



*Тайны  
мыльных  
пузырей*

A young girl with a white headscarf is blowing bubbles. The bubbles are in various sizes and are scattered throughout the frame, some in sharp focus and others blurred. The background is a soft, out-of-focus green, suggesting an outdoor setting. The girl's face is partially visible, looking towards the camera.

**«Мыльный пузырь, пожалуй,  
самое восхитительное и  
самое изысканное явление  
природы».**

**Марк Твен**





# Тайна №1

## Происхождение мыльного пузыря.

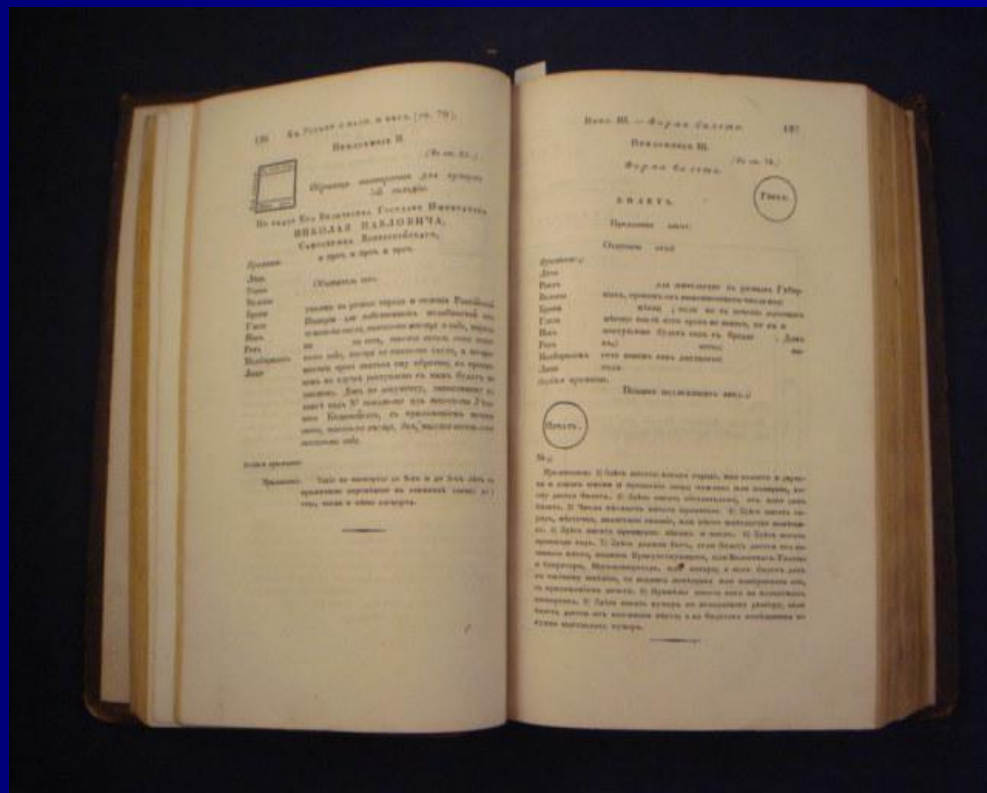


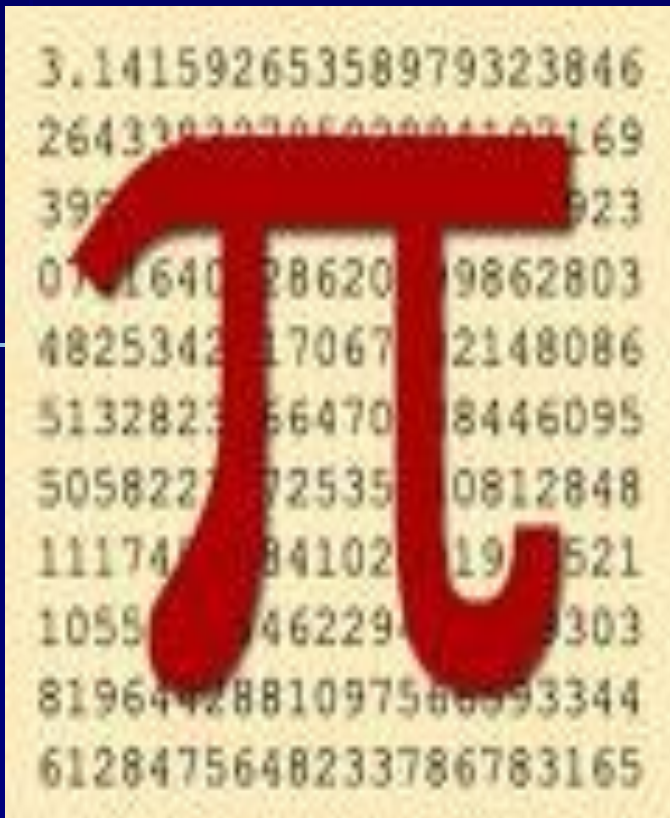


# Ч. Бойс 100 лет назад опубликовал

# опубликовал

фундаментальный труд «Мыльные пузыри»





14 марта  
Международный  
день числа «Пи»



9 сентября  
Международный день  
красоты

# День мыльных пузырей в Москве на Старом Арбате









**Длина самого большого  
пузыря 4,5 метра**



# Тайна №2

## Что такое мыльный пузырь?

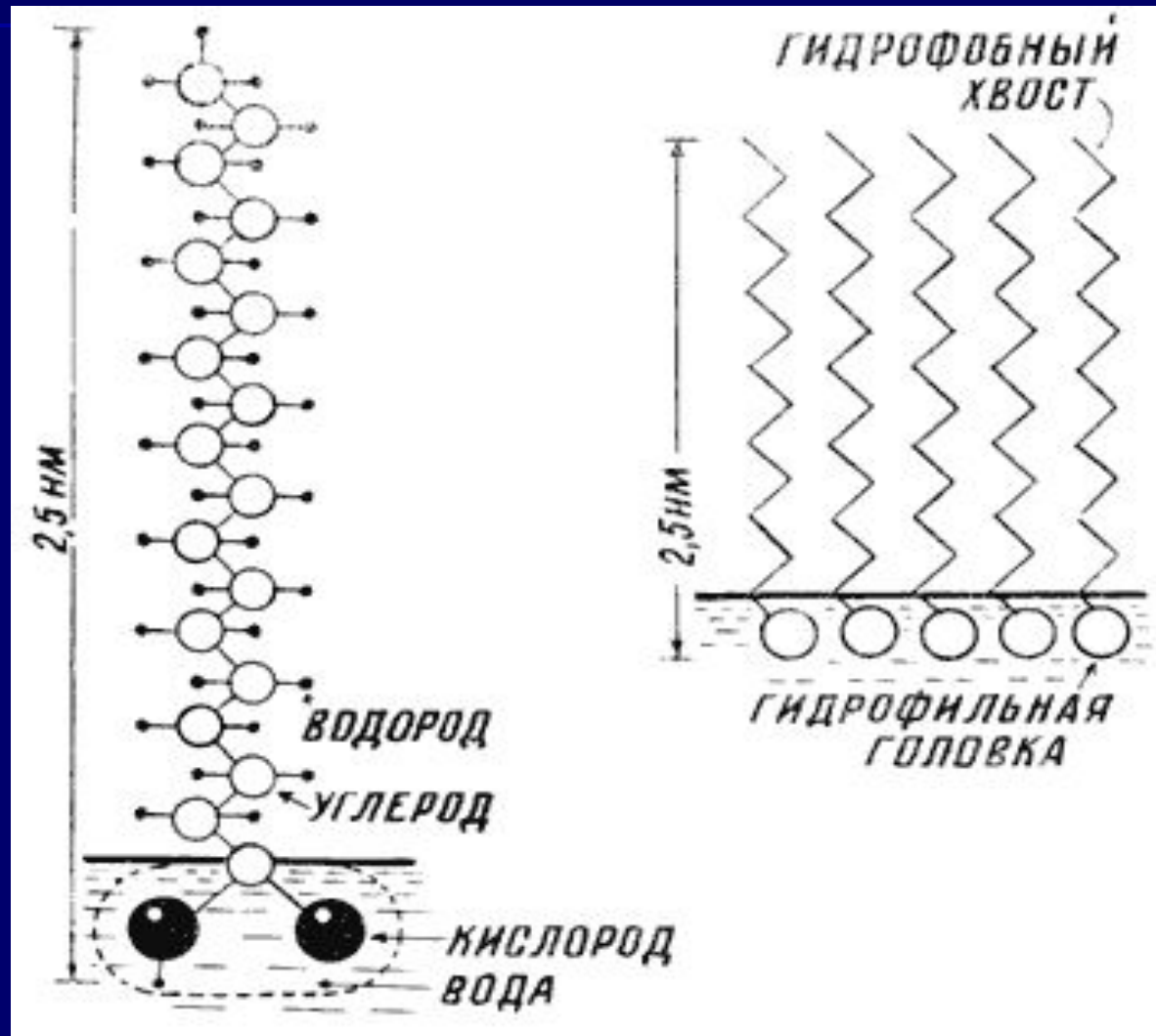


**Мыльный пузырь** — тонкая пленка мыльной воды, которая формирует шар с переливчатой поверхностью.

Пленка пузыря состоит из тонкого слоя воды, заключенного между двумя слоями молекул поверхностно активного вещества, чаще всего **мыла**.

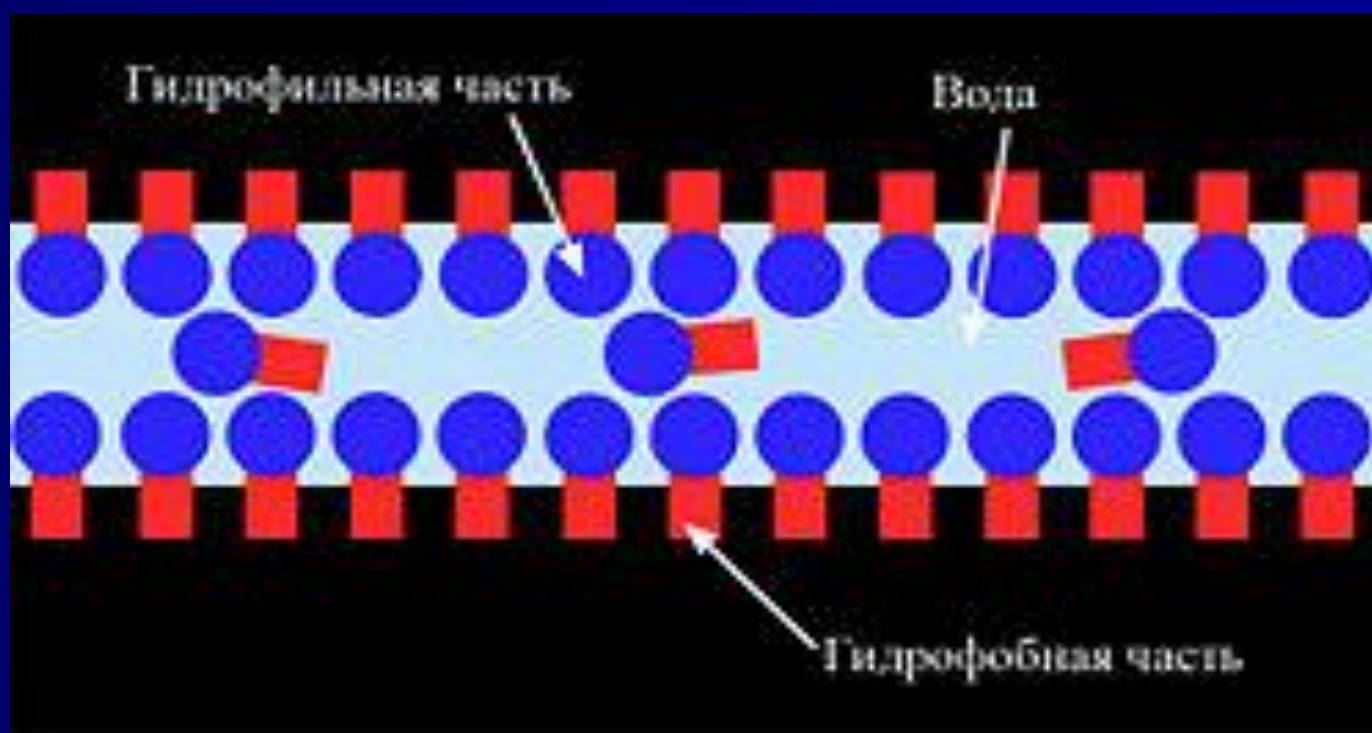


# Строение молекул-русалок



**Прямыми измерениями было установлено, что поверхностное натяжение воды понижается в два с половиной раза при добавлении мыла:**

**от  $7 \cdot 10^{-2}$  до  $3 \cdot 10^{-2}$  Дж/м<sup>2</sup>**



# Теория разрушения мыльного пузыря



Вследствие большого  
поверхностного  
натяжения  
утончившееся место  
пленки потянет в свою  
сторону жидкость из  
других, более толстых  
частей. Этим будет  
вновь достигнута  
одинаковая толщина  
пленки на всем  
протяжении, и  
опасность разрыва  
пленки исчезнет

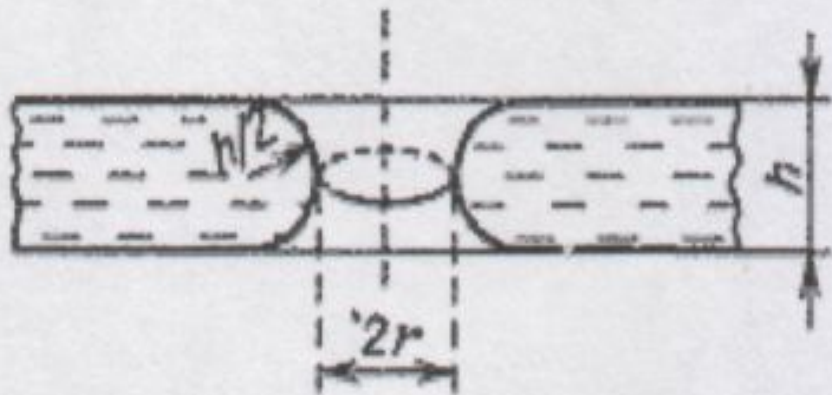
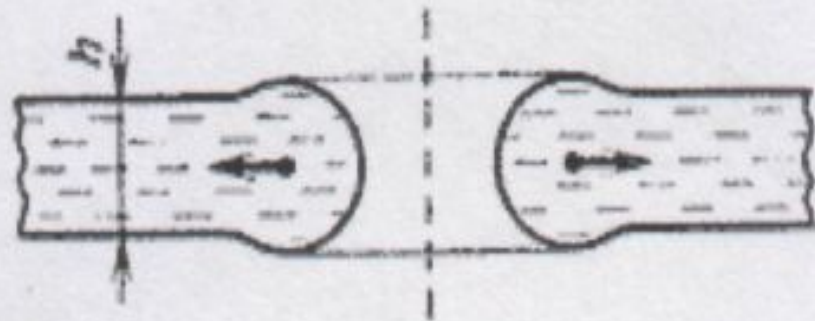


Схема прокола мыльной пленки



По контуру расширяющегося отверстия пленки формируется валик

Поверхность характеризуется двумя радиусами кривизны:  $r$  и  $h/2$ .

Для пузыря будут смертельными те пробоины, у которых  $r > h/2$ , в остальных случаях пробоина будет залечиваться, схлопываться.



# Тайна №3

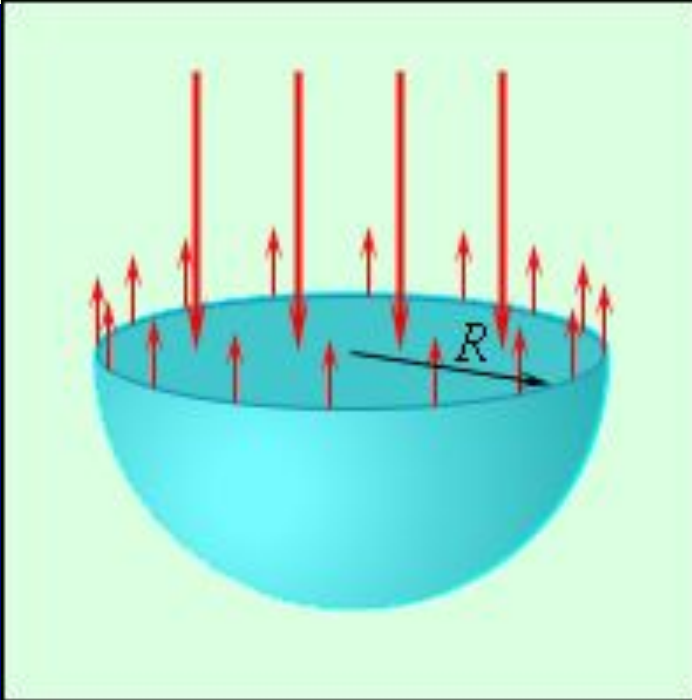
## Почему мыльный пузырь имеет форму сферы?



Коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma$  может быть определен как модуль силы поверхностного натяжения, действующей на единицу длины линии, ограничивающей поверхность

$$\sigma = F_{\text{н}}/2L$$

# Условие равновесия для мыльных пузырей



Сечение сферической капли

**Избыточное давление** внутри мыльного пузыря в два раза больше, чем у сферической капли, так как пленка имеет две поверхности:

$$\Delta p = 4\sigma / R$$

**Условие равновесия** сил поверхностного натяжения и сил избыточного давления для мыльных пузырей:

$$\sigma 4\pi R = \Delta p \pi R^2$$

*Силы натяжения мыльного пузыря формируют сферу потому, что сфера имеет наименьшую площадь поверхности при данном объеме.*

С поверхностью жидкости связана свободная энергия

$$E = \sigma S$$

где  $\sigma$  — коэффициент поверхностного натяжения,  
 $S$  — полная площадь поверхности жидкости.

Так как свободная энергия изолированной системы стремится к минимуму, то жидкость (в отсутствие внешних полей) стремится принять форму, имеющую минимальную площадь поверхности.

Мыльные пузыри - физическая иллюстрация проблемы минимальной поверхности, сложной математической задачи.



**Теорема двойного пузыря:**

два объединенных пузыря имеют минимальную площадь поверхности при заданном объединенном объеме.

**Сферическая форма существенно  
искажается потоками воздуха и  
самим процессом надувания пузыря**



# Тайна № 4

## Оптика мыльного пузыря



Свет — это поток гипотетических частиц — корпускул



**Х. Гюйгенс**



**Ф. Гримальди**



**Р. Гук**

**Свет имеет волновую природу**





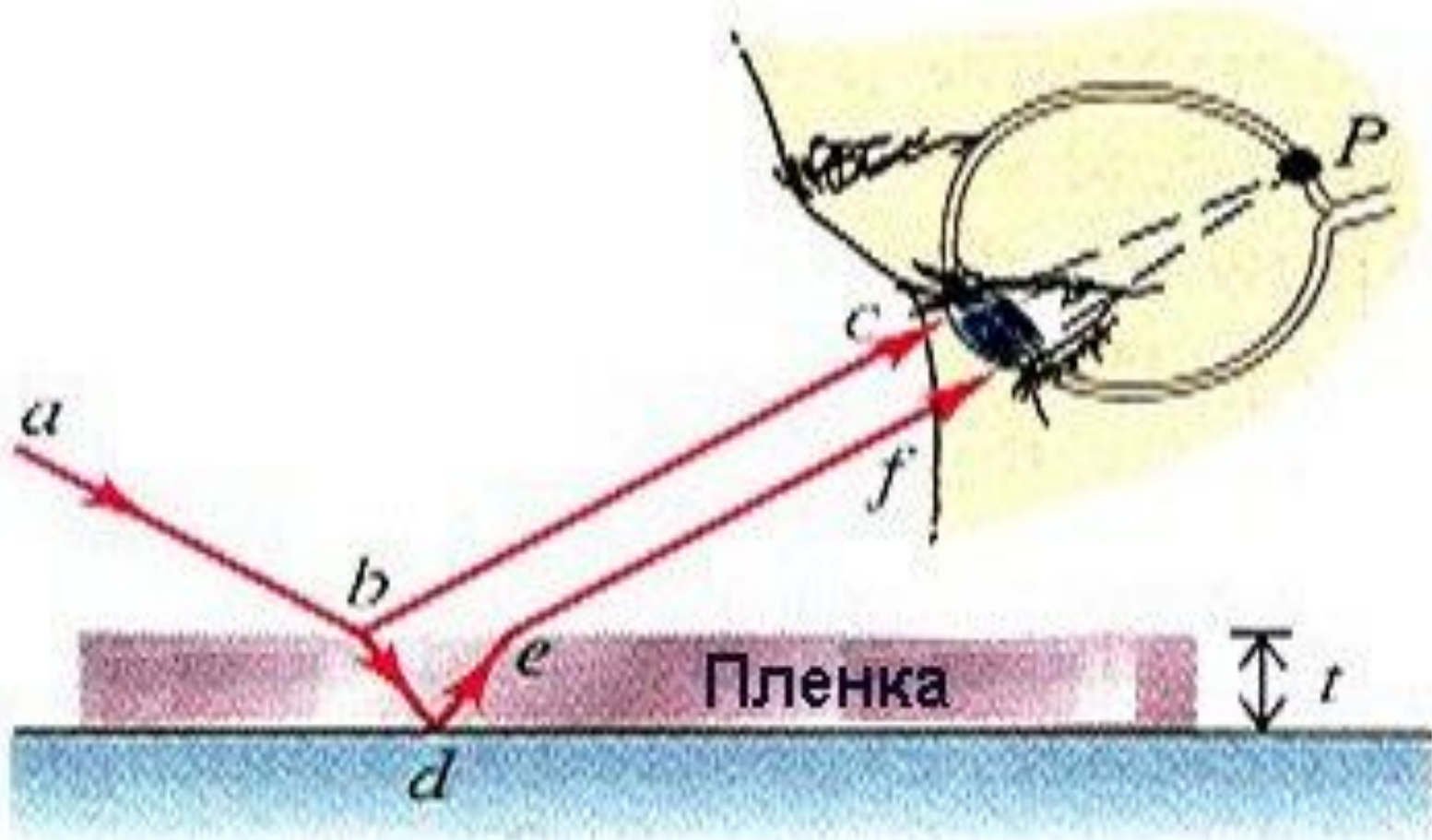
**Т. Юнг**

«Ценнейшее открытие доктора Юнга, которому суждено навеки обессмертить его имя, было ему внушено предметом, казалось бы, весьма ничтожным: теми самыми яркими и лёгкими пузырями мыльной пены, которые, едва вырвавшись из трубочки, становятся игрушкой самых незаметных движений воздуха».





# Ход лучей в тонких пленках

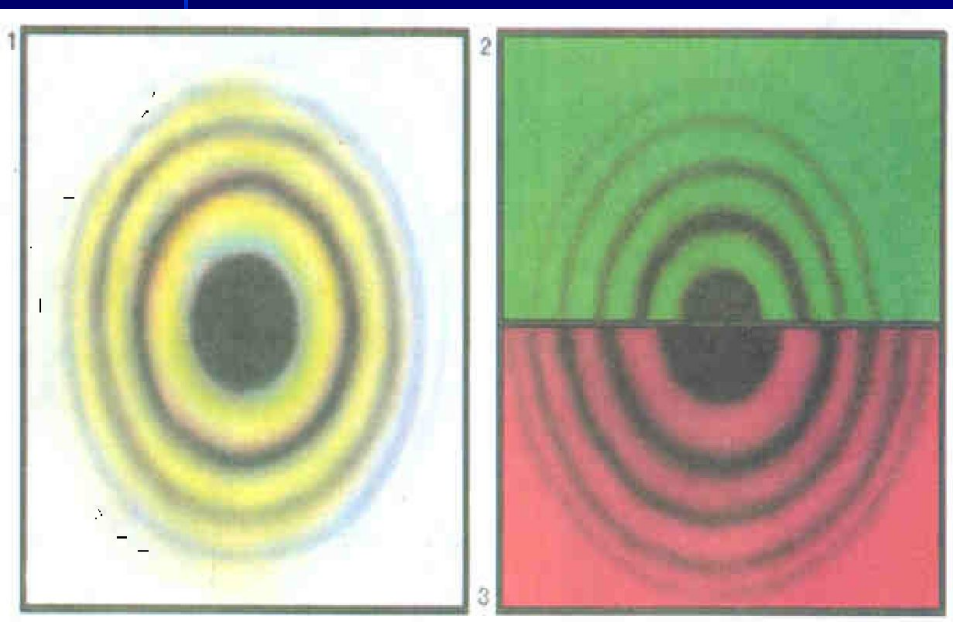


# Интерференция в тонких плёнках

## *Интерференцией световых волн*

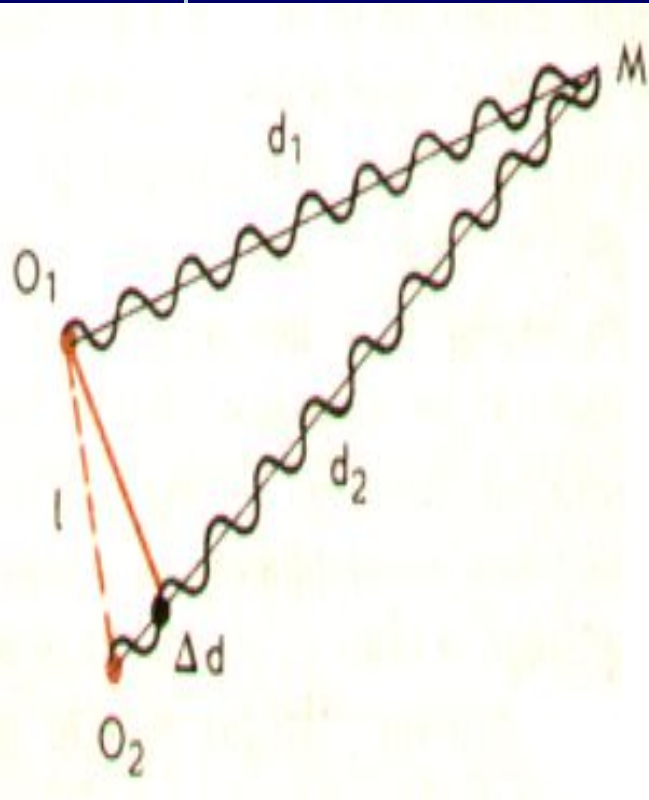
называется сложение двух когерентных волн, вследствие которого наблюдается усиление или ослабление результирующих световых колебаний в различных точках пространства.

***Когерентные волны*** — волны, имеющие одинаковую частоту и постоянную во времени разность фаз.



1-в белом; 2-в зеленом; 3-в красном.

**Условие максимума:** если разность хода двух волн, возбуждающих колебания в этой точке, равна целому числу длин волн



**$\Delta d = k \lambda$** ,  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$  - волны усилят друг друга,

$\Delta d$  – разность хода лучей

**Условие минимума:** если разность хода двух волн, возбуждающих колебания в этой точке, равна нечётному числу полуволен

**$\Delta d = (2k+1) \lambda/2$** ,  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$  - волны погасят друг друга.

# Почему же одни мыльные пузыри имеют радужную окраску, а другие – нет?



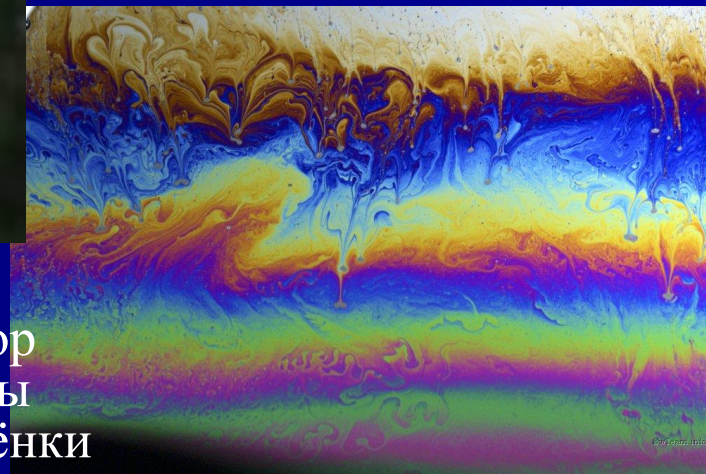
**Сомнение, вера, пыл живых страстей.**

**Игра воздушных мыльных пузырей:**

**Тот радугой блеснул, а этот – серый**

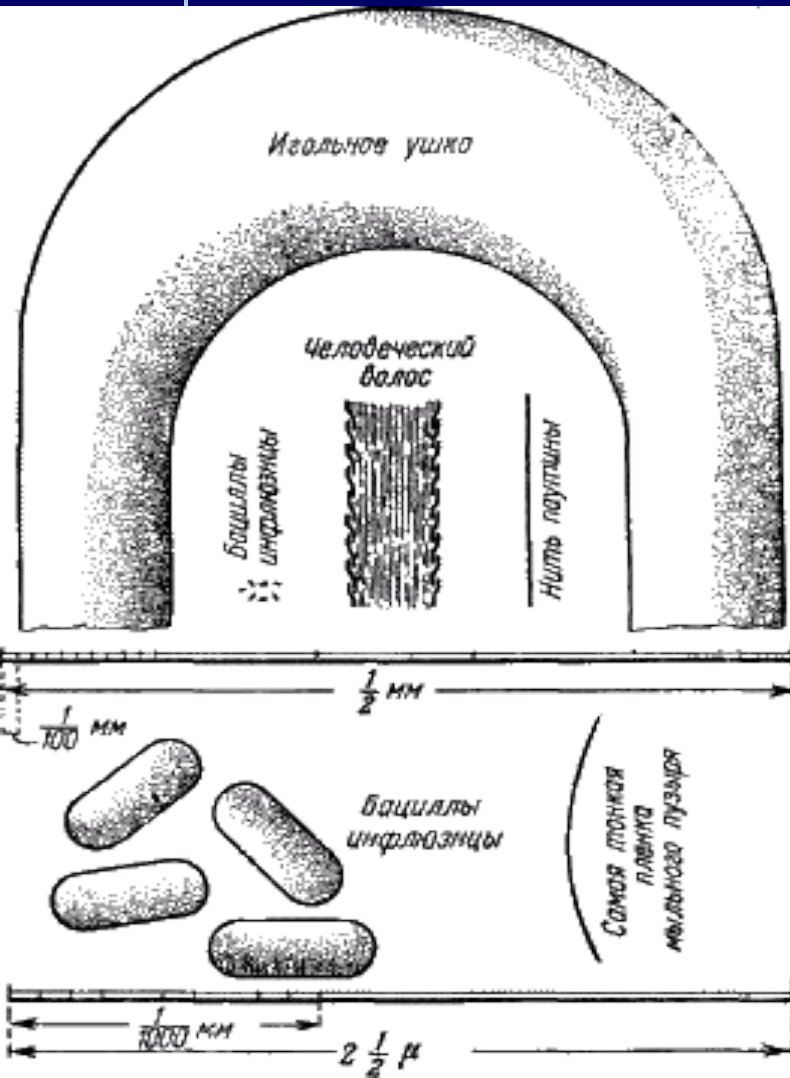
**И разлетятся все  
Вот жизнь людей.**

Сначала плёнка бесцветная, так как имеет приблизительно равную толщину. Затем раствор постепенно стекает вниз. Из-за разной толщины нижней утолщённой и верхней утончённой плёнки появляется радужная окраска.



# Тайна № 5

## Толщина плёнки мыльного пузыря



Чтобы разрез стенки мыльного пузыря усматривался в виде тонкой линии необходимо увеличение в 40 000 раз, при таком же увеличении волос будет иметь толщину свыше 2 м.

Вверху – игольное ушко, человеческий волос, бацилла и паутиная нить, увеличенные в 200 раз. Внизу – бациллы и толщина мыльной пленки, увеличенные в 40000 раз.  $1 \mu = 0,0001$  см.

# Тайна № 6

## Долгая жизнь мыльного пузыря



Д.Дьюар

Лопнул мыльный пузырь  
ненадежного зыбкого  
счастья,  
Не сумев долететь к  
долгожданым седым  
облакам.

Зенкевич Александр



Дьюар - сосуды

# Тайна № 7

## Свойства мыльных пузырей на морозе



Пузырь при медленном охлаждении переохлаждается и замерзает примерно при  $-7^{\circ}\text{C}$ . Пленка оказывается не хрупкой, какой, казалось бы, должна быть тонкая корочка льда. Она обнаруживает пластичность. Пластичность пленки оказывается следствием малости ее толщины.



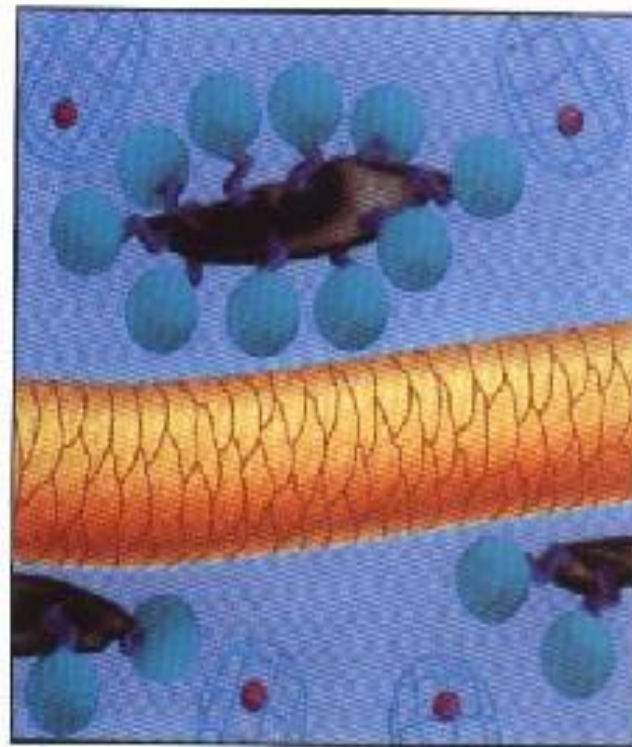
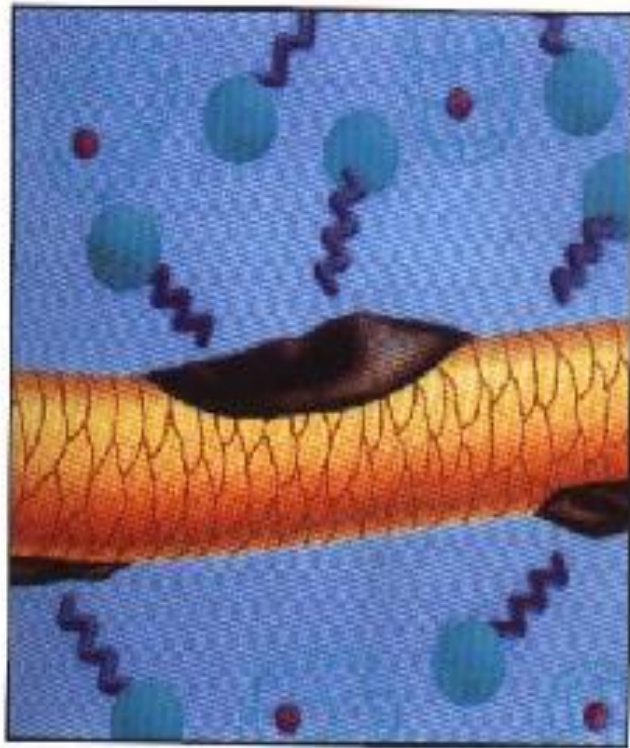




# Тайна № 8

## Для чего нужны мыльные пузыри?

*Механизм удаления грязи с  
помощью мыльной воды*



# *В метрологии и аэронавтике*



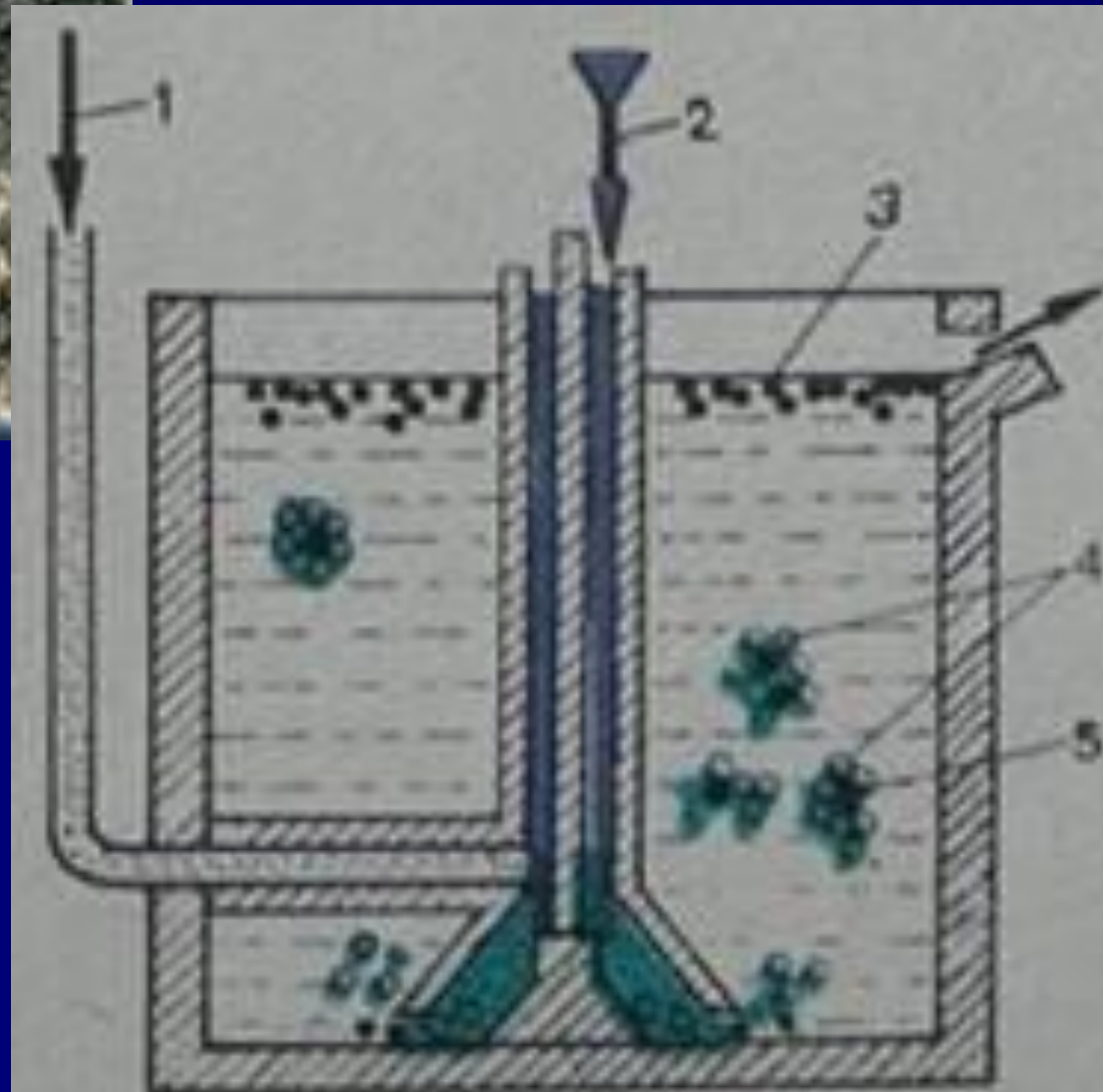




# *В горной промышленности*



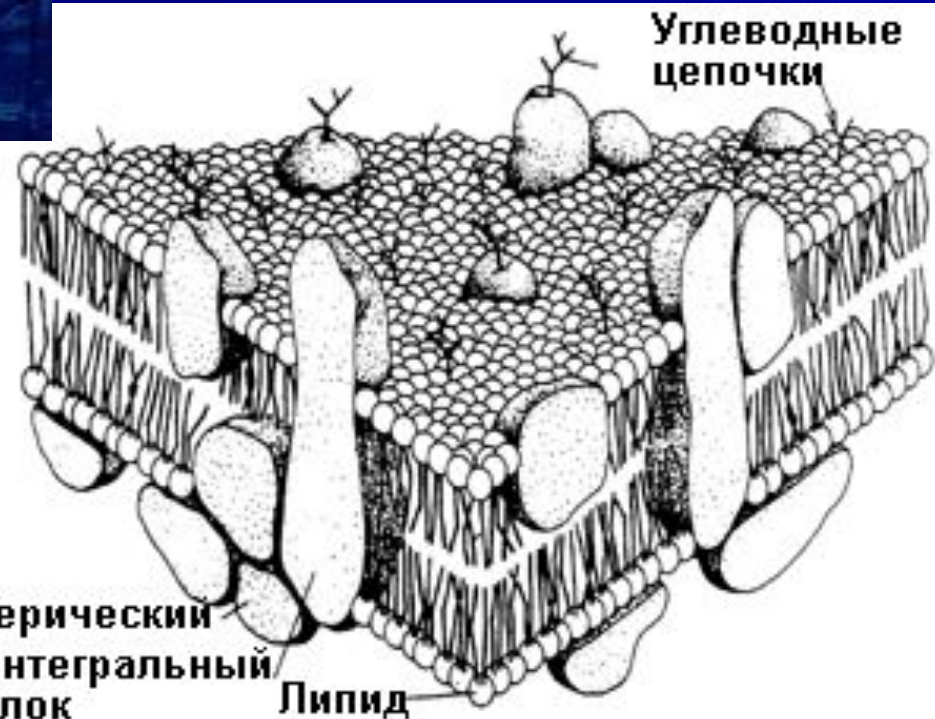
1. Пульпа
2. Сжатый воздух
3. Обогащённая руда
4. Пузырьки воздуха
5. Частица руды





# *Живые клетки в некоторых процессах*

*сродни мыльным  
пузырям*



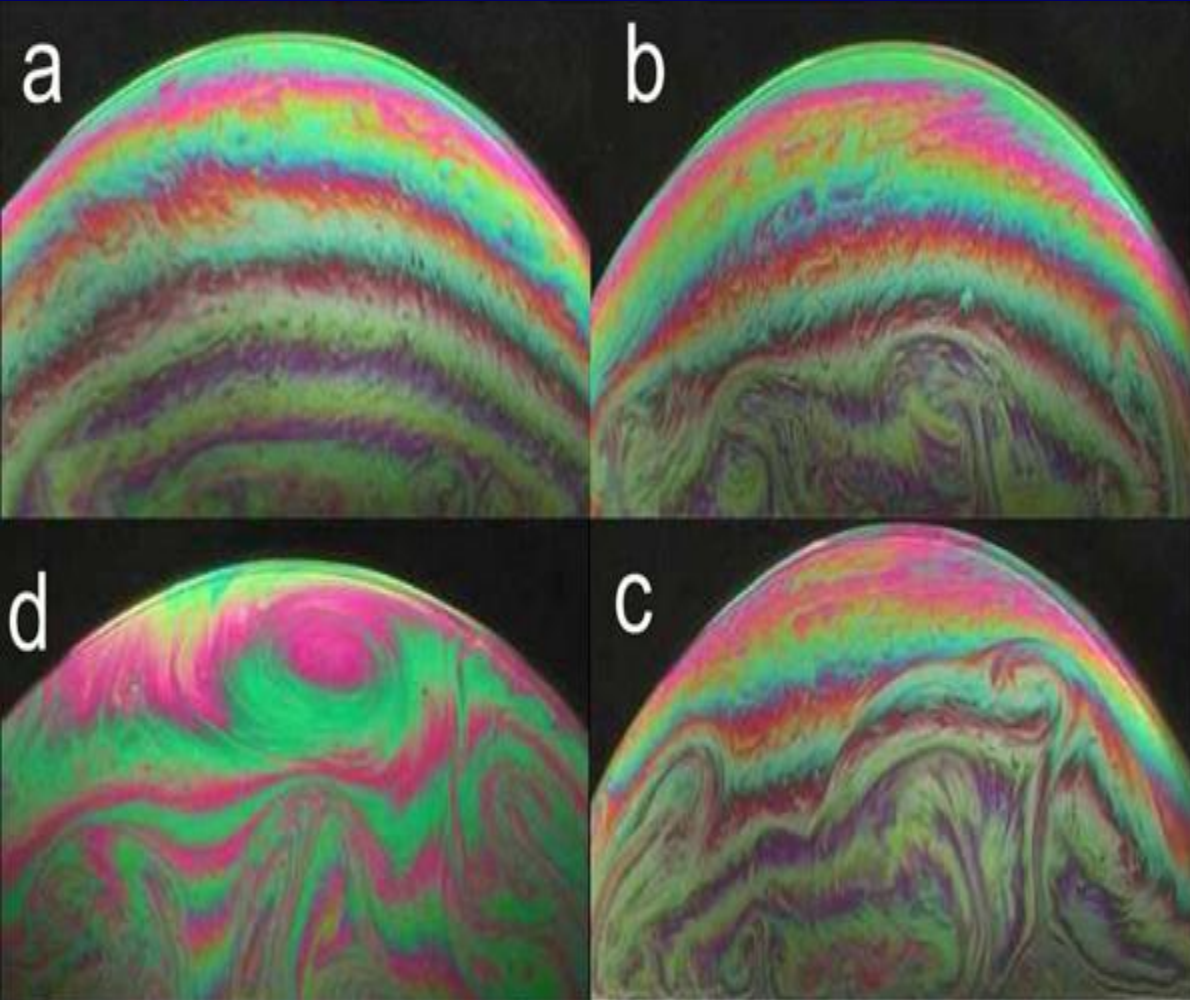


Ураган «Эмма»



Ураган «Бета»

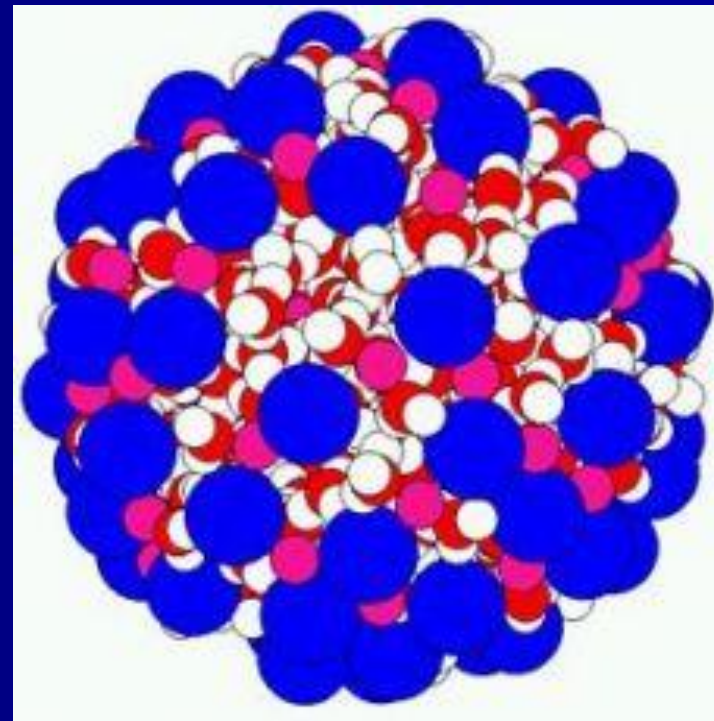




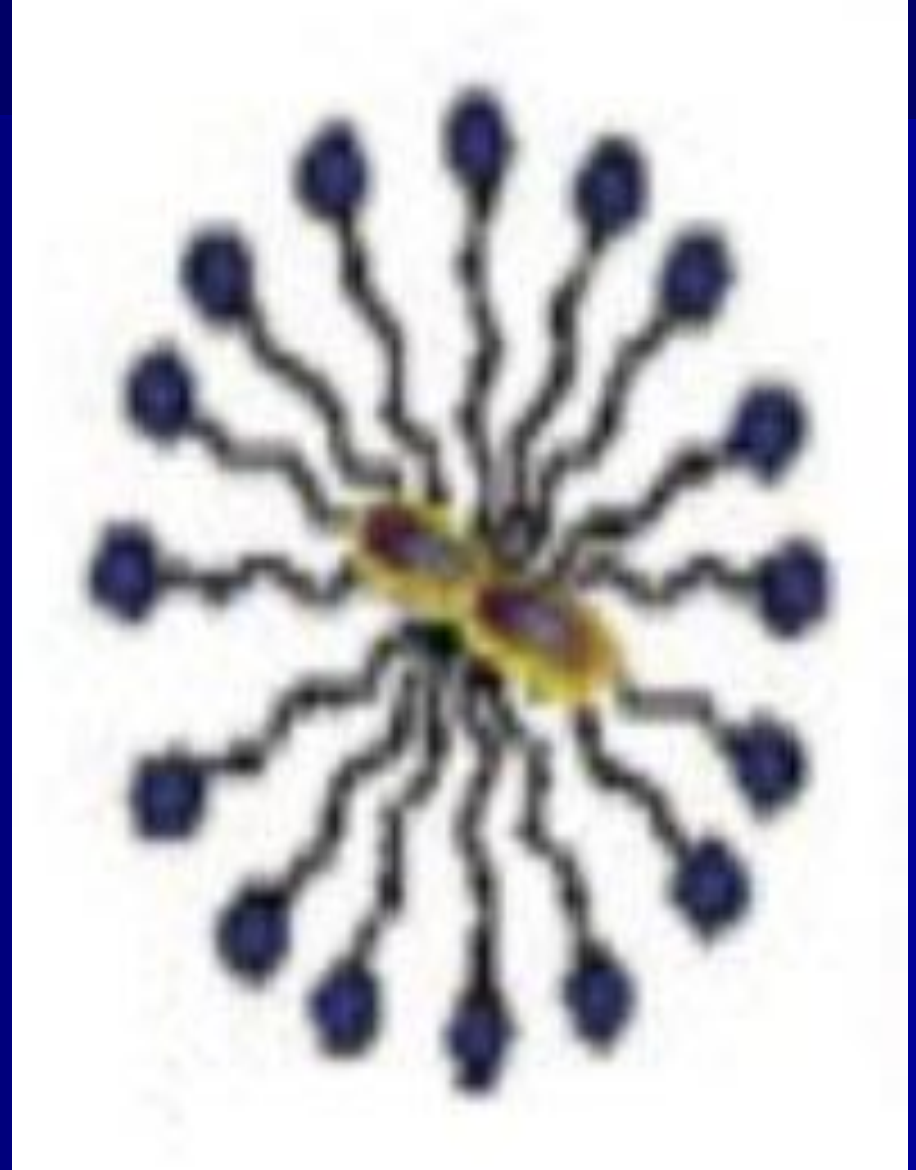
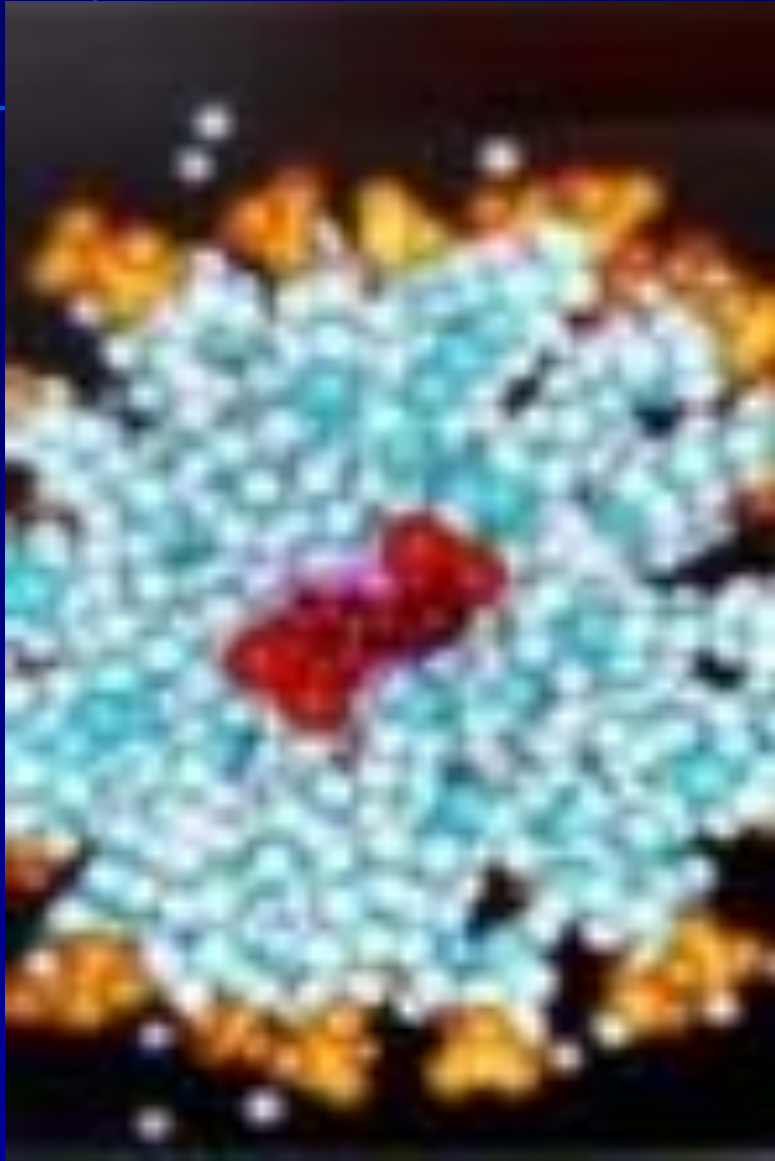
**Изображения  
пузырей при  
различных  
разностях  
температур.  
Разность  
температур  $\Delta T$   
увеличивается от  
рис. а к с и равна 9,  
17 и 31°C  
соответственно. На  
рис. d:  
возникновение  
вихря при  $\Delta T = 45^\circ$   
C.**

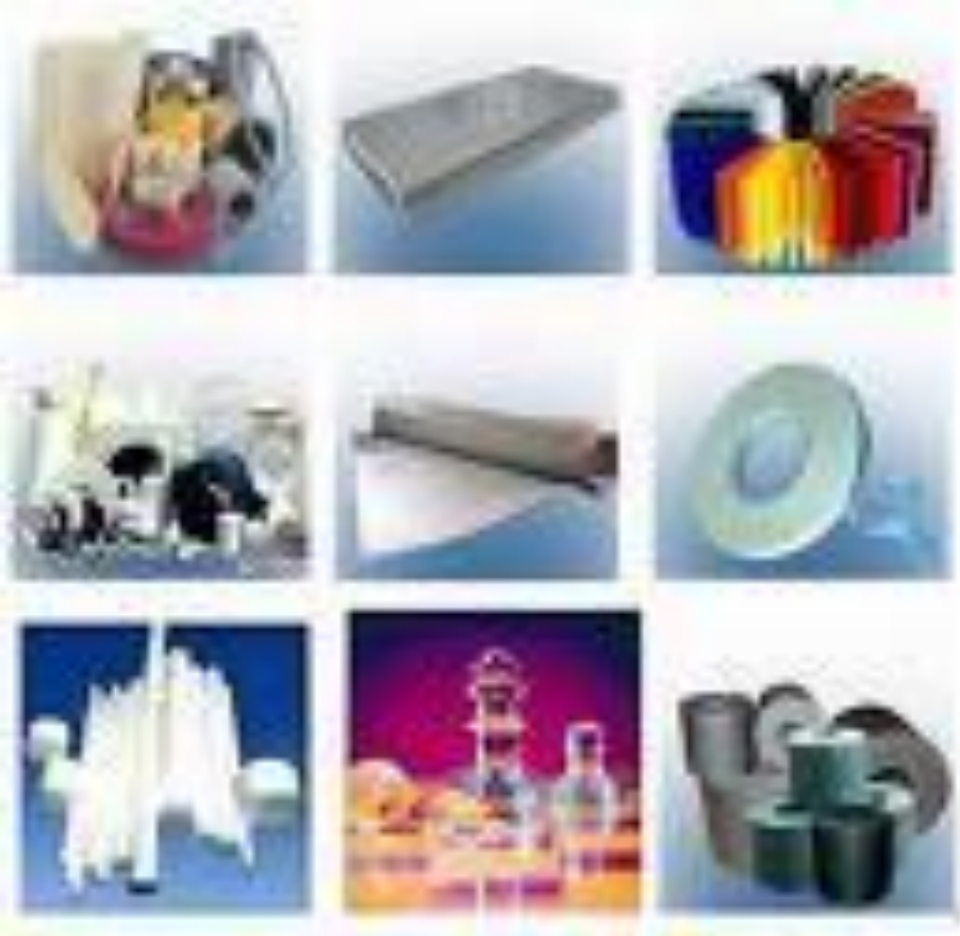


*В  
нефтеперерабатывающей  
промышленности*



# «Микрореакторы» внутри мицелл

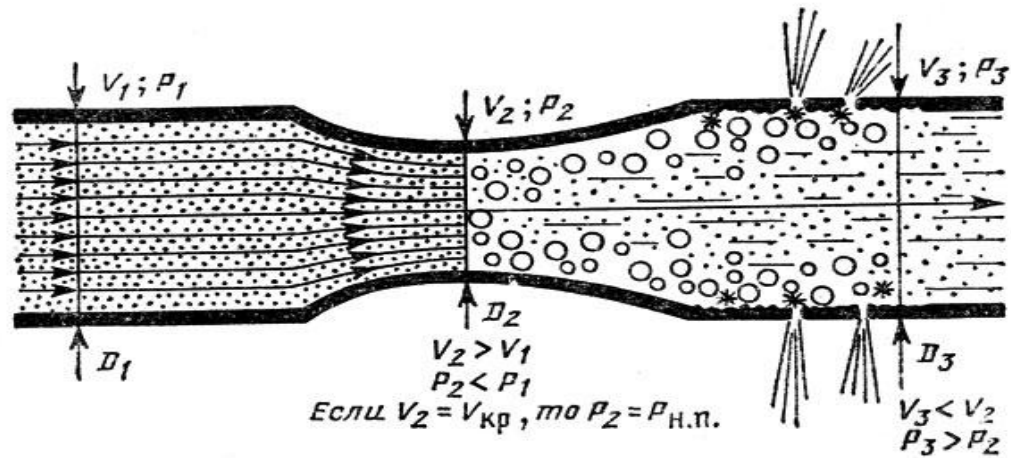




# Полимеры Красители

# Медикаменты





*Процесс кавитации в трубопроводе*

Вот такой удивительный мыльный пузырь!



**Рождение красоты из пены, а  
кажется – и вовсе из пустоты, из  
пустышной капли воды,**

**оживляет**



# Опыт с мыльными пузырями №1



Мыльный пузырь

вокруг предмета





# Опыт с мыльными пузырями №2



**Несколько пузырей друг в друге**

# Опыт с мыльными пузырями №3

**Воздух вытесняется стенками  
мыльного пузыря**



# Опыт с мыльными пузырями №4



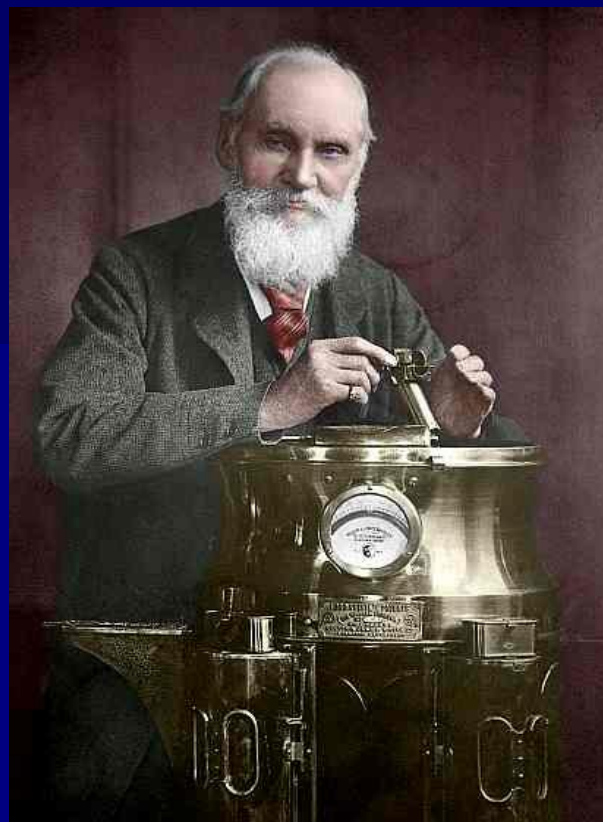
Мыльный пузырь  
на предмете



**Мы выдули мыльный  
пузырь 30 см в диаметре**



**«Выдуйте мыльный  
пузырь, – писал великий  
английский ученый  
Кельвин, – и смотрите  
на него:**



**ВЫ МОЖЕТЕ ЗАНИМАТЬСЯ  
ВСЮ ЖИЗНЬ ЕГО  
ИЗУЧЕНИЕМ, НЕ  
ПЕРЕСТАВАЯ ИЗВЛЕКАТЬ  
ИЗ НЕГО УРОКИ ФИЗИКИ ».**

An aerial photograph of a city with a large body of water in the background. The city is densely packed with buildings, and there are green trees interspersed throughout. The sky is blue with some white clouds. The text is overlaid on the image in a stylized font.

*Мир не белый и  
не чёрный, он  
такой, каким  
ты его видишь !*







A collection of colorful, iridescent soap bubbles of various sizes against a dark background. The bubbles are scattered across the frame, with some in sharp focus and others blurred. The colors on the bubbles range from deep blues and purples to bright yellows and oranges, creating a vibrant, multi-colored effect. The background is a dark, almost black, which makes the bubbles stand out prominently.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**