

Краткая история прочности

от Александра Алексеевича Пархоменко

- 1) От Лукреция до Гука и Фарадея,
 - 2) Идеальная прочность,
- 3) Харьковская школа «прочнистов»,
- 3) «Лжетеория зацеплений» и первые «исторические» ТЕМ снимки дислокаций,
- 4) Структуры деформированных образцов (как рождаются и живут дислокации)
 - 5) Образцы и установки для испытаний
- 6) Испытание нано – материалов (графен, аэрогель, нано-бумага и др.)
- 7) Прочность и синергетика (от нанометров до миллиардов световых лет)
 - 8) Прочность и пластичность, как фактор национальной безопасности.

- **То состоять из начал крючковатых должно несомненно,**
- **Сцепленных между собой наподобие веток сплетенных.**
- **В этом разряде вещей, занимая в нем первое место,**
- **Будут алмазы стоять, что ударов совсем не бояться,...**

Лукреций (95-55 гг. до н.э.) «О природе вещей».

Намного опередивший время! Проблема сцепления или когезии.

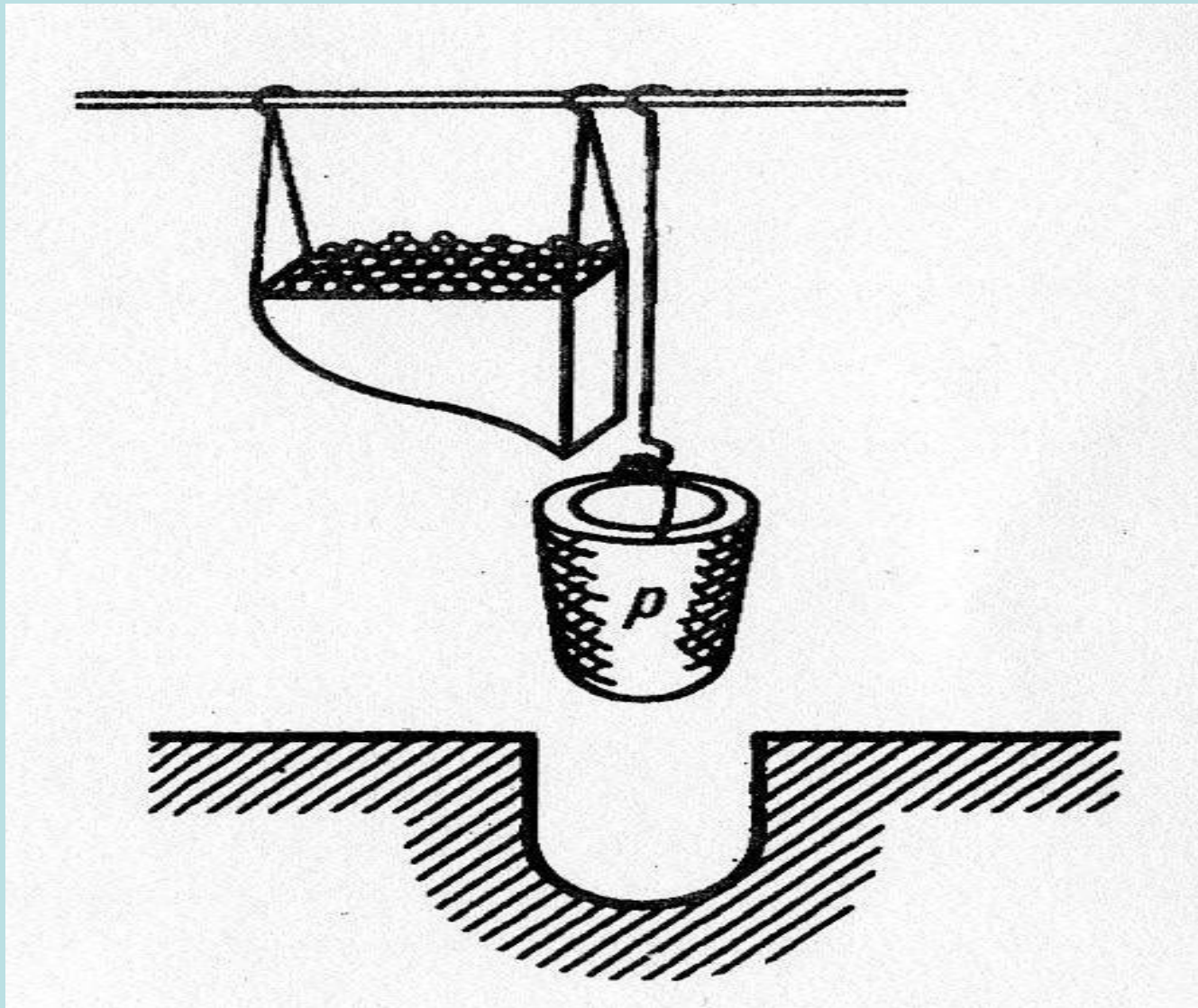
Знания о прочности передавались **как искусство** при постройке храмов, дворцов, что мы имеем возможность видеть переход от римского к готическому стилю в архитектуре..

Но были и неудачи. Катастрофа амфитеатра в Фидене, 27 г. н.э. - 50 тыс. жертв!!!

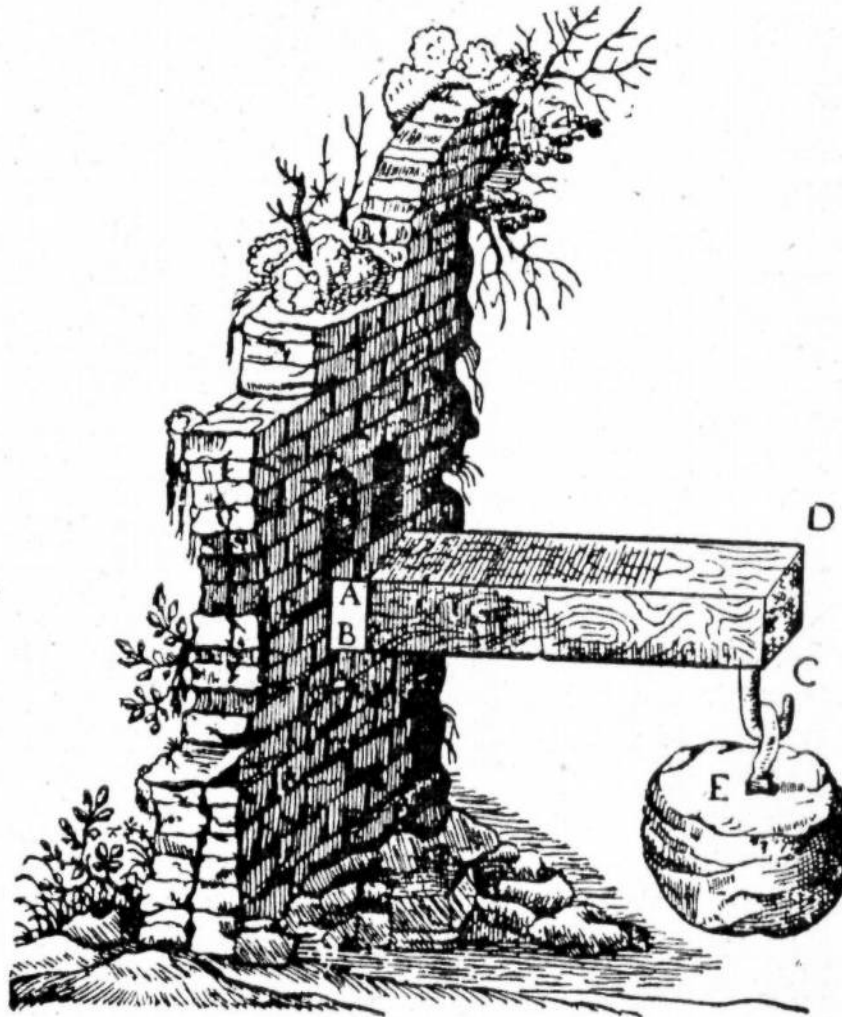
Даже в середине 19-го века мудрейший М. Фарадей ничего не мог сказать о прочности ТТ, кроме того, что она определяется сцеплением между его мельчайшими частицами....., что немногим отличается от высказываний Лукреция.

Хотя, если говорить о Фарадее. То надо сказать, что в 1857 г. Он провел опыт, который и сегодня очень редко проводится. Нагревая золотую фольгу до предплавильных температур, он заметил. Что она сжимается. Сейчас такой подход называется метод «нуль-ползучести», и используется для определения такой константы материала, как поверхностная энергия (точнее поверхностное натяжение), которая непосредственно связана с энергией необходимой для раскола кристалла, т.е. для разрыва связей на поверхности.

Раньше Г.Галилея, Леонардо да Винчи исследовал прочность железных проволок на растяжение таким способом.
Рисунок из записной книжки Леонардо.



Первые научные работы появились в эпоху Ренессанса-Леонардо до
Винчи и Галилео Галилей(дерево)
Дж.Гордон. Почему мы не проваливаемся под пол. М. «МИР», 1973г.



Р и с. 12. Рисунок Галилея, иллюстрирующий испытание консольной балки.

Роберт Гук (1635-1703)

- В течение 40(!!!) лет работал куратором Королевского общества (Академии наук). Каждую неделю он должен был экспериментально демонстрировать новые открытые законы природы! Открыл 500 «законов» природы!
- Кроме закона упругости $\sigma = E\varepsilon$, устанавливающего пропорциональность напряжения и силы (1678), все остальные носят другие имена! Этот закон положил начало учению о прочности.
- Микроскоп (клеточная структура растений), телескоп (красное пятно Юпитера), закон всемирного тяготения (!!), волновая природа света (одновременно с Гюйгенсом), о вращении земли, часы с пружиной и др.
- Письмо Гука Ньютону-1678: «...я утверждаю, что ... $1/r^2$...». 1681. Ньютон «Математические основания натуральной философии». На 250 лет определивший научное мировоззрение человечества...
- В.И. Арнольд «Гюйгенс и Барроу, Ньютон и Гук». М. «Наука», 1989 г., 96 с. \\ А.Н. Владимиров «Роберт Гук». М. «Наука», 1984, 254 с.

Идеальная прочность на сдвиг и реальная прочность материала (ситуация на 20-е годы 20-го века). Уже была теория относительности и квантовая теория, а о прочности почти ничего не знали! В 1931г. В УФТИ И.В.Обреимов начал исследования по ФПП

где a — межатомное расстояние в направлении сдвига. При малых x соотношение (20.2) переходит в (20.1). Критическое скалывающее напряжение σ_c , при котором решетка становится неустойчивой, соответствует максимальному значению σ ,

$$\sigma_c = Ga/2\pi d. \quad (20.3)$$

Если $a \approx d$, то $\sigma_c \approx G/2\pi$ и критическое скалывающее напряжение будет составлять примерно 1/6 от модуля сдвига.

Экспериментальные данные, приведенные в табл. 20.1, показывают, что наблюдаемые значения предела упругости оказы-

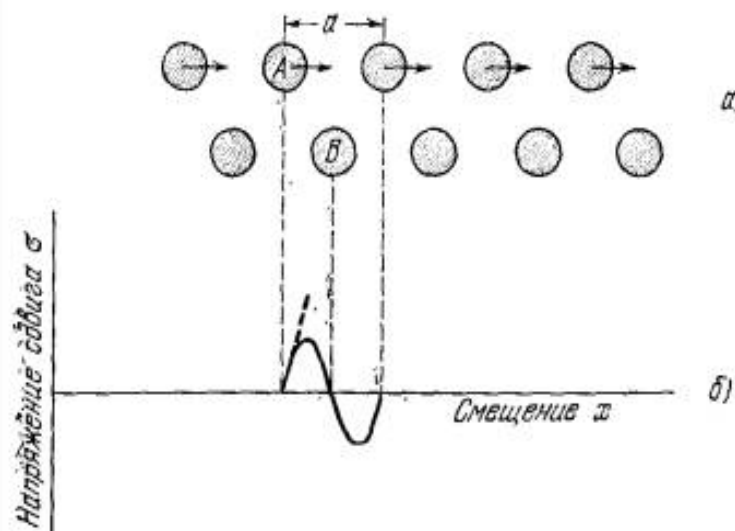


Рис. 20.1. а) Сдвиг одной плоскости относительно другой (показано в сечении) в однородно деформированном кристалле. б) Напряжение сдвига как функция от относительного смещения плоскостей из их равновесных положений. Жирным пунктиром показан начальный наклон, соответствующий модулю сдвига G .

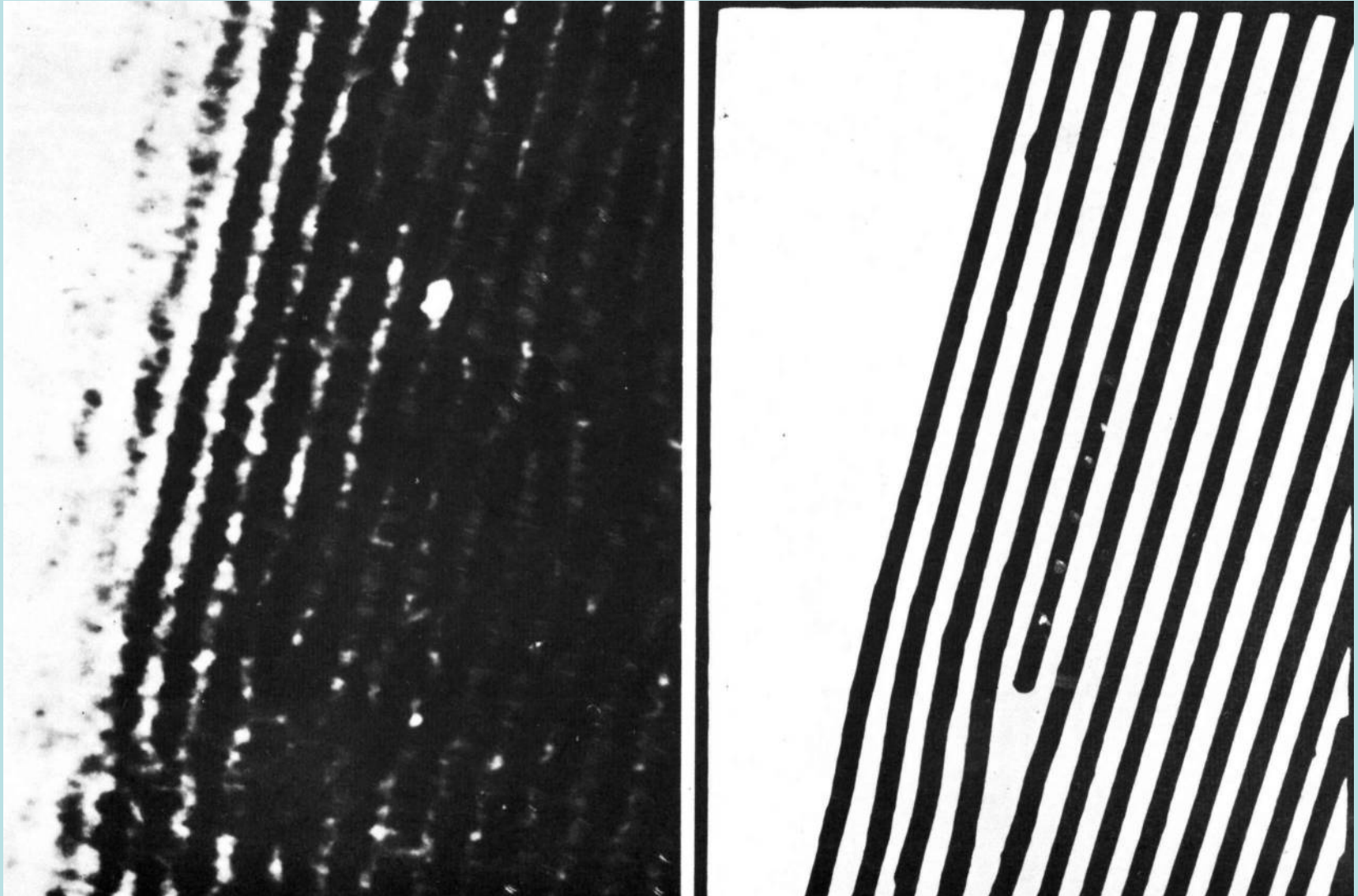
Теоретическая и реальная прочность материалов

- Теоретическая прочность железа- 1200 Кг/мм^2 . На практике прочность чистого железа- 8 Кг/мм^2 , прочных сталей- 150 Кг/мм^2 . Мягкие чистые металлы можно деформировать руками(золото, серебро, свинец).
- Представления об идеальной кристаллической решетке дают правильное представление и объяснение количественной теории упругости, но совершенно недостаточны для понимания структурно-чувствительных свойств – пластичности, прочности, диффузии и др. Физика этих явлений, основанная на другой концепции - существования несовершенств в атомной решетке, (с 30-х годов 20-го ст.)позволила понять основные закономерности реально наблюдаемого механического поведения кристаллов.
- Особенно плодотворной оказалась теория дислокаций, обеспечившая развитие физики пластичности и разрушения.
- Однако, забегаая вперед, отметим, что теория дислокаций не привела к созданию инженерной теории прочности.

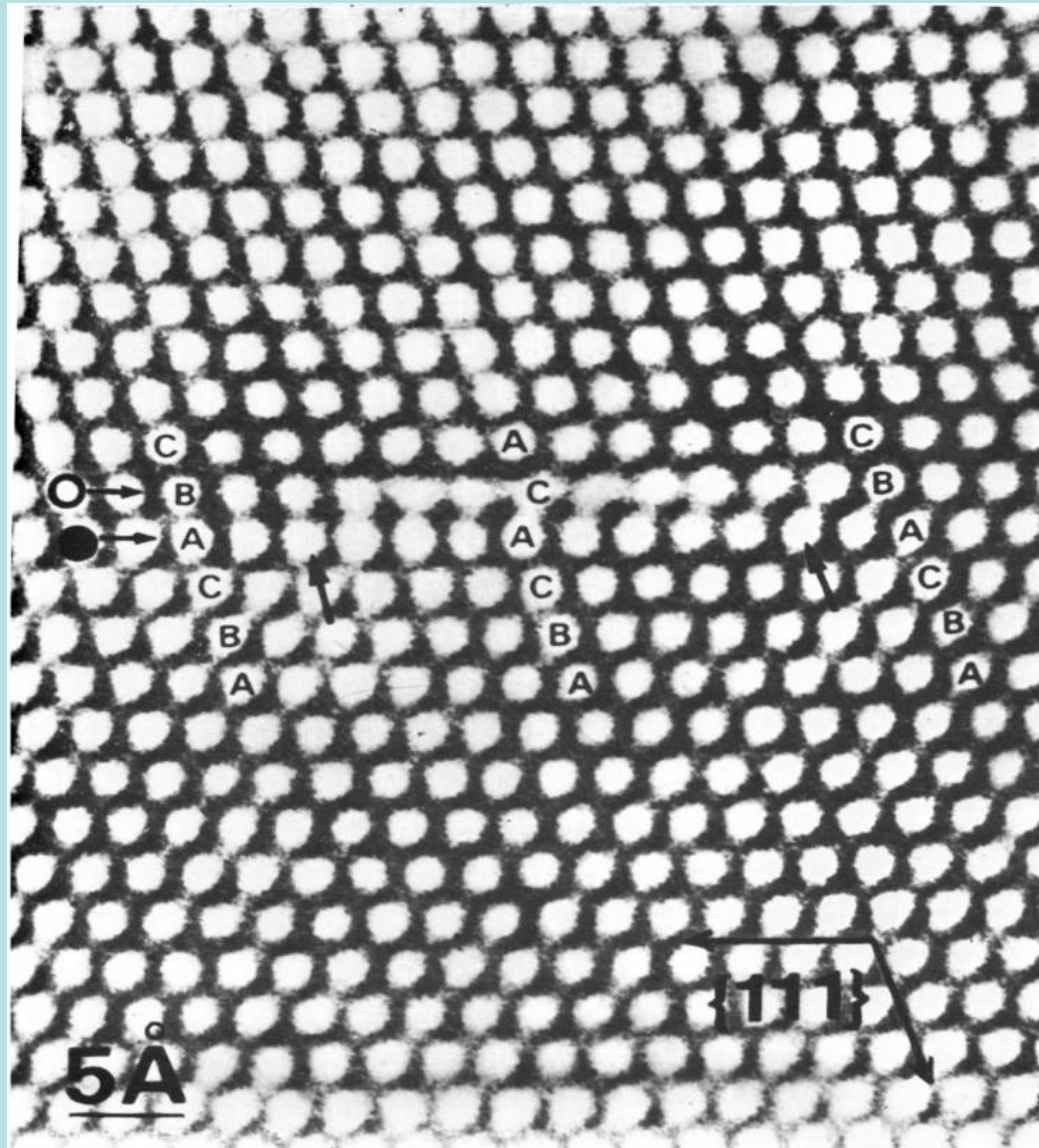
Харьковская школа физиков-прочнистов

- 1.И.В.Обреимов и Л.В.Шубников(постепенное распространение деформации вдоль направления сдвига)
- 2.Открытие нового(30-е годы) вида дефектов-упругих двойников.
- Лифшиц И.М., А.М.Косевич
- ХНУ- Пинес, Гегузин, А.Ф.Сиренко и др.
- Современные физики-прочнисты Харькова:
В.Д.Нацик, А.Т.Пугачев, И.М. Неклюдов,
Михайловский И.М. , Слезов В.В., и др.

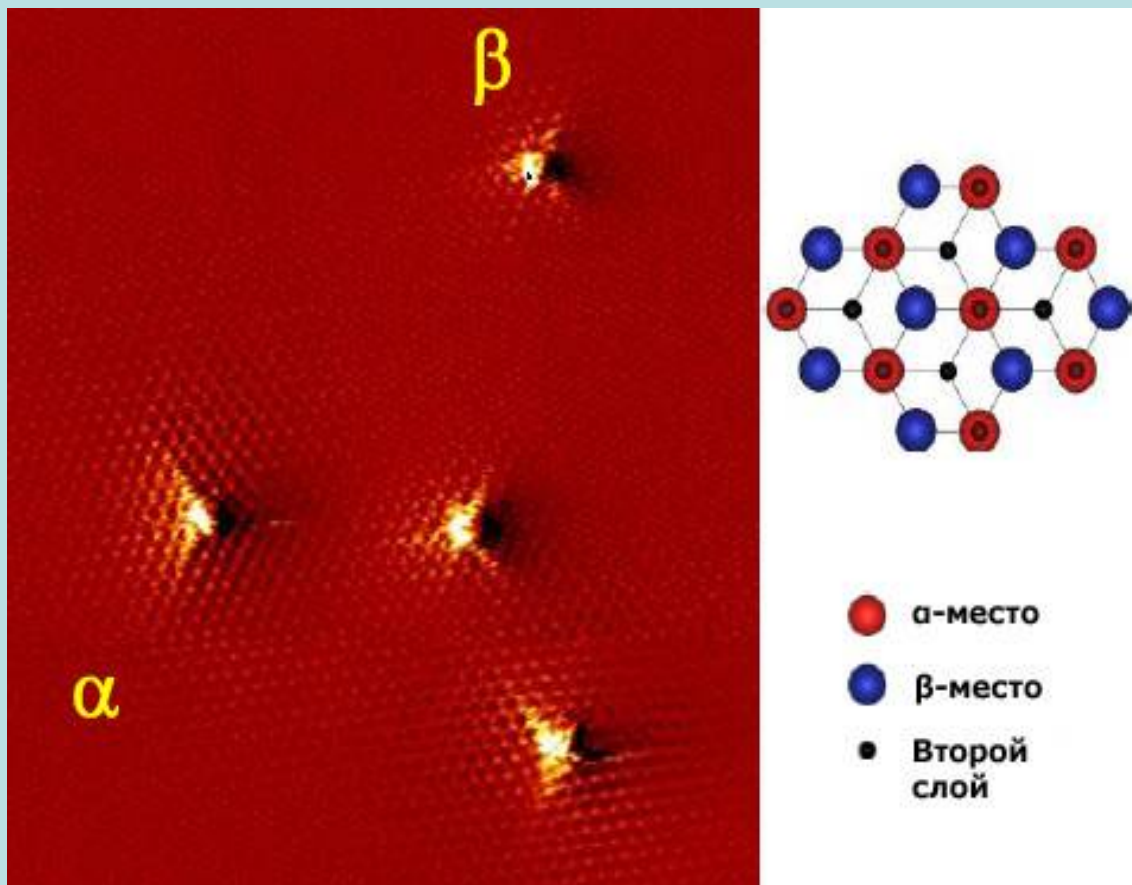
Лжетеория «зацеплений». Судьба – как у генетики. Тейлор - 1934 г. – одна на миллион! Перша світлина дислокації (1955 г.) Краевая дислокация. Пластическое течение-движение дислокаций.



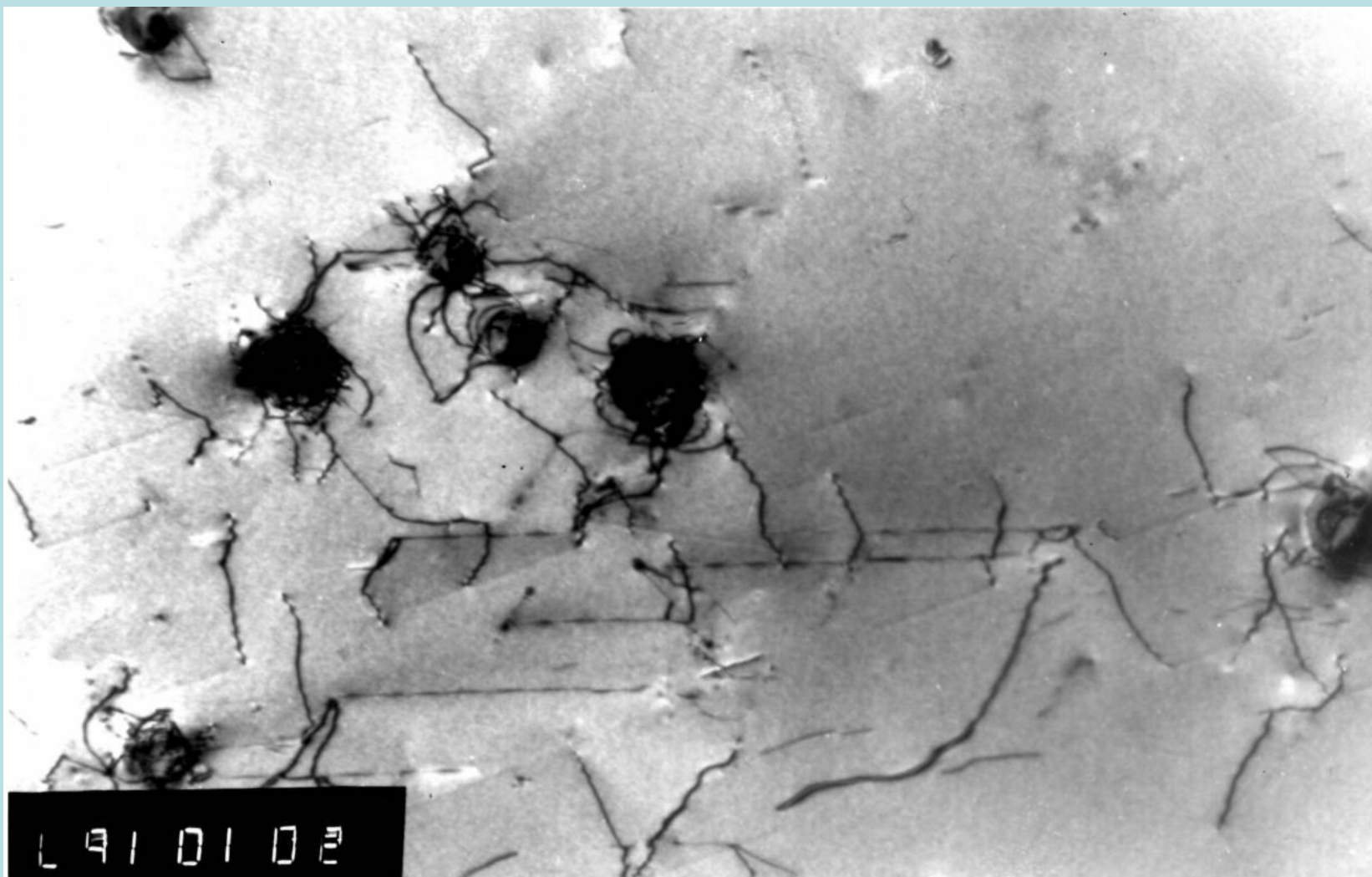
Перша світлина атомів(1971). Другие дефекты-вакансии и
междоузельные атомы!



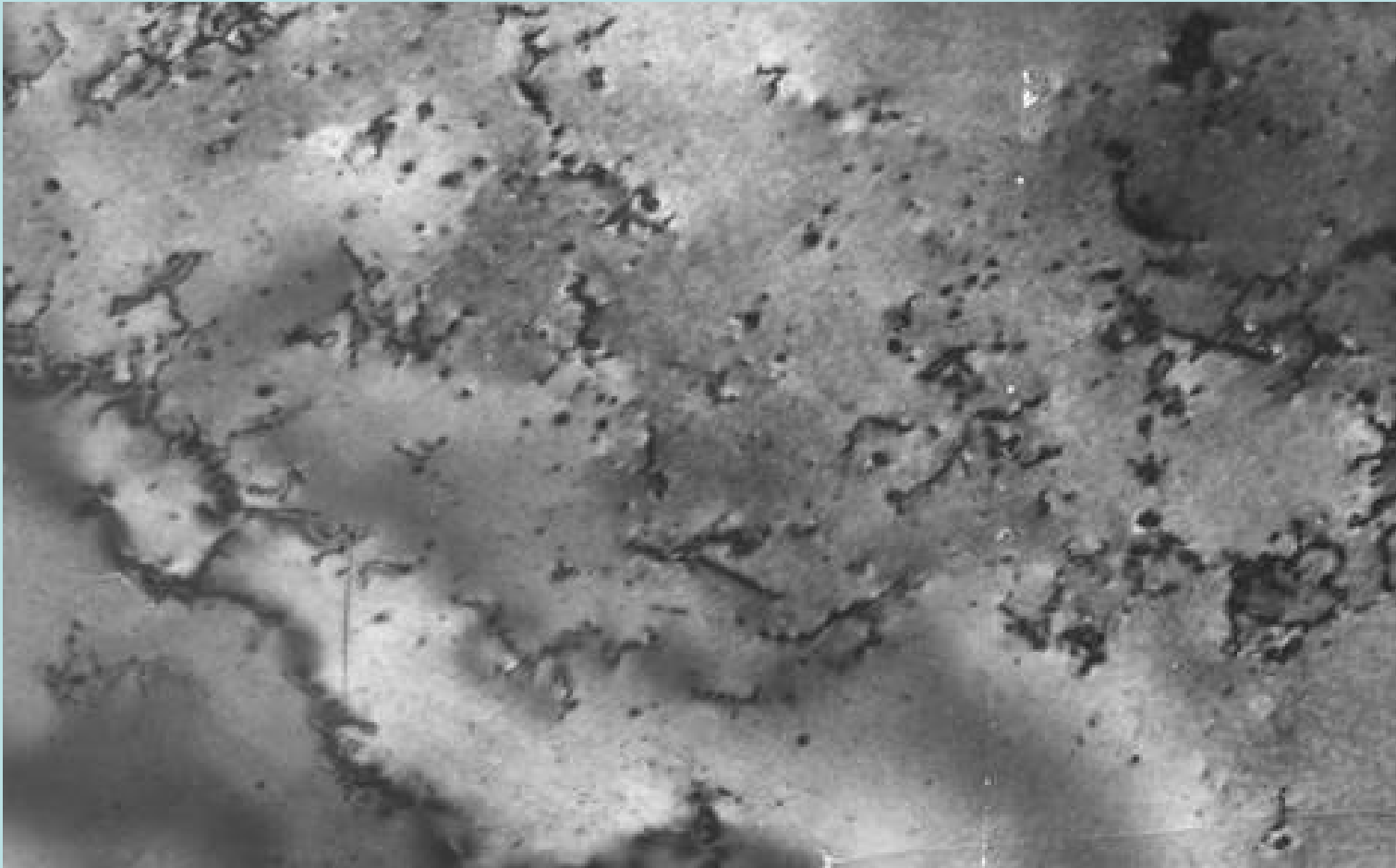
Вакансии в ОБЛУЧЕННОМ графЕНЕ-как резонансы



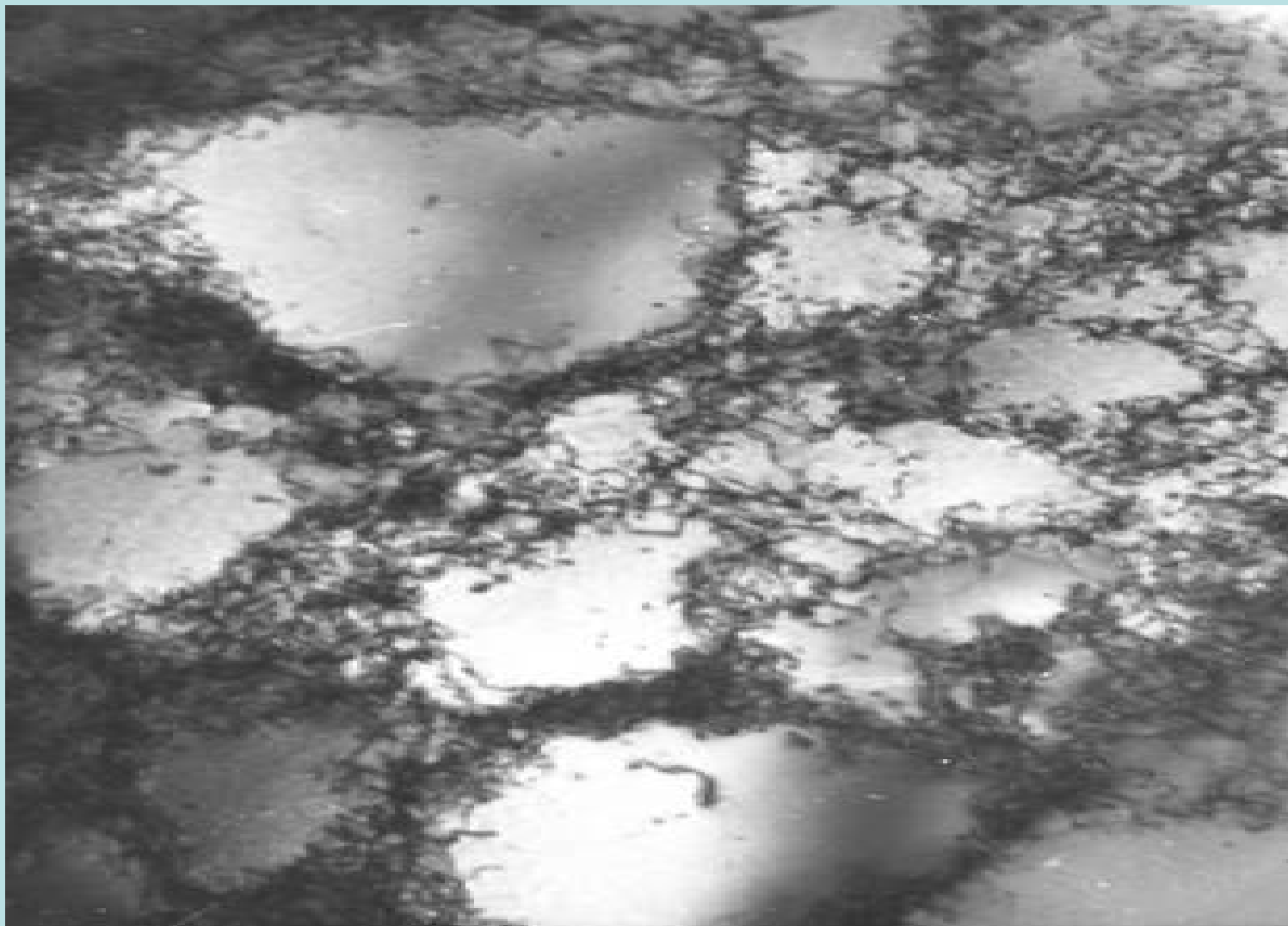
Вначале думали . Что можно объяснить деформацию исходными дислокациями.(10^{6-7} 1/см²), но...Жизненный цикл материала под нагрузкой: рождение дислокаций(выдувание пузырей-см.Рис.10), рост их плотности



Начало образования ячеистой структуры

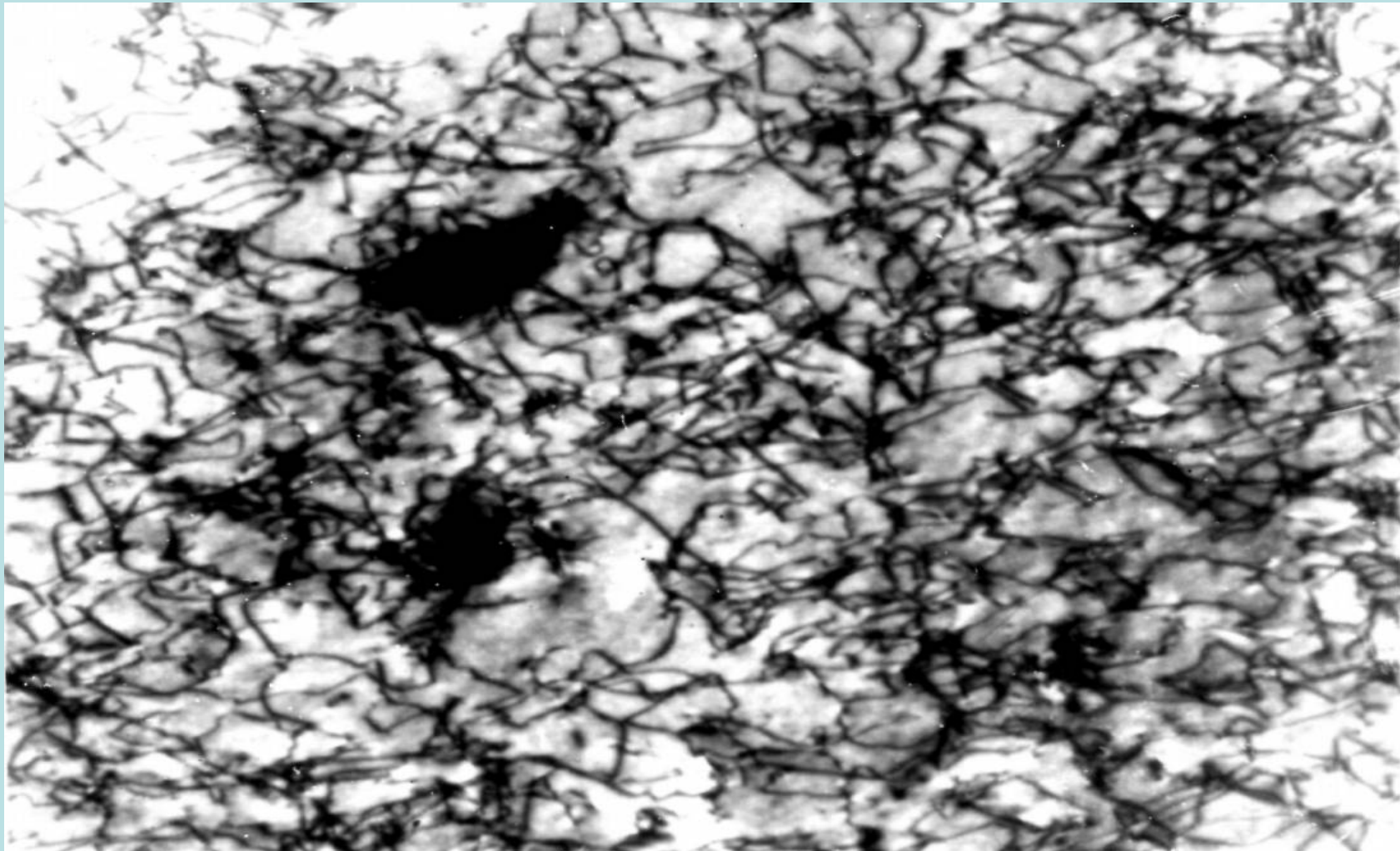


Ячеистая структура деформированного никеля

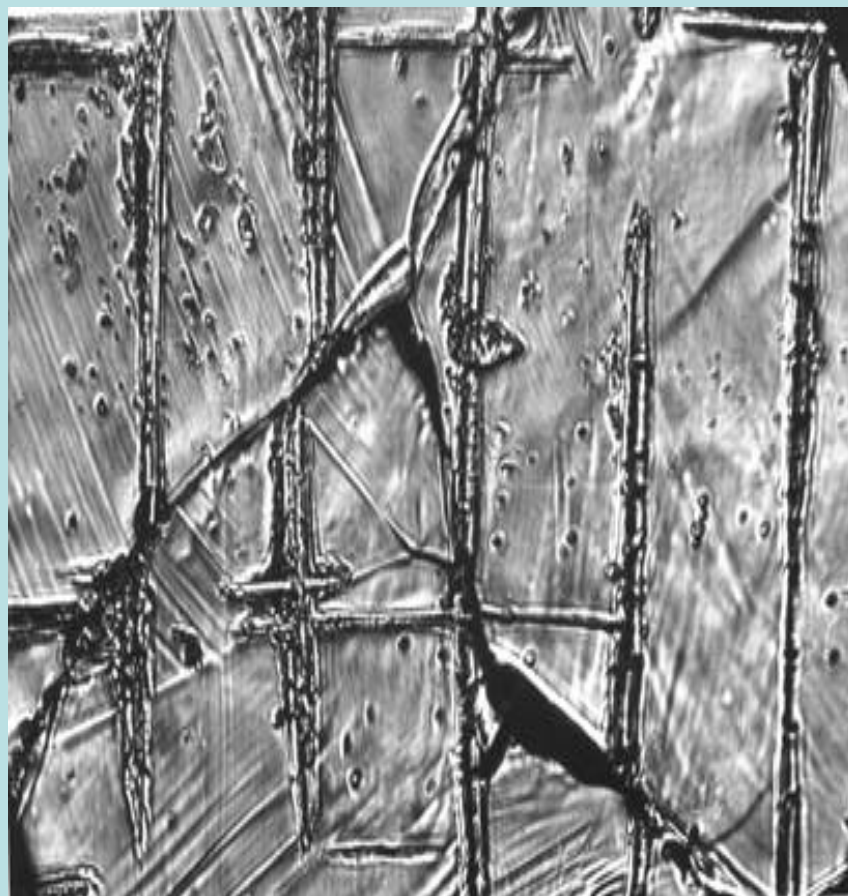
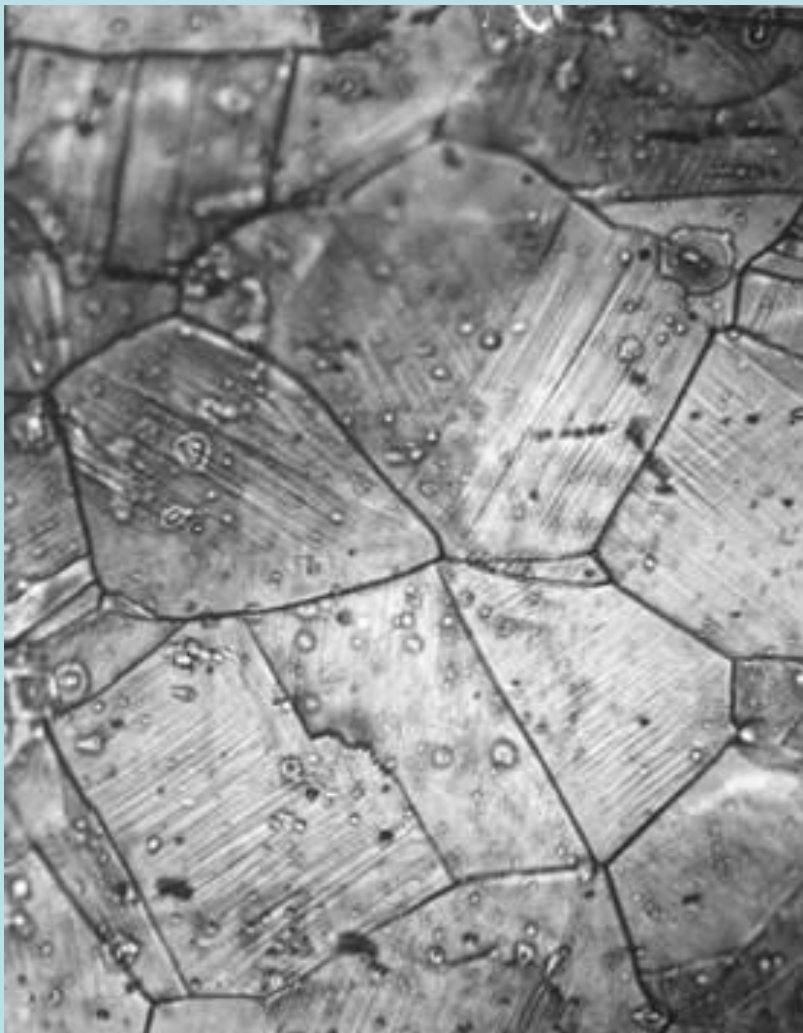


Дислокационная структура деформированного материала.(вспоминая Лукреция).Рост плотности дислокаций- 10^{11} 1/см², переплетение(насыщение), мешают друг другу двигаться. Образуют зародыши трещин при слиянии под

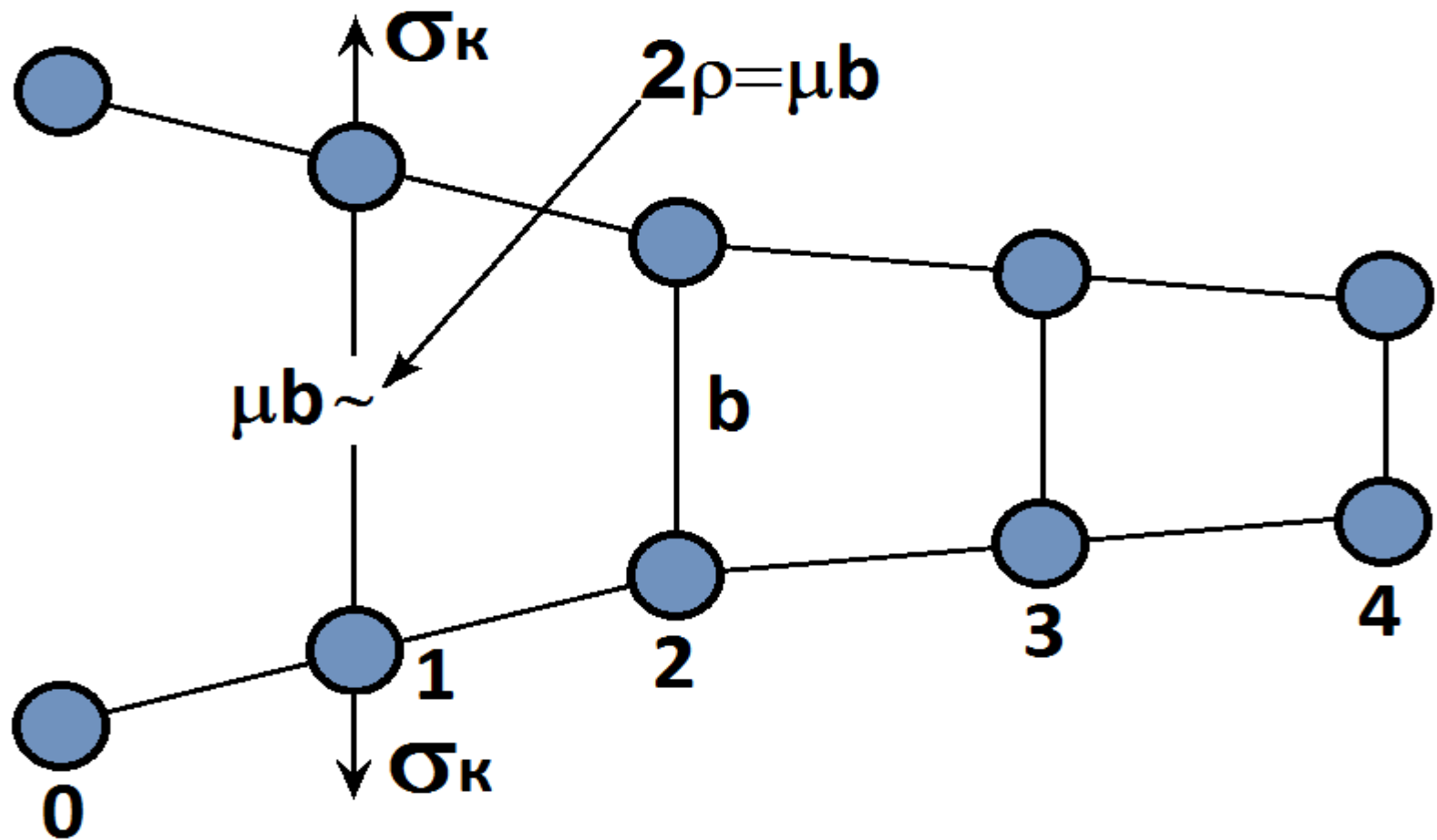
напряжением. $\sigma = \alpha G b \sqrt{n_d}$



Реальная структура поликристаллов видимая в оптический микроскоп.
Выход дислокаций на поверхность. Образование трещин



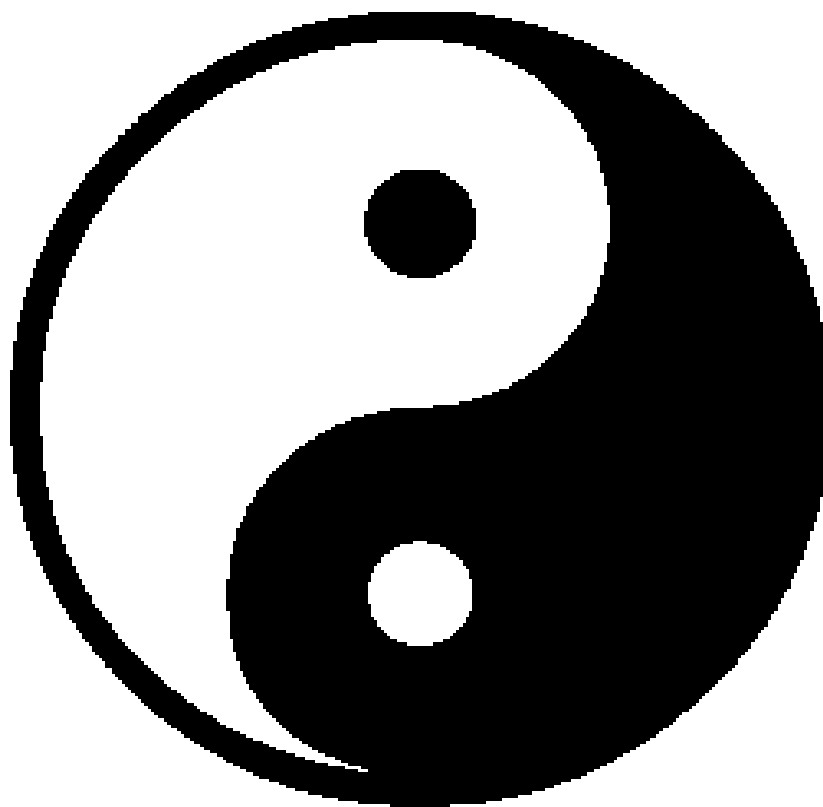
Как на атомном уровне выглядит кончик трещины?



Концентратор напряжений- очаг трещины $K=2\sqrt{L/\rho}$

- Как понять , что такое концентратор? Пример с толстой резиной и лезвием.(загнали изгибом напряжение, а лезвие и создает надрез - тот самый концентратор напряжений сосредотачивающий всю энергию упр.-деф. ТТ в мин.объеме..
- В типичных материалах ρ постоянное(порядка атомного размера), поэтому с ростом длины трещины концентрация напряжений увеличивается. Если взять радиус 2 ангстрема,а трещина всего несколько микрон, то напряжение равное теоретическому может появиться уже при очень умеренных напряжениях. Связи начнут рваться, и трещина рванет вперед. Может начаться автокаталитический рост со скоростью порядка 0,4 скорости звука.
 - Но, к счастью,природа позаботилась и ввела предохранительный механизм- ту же пластическую деформацию..Она , а не разрушение возникает прежде всего в остром надрезе металла. Вспомните, как вы ламаете медную проволоку!!

Вначале пластическая деформация способствует
зарождению микротрещин, а затем способствует их
затуплению

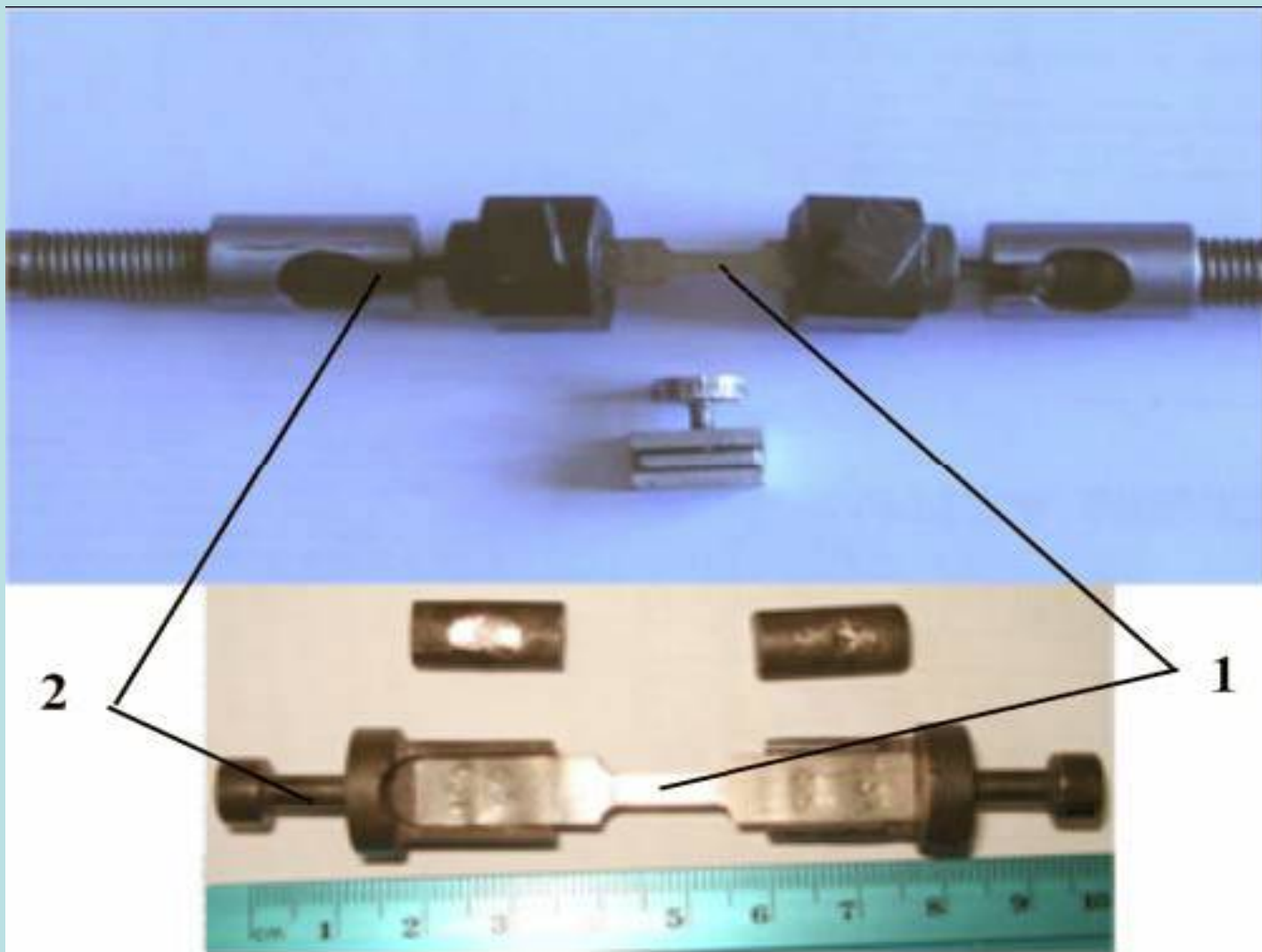


Сучасні методи механічних випробувань, или как заработать копейку

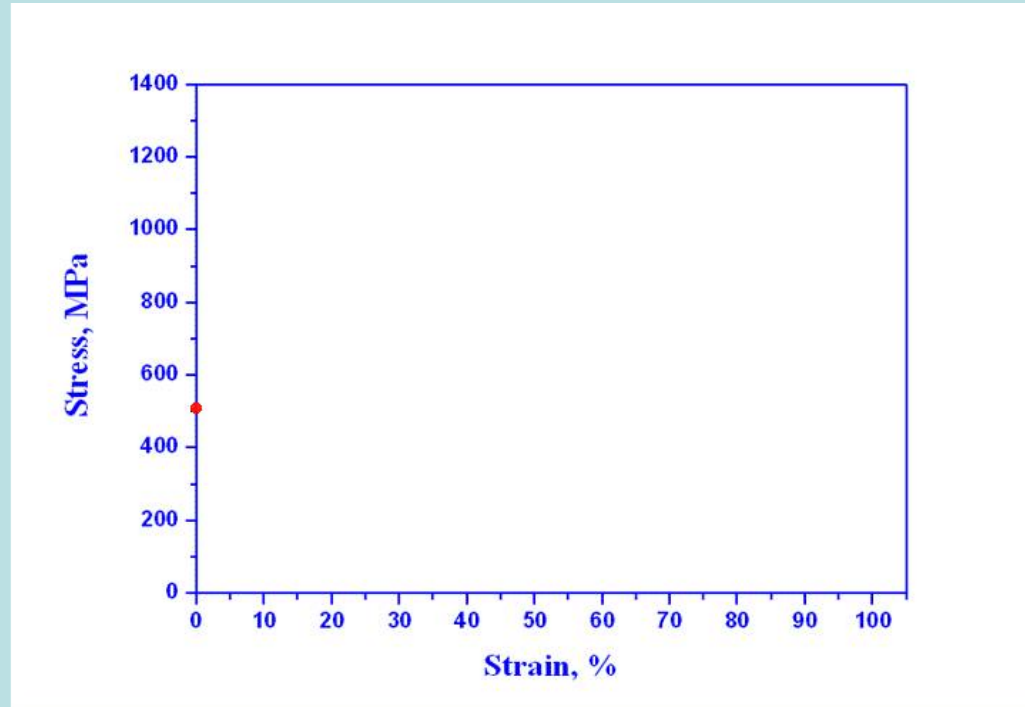
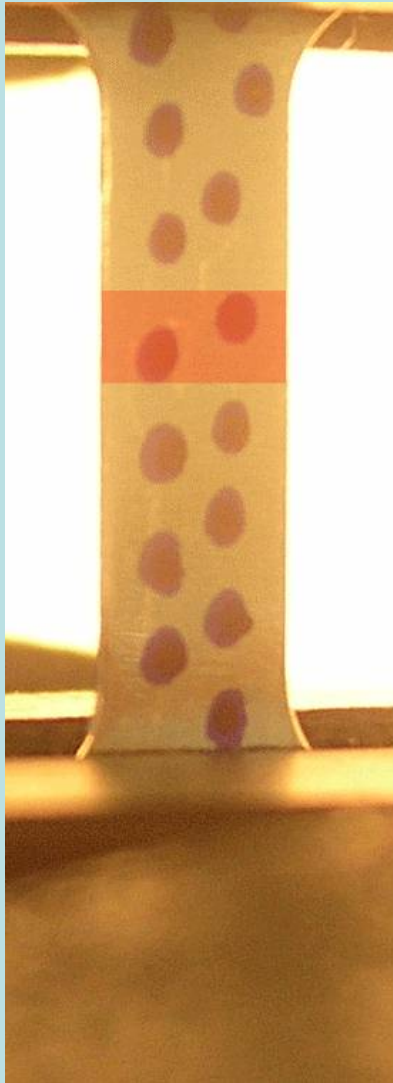




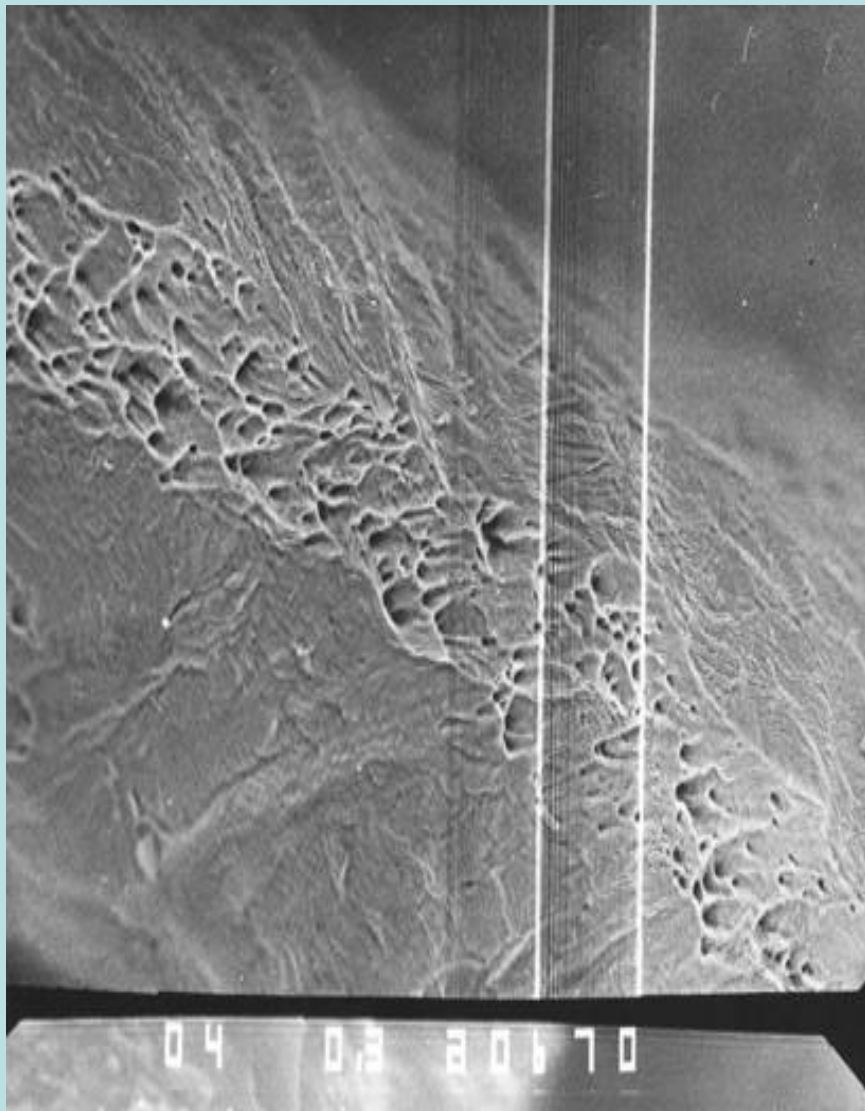
Образец в захватах



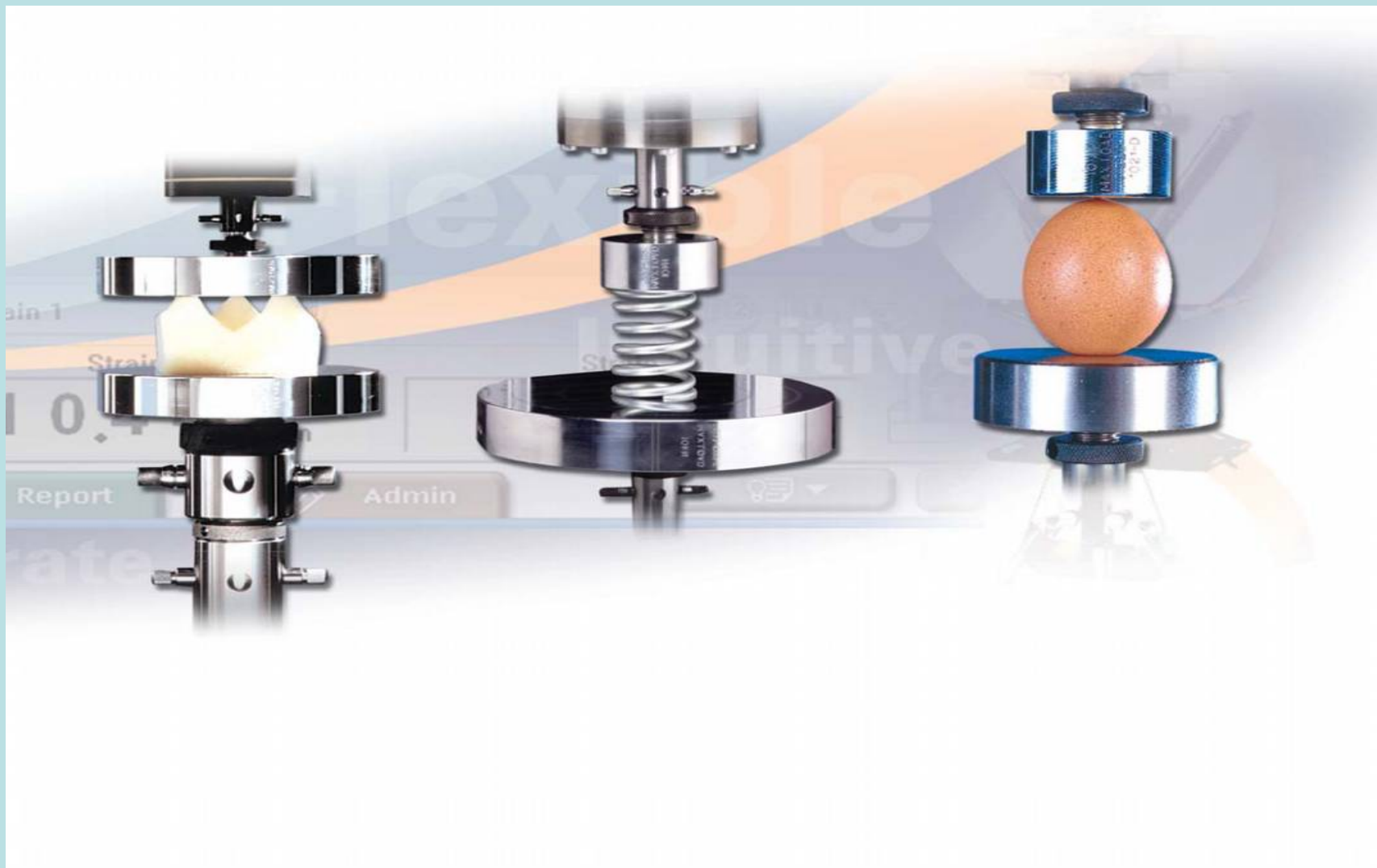
Как изучают деформацию образцов? Нелинейный характер кривой растяжения. «шейка»-признак вязкого разрушения

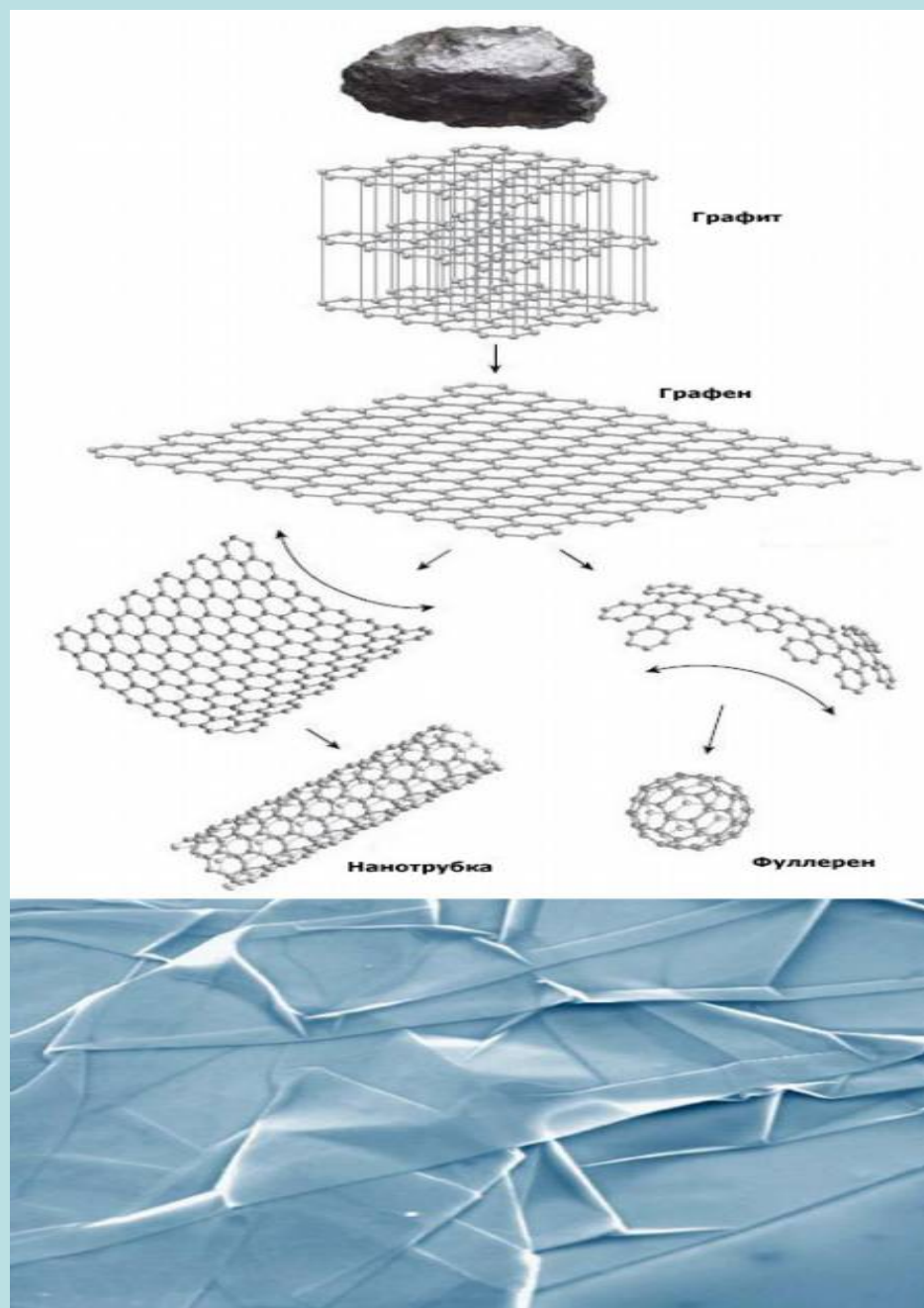


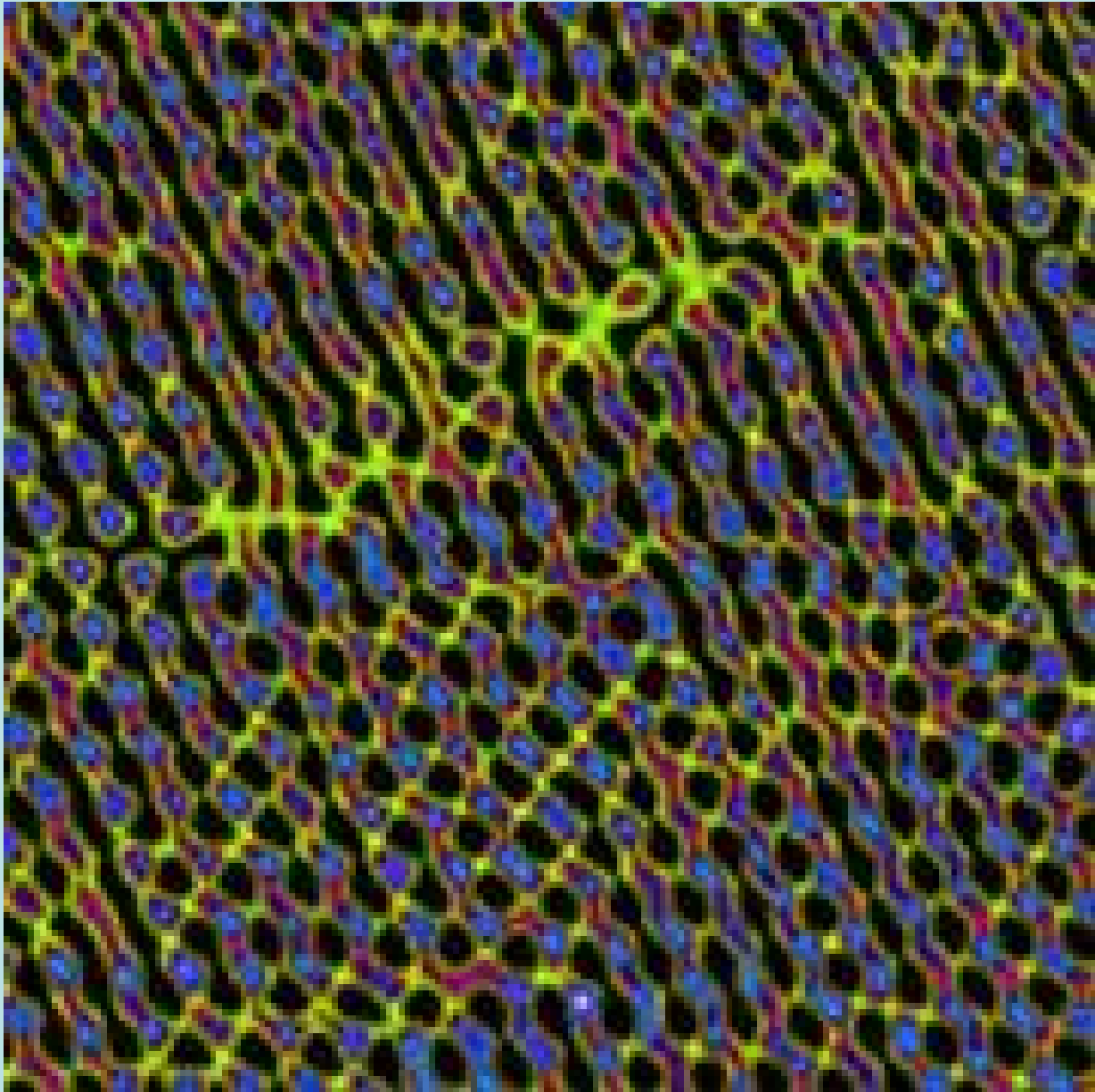
Два варианта развития событий



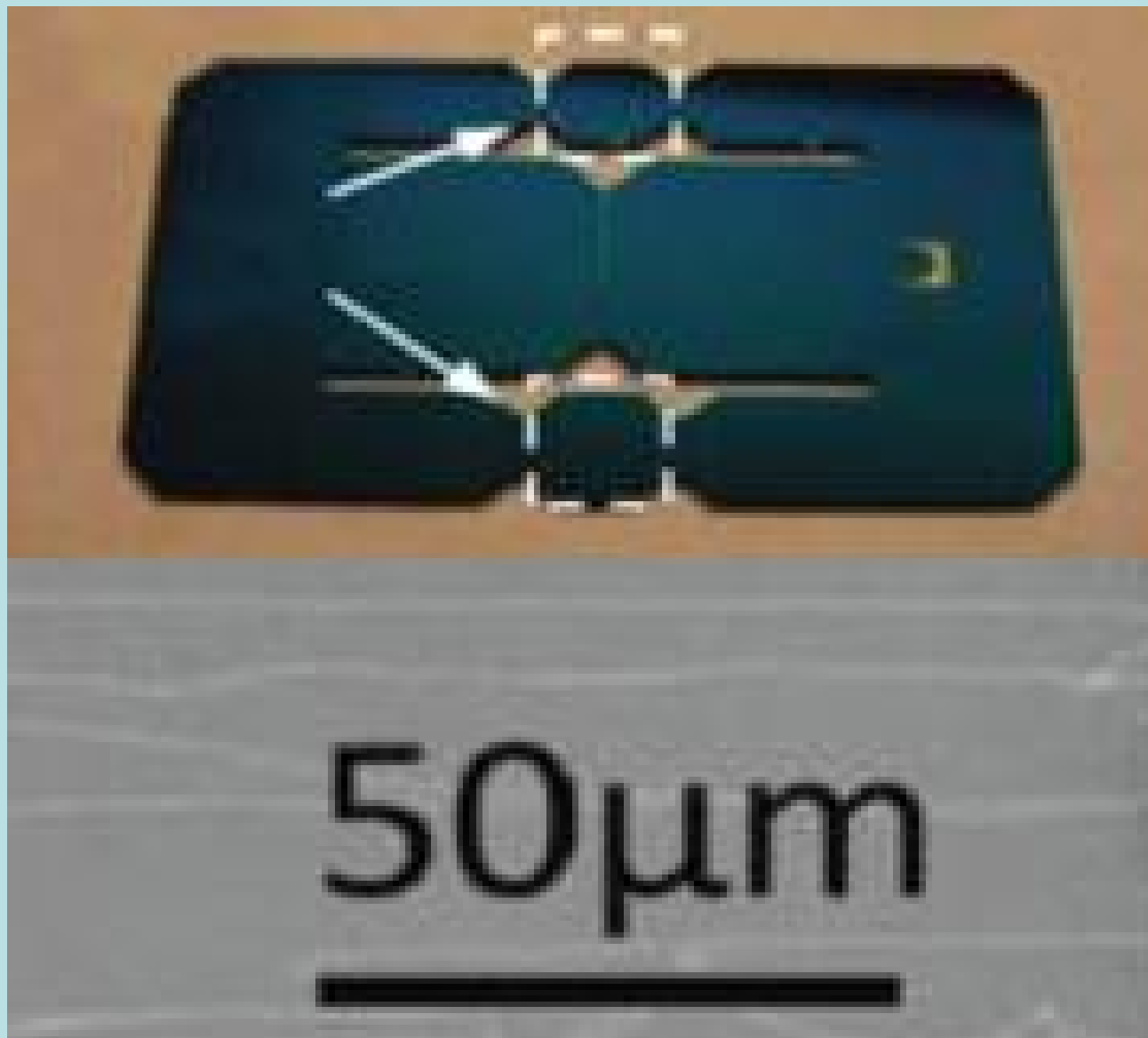
Вот какие еще бывают образцы для исследований..



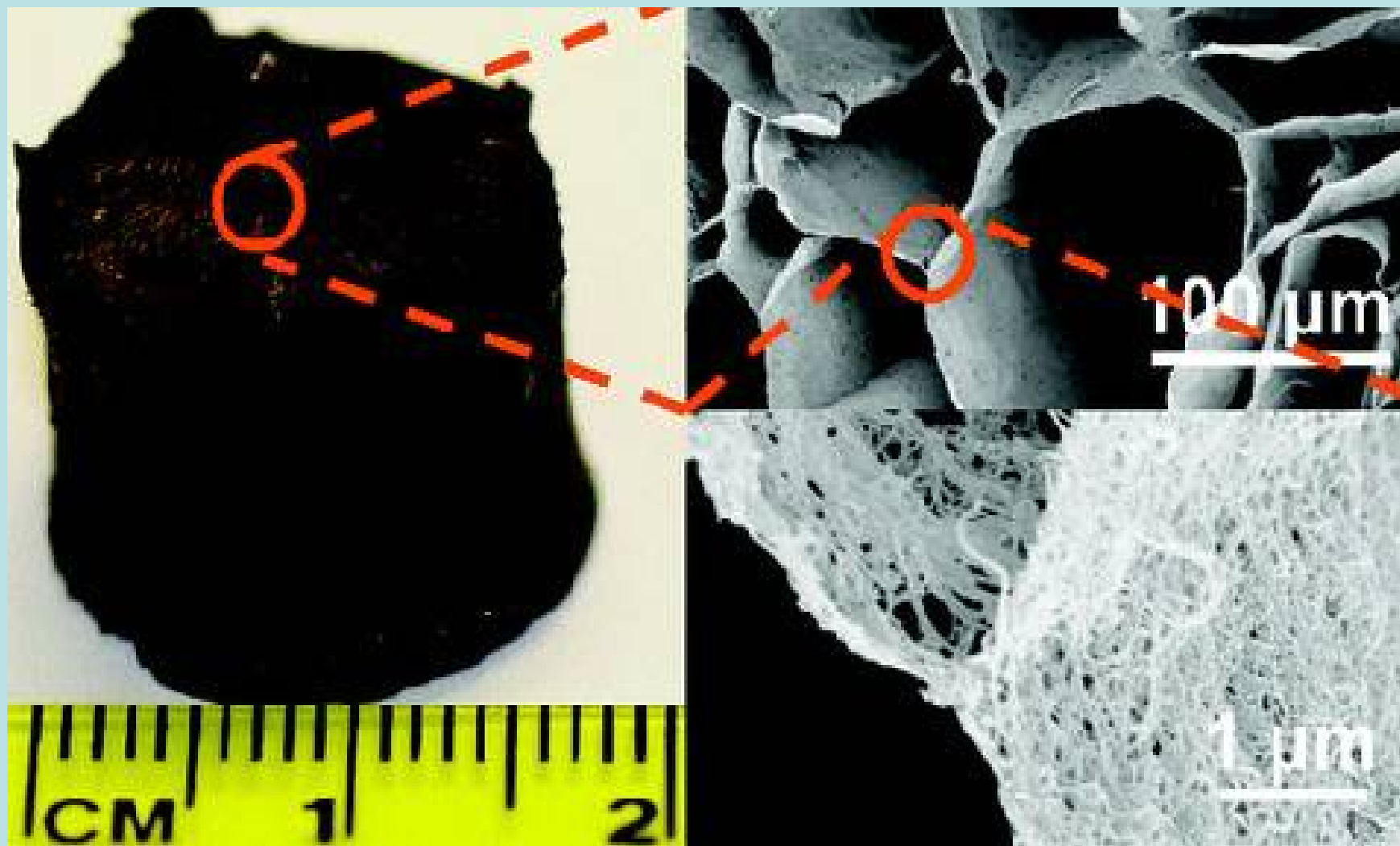




Чип для растягивания однослойных нанотрубок. Стрелками показаны ниточки из углерода. Отношение предела прочности к весу равно 74000 кНм/кг . У стали в 120 раз меньше. Удлинение-14%

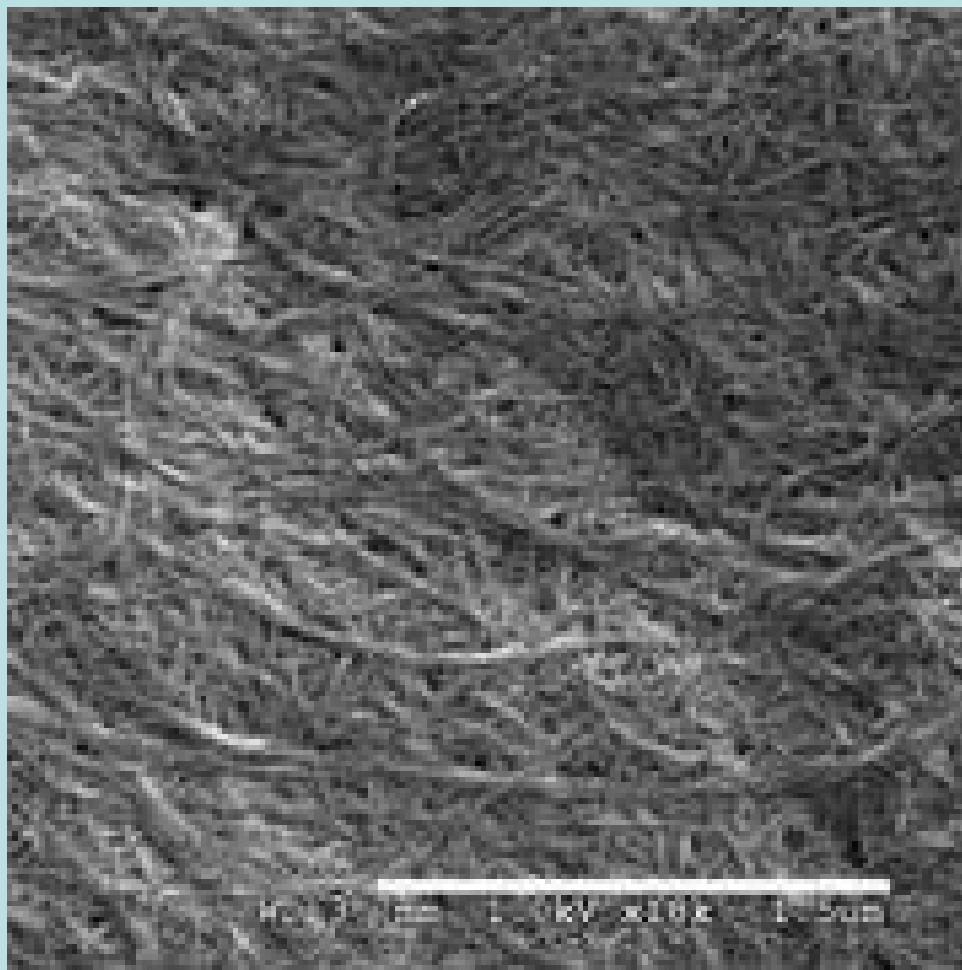


Самое легкое твердое тело на земле-АЭРОГЕЛЬ.Плотность полученного таким образом материала составила четыре миллиграмма на кубический сантиметр.





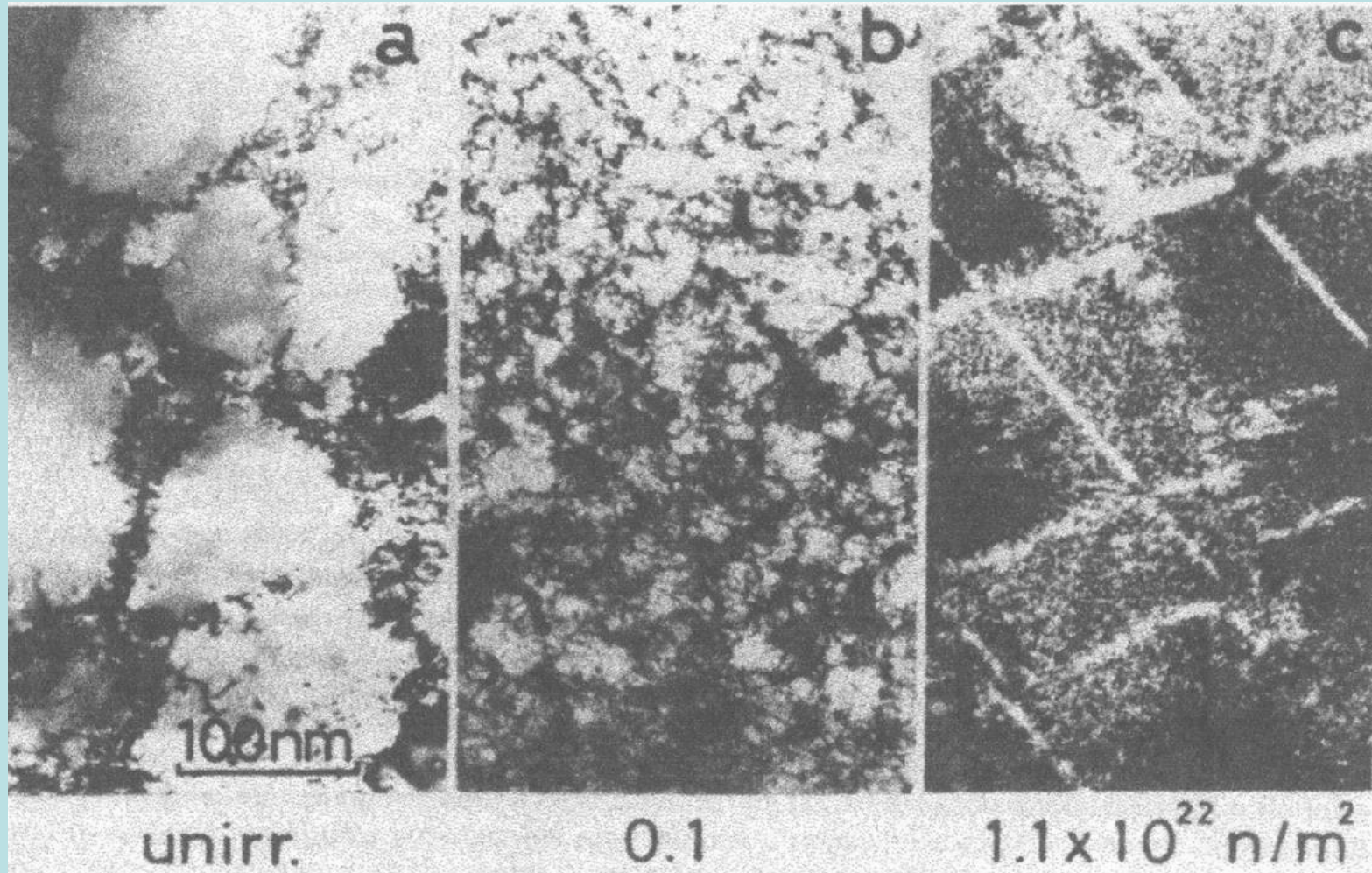
Технология переноса волокон целлюлозы без повреждений дает прочность на разрыв бумаги 214 МПа(чугун -130МПа).Секрет в толщине волокон-20 нм(!), в 100 раз тоньше , чем в обычной бумаге.



Прочность и синергетика

- Неравновесная термодинамика
- Идеи Пригожина о поведении открытых диссипативных систем.
- Образование подобных структур во всех открытых диссипативных системах.
- Ячеистые структуры-от долей микрона –в деформируемом твердом теле, до структуры метагалактик!

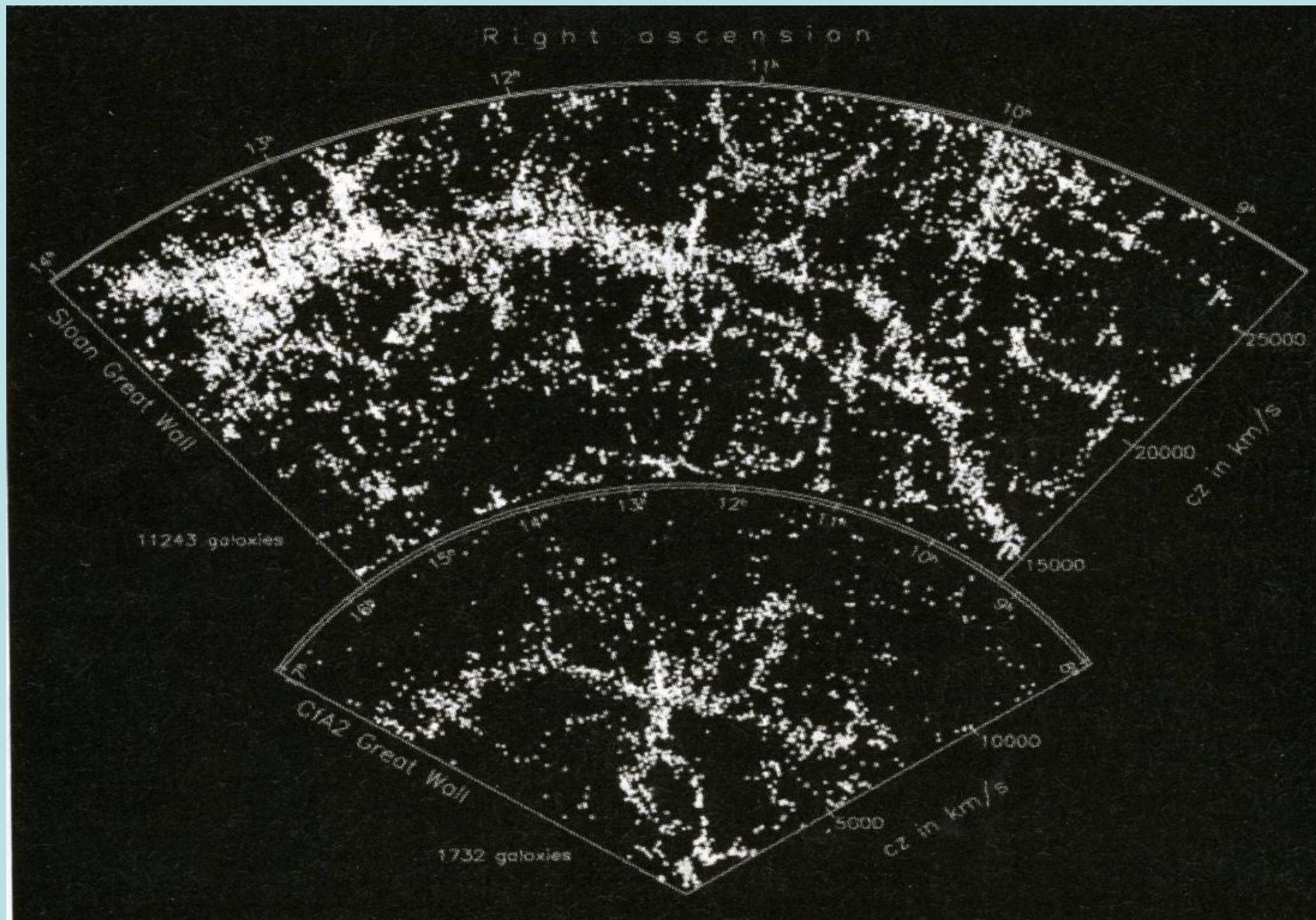
Ячеистая структура деформированного материала, или
**-На каких основаниях осуществимо единство современной
науки?**



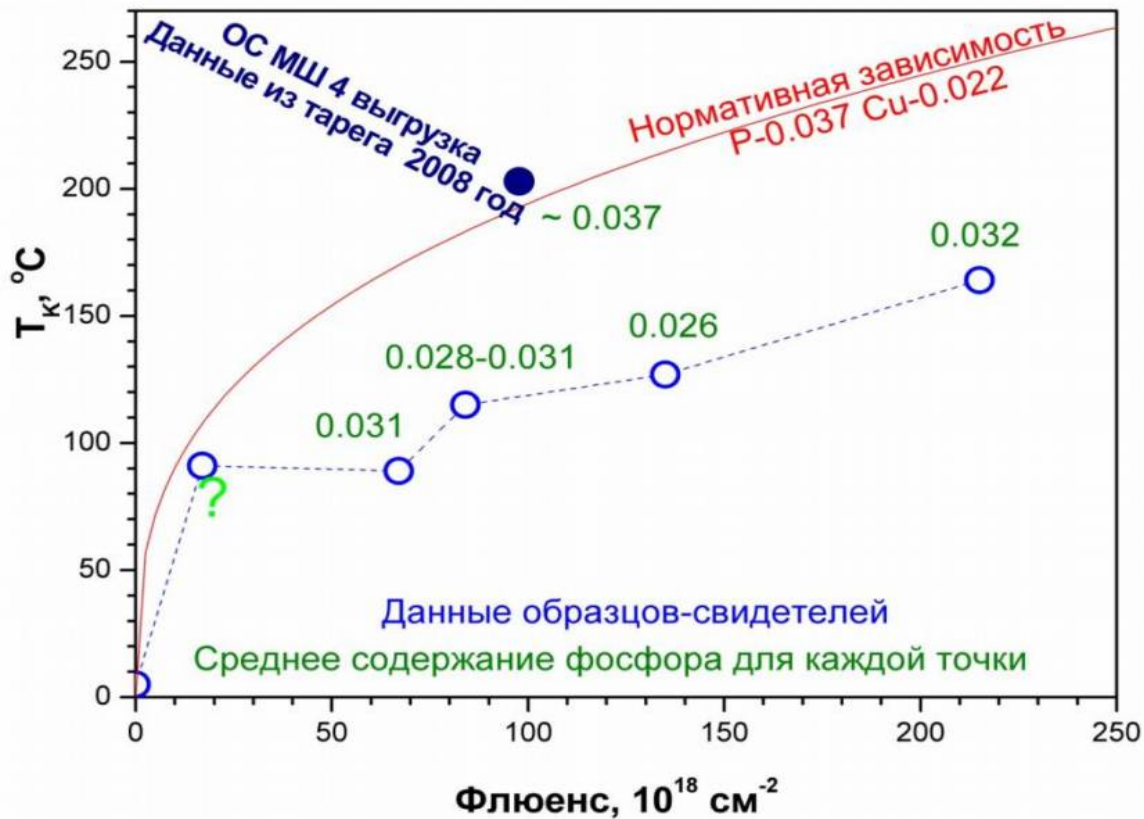
Метагалактическая *ячеистая* структура Вселенной. Яркие россыпи галактик-всего лишь огоньки на «домах» космического «ночного города», построенных из темной материи



Ячеистая Вселенная



Механічні випробування. Енергетична безпека - національна безпека. Реакторне матеріалознавство. Радіаційна крихкість. Продлевать или нет? Результаты испытания образцов-свидетелей.



Выводы, или то о чем мало говорят...

- Несмотря на глубокую связь на протяжении тысячелетий достижений ФПП и уровня развития человечества в целом, представления о природе ПП сильно отставали от других направлений физики.
- Появившиеся в 30-х-50-х годах 20-го столетия представления о связи ПП с несовершенствами кристаллического строения на привели к созданию инженерной теории прочности.
- В конце прошлого столетия появились представления о синергетике деформируемого материала, позволившие связать ПП с другими науками, включая химию, социологию и др., и «нащупать» подход к разработке новых материалов.
- В наши дни широкое развитие получили новые подходы к созданию высокопрочных материалов на основе нано-технологий, которые дали замечательные результаты.
- Однако проблема получения прочного и пластичного материала, работающего в экстремальных условиях(температура, облучение, среда) не решена до сих пор.
- Дело за вашими учениками –людьми 3-го тысячелетия!