

Муниципальное общеобразовательное учреждение
лицей №17 г.

Физика

Подпрыгивающая вода

г.Ставрополь, 2005 г.



Условие

Вертикальная струя воды падает на твердую горизонтальную поверхность. На некотором расстоянии от точки падения возникает «водяной гребень». Исследовать это явление.



План исследования

1. Экспериментальные исследования:

- а. опыты;
- б. анализ наблюдений.

2. Теоретические исследования:

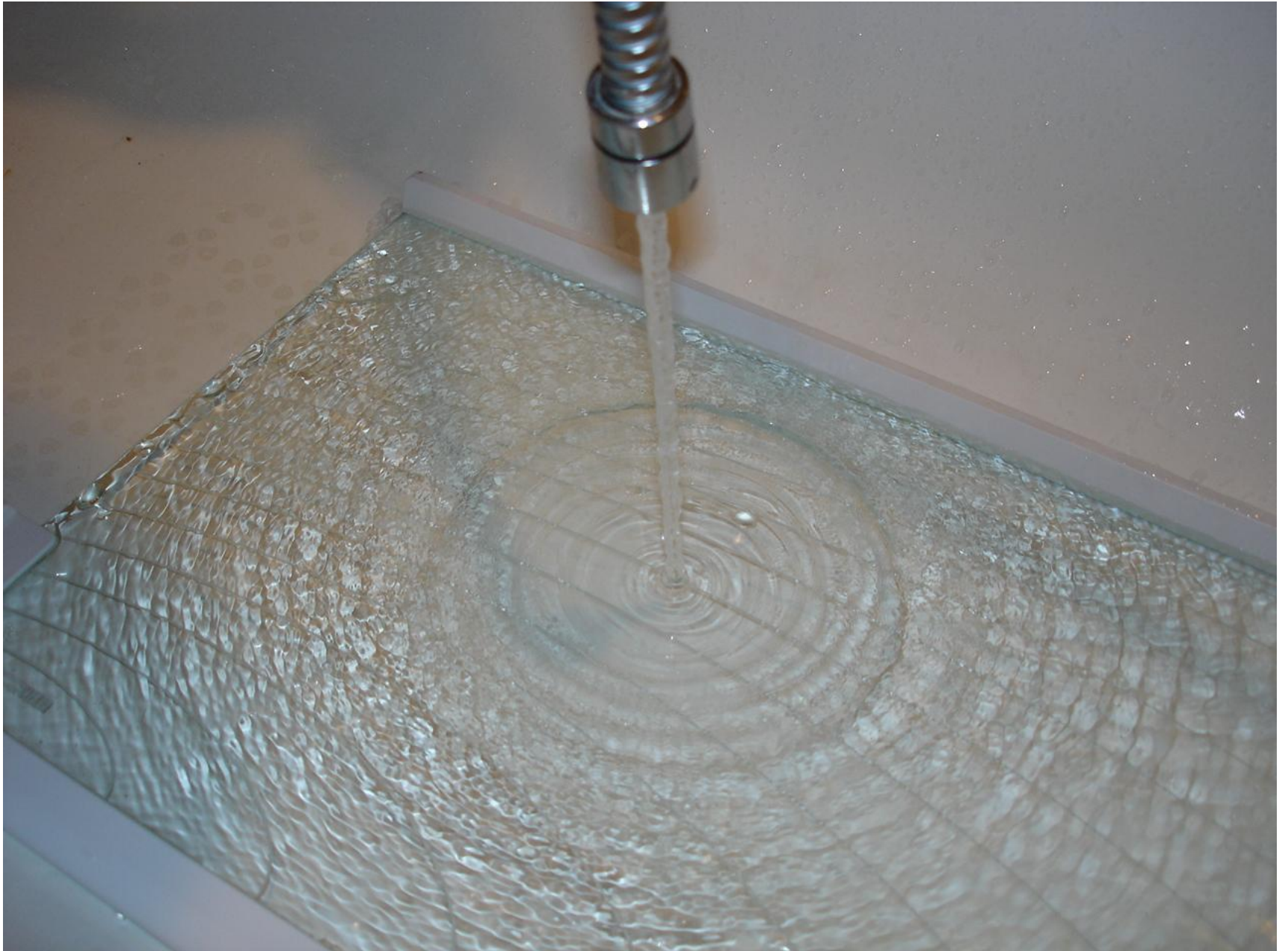
- а. поверхностное натяжение;
- б. давление внутри струи;
- в. давление воздуха в области падения струи;
- г. адгезионные и когезионные силы;
- д. погрешности.

Проведенные опыты

Опыт №1

Наблюдение за падением струи из водопроводного крана на горизонтальную поверхность (стекло).







Анализ опыта №1:

- диаметр струи по мере удаления от крана уменьшается;
- в месте соприкосновения с поверхностью струя расширяется;
- веером из места падения расходятся струйки жидкости, но на определенном расстоянии образуется бурлящий вал, окаймляющий точку падения струи в форме правильной окружности.

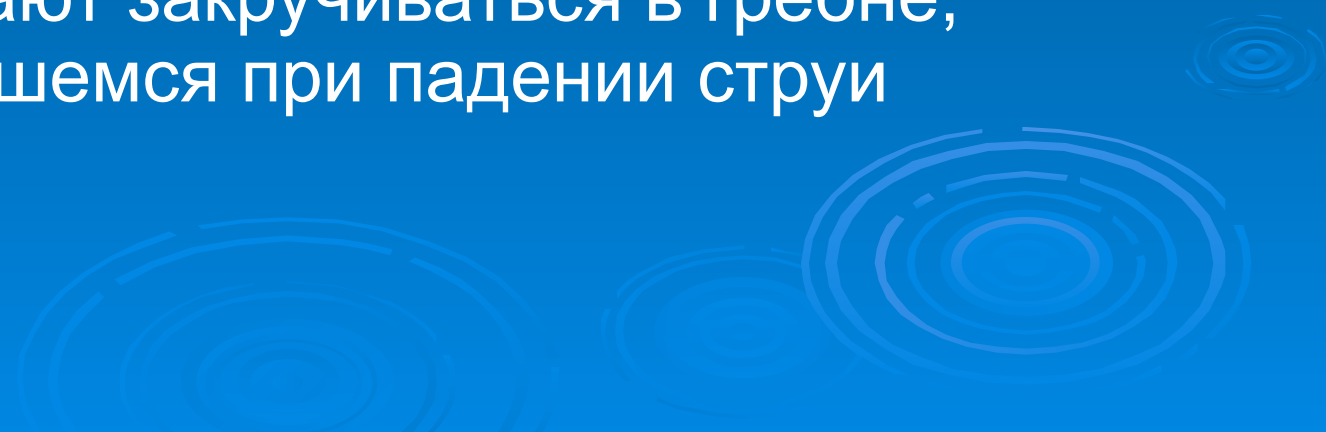
| | | |
|-----------------------------------|-------|---------|
| Длина струи | L | 54.5 см |
| Длина до самой узкой части струи | L_1 | 40.5 см |
| Диаметр самой широкой части струи | D | 1.8 см |
| Диаметр самой узкой части струи | d | 1.0 см |
| Радиус рассеивания | R | 4.5 см |
| Ширина гребня | d_1 | 0.7 см |
| Высота гребня | h | 0.7 см |
| Объем воды | V | 1 л |
| Время падения | t | 27 с |

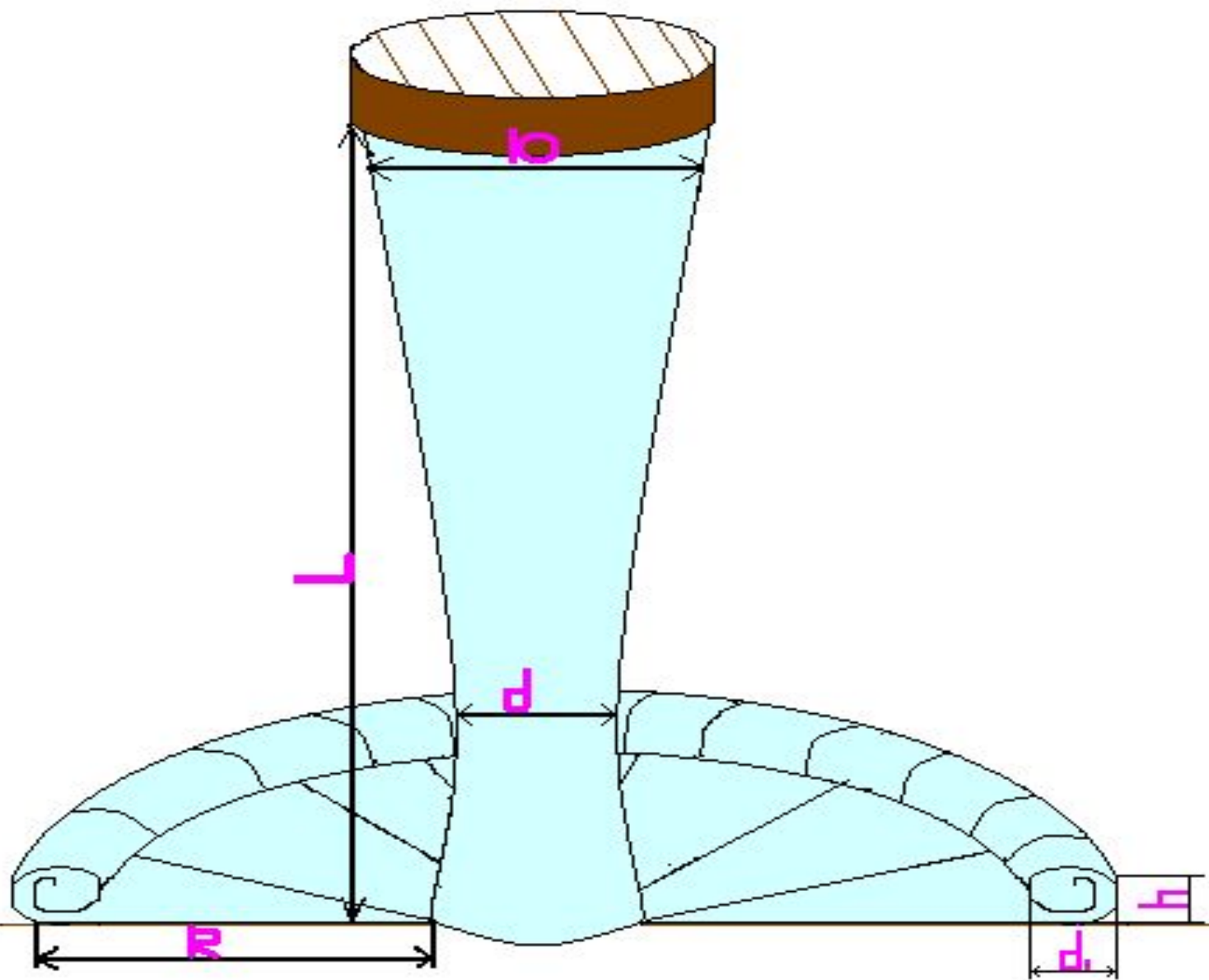
Опыт №2

Тонкую бумагу, разрезав один конец листа на полоски для уменьшения сопротивления, подносим к струе воды, замечаем, что полоски отклоняются в сторону струи.

Опыт №3

В воду бросаем маленькие кусочки легкого непромокающего материала, и они начинают закручиваться в гребне, образовавшемся при падении струи воды.

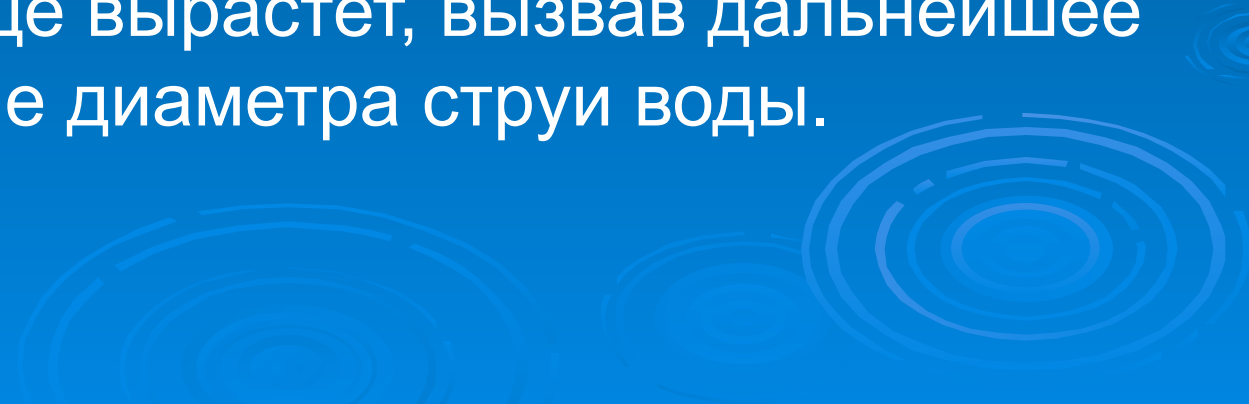






Теоретические исследования

На падающую струю воды действуют силы поверхностного натяжения. Под их воздействием струя сужается; внутреннее давление в месте сужения становится больше. Жидкость будет течь из этого места в соседнюю область, где давление ниже, что сделает струю еще тоньше. Давление в месте сужения еще вырастет, вызвав дальнейшее уменьшение диаметра струи воды.



Определим давление внутри столба жидкости:

$$P = p + \delta/r, \text{ где}$$

δ - коэффициент поверхностного натяжения воды ($=0,06 \text{ Н/м}$),

r - радиус столба жидкости ($=0,9 \text{ см}$),

p – атмосферное давление ($=98640 \text{ Па}$),

$$P = 98647 \text{ Па}$$

Это значение показывает давление в самой широкой части струи.

Теперь определим ΔP – разность давлений в верхней и нижней частях струи через объем, вытекающей жидкости:

$$V = Pr\Delta P$$

$$\Delta t = \frac{8\delta\eta L}{r^4}, \text{ где}$$

η – вязкость воды при комнатной температуре ($=0,001 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$).

$$\Delta P = 75,5 \text{ Па}$$

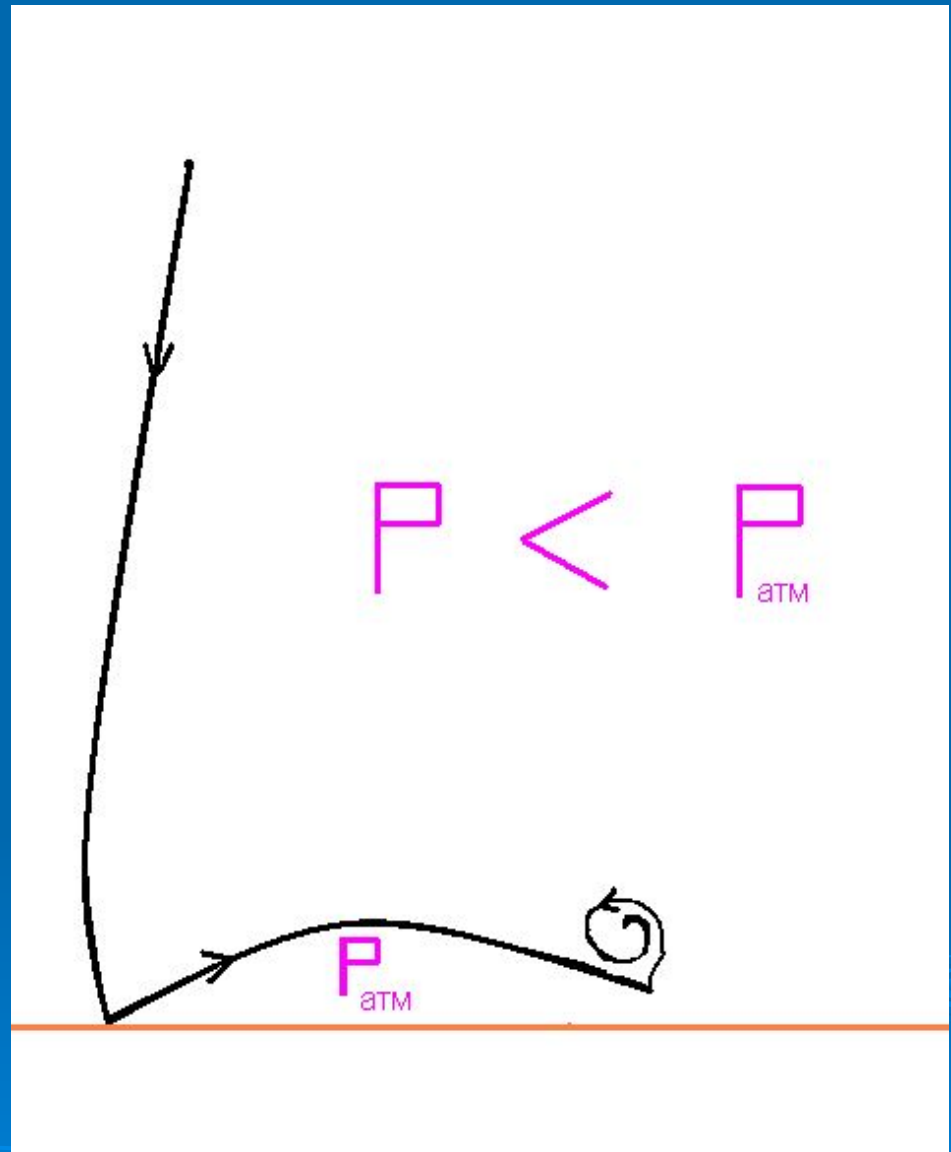
Теперь вычислим давление в самой узкой части струи:

$$P = P_0 + \Delta P$$

$$P = 98647 + 75,5 = 98722,5 \text{ Па}$$

В месте соприкосновения струи с поверхностью образуется утолщение. Это объясняется тем, что при столкновении любого типа на определенной стадии сближения сталкивающихся тел развиваются равные и противоположные по направлению силы, которые «расталкивают» оба тела в противоположные стороны и действуют до тех пор, пока тела снова не удалятся друг от друга. В результате испытываемого удара струя расширяется.

Испытав упругое столкновение, молекулы жидкости отражаются от поверхности и перемещаются подобно телу, подброшенному под углом к горизонту и движущегося под действием силы тяжести. Под струей образуется ограниченная часть воздуха с атмосферным давлением, над ней - область пониженного давления.



Движущийся поток воды создает вихревые потоки воздуха возле струи, что создает условия для понижения давления.

Теоретические предположения согласуются с экспериментальными (опыт 2.).

Турбулентные завихрения образуются на расстоянии R в сторону струи (опыт №3), образуемые за счет разности давлений. Разность давлений уменьшается по мере удаления от струи. Образуемый гребень имеет форму вала.

Под искривленной поверхностью существует избыточное давление, т.к. высота гребня нам известна, то можно определить его численное значение:

$$P' = 2\delta/R, \text{ где}$$

δ - коэффициент поверхностного натяжения воды ($=0,06$ Н/м)


R - высота гребня (в таблице обозначена $h=0,7$ см).

$$P' = 17 \text{ Па}$$

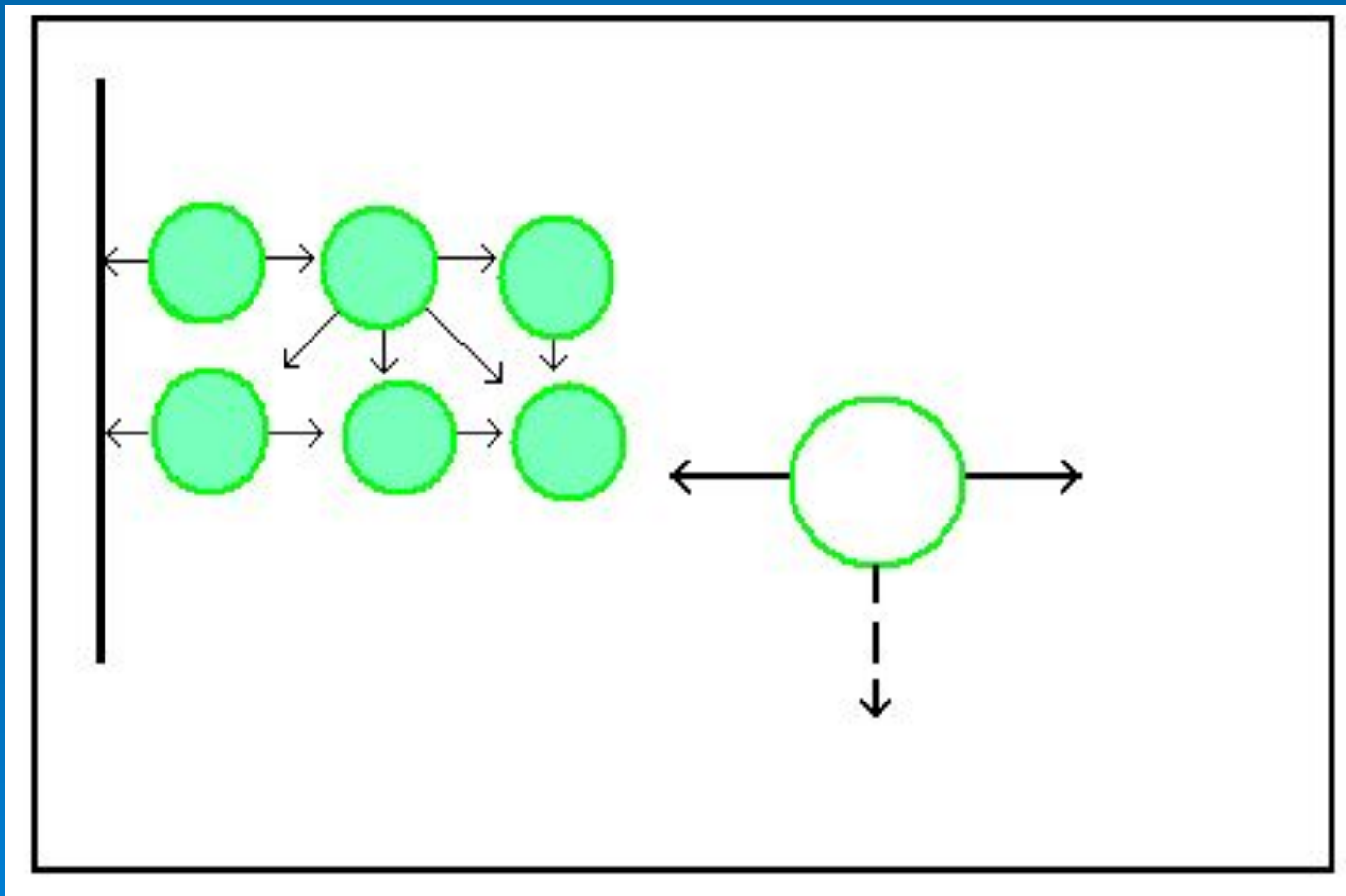
Влияние адгезионных сил

Силы сцепления, притяжения между молекулами жидкости называются **когезионными**, а силы, возникающие между жидкостью и твердым телом (поверхность), – **адгезионными**.

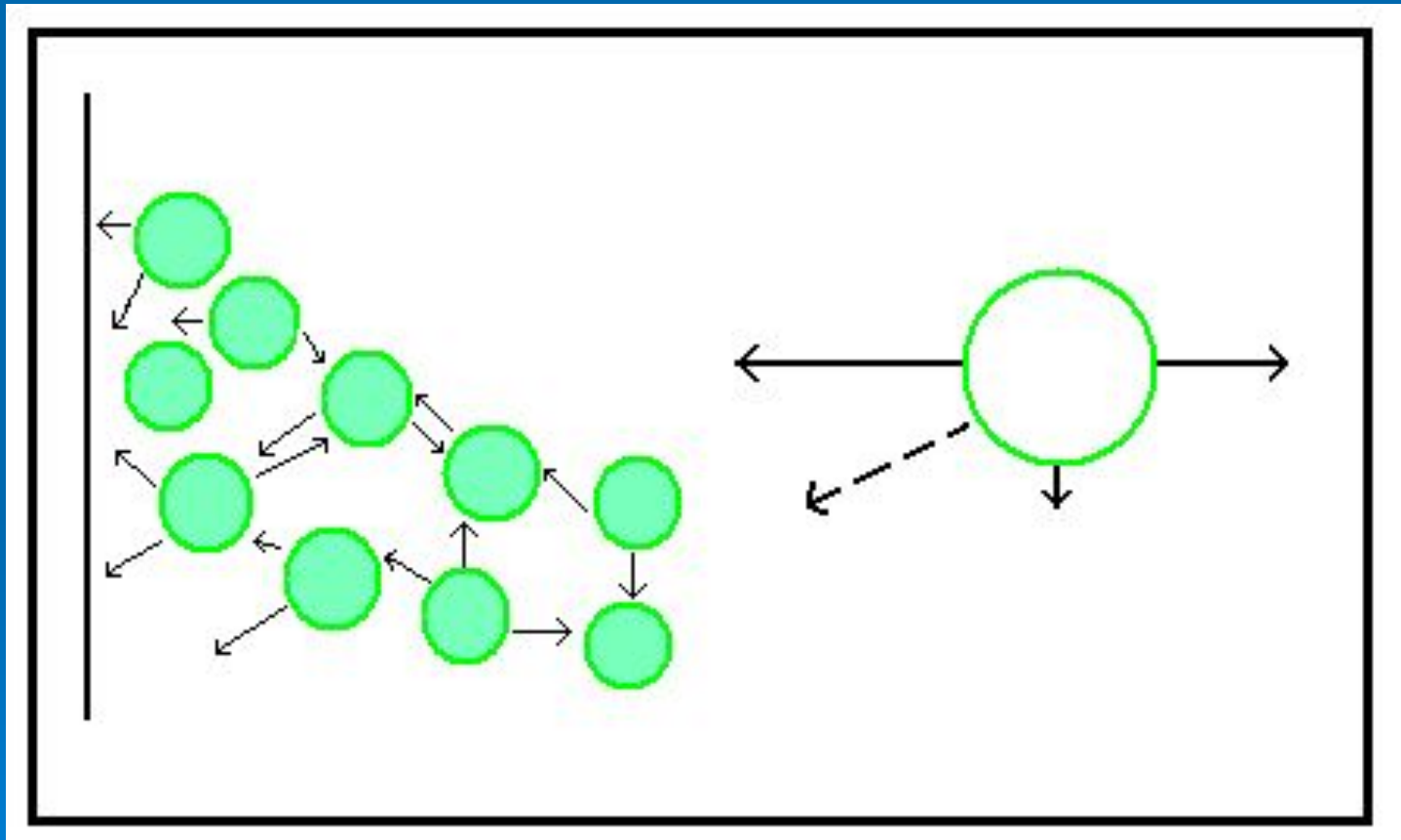
На следующих рисунках показаны молекулы жидкости в стакане (пунктирной линией обозначена равнодействующая сил).



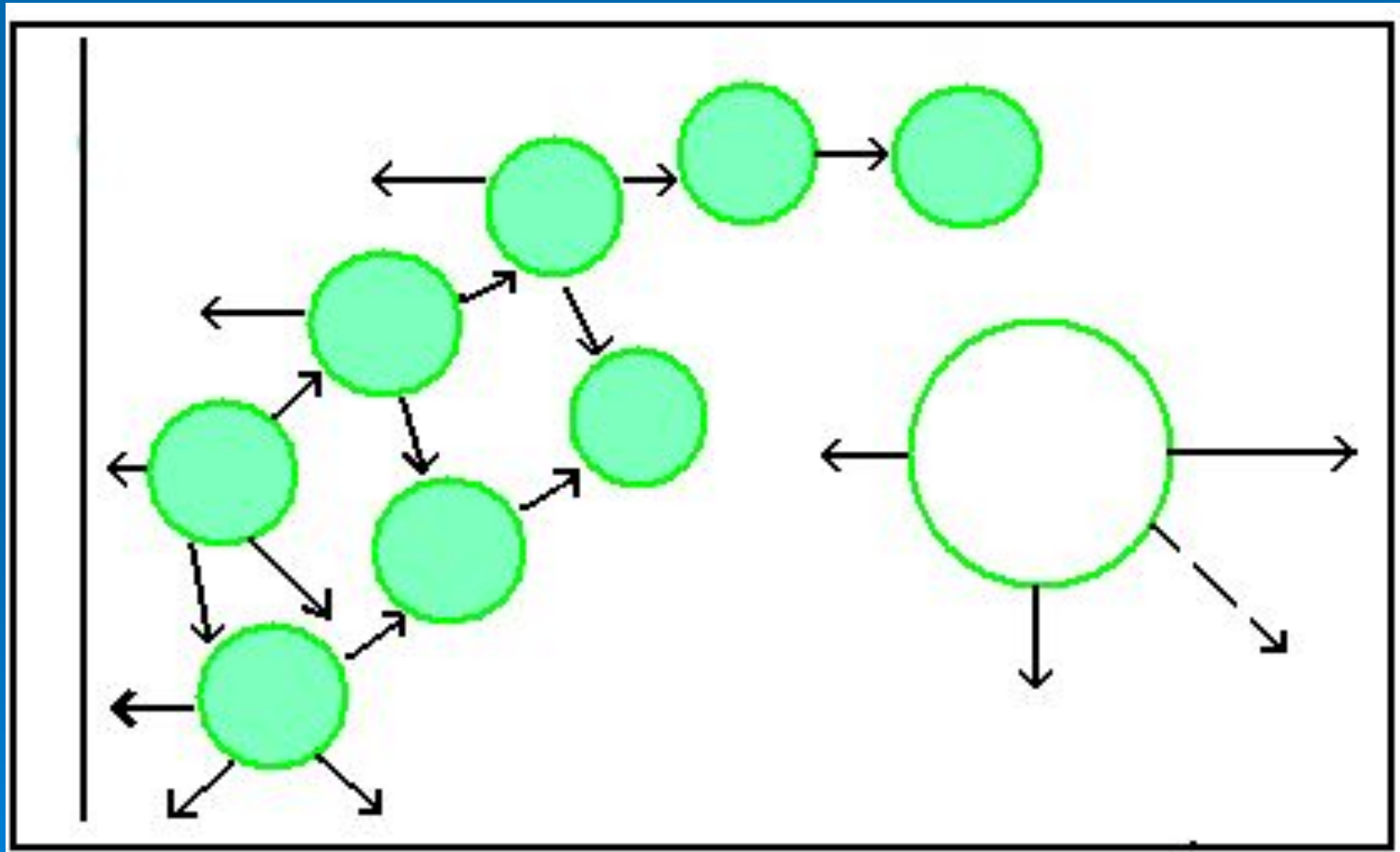
Когезия равна адгезии



Адгезия изгибает жидкость кверху



Когезия сильнее адгезии



Под влиянием адгезионных и когезионных сил форма водяного гребня немного изменится.



Погрешности

Абсолютные:

$$\Delta P = 0,3 \text{ ПА}$$

$$\Delta R = 2 \text{ см.}$$

Относительные: $\varepsilon = 2\%$