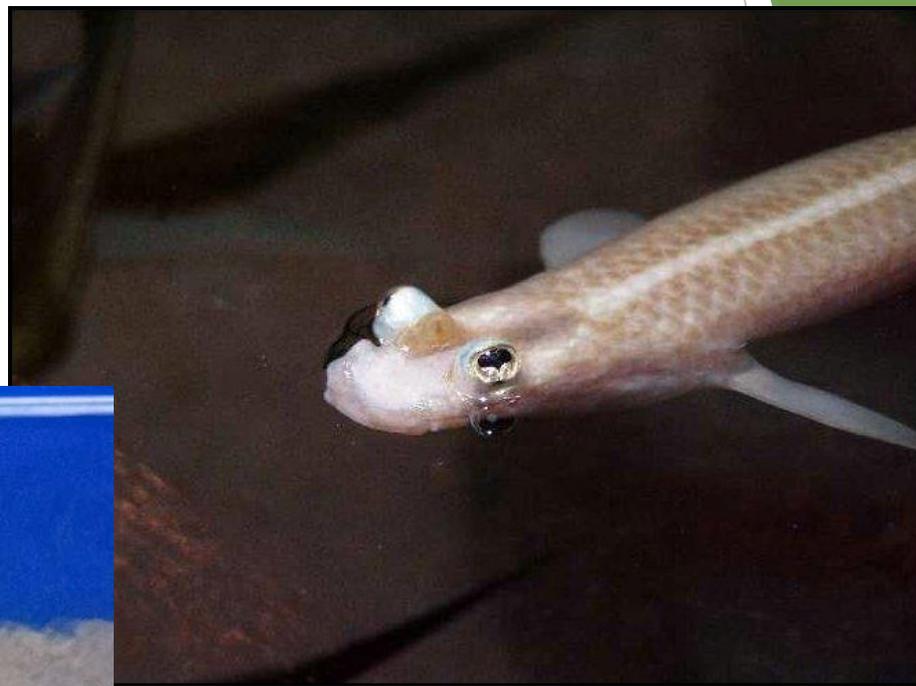


Волны на пляже,  
Солнце в небе и  
многое другое.

*Гляди в оба!  
Народная мудрость  
Рыба анаблепа живет на поверхности воды. Ее глаз разделен на два сектора: верхний  
видит в воздухе,  
нижний – в воде. Одним взглядом анаблепа замечает сразу и птиц в небе, и рыб в  
водоеме.*



# Тут все понятно:

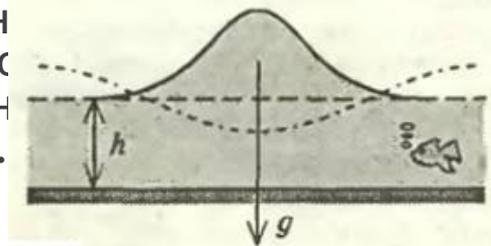
- ▶ в воздухе свет распространяется со скоростью  $u_1$ , в воде — с меньшей скоростью  $u_2$  ( $u_2 < u_1$ ) их отношение называется показателем преломления воды относительно воздуха  $n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} > 1$ ,

а из закона преломления  $n_2 \sin \alpha_2 = n_1 \sin \alpha_1$ , (1)

описанного в школьном учебнике (правда в несколько ином виде), следует, что при переходе в оптически более плотную среду (при  $n > 1$ ) преломленный луч пойдет ближе к нормали, чем падающий, т.е.  $\alpha_2 < \alpha_1$ .

# Найдем скорость распространения волн на пляже.

Если мы создадим «горб» на поверхности спокойной воды — моря, озера или лужи — глубиной  $h$  и предоставим его самому себе, то под действием силы тяготения (пропорциональной ускорению свободного падения  $g$ ) он начнет проваливаться в проскочит положение, с поверхности, рядом возн распространяться волна.



и  
ной  
и начнет

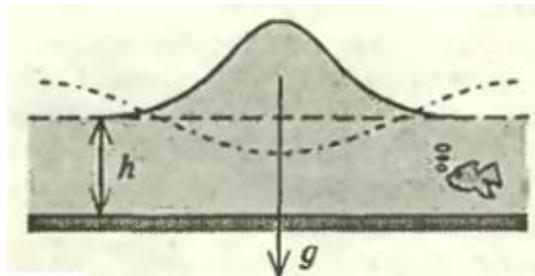
Перечислим величины (и их размерности), от которых, по нашему мнению, может зависеть скорость движения волны  $v$  (м/с):  $h$ ,  $g$ . (2) Изображений размерностей сразу видно, что их можно связать формулой:

$$v \sim \sqrt{gh}$$

# Попробуйте сами!

Таким образом, чем мельче водоем, тем с меньшей скоростью распространяется волна (разумеется, это справедливо только для мелкой воды, когда скорость не зависит от длины волны). Значит, с приближением к берегу и уменьшением глубины водоема волны движутся все медленнее. По аналогии с оптикой, можно сказать, что они переходят во все более оптически плотную среду. (Кстати, и в стакане с водой тоже можно создать среду с показателем преломления, плавно растущим по направлению к его дну, если сделать очень концентрированный раствор соли, а затем осторожно, избегая перемешивания слоев, добавлять к нему все менее соленые слои и, наконец, чистую воду (попробуйте!). Тогда подводная часть ложки будет выглядеть не преломленной, а плавно изогнутой.)

# Пойдем дальше!



Разобьем мысленно поверхность моря на полосы шириной  $dx$ , параллельные берегу (рис.2). В каждом слое будет своя глубина  $h$ , своя скорость распространения волны, свой показатель преломления, обратно пропорциональный этой скорости, и свой угол по отношению к оси  $X$ , перпендикулярной берегу. Тогда закон преломления (1) для всех этих слоев можно записать в виде:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sqrt{h_1}} = \frac{\sin \alpha_2}{\sqrt{h_2}} = \dots = \frac{\sin \alpha(x)}{\sqrt{h(x)}} = \text{const.} \quad (3)$$

Уже отсюда видно, что если глубина стремится к нулю, то угол между лучом и нормалью тоже стремится к нулю. Это и объясняет, почему волны на пляжах «плюхают» прямо в берег. Но можно пойти и дальше — найти само уравнение луча...

# Уравнение Луча $y(x)$ .

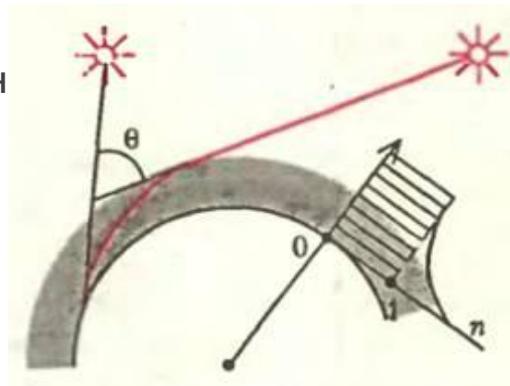
Путем глубоки выводим формулу:

$$\left( \frac{y-y_1}{\frac{x_1}{\sin \alpha_1}} - \cos \alpha_1 \right)^2 + \left( \frac{x}{\frac{x_1}{\sin \alpha_1}} \right)^2 = 1 .$$

Да ведь это уравнение окружности! (Разумеется, при другой зависимости глубины от расстояния получится иное уравнение луча.)

# Однако пойдём дальше.

Уравнение (1) объясняет мн

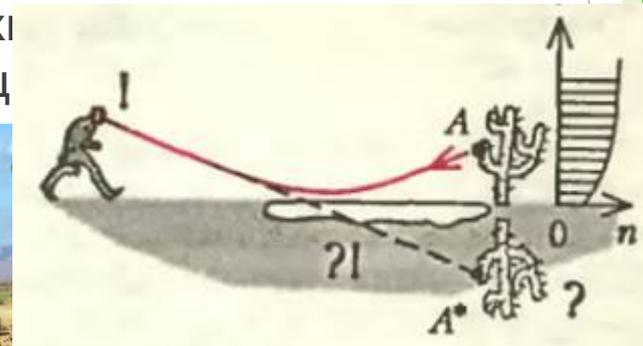
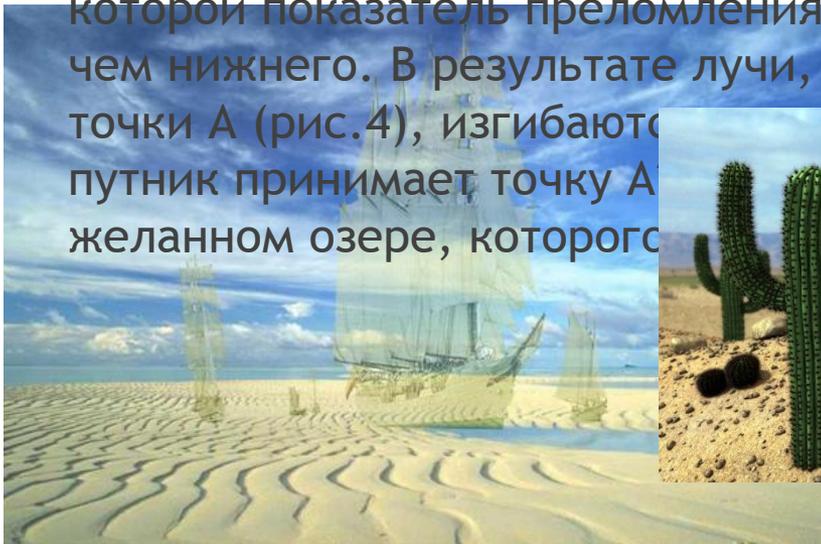


ироды.

Например, атмосферную рефракцию солнечных лучей (рис.3). Поскольку плотность атмосферы растет по направлению к поверхности Земли, коэффициент преломления воздуха падает с высотой, и лучи Солнца изгибаются так, что наблюдатель на Земле видит его еще некоторое время после геометрического захода и перед восходом. В результате световой день удлиняется на несколько минут, что очень полезно (для колхозных полей, например). Благодаря этому же явлению в высоких широтах полярная «ночь» короче полярного «дня», что тоже очень хорошо.

# Миражи в пустыне.

Этим же уравнением можно объяснить миражи в пустыне. Когда раскаленный песок подогревает прилежащий слой воздуха, реализуется ситуация, при которой показатель преломления верхнего слоя воздуха меньше, чем нижнего. В результате лучи, идущие от точки  $A$  (рис.4), изгибаются. Путник принимает точку  $A'$  за желанное озеро, которого нет.



# Кстати, о рыбе.

Пусть даже не об упомянутой анаблепе, а о самой простой. Показатель преломления ее среды обитания — воды — заметно больше единицы ( $n \approx 4/3$ ). Но для того чтобы фокусировать лучи, коэффициент преломления ее глаз должен быть еще больше. Что же, природа должна создавать рыбий глаз из кронгласа или флинта? Это вопрос нетривиальный, и как он решен Природой — об этом можно поговорить или просто интересно вспомнить, что знает Природа. Придумать «глазом» среду с показателем преломления, зависящим от расстояния от центра до определенной точки:

$$n(r) = \frac{n_0}{1 + \left(\frac{r}{a}\right)^2},$$

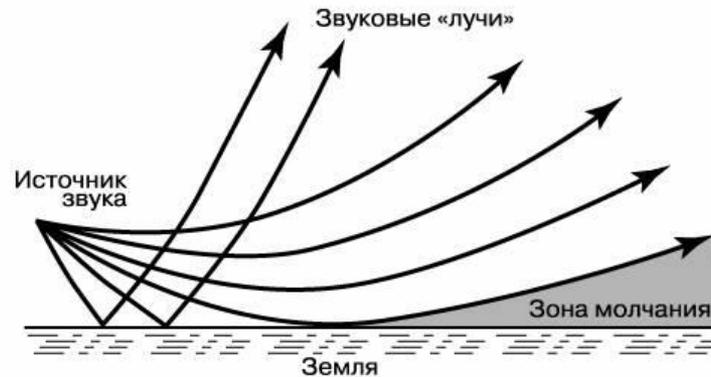
здесь  $n_0$  — «светл



(Где  $n_0$ ,  $a$  — постоянные)

# Звуковые волны.

Это все оптика. Но то же самое и в акустике – уравнение (1) описывает общее свойство лучей для волн любой природы загибаться в сторону уменьшения скорости распространения волны. Если днем на пляже песок раскален, то скорость звука в прилегающем горячем слое воздуха несколько больше, чем вверху (она, как известно, пропорциональна температуре). В результате, «лучи звука» звучат приглушенно, а воздух охладиться, а в воздухе обратная ситуация – лучи загибаются вниз, и г



ого  
е  
/же

# Как, однако, полезно знать физику, даже полководцам!

Впрочем, далеко-то они слышны, а вблизи, может быть, и нет. Во время знаменитых битв, производивших много шума, иногда возникали такие атмосферные условия, при которых образовывалась зона молчания. (Конечно, в эти условия, помимо изменения скорости звука с высотой входят и наличие облаков, и рельеф местности, и другие тонкости, с



имер,  
, но н  
а Гру



# Список литературы.

- ▶ Стасенко А.Л. «Волны на пляже, Солнце в небе и многое другое» //Квант. — 1995. — № 3. — С. 37-38.
- ▶ *Веб сайты:*
- ▶ <http://www.physbook.ru/>
- ▶ <http://ru.wikipedia.org/>
- ▶ <https://www.google.ru/>