

**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.

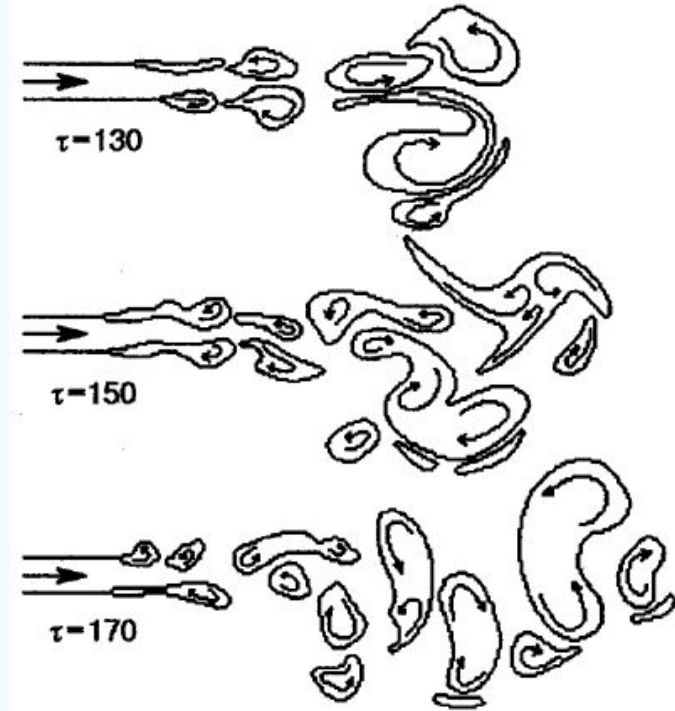
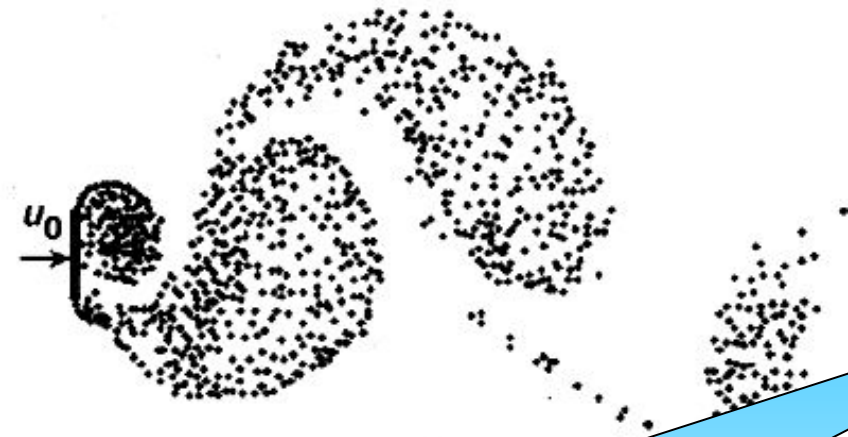
## Цель работы:

- 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



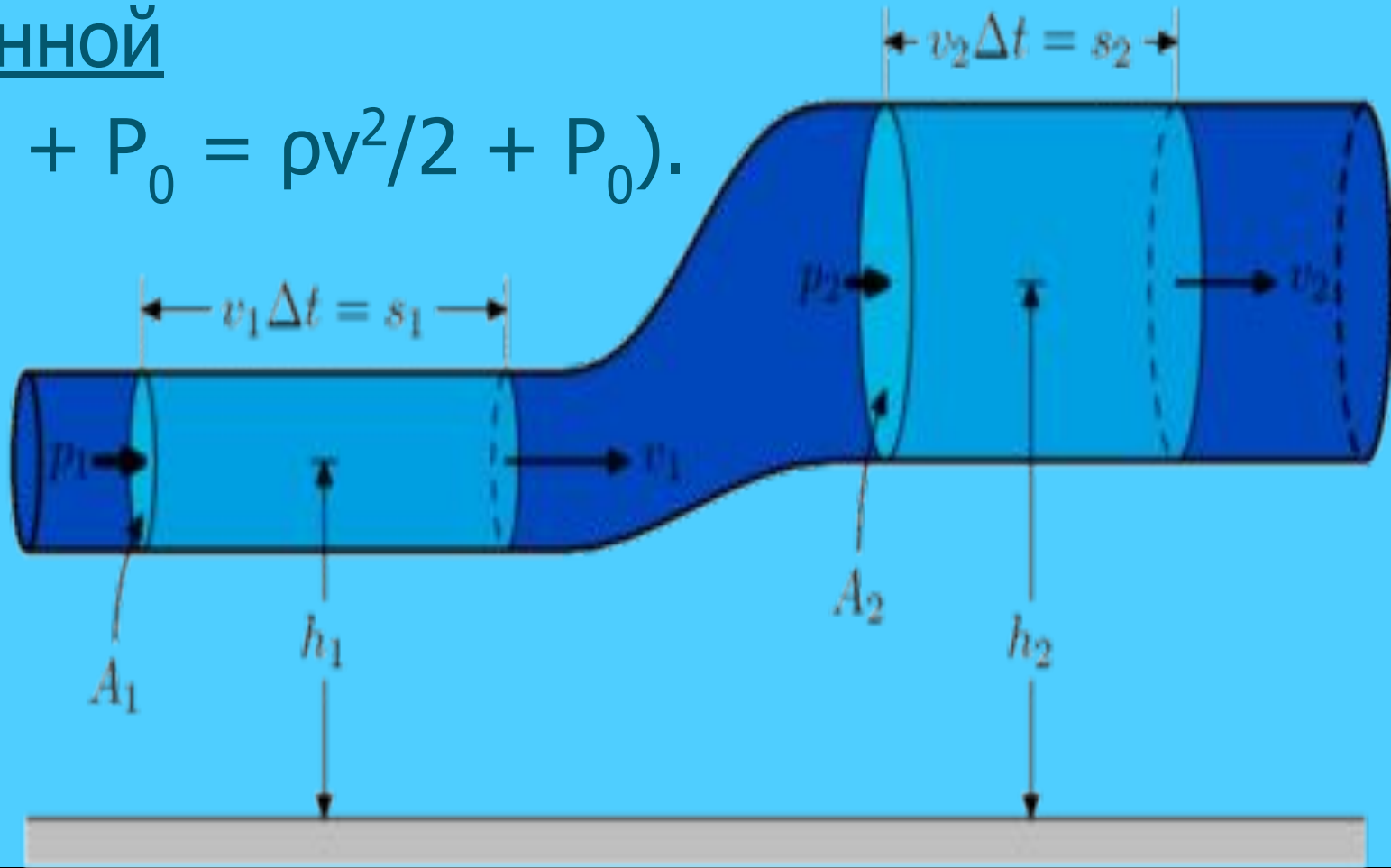
*Примеры  
когерентных  
вихревых структур,  
полученных  
расчетным путем на  
компьютерах*



# Закон Бернулли:

• в стационарном потоке сумма статического и динамического давлений остается постоянной

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



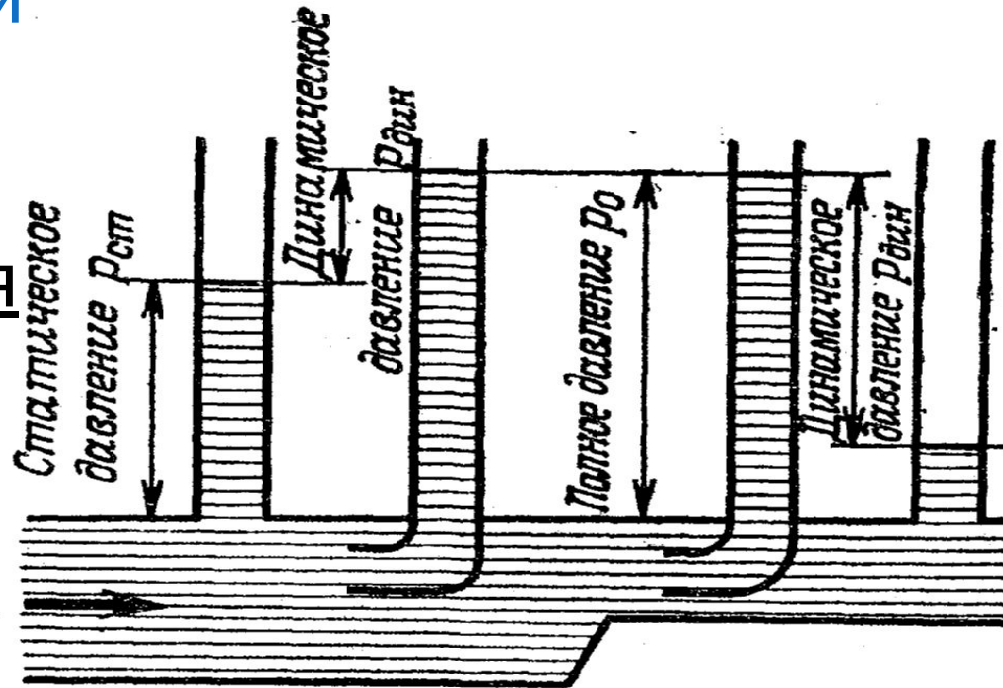


# Основы гидро- и аэродинамики

При увеличении скорости потока

потока

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

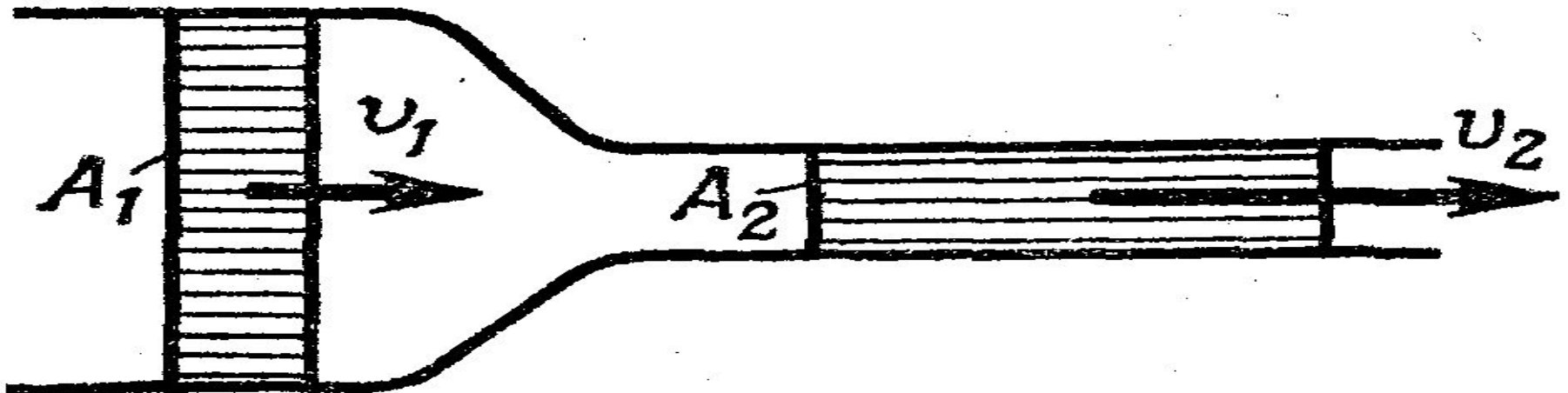


# Основы гидро- и аэродинамики

- 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

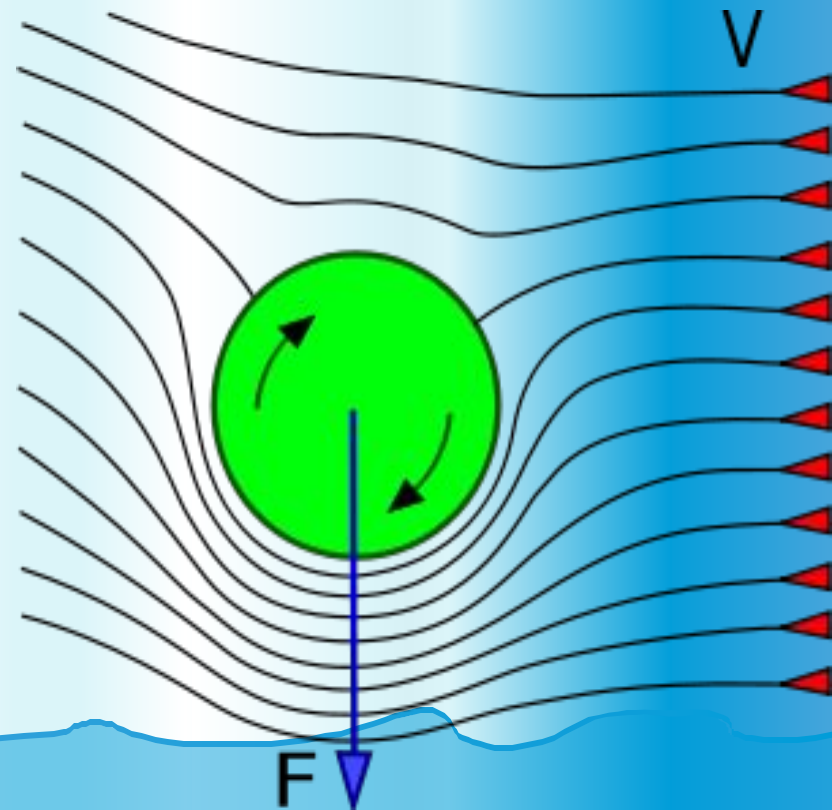
$$F \sim v^2$$

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



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

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



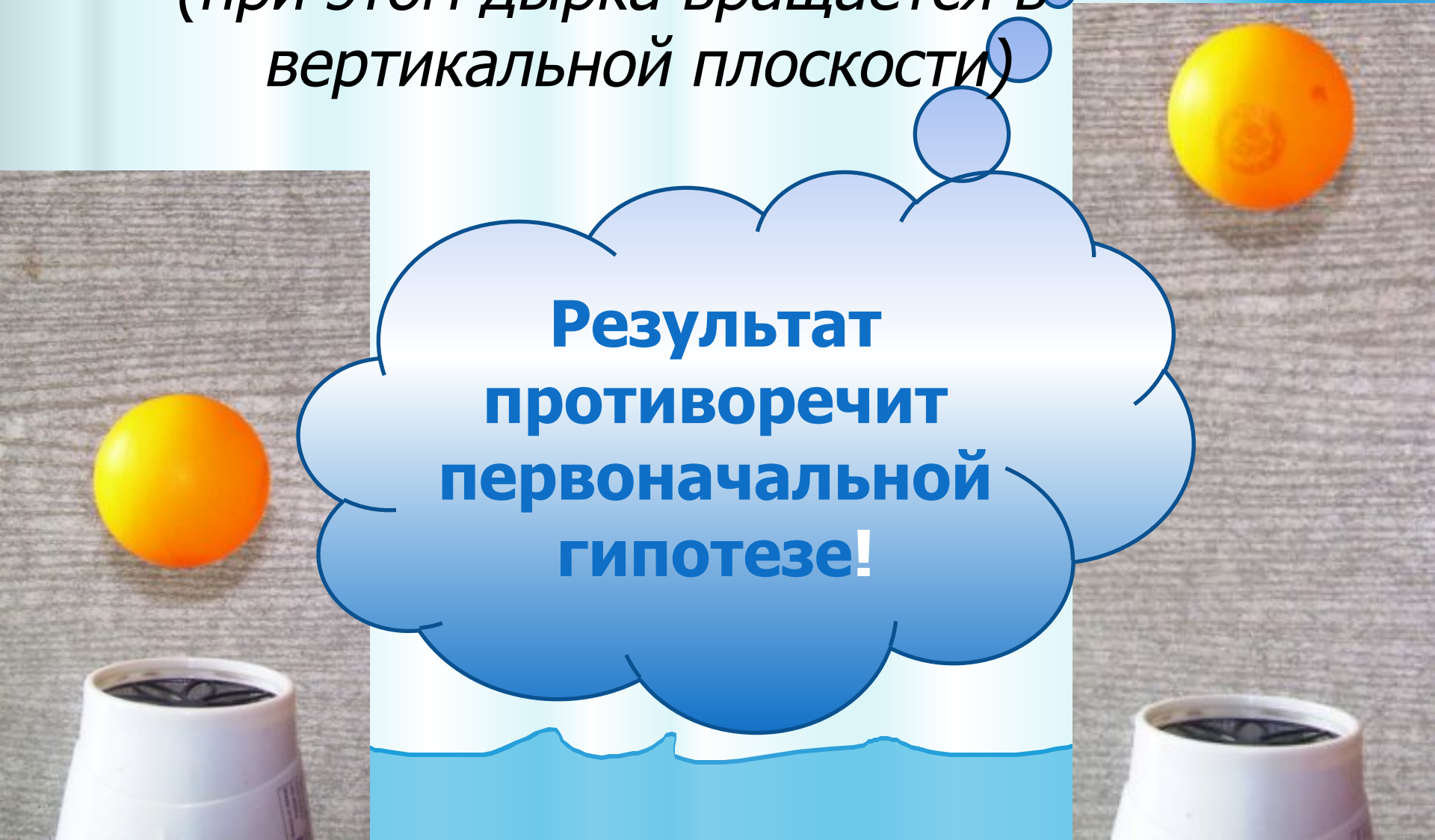
# Эксперименты с шариком

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.

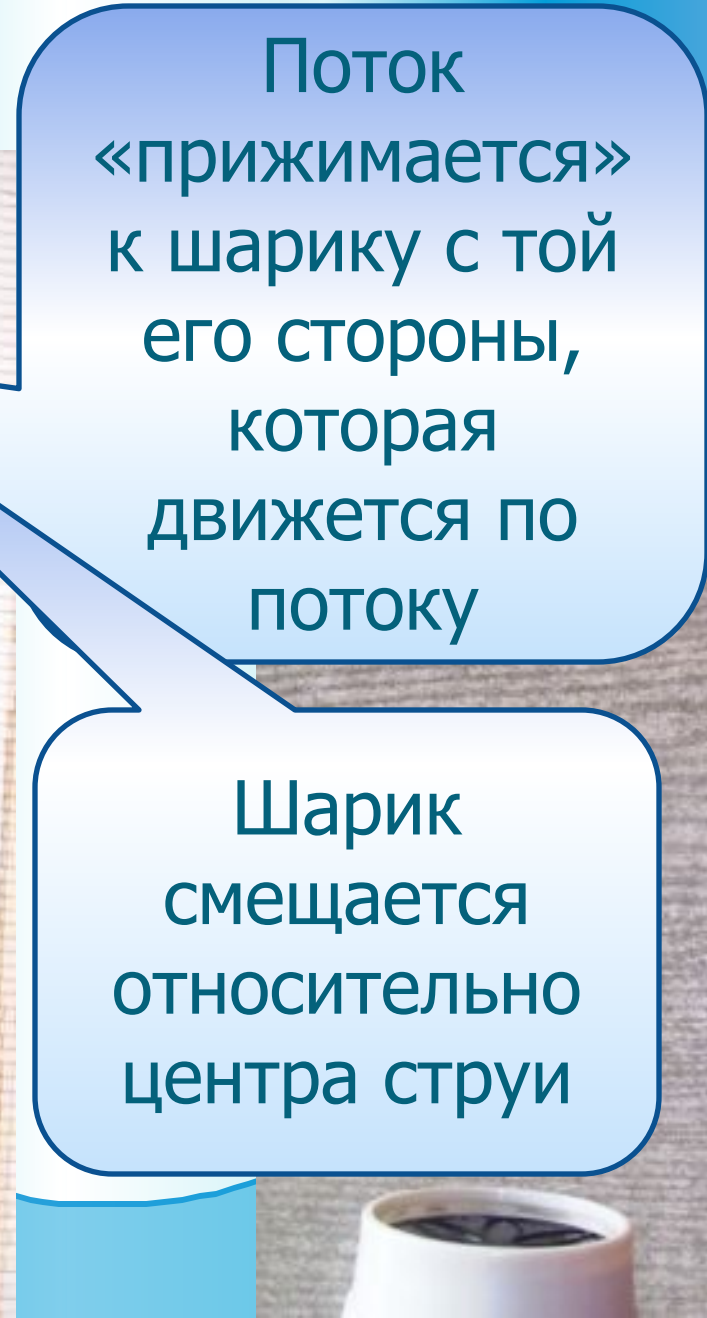
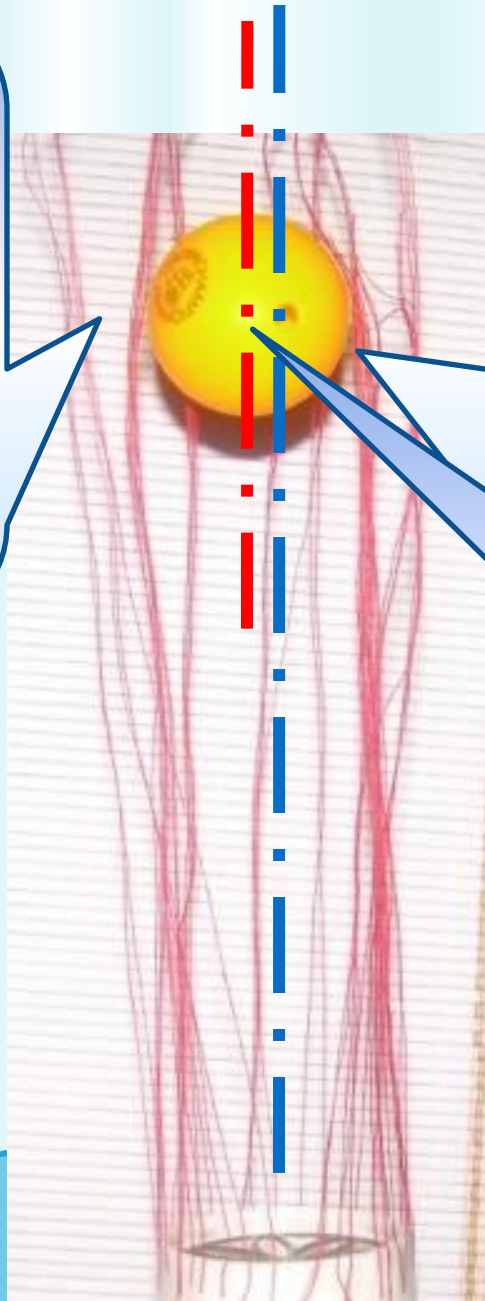


# «Устройство» потока:

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

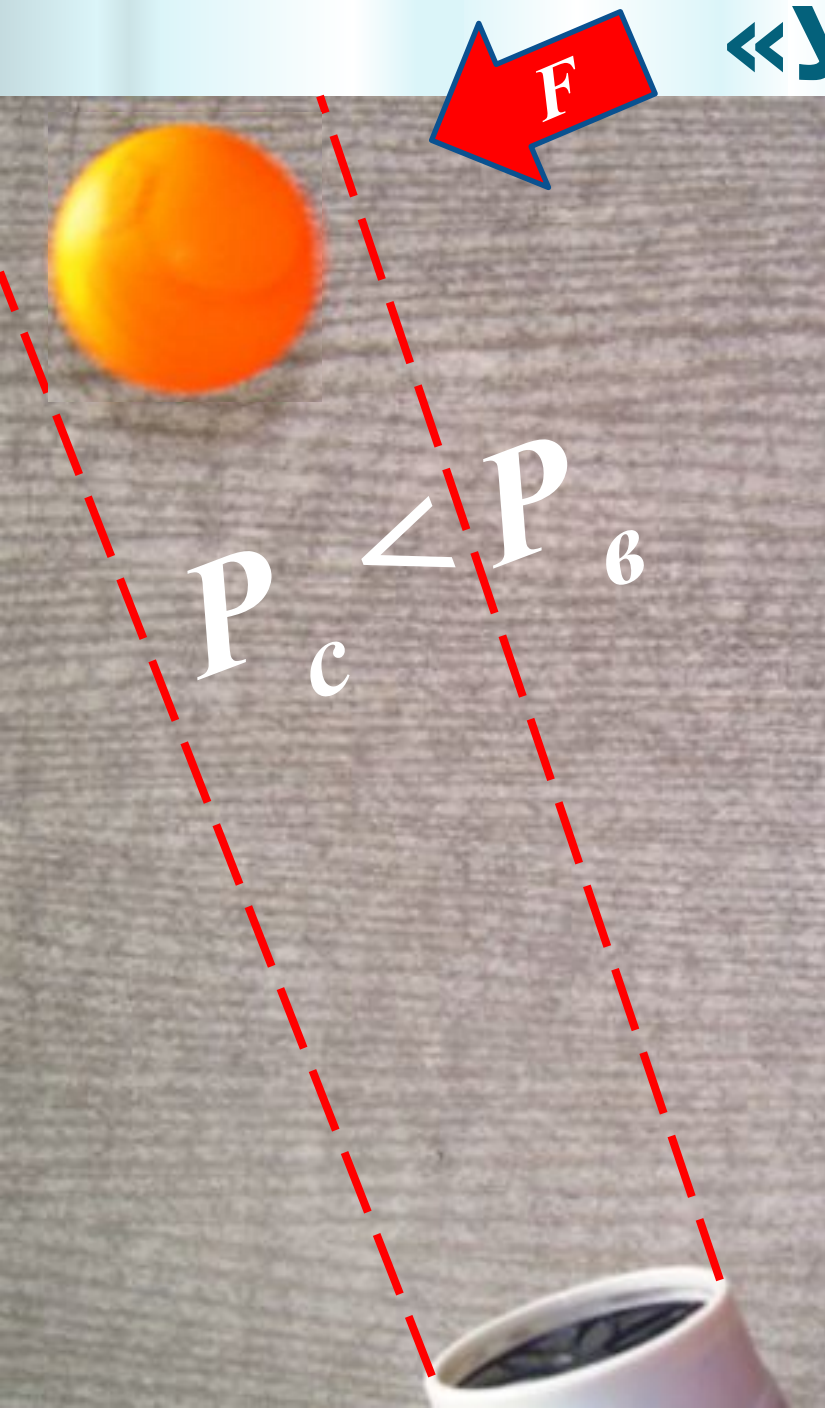
Поток «прижимается» к шарiku с той его стороны, которая движется по потоку

Шарик смещается относительно центра струи





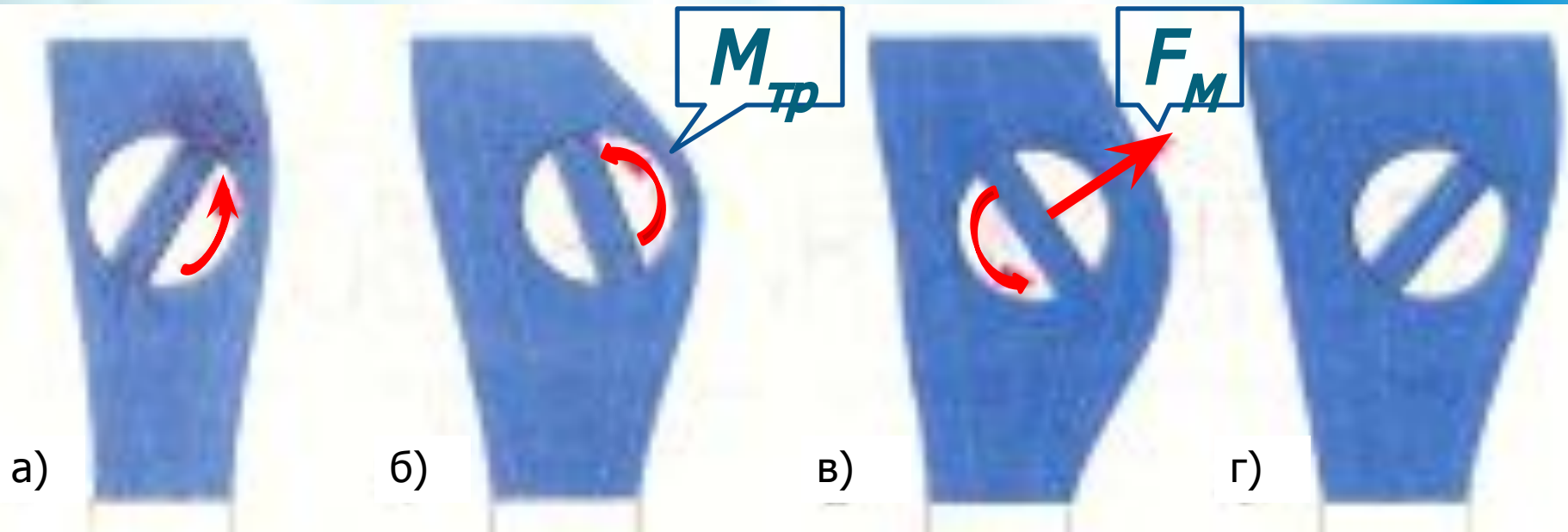
# «Устройство» потока:



- 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:

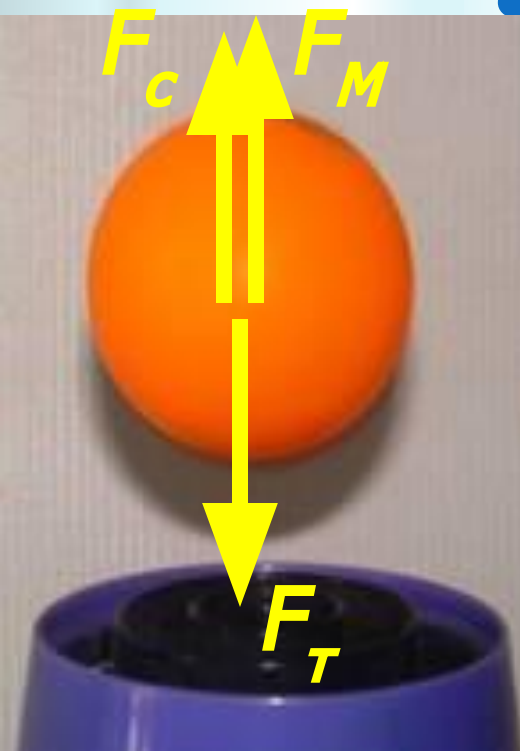
- сила тяжести  $F = m g$ ;
- сила сопротивления воздуха  $F_c = k\rho v^2 S$ ;
- вертикальная составляющая силы Магнуса  $F_M \approx \rho d^2 v^2 \sin \beta$ ;

$k$  — коэффициент сопротивления, зависящий от формы тела,

$\rho$  — плотность воздуха,

$v$  — скорость набегающего потока,

$S$  — площадь лобового сечения шарика.





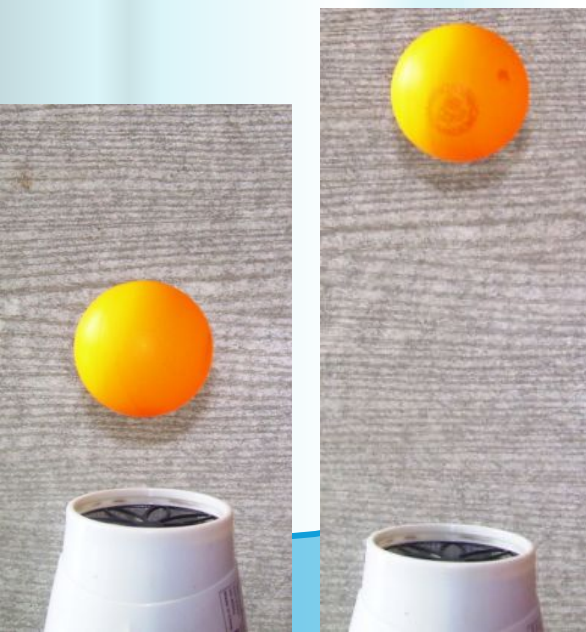
- Изменение скорости в струе с высотой можно оценить из закона сохранения импульса

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

- Сечения струи выразим через высоты  $h_1$  и  $h_2$  и угол расхождения струи  $\beta$

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

- Высота подъема шарика



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

$h_1$  и  $h_2$  - высота струи,  
 $\beta$  - 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:

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

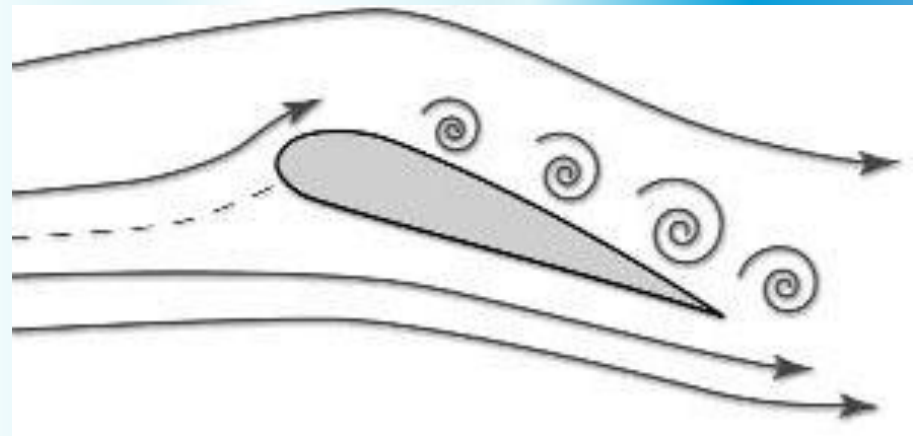
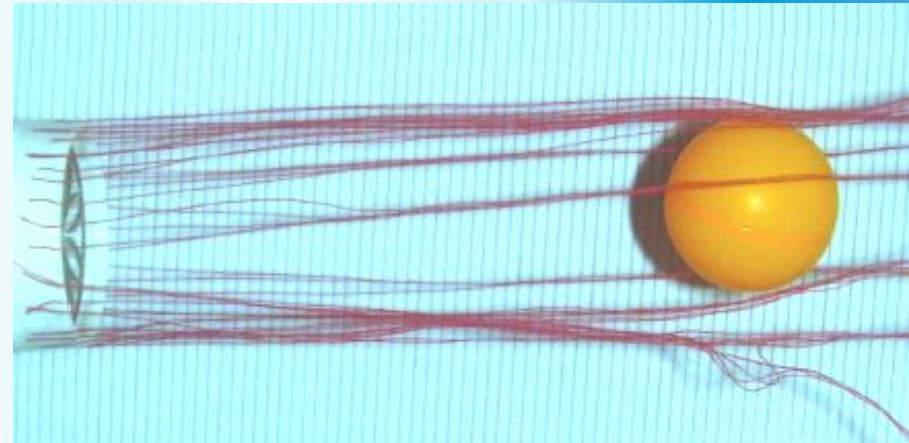
$$h_2 = 0.1 \cdot 0.04 \cdot 55 \cdot \sqrt{\frac{1.29 \cdot \left( 0.1 + \sin \left( \frac{\pi}{45} \right) \right)}{0.03 \cdot 9.8}} = 0.19 \text{ м}$$

# 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

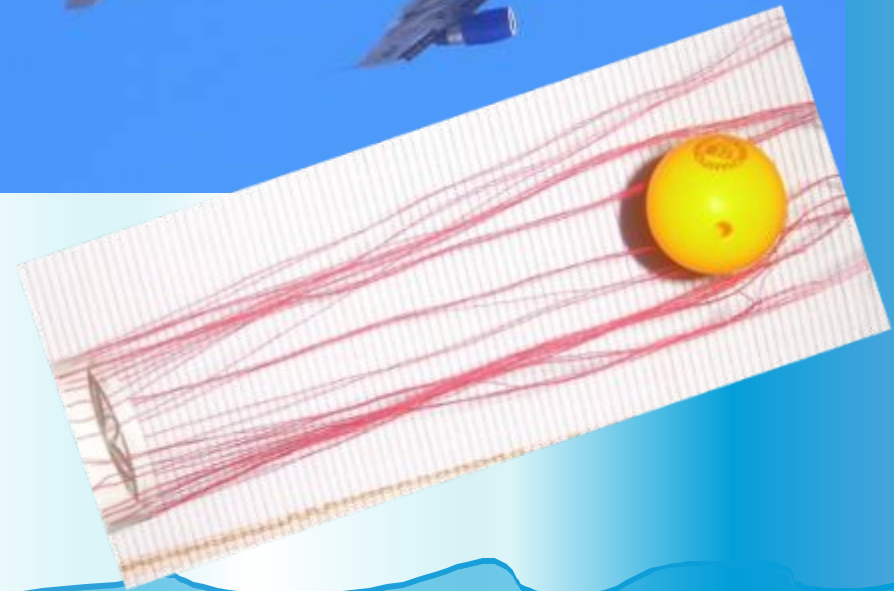
- высота подъема шарика определяется формулой

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

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

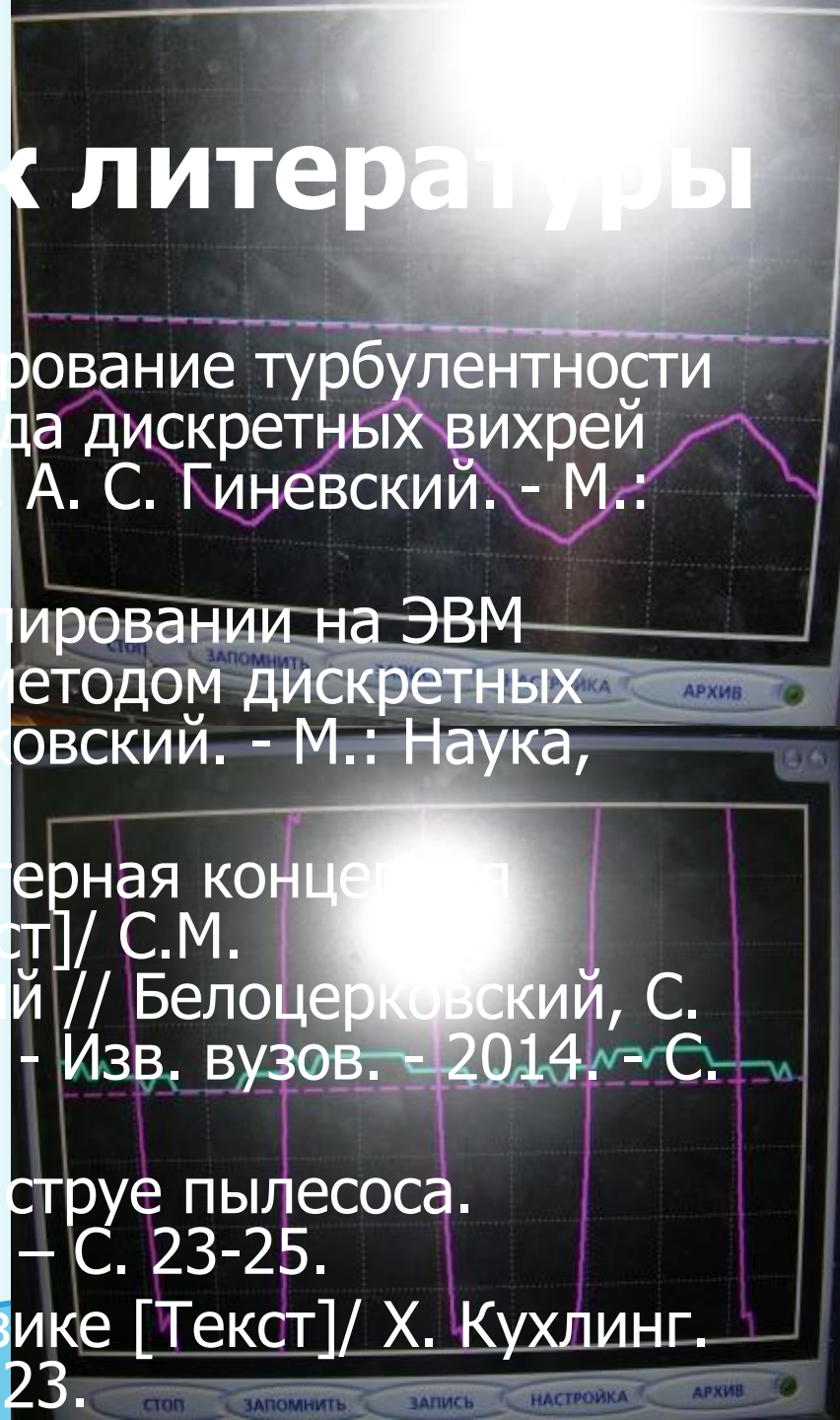
# Я больше не боюсь летать!

- 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!**