

**БУ «Мегионский
политехнический колледж»**

От фена до самолета

Выполнили: **Швецов Евгений Александрович**

БУ СПО «Мегионский политехнический колледж»,
Город Мегион, ХМАО-ЮГРА

Научный руководитель: **Магомедов Абдул Маграмович**
преподаватель физики и технической механики

Мегион, ХМАО-ЮГРА, 2018 ноябрь

Почему летает самолет?



Актуальность проблемы

- Явление турбулентности лежит в основе большого количества современных технических устройств, в том числе самолетов;
- Движение самолетов вызывает познавательный интерес;
- Движение самолетов вызывает личностный интерес (насколько безопасны полеты?)

Гипотеза исследования:

- Если поместить пластиковый шарик в воздушный поток, созданный феном, то шарик будет «выталкиваться» из потока силой струи, поэтому для удержания шарика в воздухе струю нужно направлять под шарик: в этом случае поток воздуха какое-то время не даст телу упасть под действием силы тяжести.

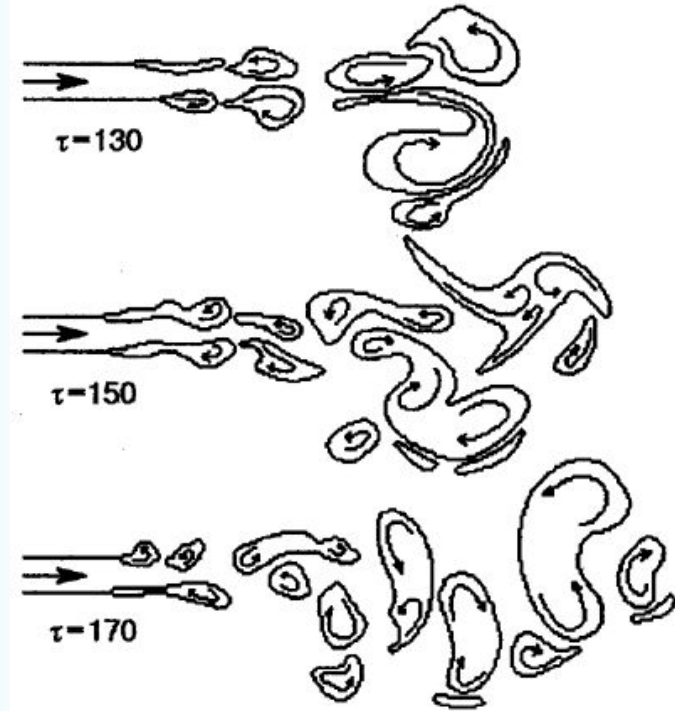
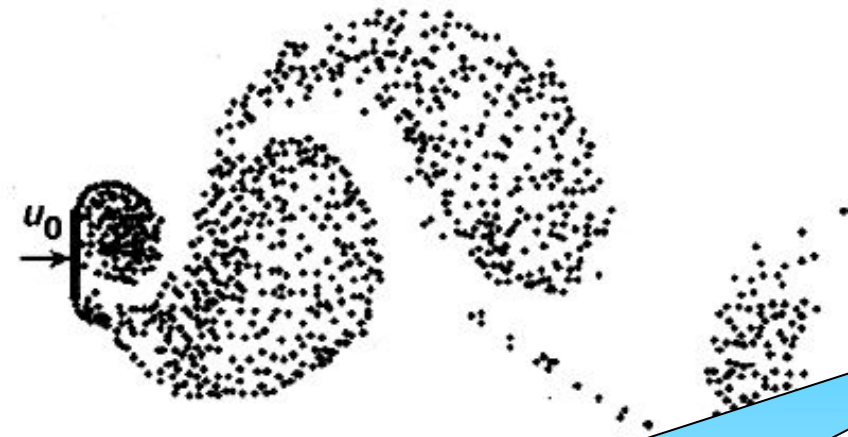
Цель работы:

- Исследование поведения легкого твердого тела в воздушном потоке на основе законов аэродинамики.

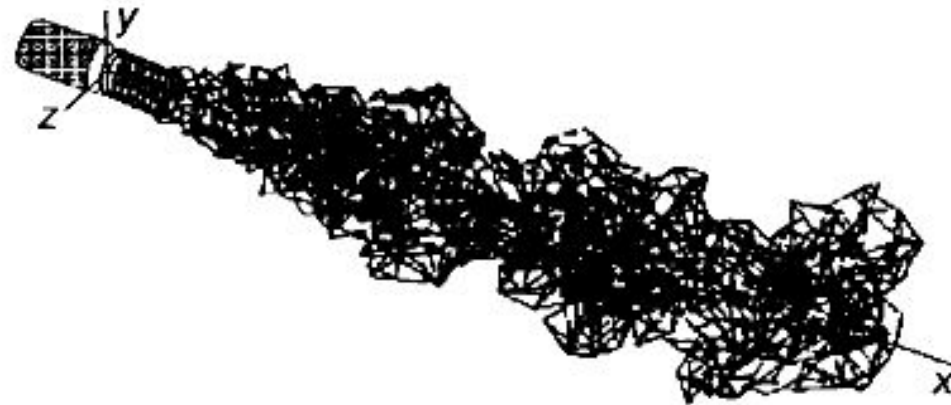
Задачи:

1. Изучить теоретический материал по аэродинамике (значительно выходящий за пределы школьного курса физики);
2. Провести практические опыты с пластиковыми шариками, имеющими отверстия различной формы, в струе воздушных потоков с целью изучения направления потока; сил, действующих на шарик в струе; высоты подъема шарика;
3. Рассчитать некоторые динамические характеристики тела в струе воздушных потоков;
4. На основе экспериментальных исследований с пластиковым шариком в струе воздушного потока объяснить причины возникновения подъемной силы крыла самолета.

Законы движущихся жидкостей и газов изучает гидро- и аэродинамика



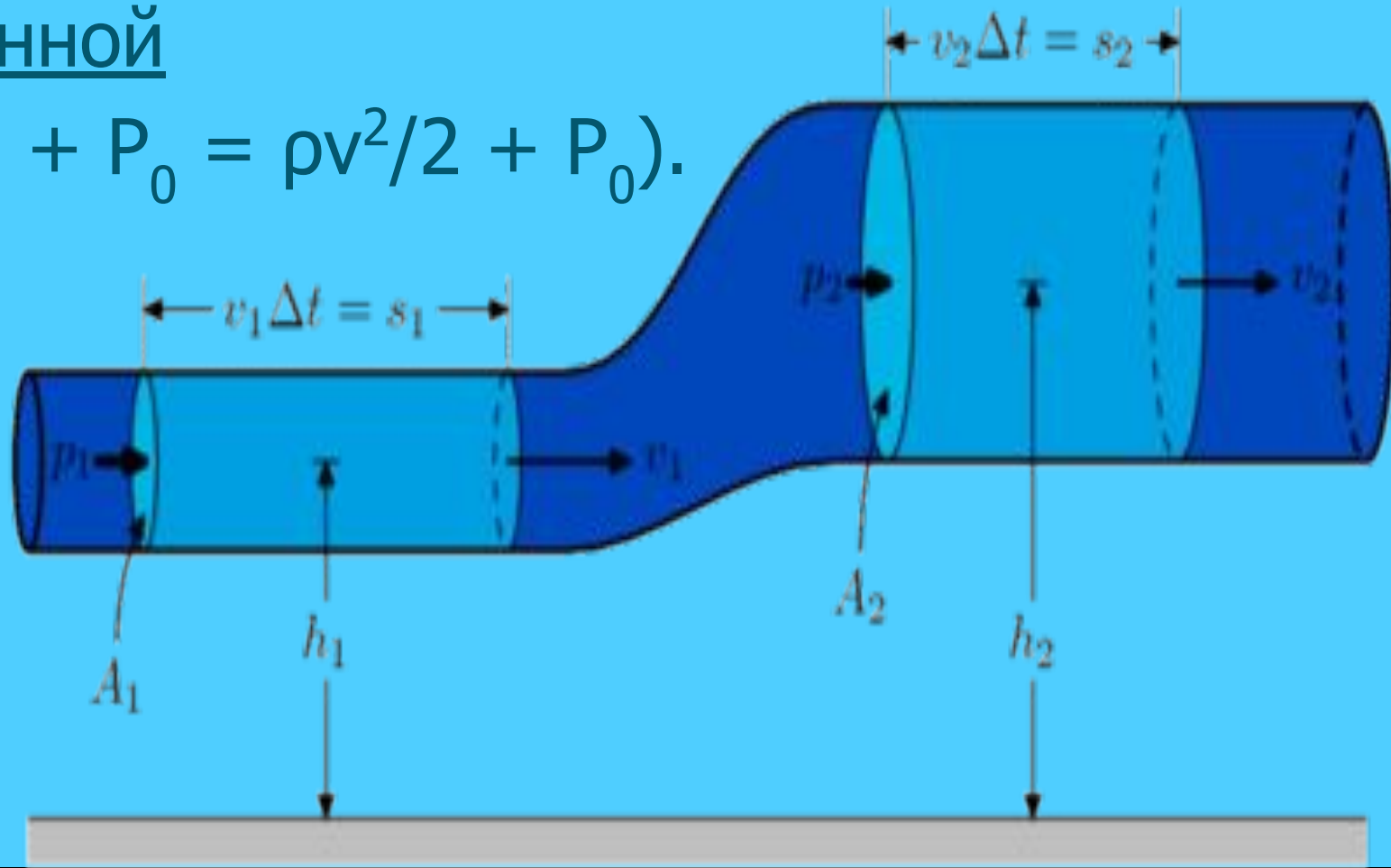
*Примеры
когерентных
вихревых структур,
полученных
расчетным путем на
компьютерах*



Закон Бернулли:

- в стационарном потоке сумма статического и динамического давлений остается постоянной

$$(\rho gh + P_0 = \rho v^2/2 + P_0).$$

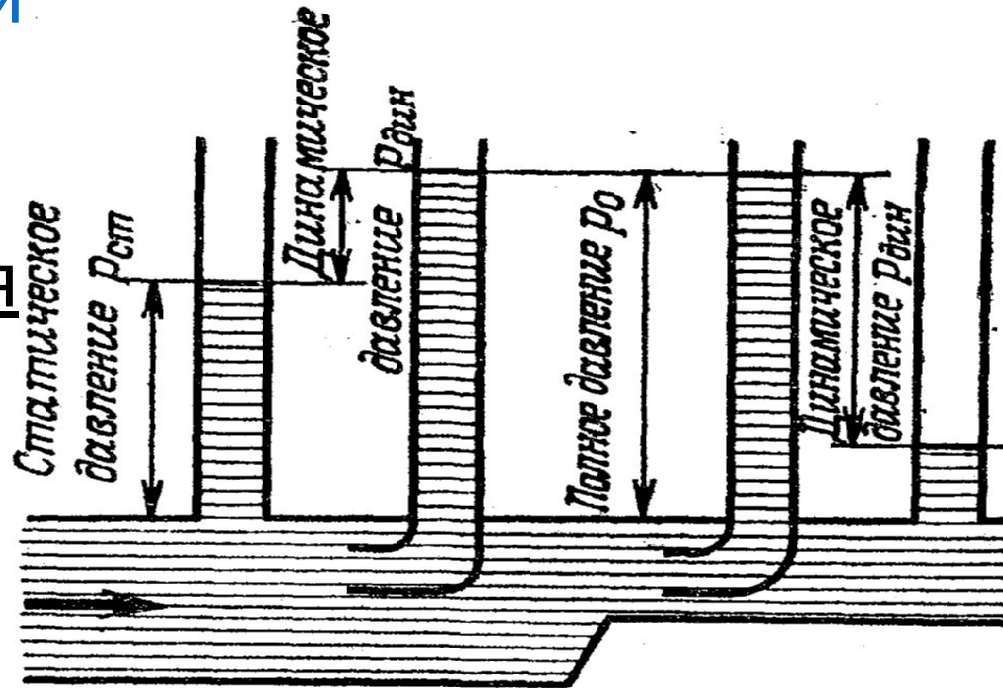


Основы гидро- и аэродинамики

При увеличении скорости потока

потока

- динамическая составляющая давления (обусловлено кинетической энергией движущейся жидкости) возрастает, а
- статическая (обусловленная потенциальной энергией жидкости, находящейся под давлением) уменьшается.

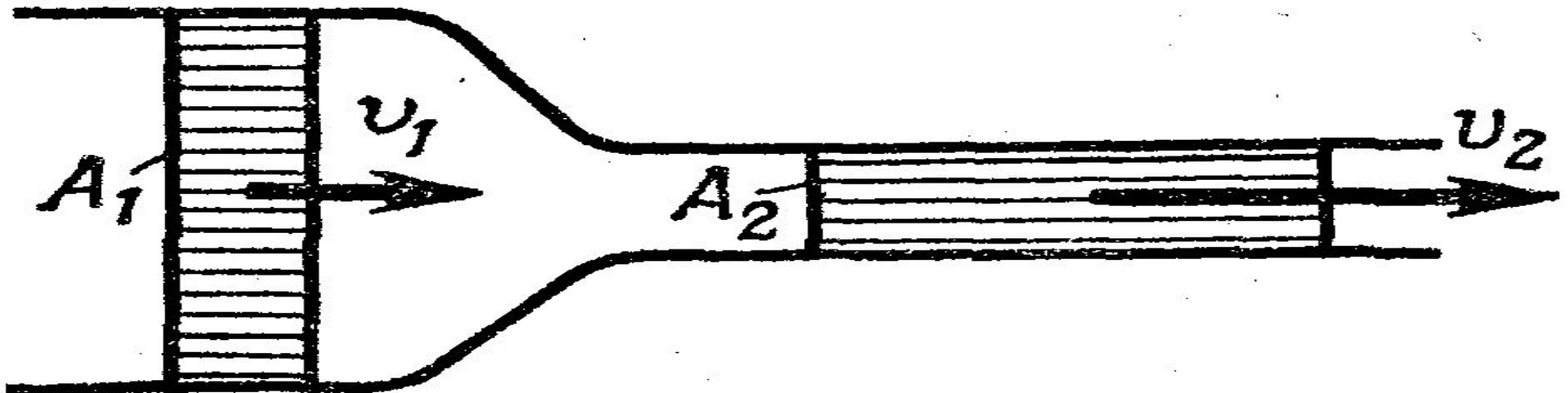


Основы гидро- и аэродинамики

- При уменьшении сечения потока, из-за возрастания скорости, то есть динамического давления, статическое давление падает.
- Гидравлическое сопротивление увеличивается пропорционально квадрату скорости потока
- Мощность увеличивается пропорционально третьей степени скорости

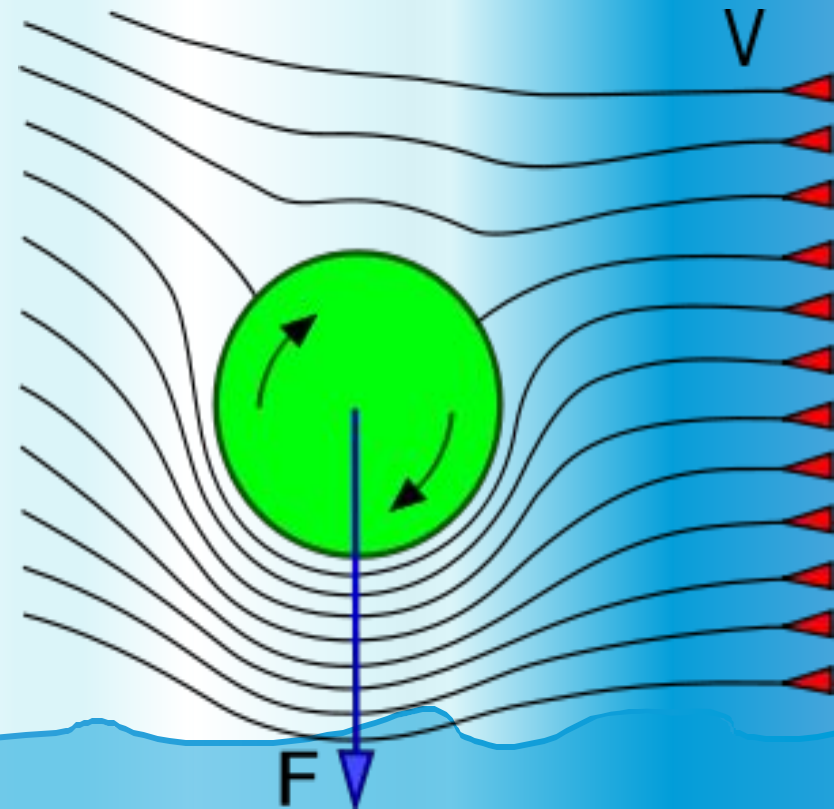
$$F \sim v^2$$

$$P = cS \frac{\rho}{2} v^3$$



Эффект Магнуса - физическое явление, возникающее при обтекании вращающегося тела потоком жидкости или газа.

- **Образуется сила, действующая на тело и направленная перпендикулярно направлению потока.**



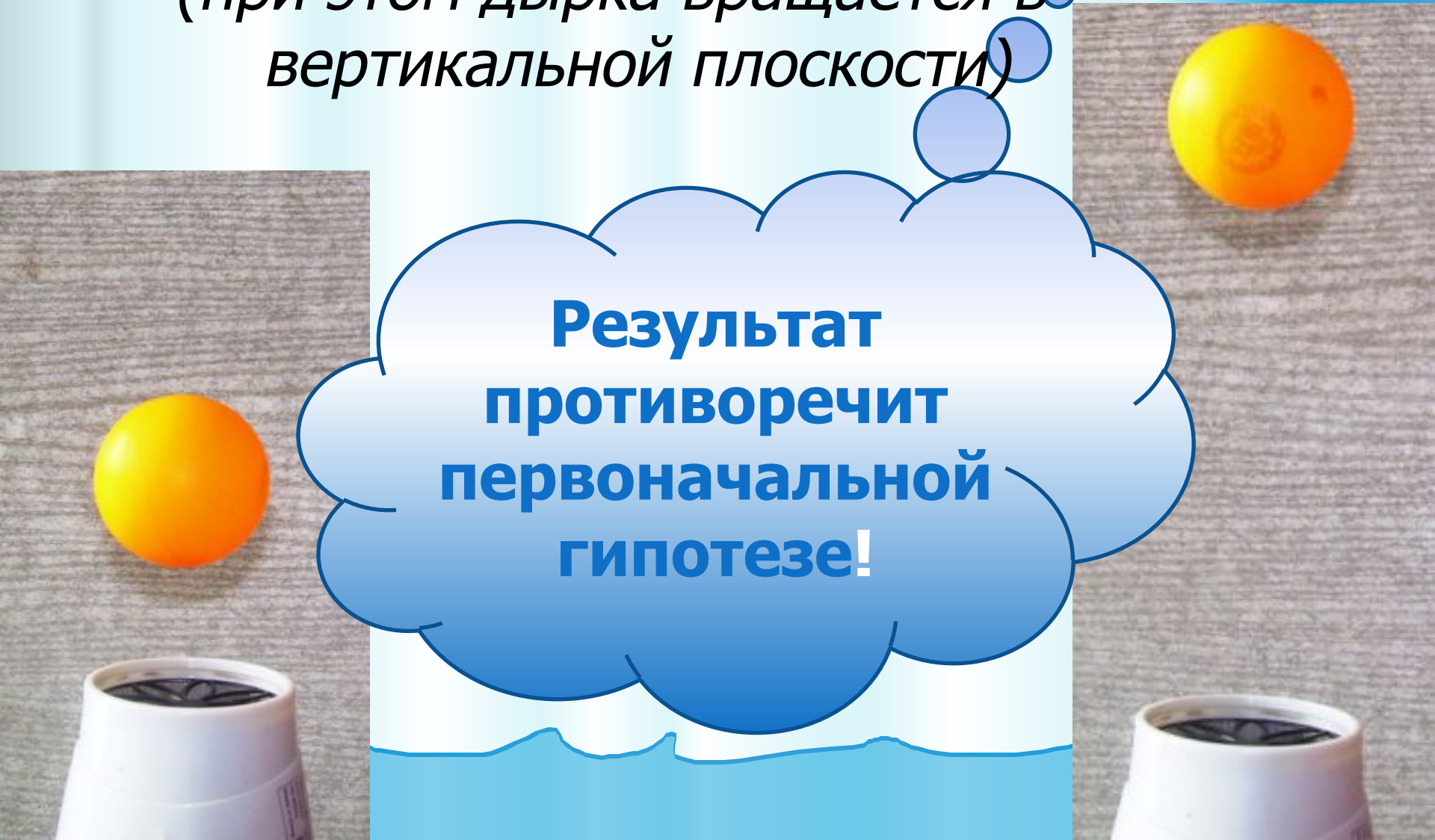
Эксперименты с шариком

Модели шариков
с отверстиями разной формы



- Шарик сначала парит в воздухе;
- Затем начинает раскручиваться
(при этом дырка вращается в вертикальной плоскости)

**Результат
противоречит
первоначальной
гипотезе!**



Во всех случаях наблюдается **эффект вращения и подъема**

- У шарика со смещенным отверстием **вращение происходит не в одной и той же плоскости** (с прецессией, как говорят научным языком).



Изменение положения центра тяжести шарика относительно его геометрического центра.

- Очень важным является проток воздуха через дырку.
- Если отверстие закрыть, то вращение прекращается.

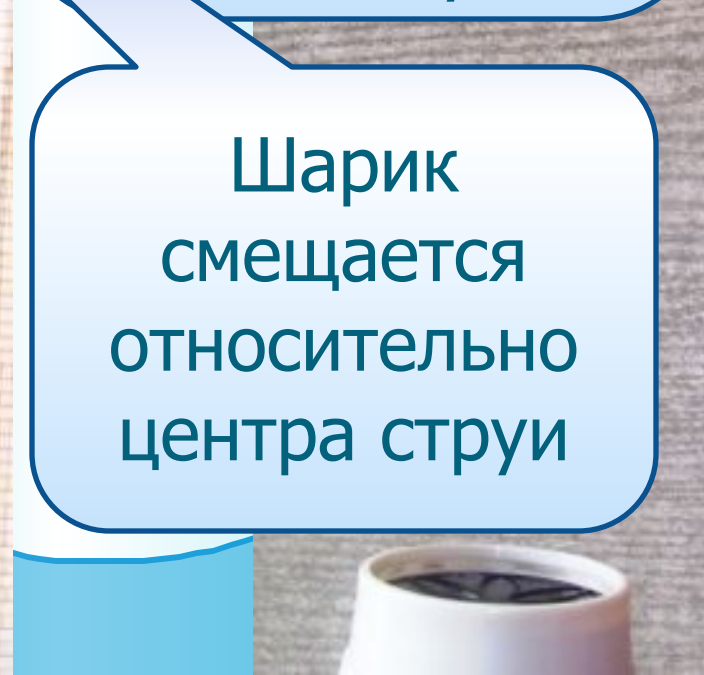
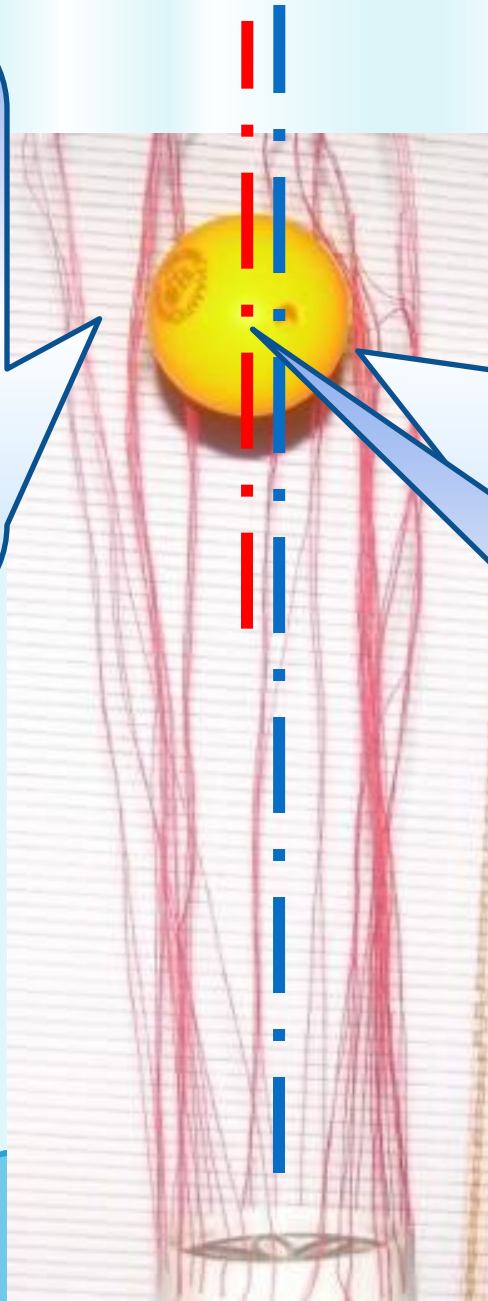


«Устройство» потока:

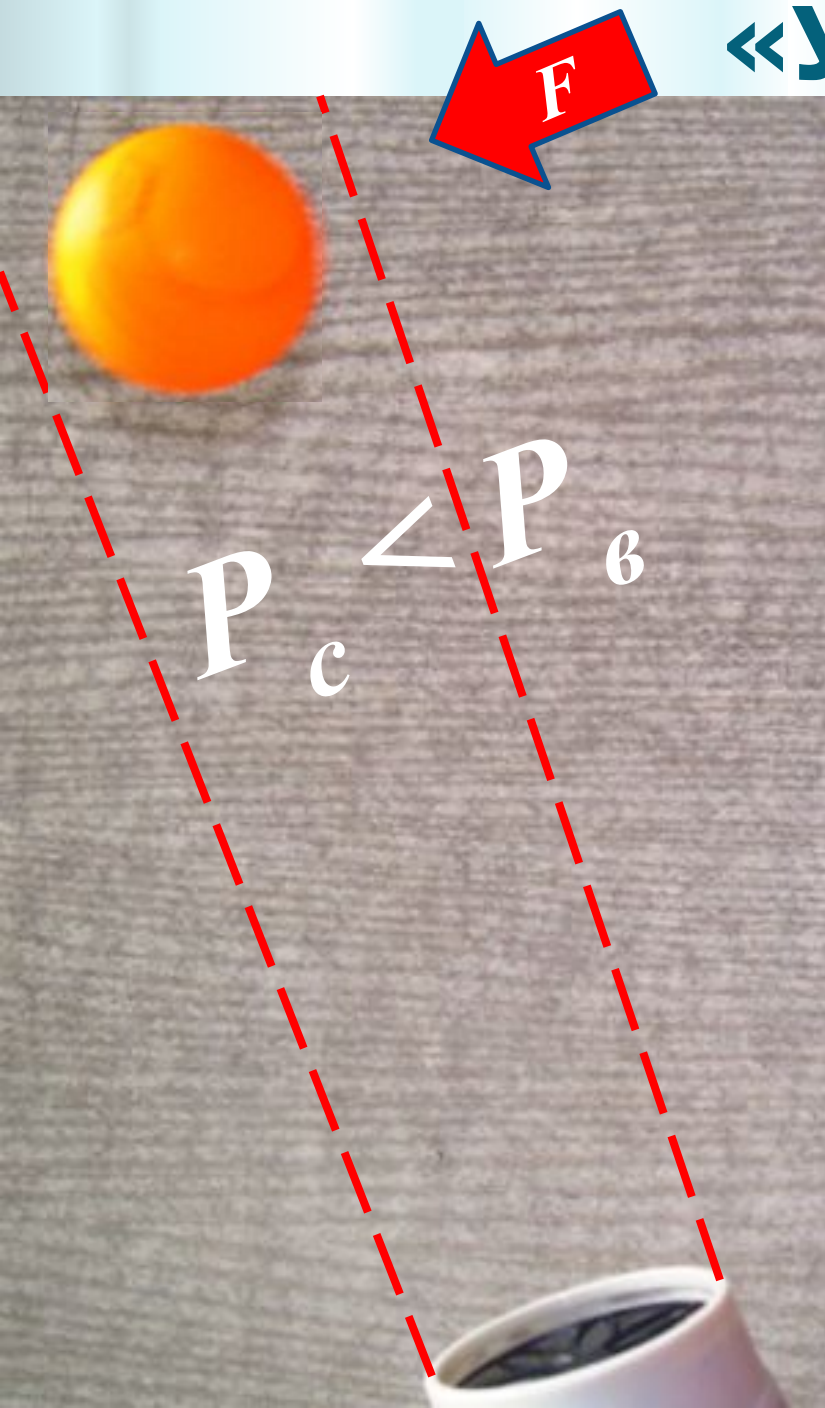
Поток «отталкивается», отклоняясь в сторону, с противоположной стороны

Поток «прижимается» к шарiku с той его стороны, которая движется по потоку

Шарик смещается относительно центра струи



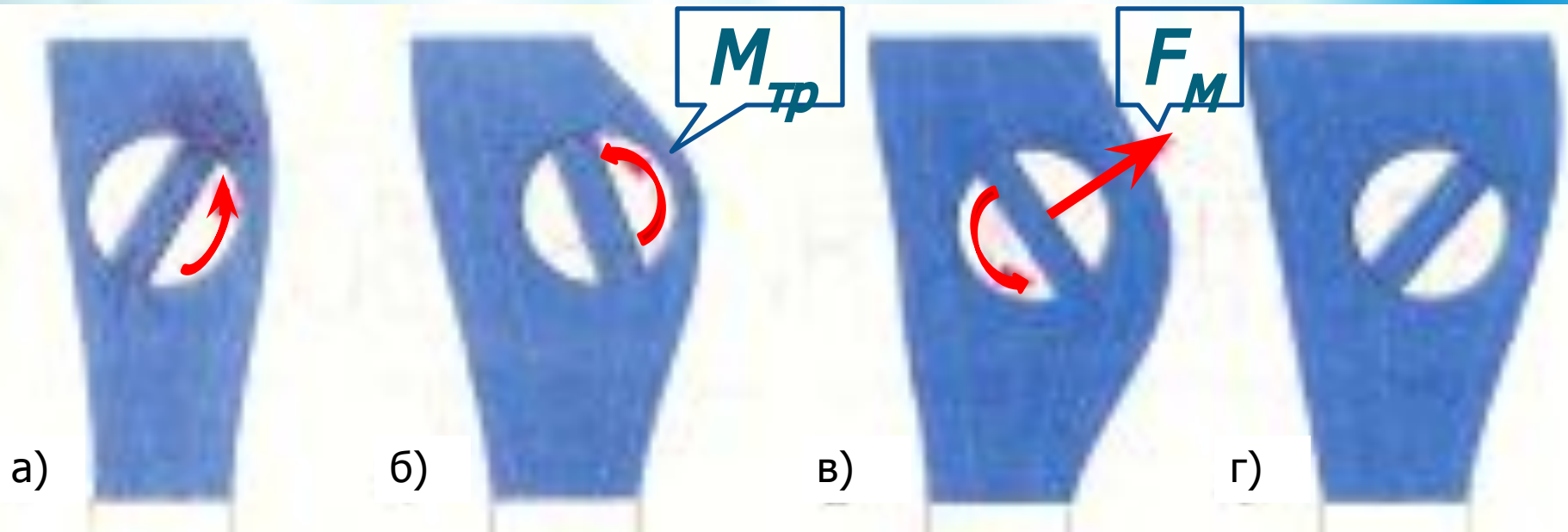
«Устройство» потока:



- В соответствии с законом Бернулли, **давление в струе меньше, чем в окружающем воздухе,**
- поэтому стоит только шарик сместиться, как на край, выходящий за пределы струи, начинает действовать сила, возвращающая его обратно

А почему же шарик вращается?

- Отверстие изменяет структуру потока вокруг шарика.
- Возникает момент силы трения, закручивающий шарик.
- Возникает поперечная сила (**сила Магнуса**), которая смещает устойчивое положение шарика относительно оси потока.



Дополнительный подъем

- в некоторых положениях
- сила, смещающая шарик от центра струи, направлена не горизонтально,
- а имеет
- вертикальную компоненту.



в)



- Этого не происходит в противоположном положении, так как здесь ничто не мешает потоку оторваться от шарика



Некоторые оценки опытов.

На шарик по вертикали действуют три силы:

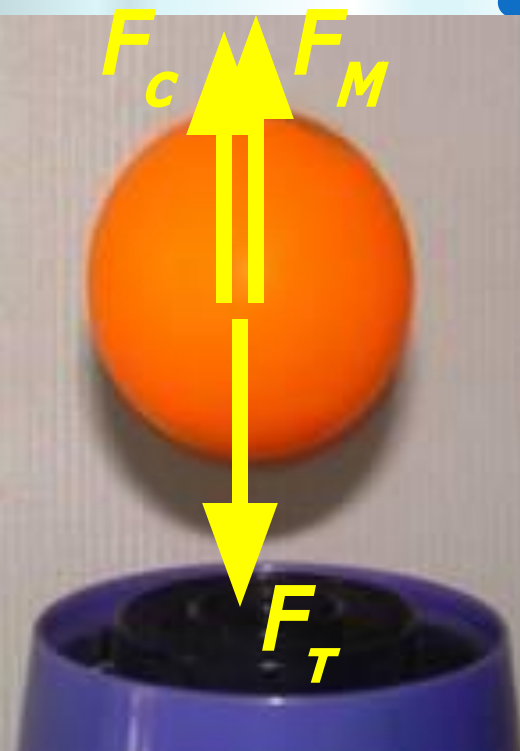
- сила тяжести $F = m g$;
- сила сопротивления воздуха $F_c = k\rho v^2 S$;
- вертикальная составляющая силы Магнуса $F_M \approx \rho d^2 v^2 \sin \beta$;

k — коэффициент сопротивления, зависящий от формы тела,

ρ — плотность воздуха,

v — скорость набегающего потока,

S — площадь лобового сечения шарика.



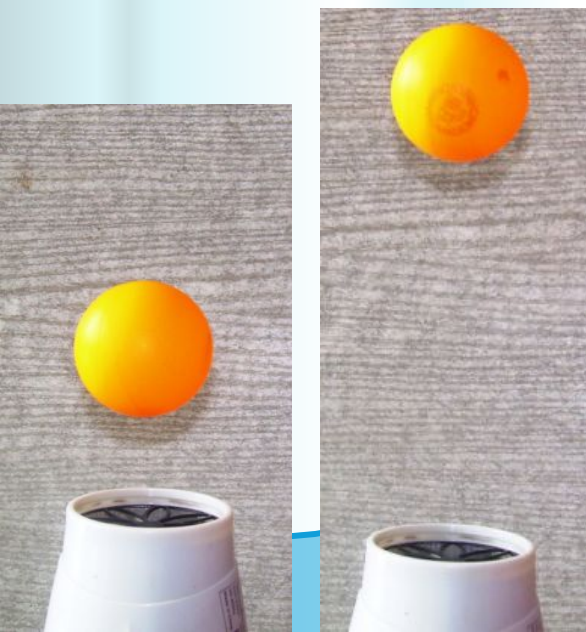
- Изменение скорости в струе с высотой можно оценить из закона сохранения импульса

$$v_1^2 S_1 \approx v_2^2 S_2$$

- Сечения струи выразим через высоты h_1 и h_2 и угол расхождения струи β

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{h_1}{h_2}$$

- Высота подъема шарика



$$h_2 = h_1 d v_1 \sqrt{\frac{\rho(k + \sin \beta)}{mg}}$$

h_1 и h_2 - высота струи,
 β - угол расхождения струи
 d - диаметр шарика

h_1 — сечение струи на выходе из трубы,
 v_1 - скорость струи на выходе из трубы

Подставляя данные наших опытов,
получаем:

$$h_2 = h_1 d v_1 \sqrt{\frac{\rho(k + \sin \beta)}{mg}}$$

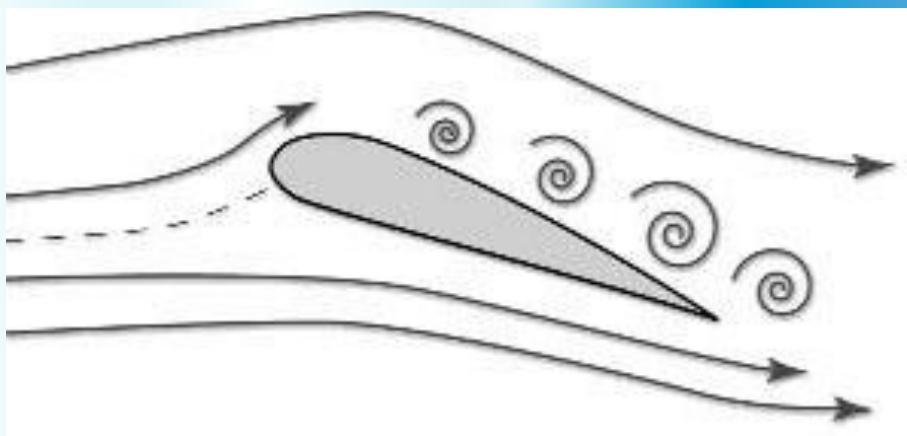
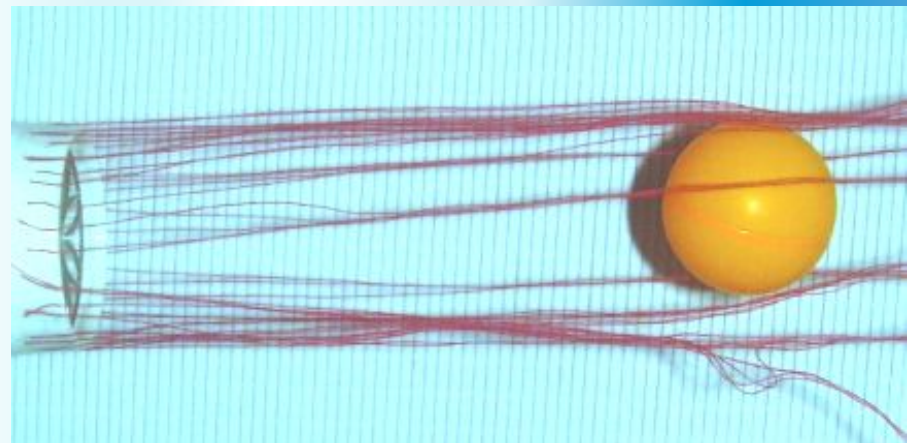
$$h_2 = 0.1 \cdot 0.04 \cdot 55 \cdot \sqrt{\frac{1.29 \cdot \left(0.1 + \sin \left(\frac{\pi}{45} \right) \right)}{0.03 \cdot 9.8}} = 0.19 \text{ м}$$

Почему летает самолет?

- Крылья самолета должны создавать **подъемную силу**.

Подъемная сила есть следствие трех причин:

- 1) особой формы крыла,
- 2) его положения относительно набегающего потока воздуха – «угла атаки»;
- 3) скорости полета.



Выводы: теоретические основы

- Основой гидро- и аэродинамики является закон Бернулли и его следствия;

Существенно:

- Зависимость **давления** от **скорости** потока;
- Зависимость **давления** от **сечения** потока;
- Зависимость **сопротивления** от **скорости** потока;
- Эффект Магнуса: возникновение **силы**, **направленной перпендикулярно** **направлению потока**.

Выводы на основе экспериментов:

- Во всех случаях наблюдается **эффект вращения и подъема**;
- Шарик без дырки висит **точно на оси потока** и не вертится, т.к. давление в струе меньше, чем в окружающем воздухе;
- У шарика со смещенным отверстием **вращение происходит не в одной и той же плоскости** (с прецессией);

Выводы работы:

- **Отверстие** изменяет **структуру потока** вокруг шарика;
- **Дополнительный подъем** шарика с дыркой вызван **вертикальной компонентой** силы Магнуса;
- Аналогично, пилот самолета имеет возможность **влиять** на угол атаки крыла и скорость полета самолета, **изменяя форму крыла**.

Оценки наших опытов

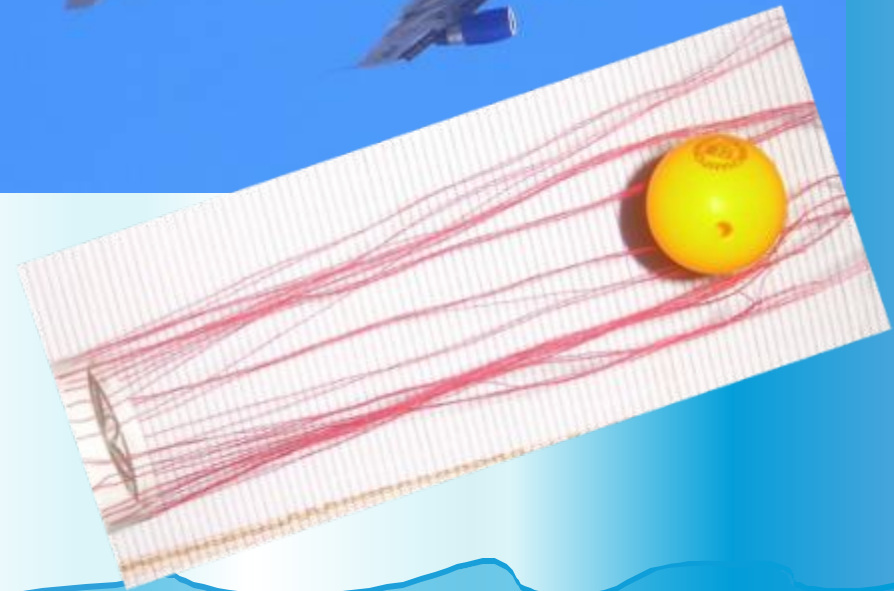
- высота подъема шарика определяется формулой

$$h_2 = h_1 dv_1 \sqrt{\frac{\rho(k + \sin \beta)}{mg}}$$

- в нашем случае равна **19** см
- что согласуется с экспериментальными данными.

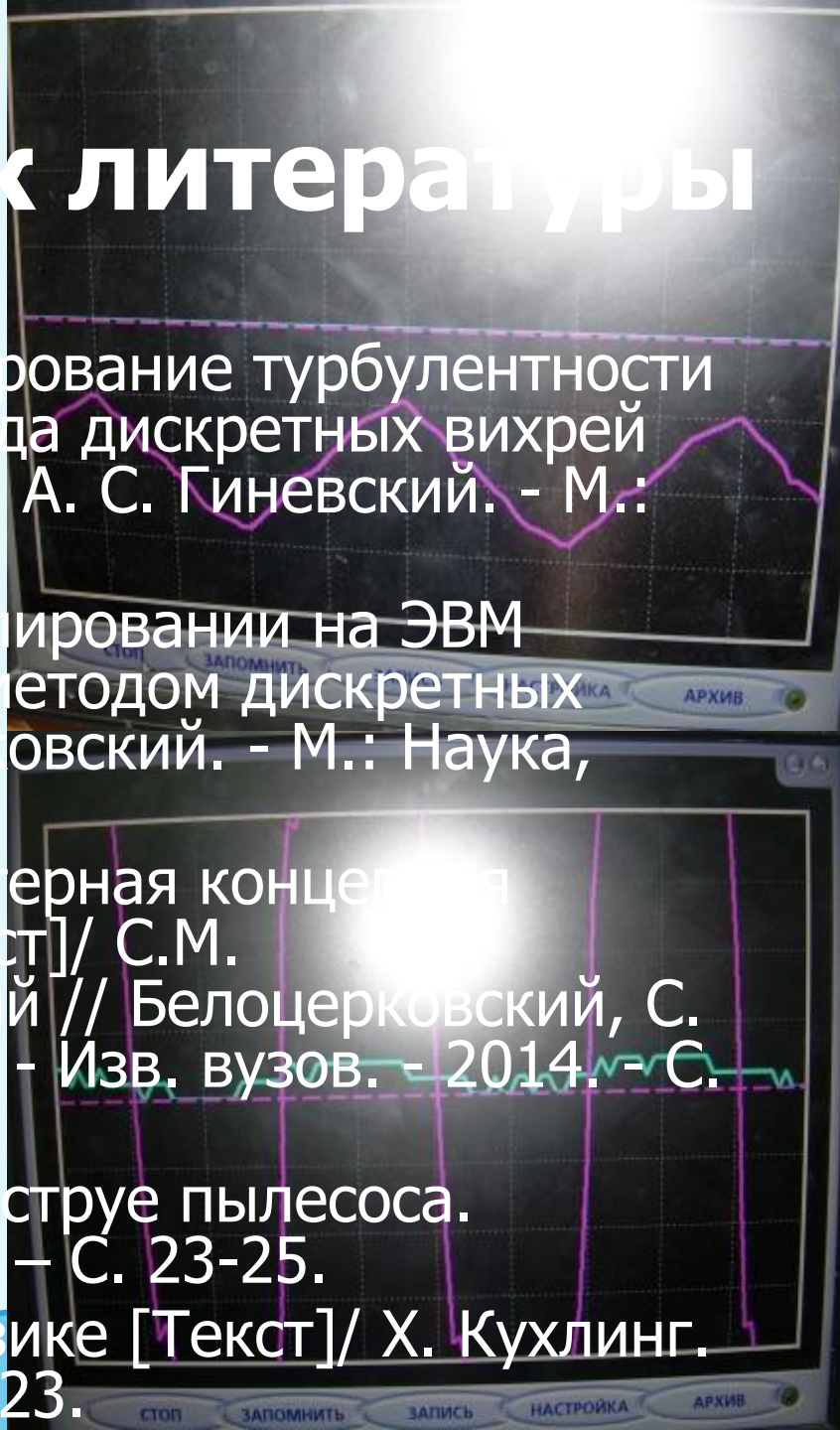
Я больше не боюсь летать!

- Самолет **держится** в потоке, созданном мотором, также **устойчиво**, как и шарик в струе фена.



Список литературы

- Белоцерковский, С. М. Моделирование турбулентности струй и следов на основе метода дискретных вихрей [Текст] / С. М. Белоцерковский, А. С. Гиневский. - М.: Наука, 2016. - С. 147.
- Белоцерковский, С. М. О моделировании на ЭВМ турбулентных струй и следов методом дискретных вихрей [Текст] / С. М. Белоцерковский. - М.: Наука, 2017. - С. 246-248.
- Белоцерковский, С.М. Компьютерная концепция вихревой турбулентности [Текст] / С.М. Белоцерковский, А.С. Гиневский // Белоцерковский, С. М. Нелинейная механика. Т. 3. - Изв. вузов. - 2014. - С. 72-93.
- Кузьмин, С. Шарик с дыркой в струе пылесоса. [Текст] // Квант. - 2018. - № 2. - С. 23-25.
- Кухлинг, Х. Справочник по физике [Текст] / Х. Кухлинг. - М.: Мир, 2015 - С. 247-265; 423.





**БЛАГОДАРЮ ЗА
ВНИМАНИЕ!**