

Санкт-Петербургский Государственный  
Университет

Факультет географии и геоэкологии  
Кафедра океанологии

Короткие и длинные волны в Мировом  
океане.

Капиллярные волны.

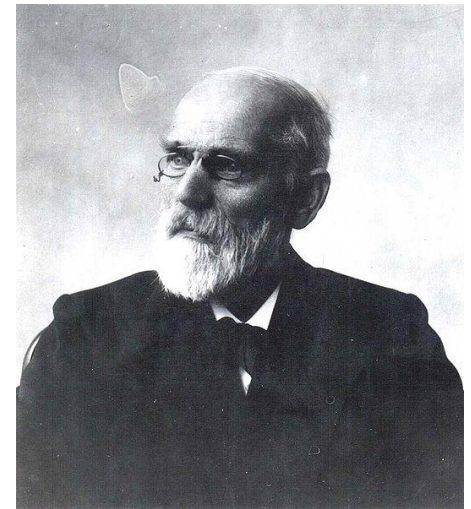
доклад

подготовлен  
студенткой IV курса  
Тарасенко А.Д.

2012 г.

# История изучения капиллярности.

- 1751г. – фон Сегнер вводит понятие поверхность натяжения.
- Кон.18 в. - теории Юнга и Лапласа – теории статики
- Появление первой работы Ван-дер-Ваальса «Термодинамическая теория капиллярности на основе гипотезы о непрерывном изменении плотности» (1893) - изучение капиллярности с т.зр. термодинамики. В простой трактовке теории о функции плотности поверхность жидкость-пар рассматривается как конечная область, где плотность гладко меняется от плотности жидкости до плотности пара. Состояние равновесия данной системы определяется минимальной свободной энергией, необходимой для фазового перехода, которая зависит от плотности в точке и ее пространственных производных.
- Теория капиллярности Гиббса  
Гиббс использовал два основных положения разделяющей поверхности: такое, при котором адсорбция одного из компонентов равна нулю (сейчас эту поверхность называют эквимолекулярной), и положение, для которого исчезает явная зависимость поверхностной энергии от кривизны поверхности (это положение было названо Гиббсом поверхностью натяжения). Эквимолекулярной поверхностью Гиббс пользовался для рассмотрения плоских жидких поверхностей (и поверхностей твердых тел), а поверхностью натяжения — для рассмотрения искривленных поверхностей. Для обоих положений сокращается число переменных и достигается максимальная математическая простота.

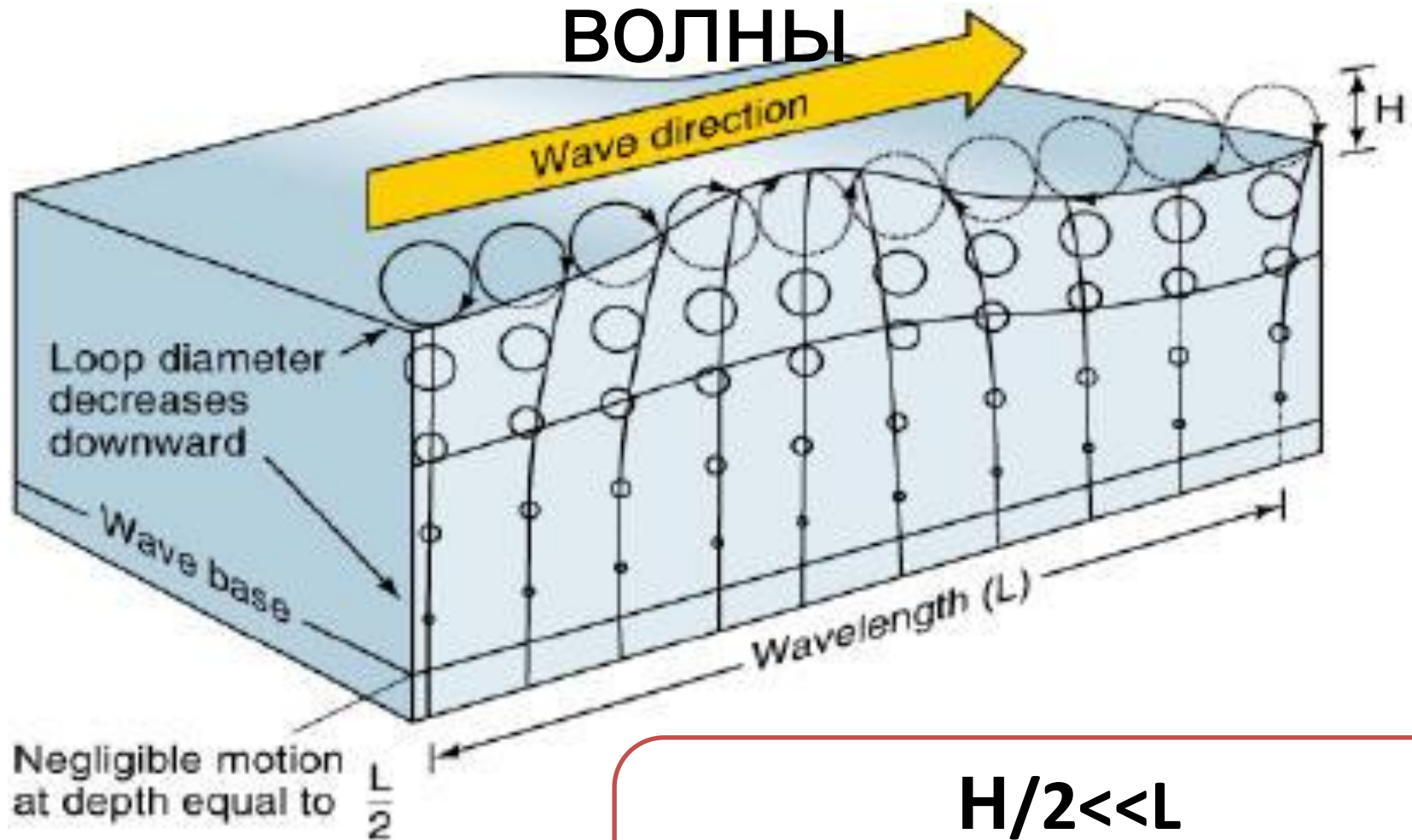


Ван-дер-  
Ваальс

# Свободная капиллярная волна.

- Жидкие поверхности часто описываются «гладкие как стекло». Но фактически поверхность жидкости никогда не бывает гладкой. Она испытывает воздействие ветра, и всегда «украшена» волнами, возникающими благодаря термальным флуктуациям.
- На коротких длинах волн такие волны зависят от сил поверхностного натяжения и вязкости жидкости, и называются **капиллярными**. Для более вязких жидкостей (сиропов) амплитуда волн еще меньше. Теория гидродинамики позволяет объяснить как время релаксации зависит от длины капиллярной волны. Таким образом рассчитывают длины капиллярных волн, а так же вязкость жидкостей.
- Если гравитационные силы значительно меньше сил поверхностного натяжения, такая волна называется **свободной капиллярной**. Для **гравитационно-капиллярных волн** учитываются как сила поверхностного натяжения, так и гравитационная сила.
- Капиллярные волны –короткие волны. Амплитуда волны много меньше
- Свободная капиллярная волна –

# Свободные капиллярные ВОЛНЫ



Negligible motion  
at depth equal to

$\frac{L}{2}$

Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

$$H/2 \ll L$$

Капиллярные волны – **короткие волны**,  
амплитуда волны ( $A=H/2$ ) намного  
меньше ее длины ( $L$ )

# Дисперсионное уравнение гравитационно-капиллярных волн:

Гравитационные силы

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\sigma}{\rho\lambda}}$$

Силы поверхностного натяжения

**ВОЛН:**

$c$  – фазовая скорость для глубокой воды  $k \gg H^{-1}$

$g$  – ускорение свободного падения

$\lambda$  – длина волны

$\rho$  – плотность жидкости

$\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения

\*Известно, что давление под искривленной цилиндрической поверхностью

$$p \sim \frac{\sigma}{R},$$

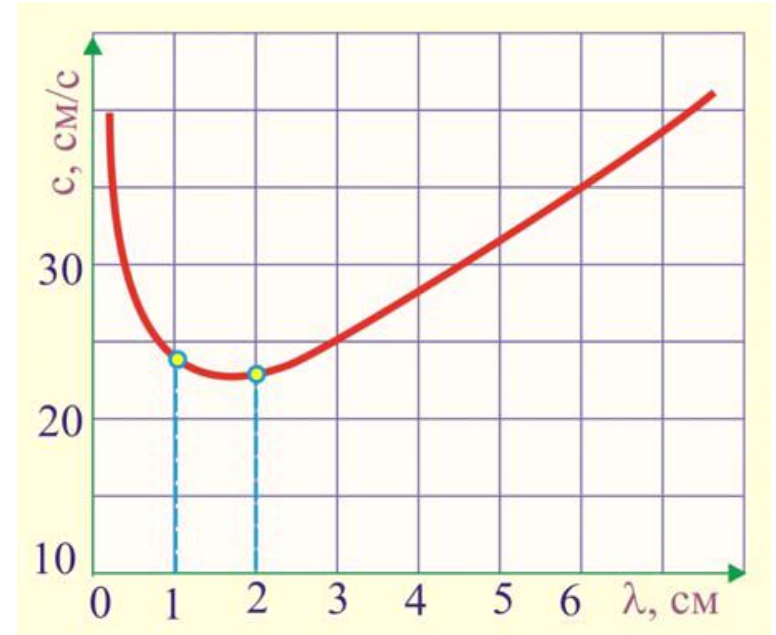
где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения. Если приближенно считать, что  $\lambda = 2\pi R$

можно получить формулу капиллярных волн

$$c_k = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho} k}.$$

# Зависимость длины волны и скорости капиллярных волн

Опыт показывает, что с уменьшением длины волны скорость достигает минимума, а затем начинает возрастать. Это связано с тем, что при малом радиусе кривизны поверхности начинают играть заметную роль силы поверхностного натяжения. Под их действием поверхность воды стремится уменьшить свою площадь.



Зависимость фазовой скорости вол на поверхности жидкости от их длины для глубокой воды. Кривая  $c = f(\lambda)$  имеет две асимптоты, одна из которых соответствует случаю гравитационных волн а вторая – капиллярных волн.

Для воды:

$$\sigma = 0,073 \text{ Н/м}, c_{\text{мин}} \approx 23,2 \text{ см/с}, \lambda_{\text{мин}} = 2\pi/k_{\text{мин}} \approx 1,73 \text{ см}.$$

Таким образом, на поверхности воды не могут существовать волны, распространяющиеся со скоростью меньше 23 см/с!

# Сила поверхностного натяжения в дисперсионном уравнении капиллярных ВОЛН

$$\sigma = \frac{\rho \lambda^3 \nu^2}{2\pi}$$

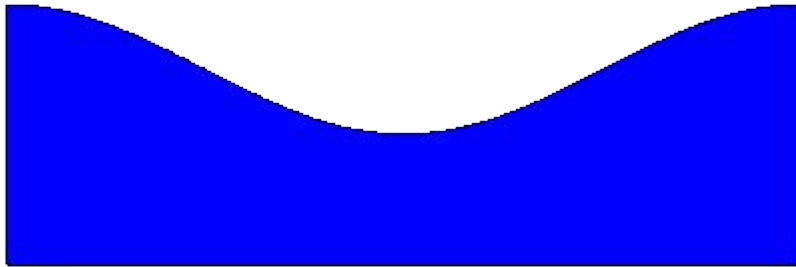
- $\lambda$  – длина волны
- $\rho$  – плотность жидкости
- $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения
- $\nu$  – частота ( $c = \lambda \nu$ )

\*для волн глубокой воды

$$\lambda \ll 2\pi \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$$

# Прогрессивная обрушающаяся волна и капиллярные волны.

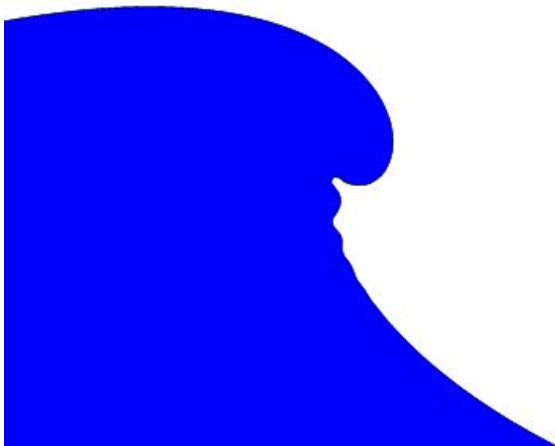
Изучение образования капиллярных волн на поверхности обрушающихся гравитационных волн принципиально важно для спутниковой океанологии.



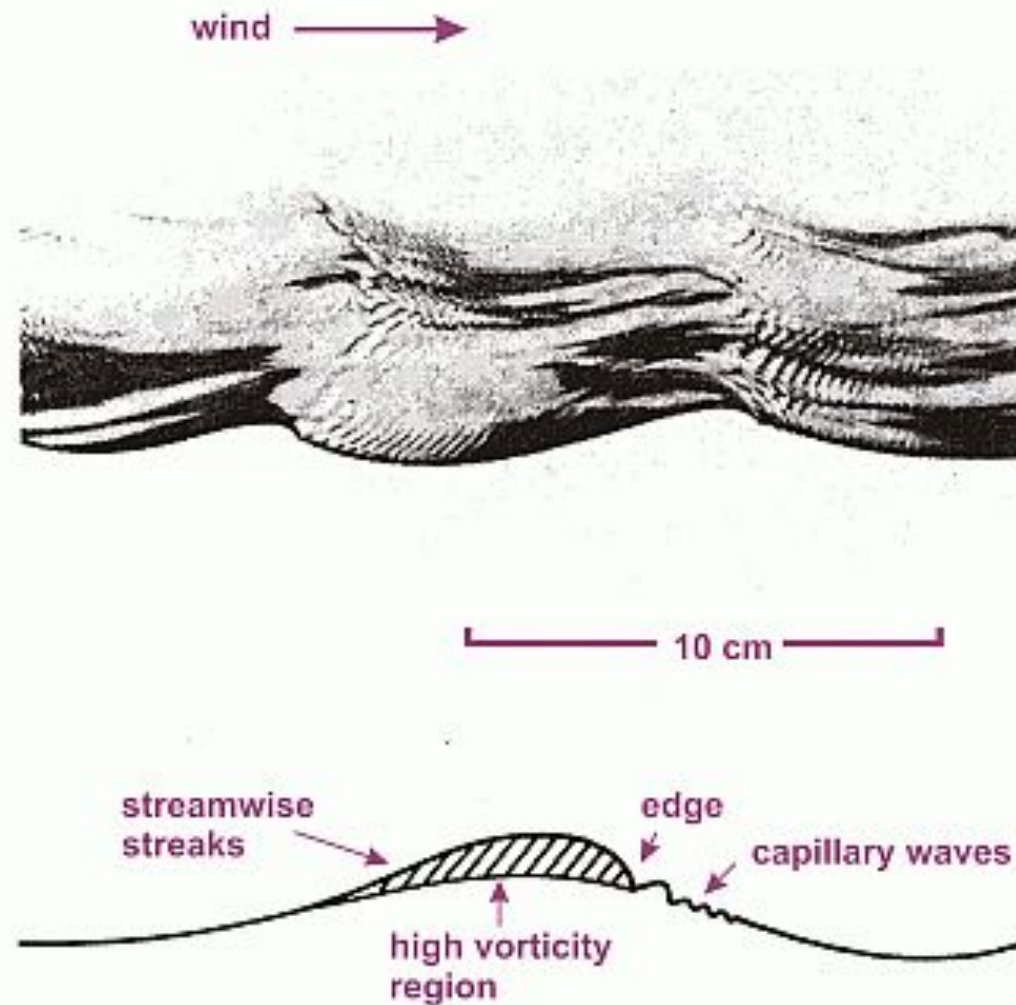
Мелкая структура капиллярных волн на спутниковых снимках ассоциируется с высокими частотами электромагнитной радиации.

Измерения капиллярных волн происходят в радио-диапазоне (т.н. K-band - 18,0 — 26,5 ГГц, X-band - 8,0 — 12,0 ГГц)

Капиллярные волны считаются также одним из основных механизмов *трансформации энергии ветровых волн в тепловую энергию.*





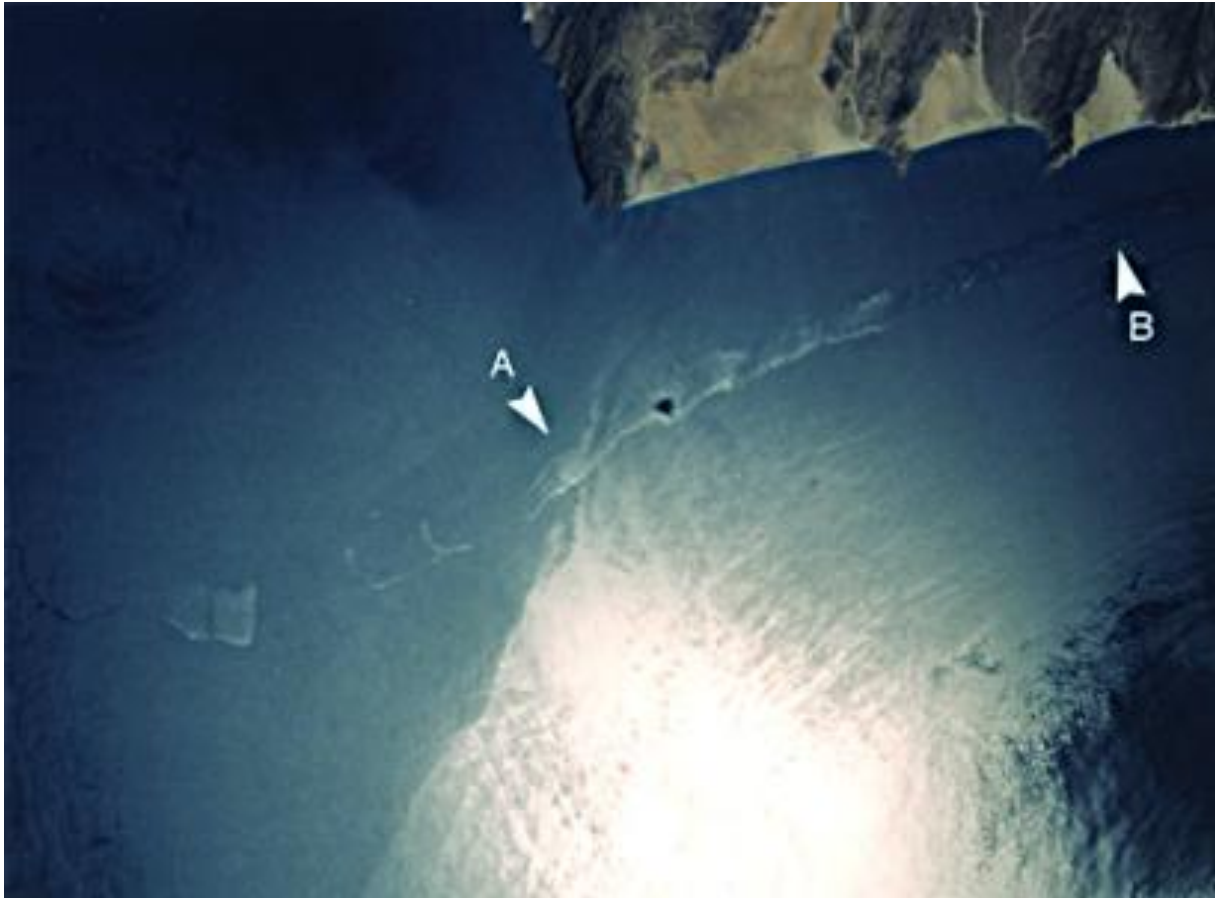


Капиллярные волны, образующиеся на поверхности обрушающейся гравитационной волны.

Правая картинка сделана в волновом бассейне с заданной скоростью ветра 5 м/с. Почти каждая гравитационная (дециметровая) волна является носителем мелко-масштабных капиллярных волн на поверхности обрушения (размер поверхности около 50 см x 150 см).

<http://www.ifm.zmaw.de/research/remote-sensing-assimilation/research-in-the-lab/bound-and-free-gravity-capillary-waves/>

# Капиллярные волны и спутниковые снимки



Аравийское море,  
побережье Южн.Йемена  
(15,5 с.ш., 52,2 в.д.)  
Нефтяные пленки  
демпфируют  
капиллярные волны,  
делая гладь  
поверхности более  
ровной. В результате,  
разливы выглядят ярче  
в полосе света (зона А) и  
темнее в зоне В