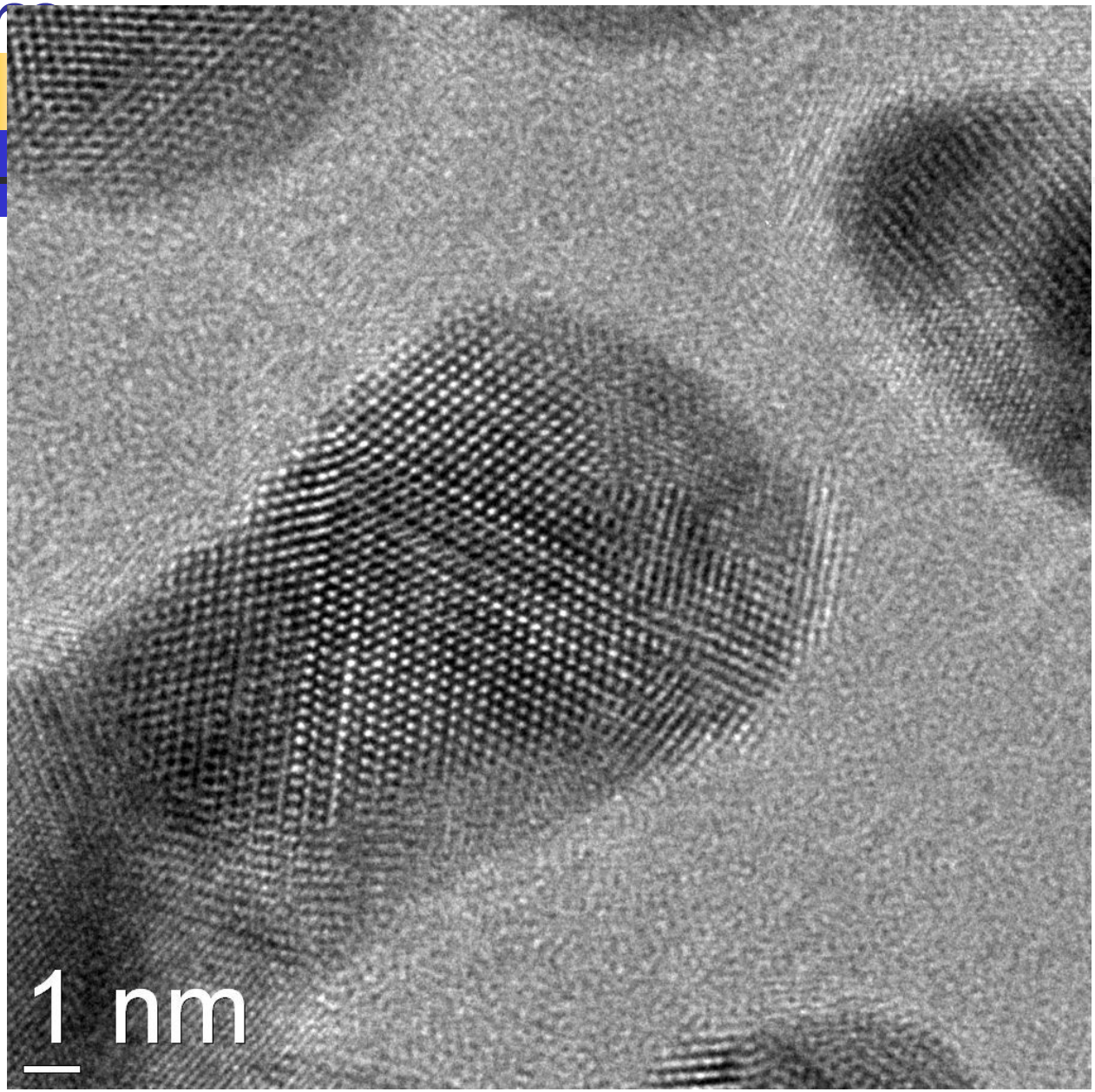
10 nm = 10^{-8} m = 0.00000001 m



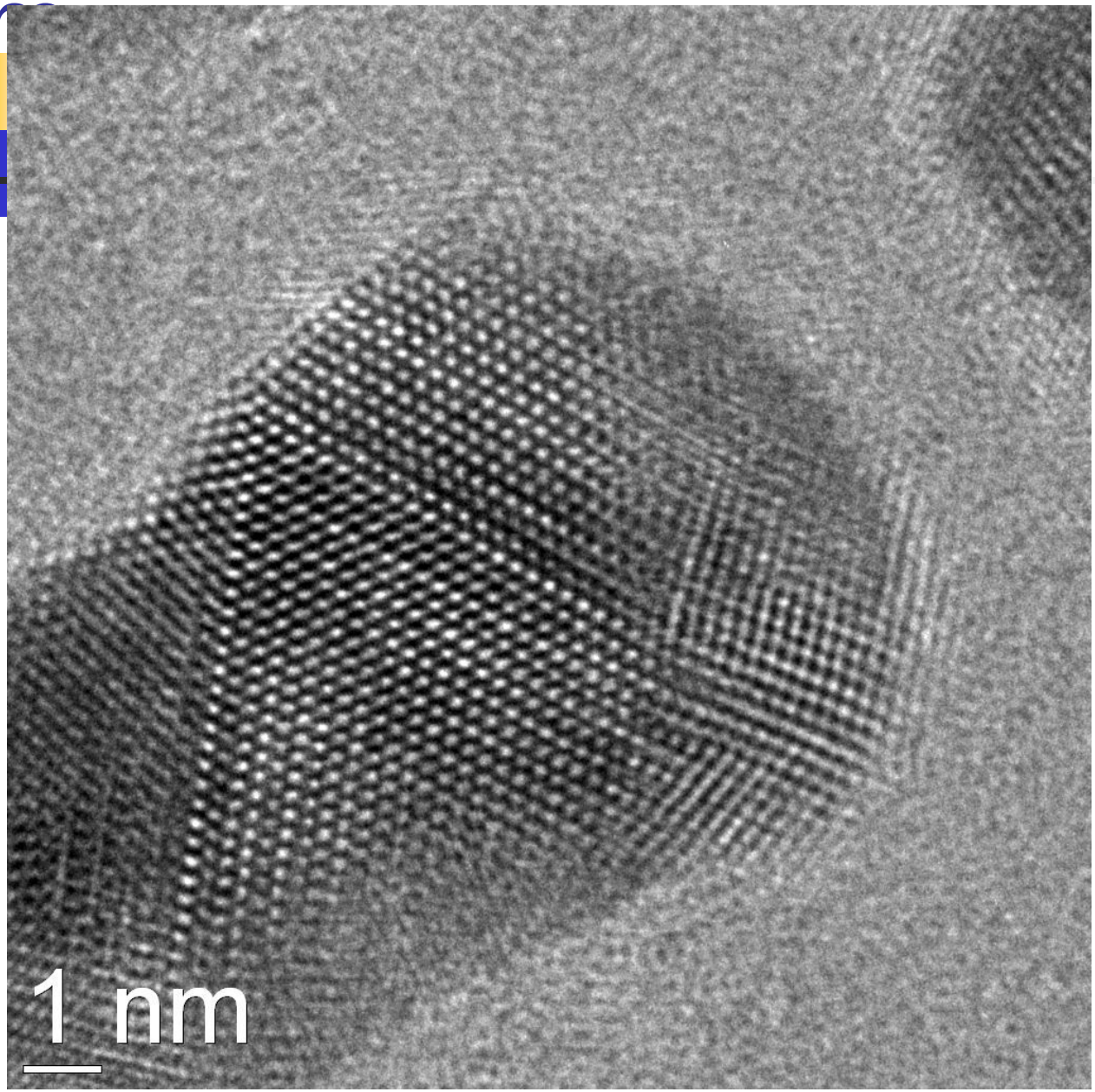
10 nm = 10^{-8} m = 0.00000001 m



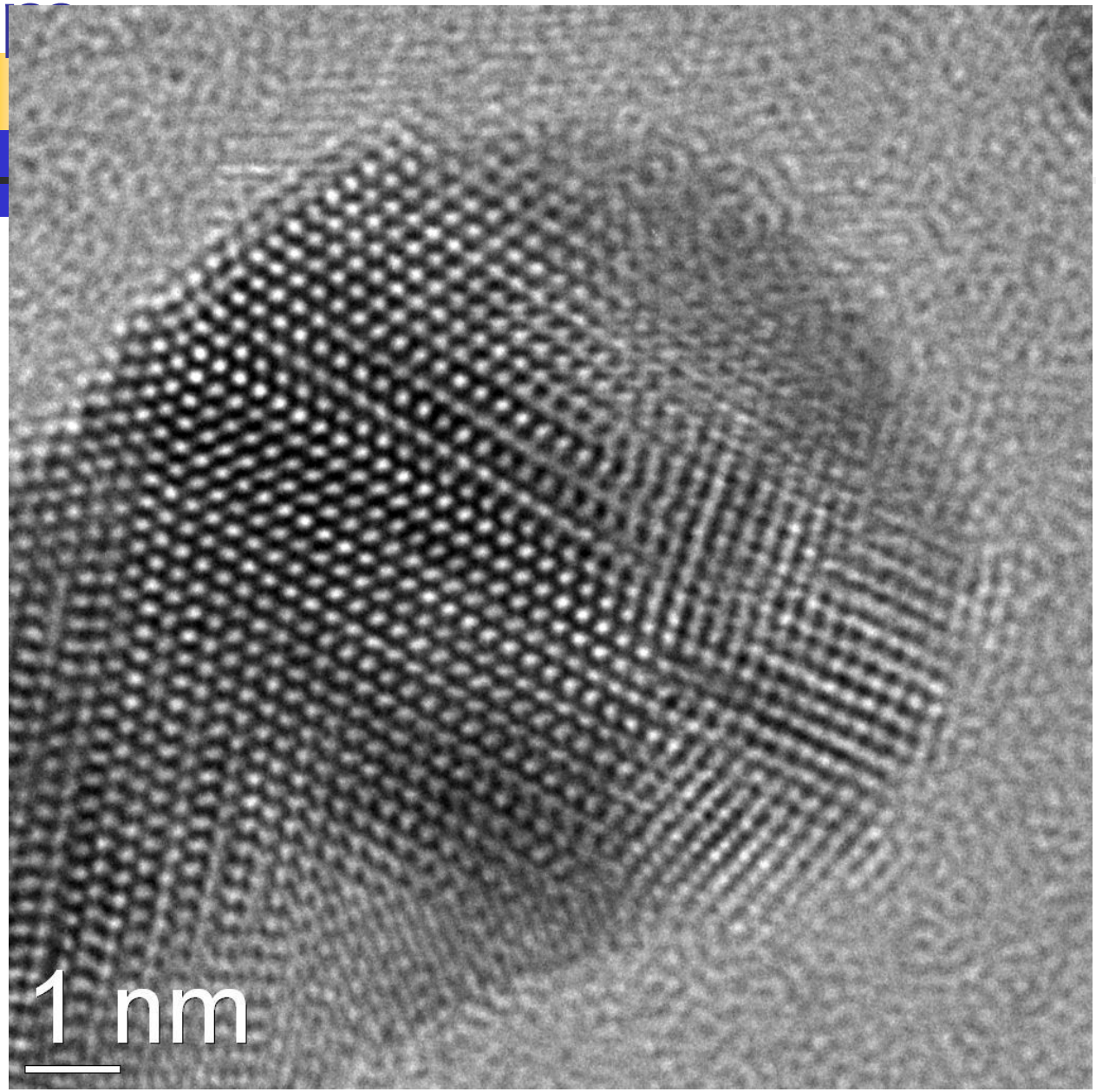
1 nm = 10^{-9} m = 0.000000001 m



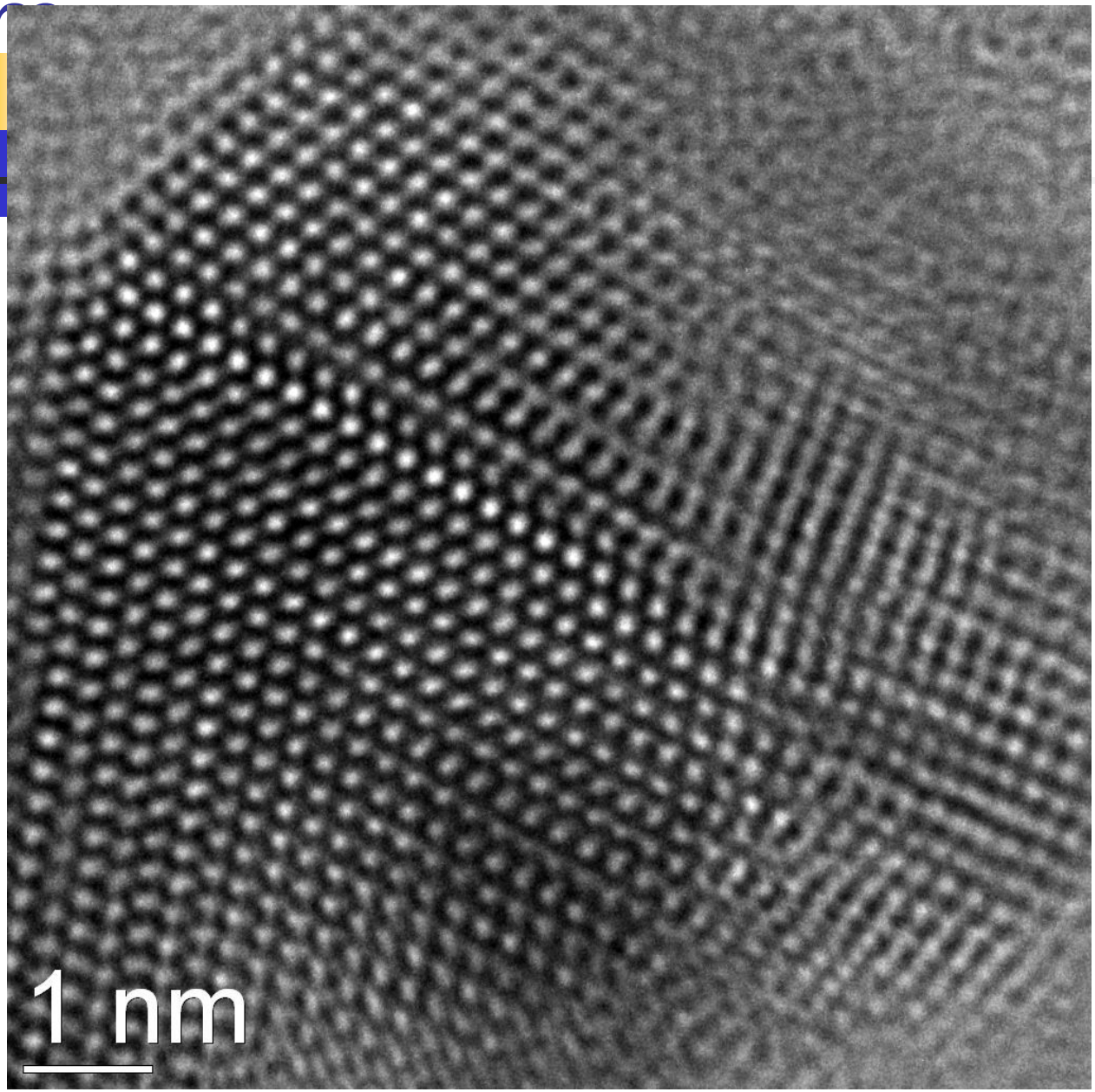
1 nm = 10^{-9} m = 0.000000001 m



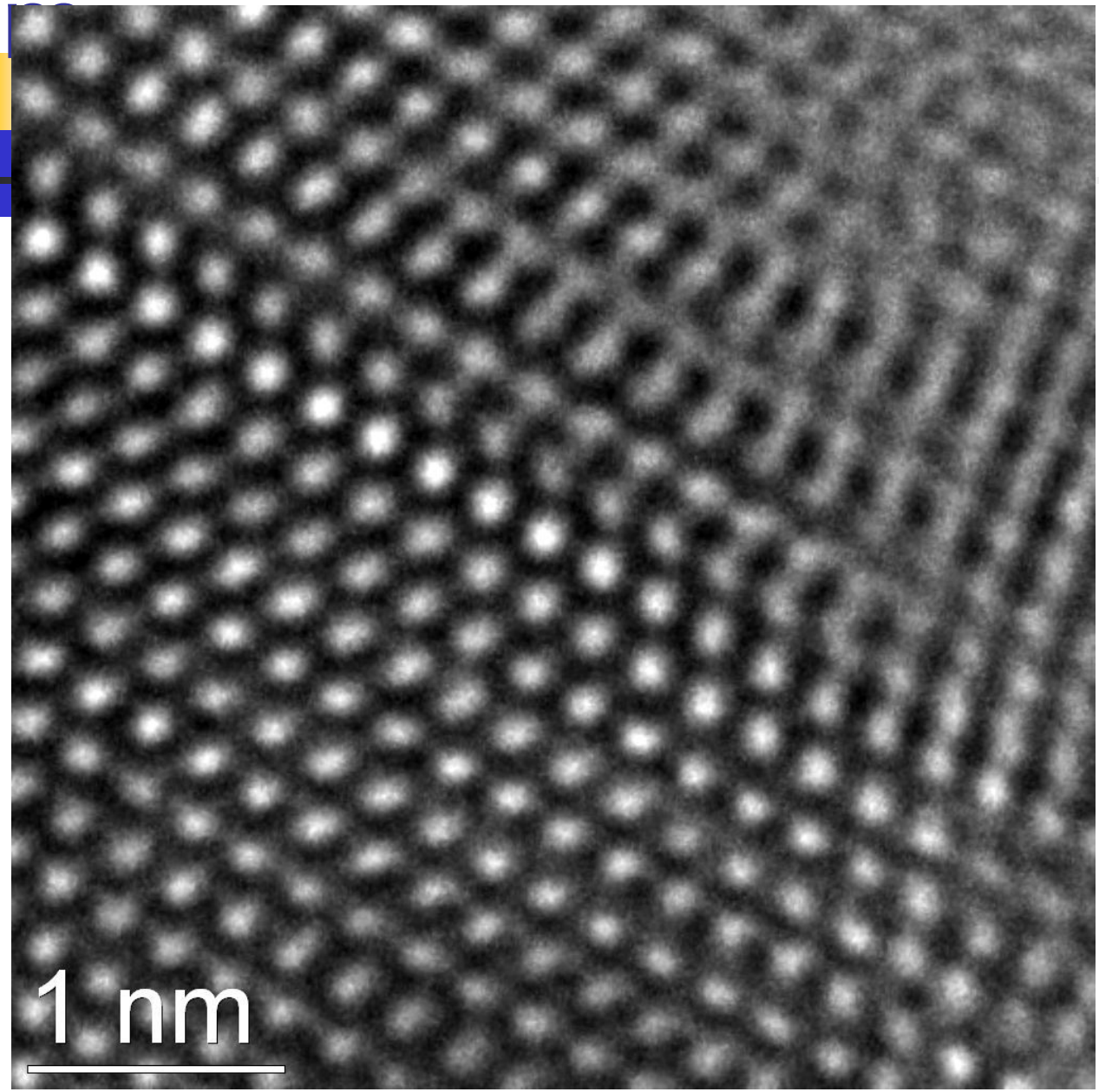
1 nm = 10^{-9} m = 0.000000001



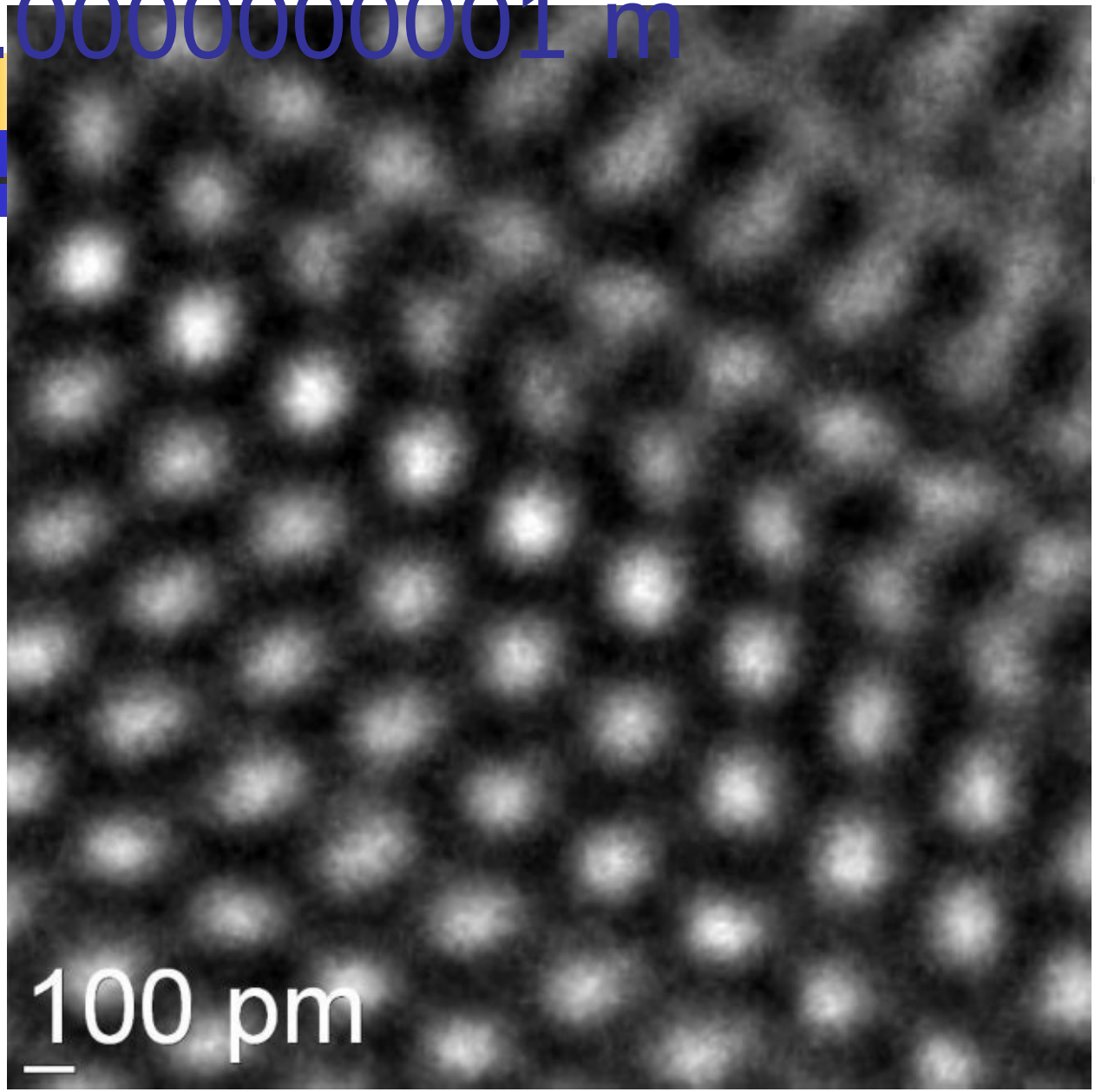
1 nm = 10^{-9} m = 0.000000001 m

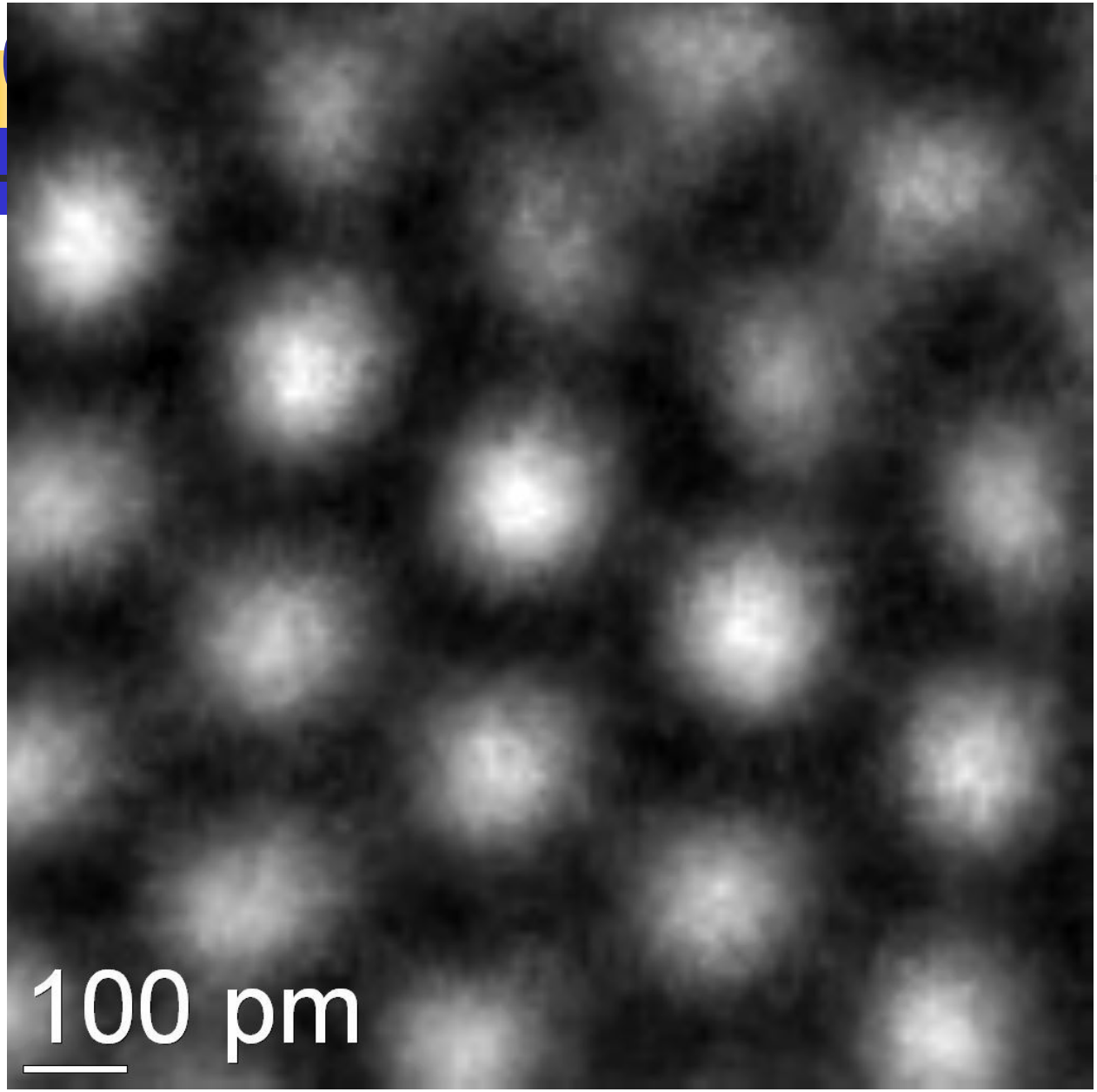


1 nm = 10^{-9} m = 0.000000001



100 pm = 10^{-10} m = 0.0000000001 m



100 pm = 10^{-10} m =

0.0