

**Считается, что акустика изучает главным образом речь, слух, музыкальные инструменты, аудиосистемы, концертные залы.**

***Это – распространенная и давно устаревшая точка зрения.***

**Акустические явления имеют место всюду. Диапазон масштабов – от  $10^{-13}$  см (капельная модель атомного ядра) до галактических (формирование структур галактик).**

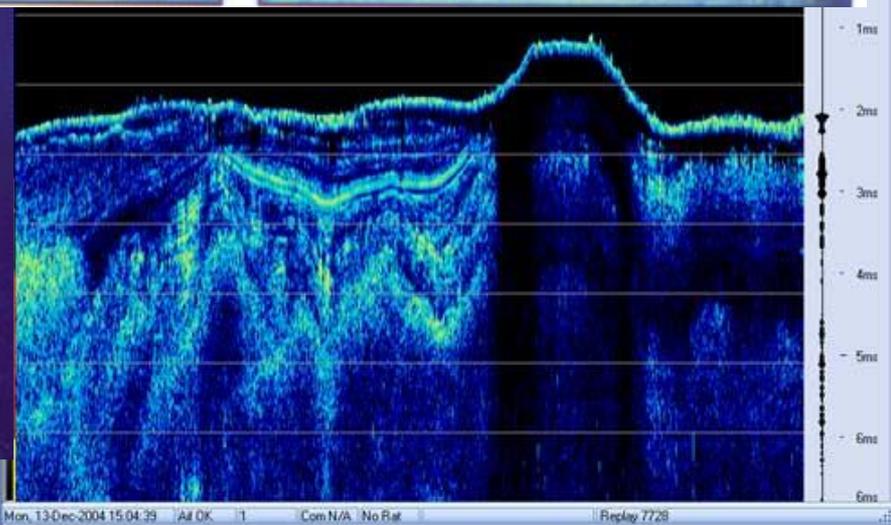
**Акустические волны были ответственны за формирование Вселенной сразу после Большого Взрыва.**

**Акустические проблемы решаются во всех естественно - научных отделениях РАН. Число специалистов, занимающихся акустикой и ее приложениями, сравнимо с числом всех физиков.**

**Основные приложения – медицина, геофизика, подводная связь, материаловедение, промышленность, разведка ископаемых**

# Примеры качественно новых проблем, потребовавших участия физиков

Низкочастотные (70-600 Гц) гидроакустические излучатели ЭМ типа, созданные в ИПФ РАН совместно с ИОФ РАН



Освоение Мирового океана, разведка и добыча мин ресурсов, нефть на шельфе, подводная связь, ориентация под водой

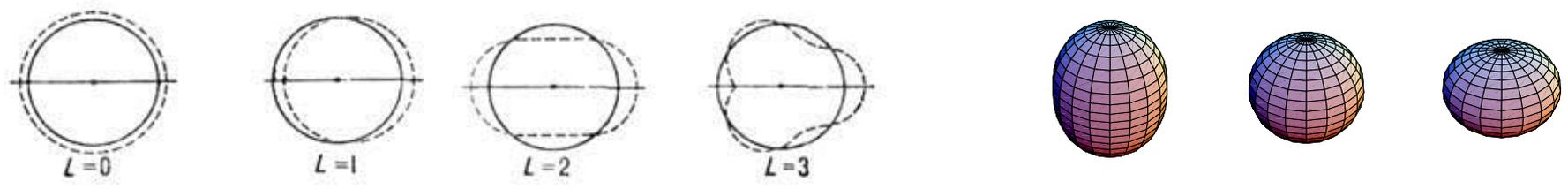
Профилирование дна и слоев под дном (нелинейный гидроакустич НЧ излучатель – МГУ, ТРТИ)

# Примеры, иллюстрирующие широту тематики и гигантский диапазон пространственных масштабов акустических задач

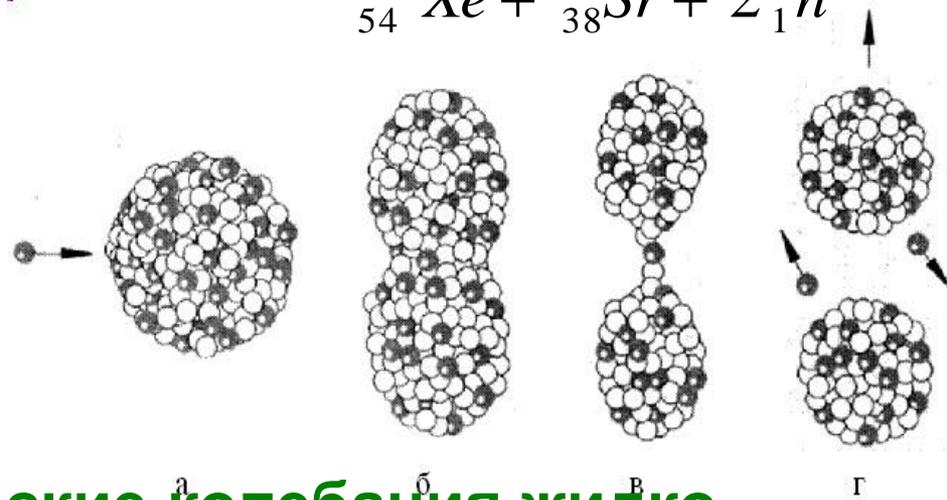
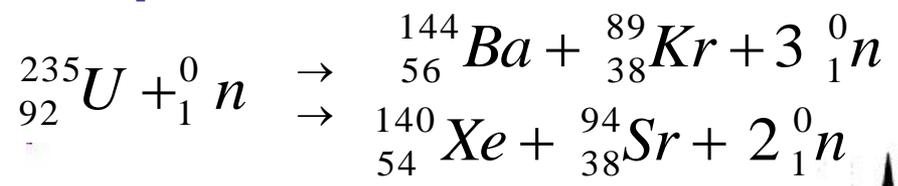
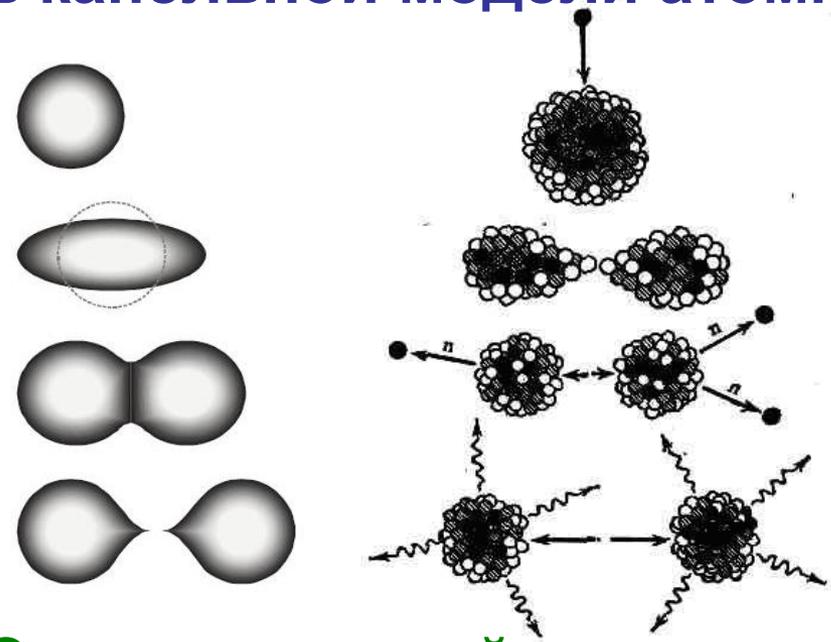
1. Капельная модель атомного ядра
2. Формирование структур галактик

**ПРИМЕЧАНИЕ:** Нелинейная волна – это сильная (мощная, интенсивная) волна

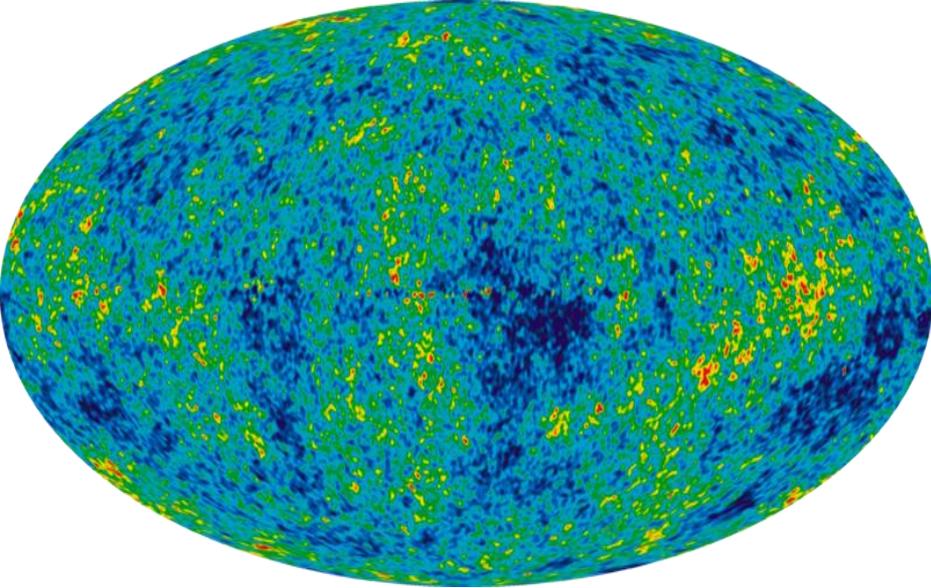
# Масштаб $10^{-15}$ м – акустические колебания атомных ядер



## Слабые ак волны - моды колебаний сферической капли в капельной модели атомного ядра



Сильно нелинейные акустические колебания жидко-капельного ядра, возбуждаемые попаданием нейтрона, ведут к делению ядра, размножению нейтронов и цепной реакции - ядерному взрыву



**Акустические волны были ответственны за формирование структуры Вселенной после Большого взрыва**

**Формирование Галактик управляется 3D уравнением Бюргерса – основным уравнением Нелинейной Акустики**

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \nabla) u = \nu \Delta u$$

**Это – модифицированная модель Зельдовича (Гурбатова-Саичева-Шандарина)**

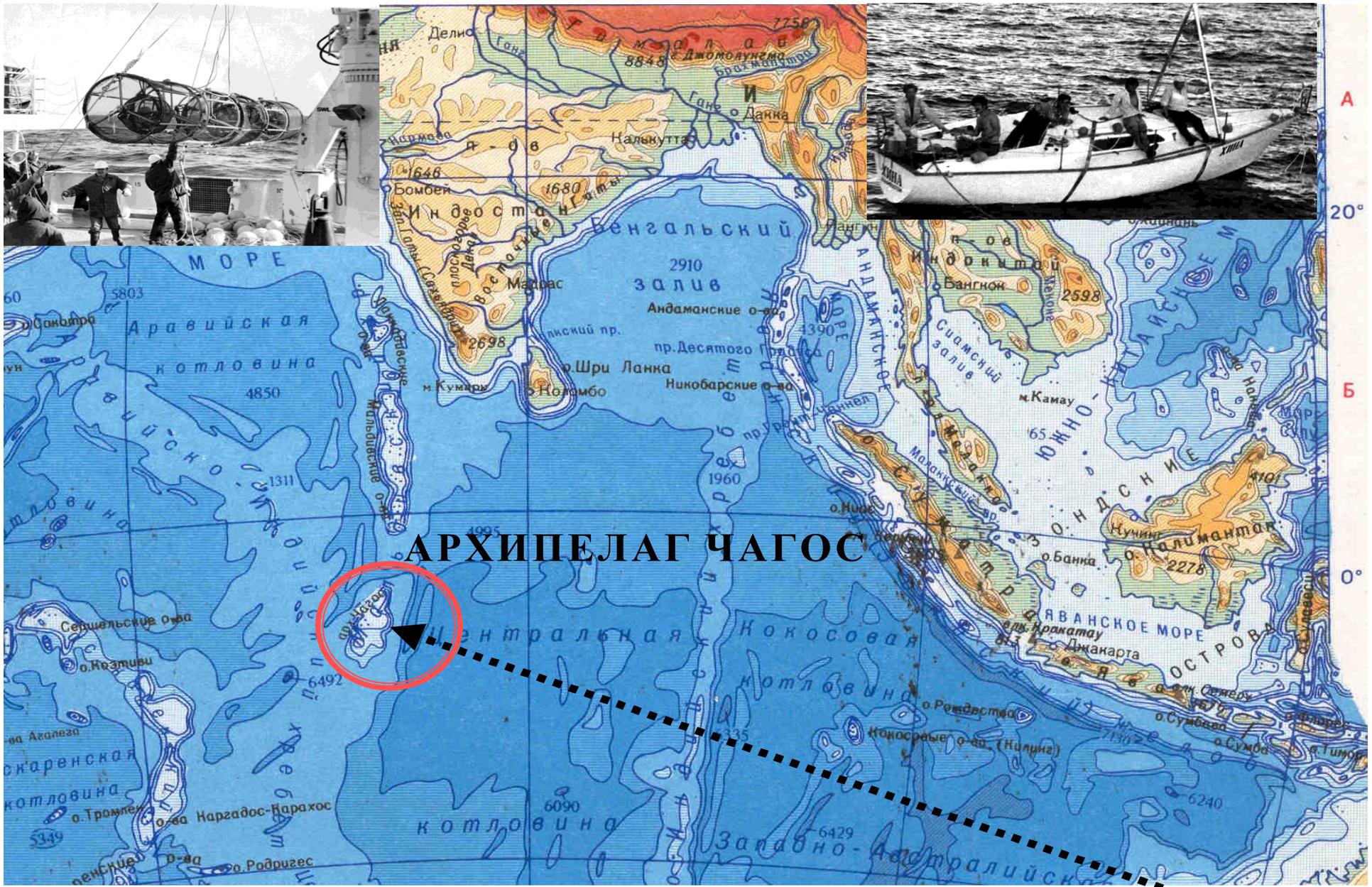


**Ячеистая структура, сформированная ударными фронтами, соответствующими скоплениям межзвездного вещества**

**Примеры, иллюстрирующие уникальную  
проникающую способность  
акустических волн:**

**для акустики «прозрачны» все среды,  
например:**

- 1. Океан**
- 2. Земля**
- 3. Тело человека**

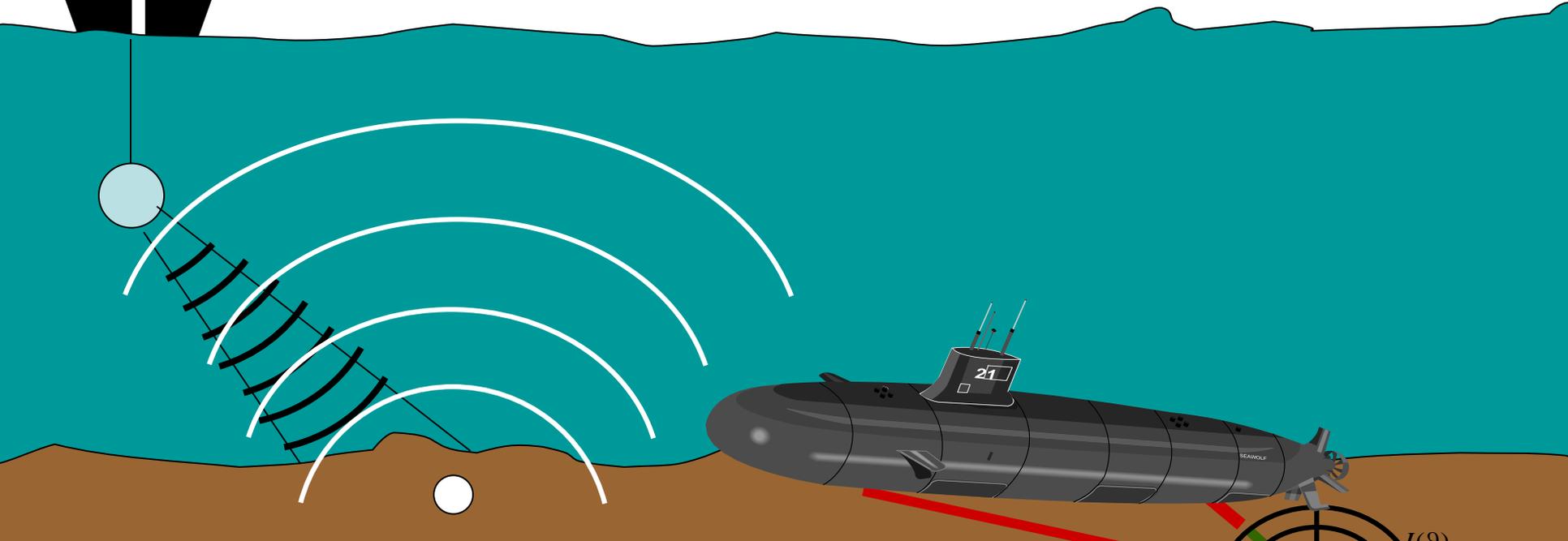


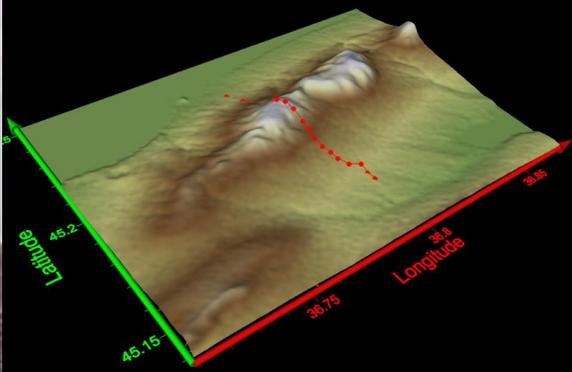
**Акустические волны низких частот способны распространяться на тысячи км в океане, проникать сквозь Землю**

# ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ГИДРОЛОКАТОР

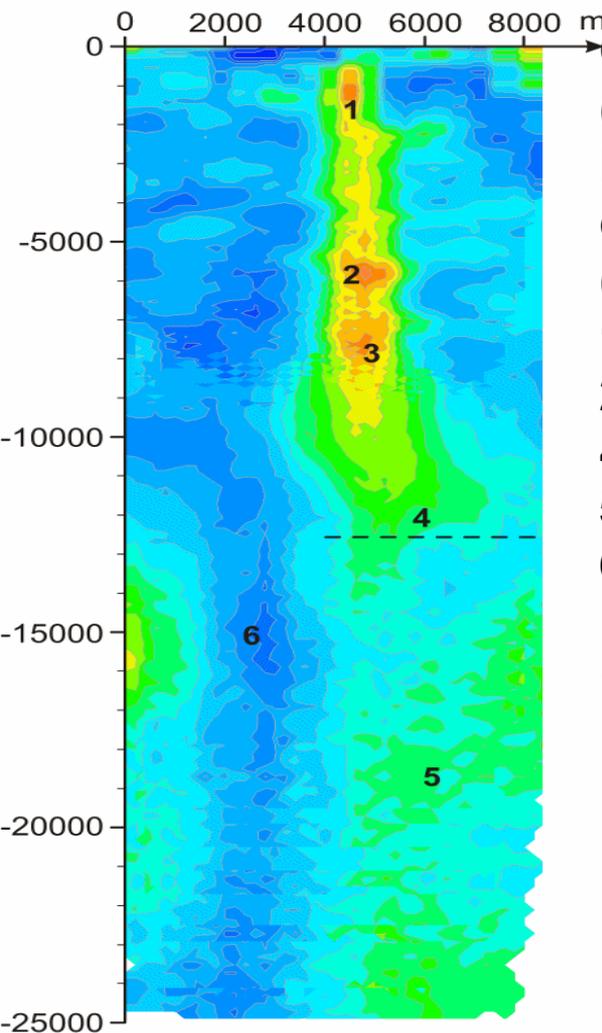
Используется для профилирования дна, рыболокации, поиска затонувших объектов, изучения донных слоев. Инженерные методы расчета приборов развиты физиками (See details in the book: **V.K.Novikov, O.V.Rudenko, V.I.Timoshenko** “Nonlinear Underwater Acoustics”, American Inst.of Physics, 1987 – translated from Russian ed., 1981)

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \left( \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\varepsilon}{c^3 \rho} p \frac{\partial p}{\partial \tau} - \frac{b}{2c^3 \rho} \frac{\partial^2 p}{\partial \tau^2} \right) = \frac{c}{2} \Delta_{\perp} p$$



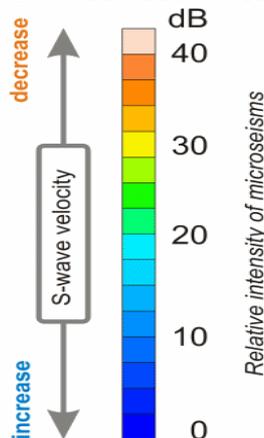


■ Зондирующий сигнал: естественный микросейсмический шум, источники которого - волнение моря и крупные атмосферные вихревые структуры над океаном

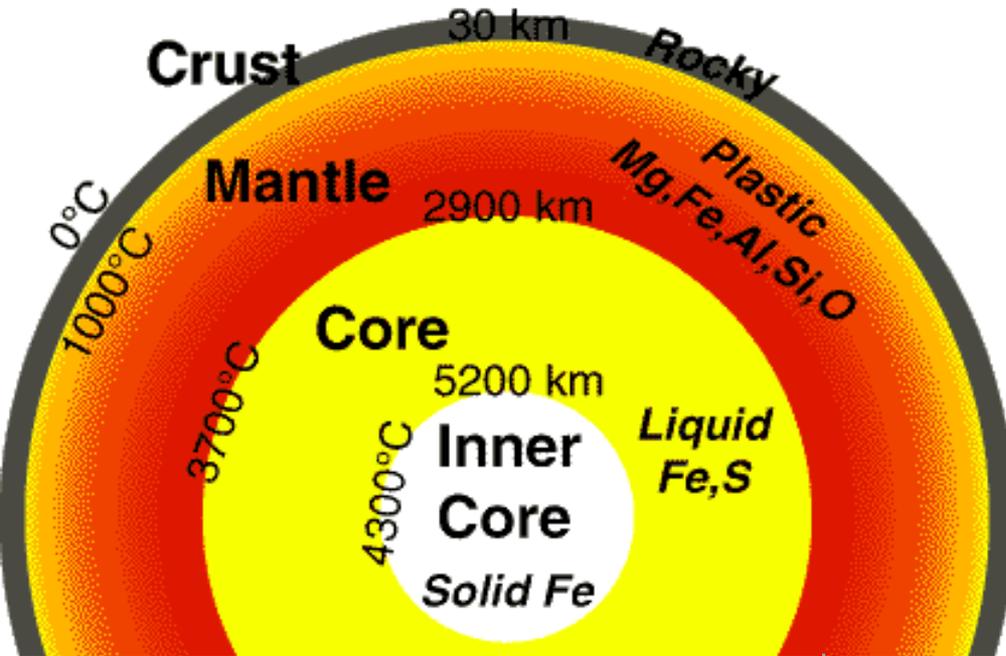


Строение грязевого вулкана горы Карабетова (методом НЧ микросейсмического зондирования). Вертикальный разрез по контрастам сейсмических скоростей (слева) вдоль геофизического профиля (вверху).

- 1 – грязевулканический резервуар;
- 2, 3 – глубинные области накопления грязебрекчии;
- 4 – область перехода к фундаменту;
- 5 – флюидопроводящие структуры
- 6 – консолидированные горные породы.

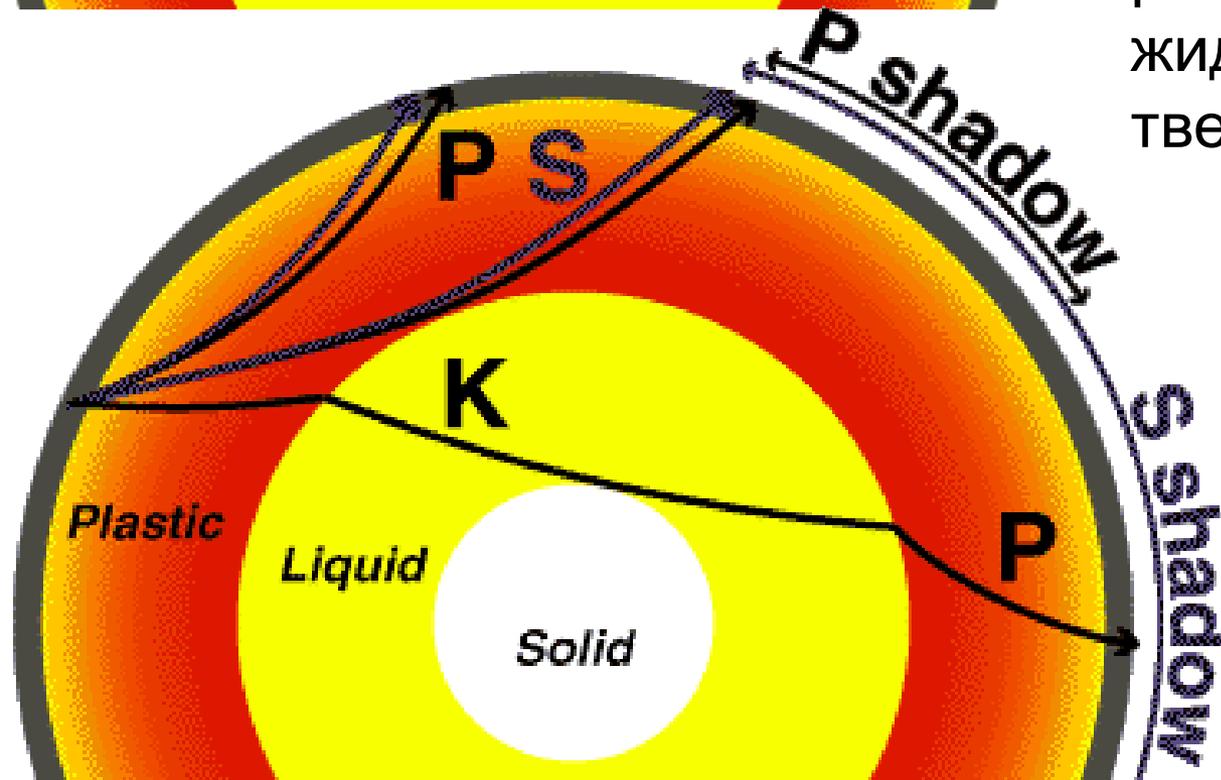


Работы на грязевых вулканах Тамани (Лаб.прикладной геофизики и вулканологии ИФЗ РАН, рук. Член-корр. РАН Собисевич А.Л.)



## Структура ядра Земли установлена акустическими методами

2 типа акустических волн распространяются по-разному. Волны сжатия **P** распространяются как в жидкостях, так и в твердых телах.



Сдвиговые волны **S** в жидкостях и в газах распространяться не могут. Поэтому они не проходят через жидкое внешнее ядро Земли

# **Примеры сильных (нелинейных) акустических волн**

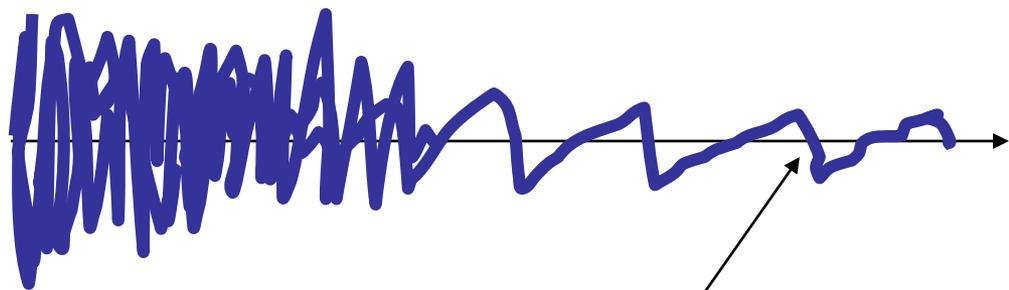
**Звуковой Удар и оптическое проявление  
«Акустической турбулентности» при полете вблизи  
поверхности**





**Очень сильный шум возникает при старте больших ракет. Например, Сатурн-5 или Шаттл возбуждают шум на уровне 170 дБ на 10 м от двигателя.**

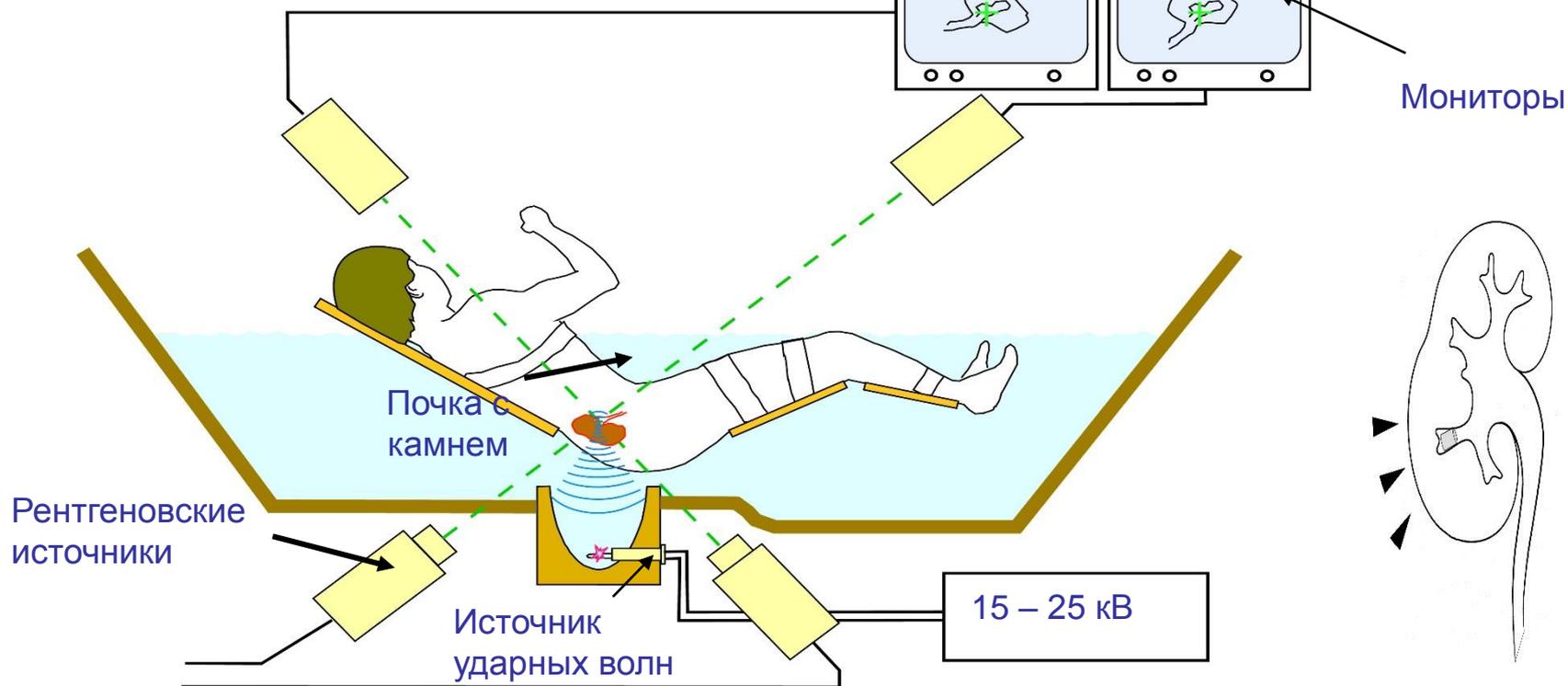
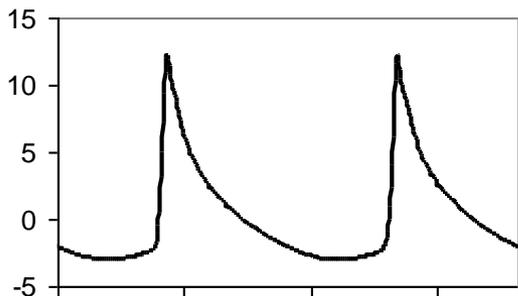
**Ударные волны в волне частотой 500 Гц возникают на расстоянии менее метра и существуют вплоть до расстояний в десятки км.**



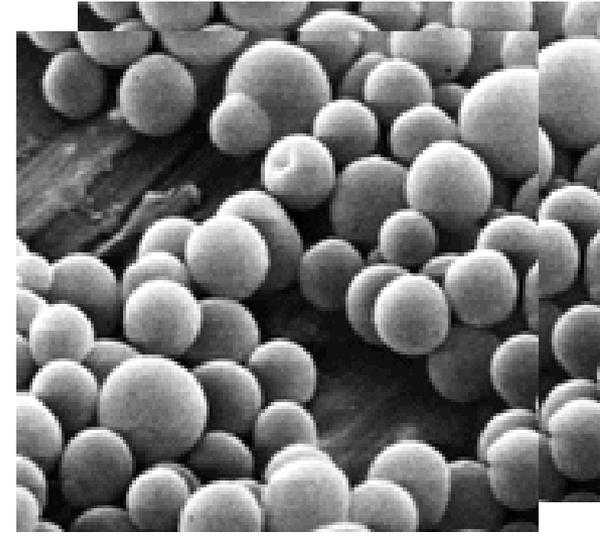
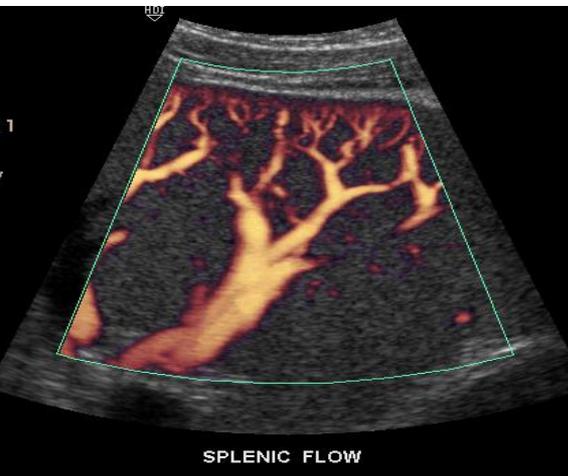
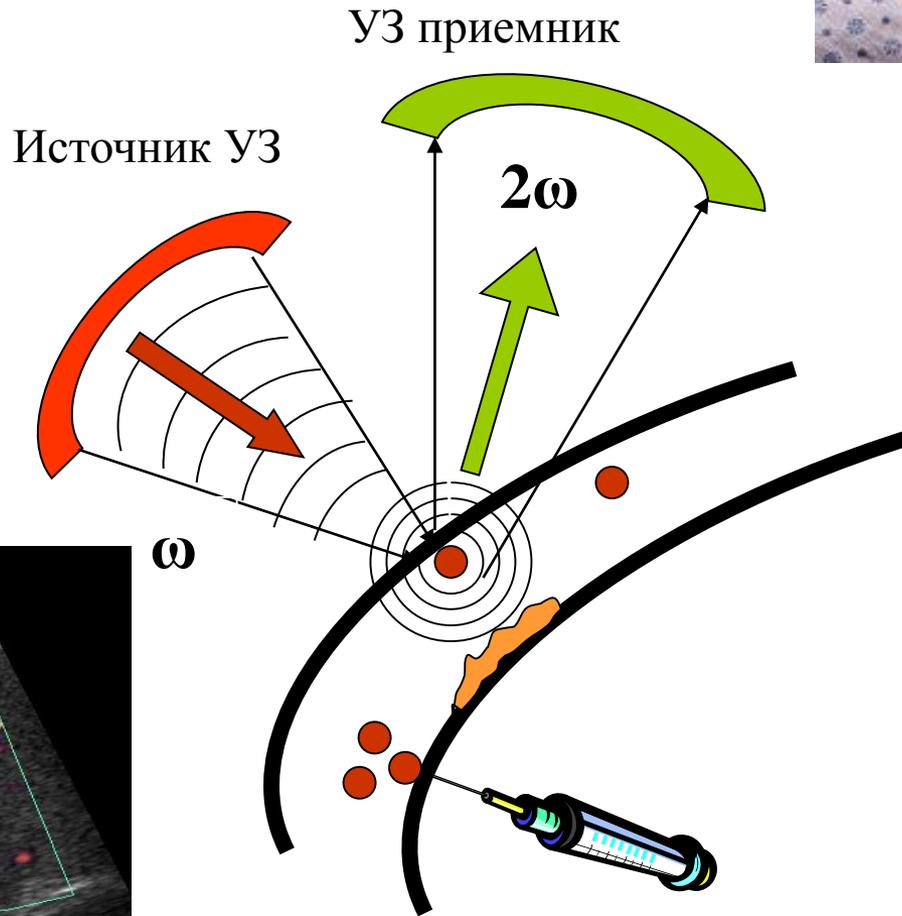
**Нелинейные эффекты видны на больших расстояниях от ракеты – появляются «раскаты грома». Это – ударные волны с небольшим давлением, Но с большими перепадами давления**

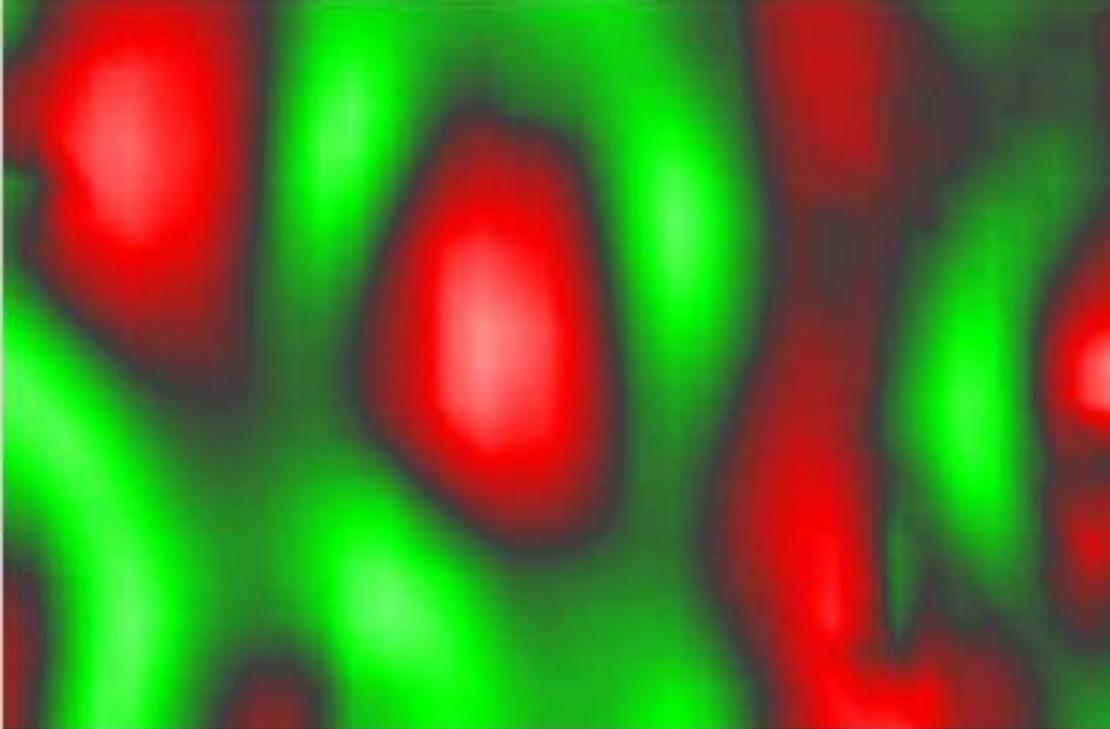
# Фрагментация почечных камней

## Экстракорпоральная литотрипсия

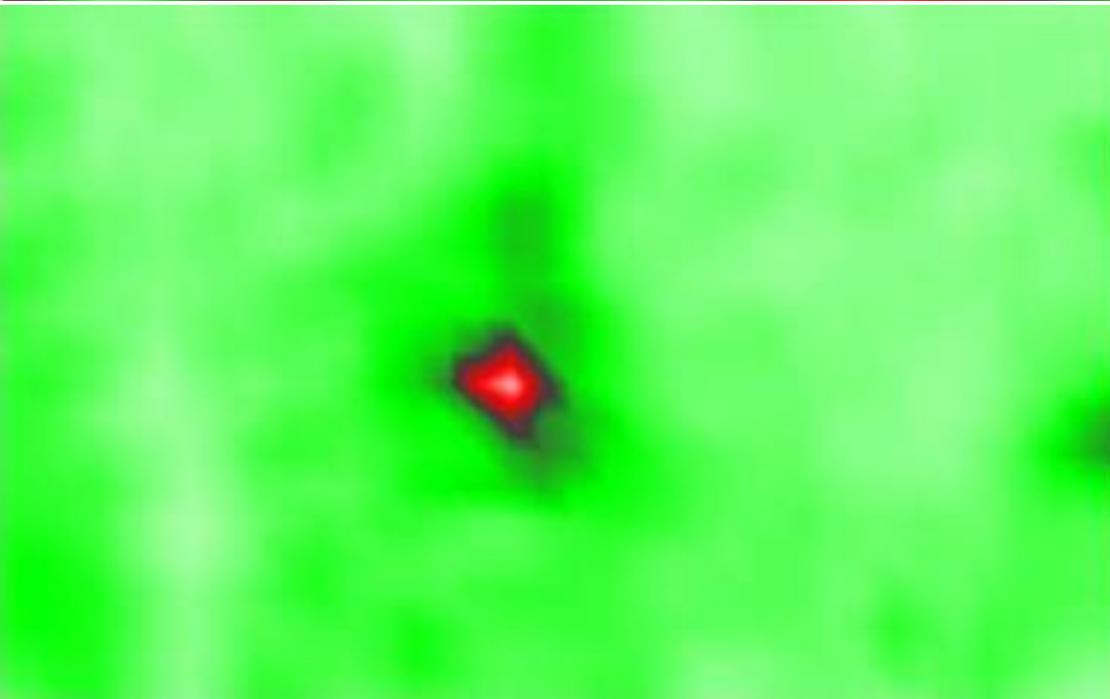


# Акустические контрастные агенты радикально улучшают ультразвуковую визуализацию кровотока и сосудистого русла





**Изображение поверхности участка плиты, колеблющейся на частоте 20 кГц**

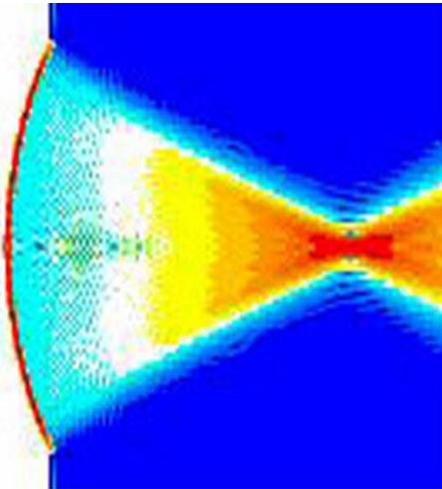


**Изображение локализованного дефекта, расположенного на глубине под поверхностью плиты, полученное на частоте 7-й акустической гармоники (140 кГц). Высокий контраст достигнут за счет того, что процесс нелинейной генерации 7-й гармоники происходит только на самом дефекте и поэтому шумовой фон отсутствует**

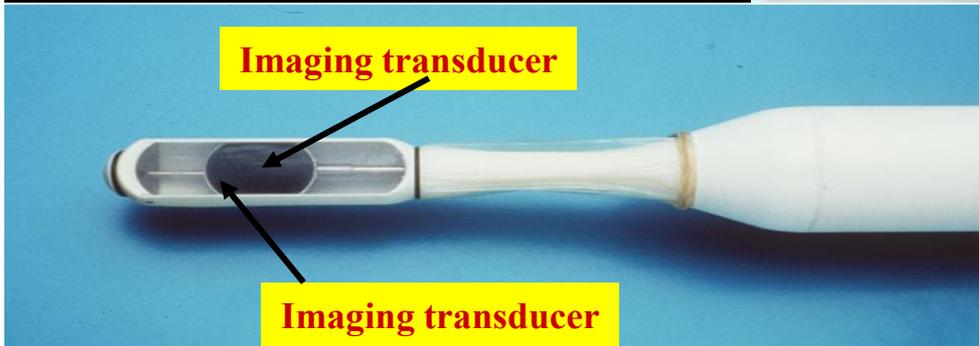
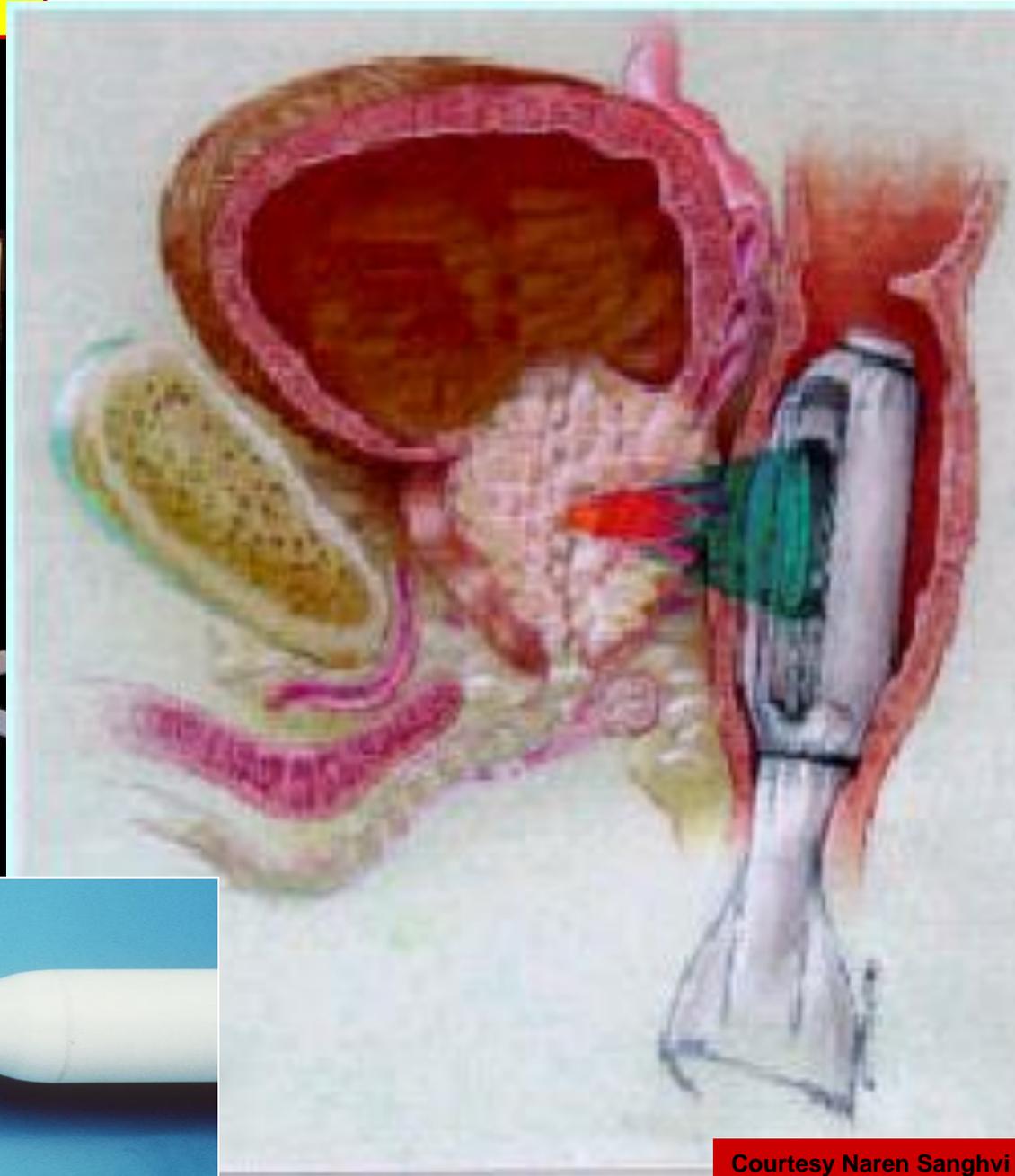
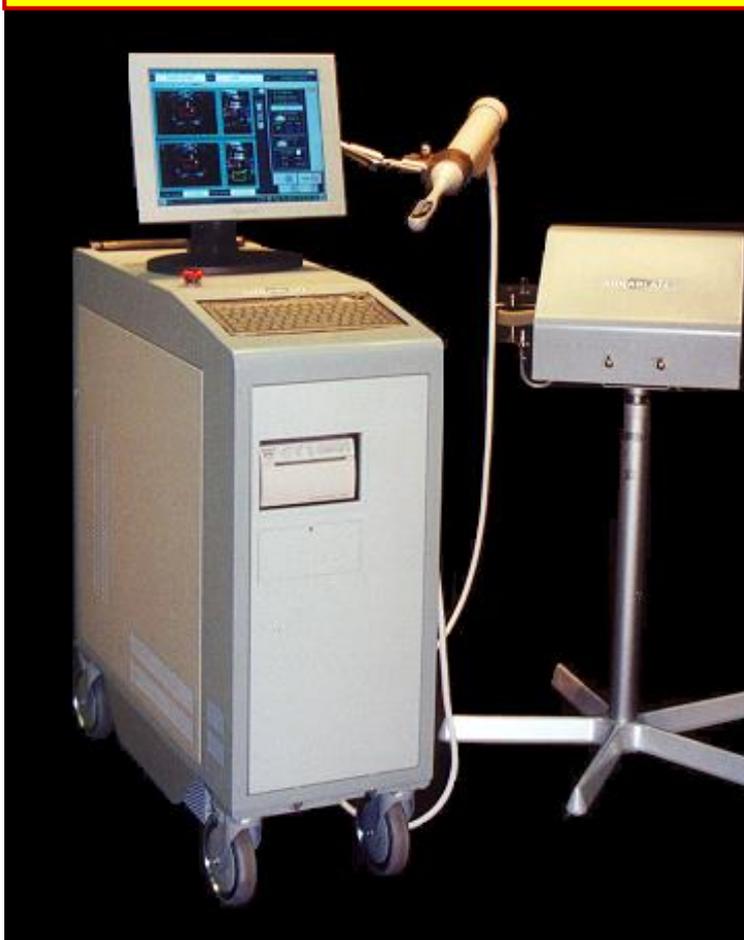
**УЗ может нагреть ткань за счет линейного или нелинейного поглощения на единицы градусов (гипертермия) или десятки градусов (УЗ абляция)**

**Локальное разрушение ткани в окрестности фокуса**

**Распределение температуры в фокусированном УЗ пучке**



# The Sonablate 500 System Focus Surgery, Inc.

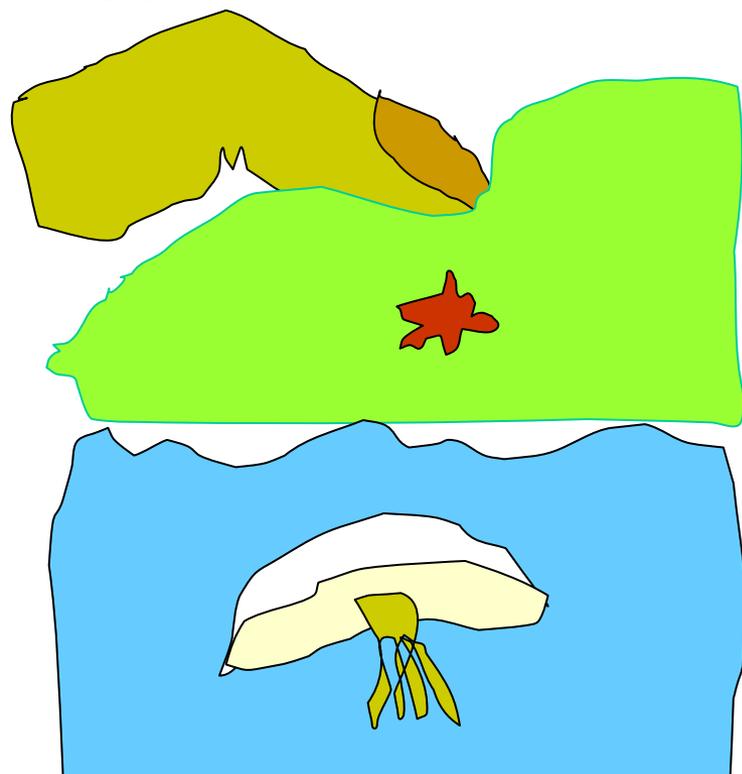
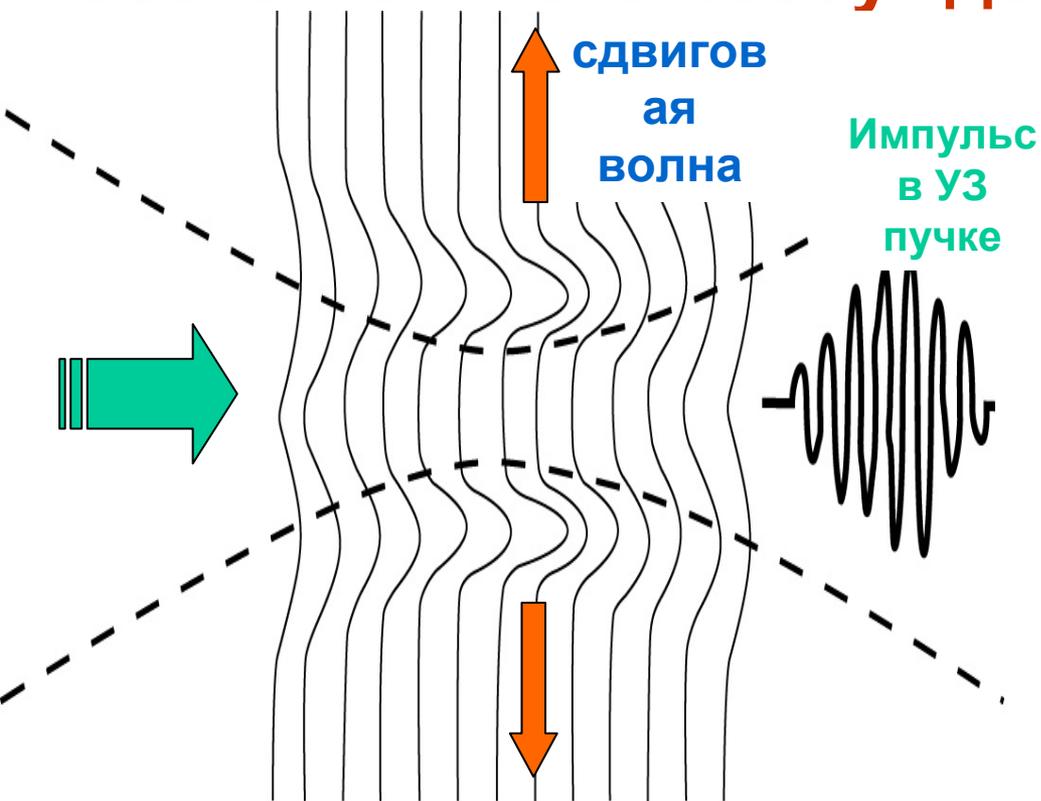




Ак. течение - начало.wmv

**Ультразвук создает большие  
Радиационные Силы, используемые  
для «прощупывания» органов**

# Модулированное радиационное давление для бесконтактного возбуждения сдвиговых волн



Применение в диагностике:  
Shear Wave Elasticity Imaging

Sarvazyan and Rudenko. US  
Patent 5,810,731 (Sept.22, 1998)



Плотность медузы – как у воды

# Выдающийся архитектор и инженер

## Андрей К. Буров



1900-1957

1. Буров **построил** несколько **известных зданий** в Москва и был одним из авторов нового арх стиля (известный факт)
2. Он – один из основоположников **индустриального панельного домостроительства** (известный факт)
3. Он изобрел ряд новых композитных (напр., фибергласс) (знают специалисты)
4. Он изобрел (в 1943 г.) **оптические волокна** для передачи изображений и технологию производства кварцевых нитей высокого оптического качества. Предложил кодировать изображения, разрезая жгут волокон и поворачивая его на некоторый угол (закрытая работа)
5. Создал **УЗ преобразователи с рекордными характеристиками**, не превзойденными до сих пор (знают специалисты).
6. При УЗ облучении злокачественных опухолей наблюдал **исчезновение метастазов** (закрытая работа).

**Ш.-Э. Ле Корбюзье,  
С.М.Эйзенштейн,  
А.К.Буров. 1927г.**

**Некоторые из домов,  
построенных по  
проектам А.К.Бурова  
в Москве**



**Первый  
панельный  
дом в СССР  
(«ажурный»  
дом у  
метро  
«Динамо»,  
1941 г)**



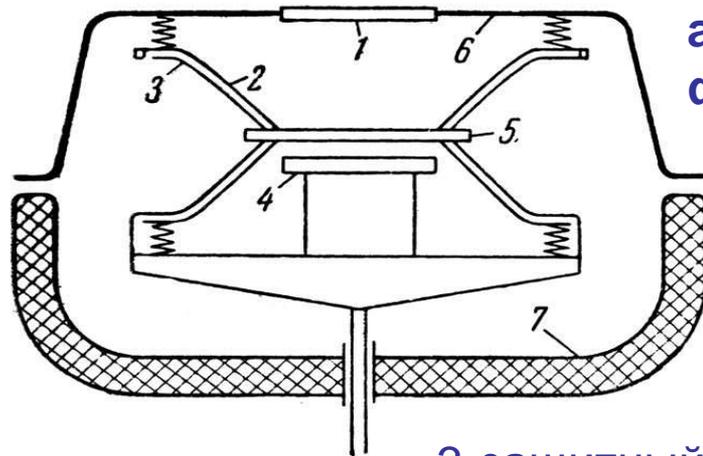
# Лаборатория Анизотропных Структур (ЛАС АН СССР) – один из центров, где зародилась нелинейная и биомедицинская акустика в СССР (1950-1957)

ЛАС организована чл-корр Академии архитекторы СССР А.К. Буровым.

ЛАС была секретной лаб. После обсуждений на Политбюро решение о создании ЛАС подписал лично И.Сталин.

В ЛАС работали известные ученые и инженеры:

Ю.И.Китайгородский сделал радиогенераторы с вых мощностью 100 kW, в диапазоне 350 kHz-2MHz. Преобразователями были пластины природного кварца диаметром до 12 см. Достигнуты интенсивности  $500 \text{ W/cm}^2$  в параллельных несфокусированных пучках



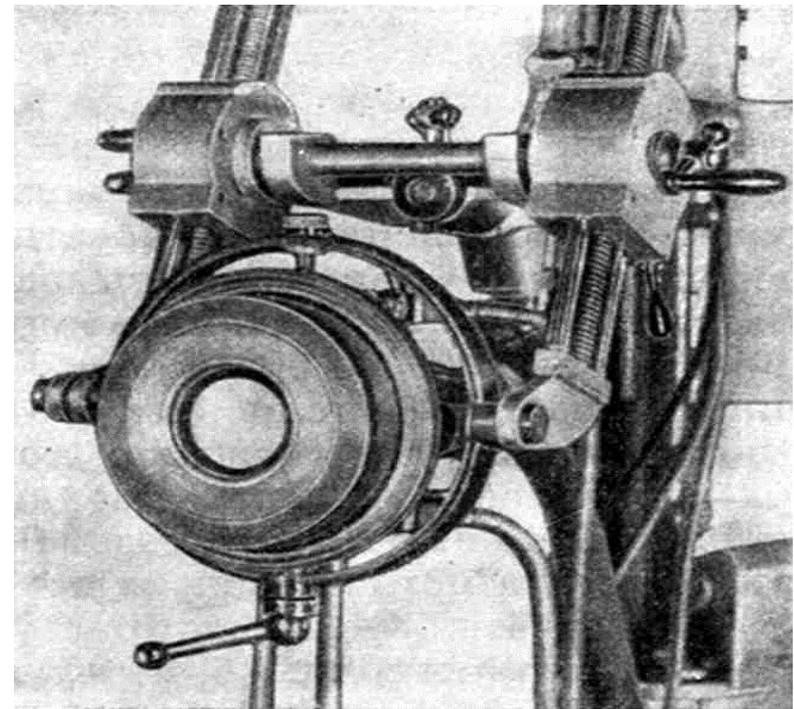
1a

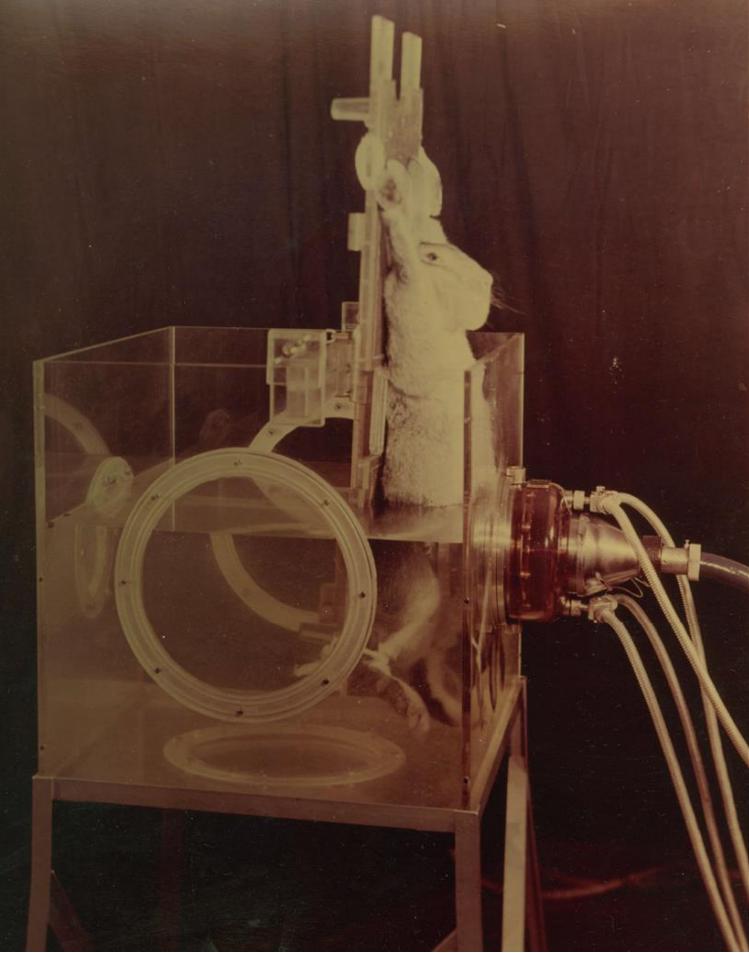
УЗ источник:  
а-схема, б -  
фото

1-полувол  
вых отвер 2-  
гл электрод

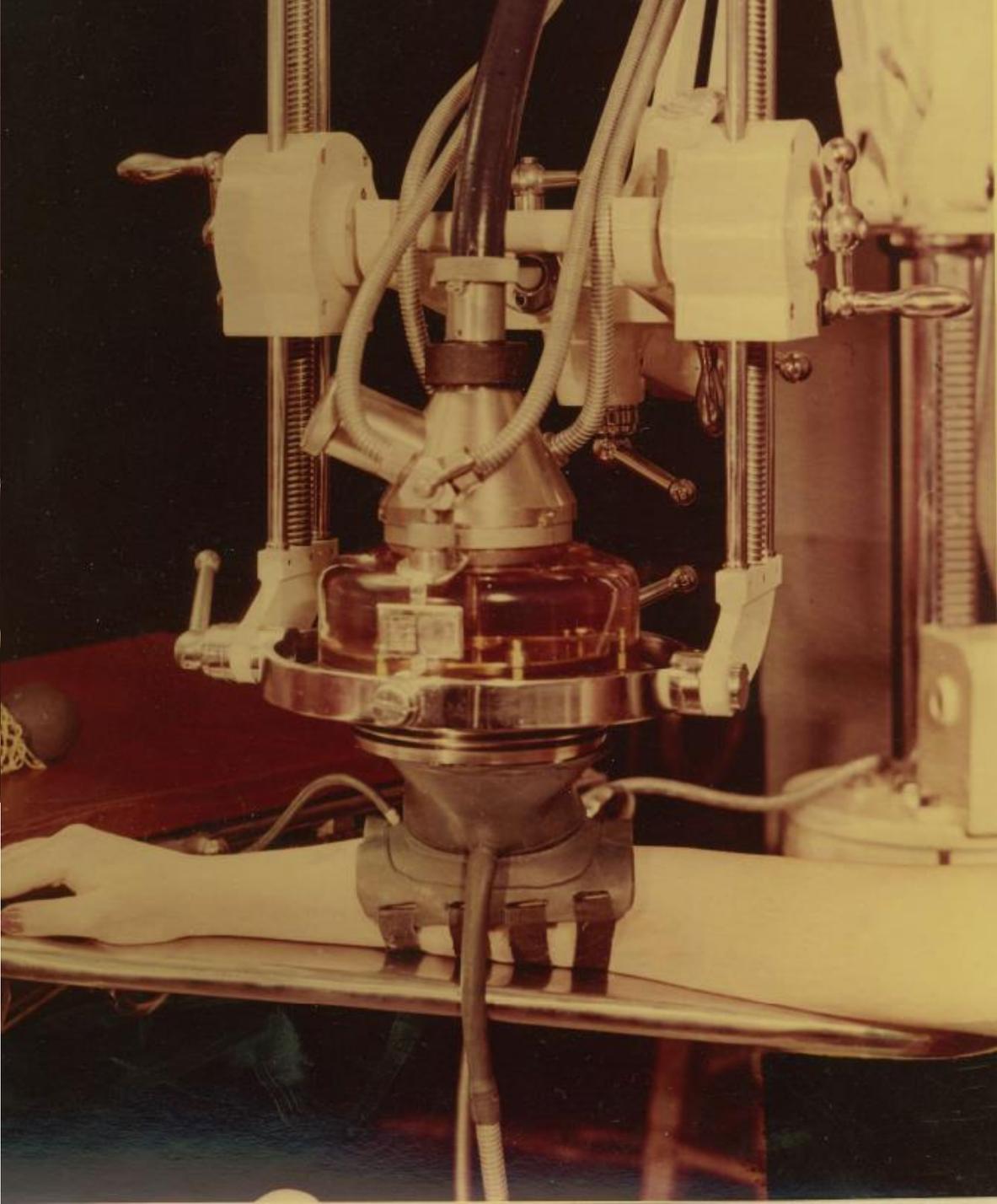
3-защитный электрод  
4-четвертьволн рефлект

5-кварц, 6-мет корпус, 7-пластмассовый корпус





**УЗ воздействие на  
злокачественные  
опухоли человека и  
кролика (А.К.Буров,  
Лаборатория  
Анизотропных структур  
АН СССР )**

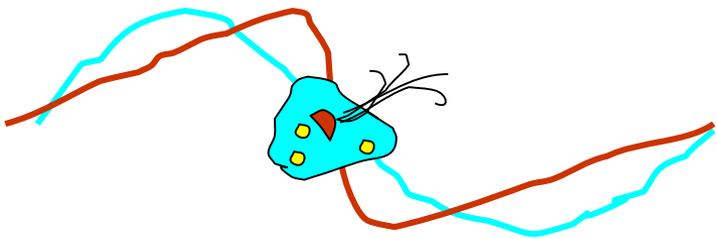


# НЕЛИНЕЙНЫЙ УЛЬТРАЗВУК: РАЗРУШЕНИЕ КЛЕТОЧНЫХ СТРУКТУР И НЕТЕПЛОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОПУХОЛЬ



Рассасывание метастазов в глазу кролика (от привитой опухоли Броун-Пирс)

А.К.Буров, Лаборатория  
Анизотропных Структур АН  
СССР (1950-1957). В.А.Буров,  
Н.П.Дмитриева, О.В.Руденко.  
Доклады АН (Биохимия,  
Биофизика, Молекулярная  
биология), 2002.



**Клинические испытания** производились Акад Н.Н.Блохиным в Институте эксп патологии и терапии рака (преобразованном в Онкологический центр).

Добровольцами были 12 больных меланомой на **терминальной стадии**. Полное исчезновение метастазов наблюдалось у 7 пациентов, но 5 человек умерли. Результат многократно превышает вероятность спонтанного самоизлечения (~0.0001).



**а-Первичная меланобластома на руке больного до и после воздействия интенсивным ультразвуком**



6а

6б



**а- Первичная Меланобластома на стопе до и после облучения ультразвуком**



7а

7б

**Ректор МГУ академик Р.В.Хохлов и профессор  
В.А.Красильников в Президиуме  
Международного Симпозиума по Нелинейной  
Акустике (Москва, 1975)**





# Vitalii L. Ginzburg

## Nobel Prize Winner-2003

Нобелевская лекция В.Л.Гинзбурга  
Стокгольм, Университет, 8 декабря  
2003 г., 9-00 – 9-45

