

СЕКЦИЯ ФИЗИКА

**За гранью учебника физики.
Закон Даниила Бернулли**

Исследовательская работа

**Автор: Атанасов Любомир
Вячеславович**

обучающаяся 10а класса

МБОУ СОШ №26

**Научный руководитель:
Никифорова Наталья Анатольевна,**
учитель физики высшей
квалификационной категории
МБОУ СОШ №26

Сургут, 2021

Содержание

I.	Введение.....	3
II.	Основная часть.....	4
	Глава 1. Теоритическая часть.....	4
	1.1. Из истории открытия закона.....	4
	1.2. Виды течений жидкости.....	4
	1.3. Закон Бернулли	4
	Глава 2. Практическая часть.....	5
	2.1. Трубка Вентури	5
	2.2. Вытекание жидкости из отверстия в широком сосуде (формула Торричелли).....	5
	2.3. Пульверизатор и его действие.....	5
	2.4. Подъемная сила крыла самолета.....	6
	2.5. Вертолеты.....	7
	2.6. Парашюты.....	7
	2.7. Встречные поезда.....	8
	2.8. Парение шарика в воздушном потоке.....	8
	2.9. Эффект Магнуса.....	9
	2.10. Трубка Пито.....	9
	2.11. Распределение давления в струе воздуха.....	10
	2.11.1. Создание подъемной силы воздушным потоком («Срыв» крыши).....	10
	2.11.2. Парение картонного диска.....	11
III.	Заключение.....	11
IV.	Список использованных источников.....	12
V.	Приложение.....	13
	Приложение 1.....	13
	Приложение 2.....	15
	Приложение 3.....	16
	Приложение 4.....	16

Введение.

Всё известно вокруг тем не менее,
На Земле еще много того,
Что достойно порой удивления твоего, и моего.
(Шефран)

Тема: За гранью учебника физики. Закон Д.Бернулли

Актуальность темы: Данное исследование является актуальным, т.к. тема движение жидкости и газов в школьном курсе не изучается на базовом уровне, а исследовательская работа в данной области расширяет кругозор, углубляет знания физических явлений, заставляет проявлять творчество, изобретательность, делать самостоятельные хоть и маленькие, но открытия. Прав был немецкий философ И.Кант, сказав: «Без сомнения, все наше знания начинается с опыта».

Цель исследования: Изучение, анализ и экспериментальная проверка главного закона гидро-, аэродинамики, закона Д.Бернулли.

Задачи:

1. Теоретически вывести формулы закона Бернулли.
2. Познакомиться с проявлением закона Бернулли в технике и природе.
3. Экспериментально подтвердить закон в процессе исследовательской деятельности и конструирования приборов.

Объект исследования: проявление закона Бернулли в гидро- и аэродинамике.

Предмет исследования: закон Бернулли и уравнение непрерывности струи.

Гипотеза: в лабораторных условиях возможно исследовать закон Бернулли и доказать его практическое применение в результате измерений и опытов.

Методика исследования выбрана таким образом, чтобы используя несложное оборудование и приборы, изготовленные своими руками, получить как можно больше информации.

Методы исследования:

Теоретические методы: моделирование, абстрагирование, анализ и синтез, восхождение от абстрактного к конкретному.

Эмпирические методы: наблюдение, сравнение, эксперимент.

Математические методы: метод визуализации данных (функции, графики, таблицы).

План:

1. Изучение научно-популярной литературы по данному вопросу.
2. Постановка эксперимента.
3. Отбор и сортировка полученных результатов.
4. Исследование проявления законов аэро- и гидродинамики на практике.
5. Обобщение и систематизация знаний по теме работы.

Основная часть.

Глава 1. Теоретическая часть.

1.1. Из истории открытия закона

Прозрачная синева воздушного океана — это колыбель, где человек научился летать сначала на аэростатических аппаратах, а затем на крыльях. В физике, изучающей законы природы, до сих пор есть огромные белые пятна для нас, например, оставшийся за страницами учебника физики, закон Бернулли.

Любому открытию сопутствует опыт, талант открывателя и даже случай. Если человек своим трудолюбием, упорством достигает истины в чем либо, то это и есть открытие.

Познание начинается с удивления, так как почти все опыты, подтверждающие закон Бернулли, это физические парадоксы, т.е. наблюдаемые явления выглядят невероятными, невозможными.

Уравнение Бернулли. Это уравнение получено выдающимся физиком и математиком, почетным членом Петербургской Академии наук Даниилом Бернулли (1700— 1782). Этим уравнением широко пользуются при аэродинамических расчетах, т.к. оно является следствием закона сохранения энергии.

1.2. Виды течений жидкости

В процессе эксперимента было выяснено, что в жидкости возможно две формы движения: ламинарное и турбулентное. Ламинарное течение — течение, при котором жидкость или газ перемещается слоями с небольшой скоростью без перемешивания и пульсаций. Турбулентное течение – нестационарное течение жидкости с большой скоростью, в результате которого слои жидкости начинают беспорядочно перемешиваться, и возникают завихрения (Приложение 1, рис.1а, 1б.).

1.3. Закон Бернулли

Возьмем трубу переменного сечения и высоты (рис.2). Рассмотрим ламинарное течение стационарной идеальной несжимаемой жидкости между сечениями трубы ($F_{тр} = 0$, тогда на жидкость действует только $F_{тяж}$ и $F_{упр}$). По теореме о кинетической энергии сумма работ равна изменению кинетической энергии. Слева

действует сила давления.

$$A_{p1} + A_{p2} + A_{mg} = \Delta E_k$$

$$A_{p1} = F_1 \Delta L_1 \cos 0^\circ = p_1 S_1 \Delta L_1 = p_1 V_1 = p_1 V$$

$$A_{p2} = F_2 \Delta L_2 \cos 180^\circ = - p_2 S_2 \Delta L_2 = -p_2 V_2 = -p_2 V$$

Жидкость несжимаема, значит $V_1 = V_2 = V$

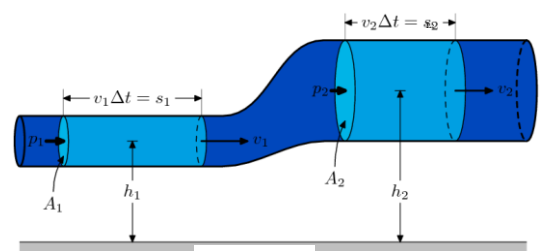


Рис.2

$$\Delta m g = -\Delta E_p = -(m_2 g h_2 - m_1 g h_1) = \rho V g h_1 - \rho V g h_2$$

$$\Delta E_k = \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{\rho V v_2^2}{2} - \frac{\rho V v_1^2}{2}$$

$$p_1 V - p_2 V + \rho V g h_1 - \rho V g h_2 = \frac{\rho V v_2^2}{2} - \frac{\rho V v_1^2}{2}$$

$$p_1 - p_2 + \rho g h_1 - \rho g h_2 = \frac{\rho v_2^2}{2} - \frac{\rho v_1^2}{2}$$

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \text{ - Уравнение Бернулли}$$

Глава 2. Практическая часть

Природа никогда не изменит великим законам сохранения (Д.Бернулли)

2.1. Трубка Вентури

Трубка Вентури – трубка переменного сечения, применяемая для определения скорости течения в трубах с помощью измерения давления в двух разных точках трубопровода. Мы сконструировали трубу переменного сечения (укороченную трубку Вентури), врезали в неё жидкостный манометр, и, продувая воздух сквозь неё, измерили разность давлений. А затем решили задачу по определению потока газа Q через трубку Вентури. (Приложение 2, рис.1а, 1б, 1в, 1г, табл.1). В результате работы прибор был усовершенствован.

С помощью прибора для демонстрации течения жидкости по трубе разного сечения, доказали: в узкой части канала, где скорость течения наибольшая, давление наименьшее. Давление в канале по направлению течения сначала уменьшается, а затем увеличивается, но не достигает прежней величины из-за внутреннего трения.

Мы наблюдаем явление кавитации в узком канале. Давление может быть ниже давления атмосферного, поэтому туда будут засасываться пузырьки воздуха

Применение: в гидроструйных насосах, в расходомерах Вентури, пульверизаторах (опрыскивателях), в карбюраторах, в кислородных масках для кислородной терапии, в автомобилестроении [6, с. 95-97].

2.2. Вытекание жидкости из отверстия в широком сосуде (формула Торричелли)

Теорема Торричелли, являющаяся следствием закона Бернулли, доказывает, что скорость, с которой вытекает жидкость из отверстия в широком сосуде высотой h, равна скорости v, приобретенной телом, при свободном падении с той же высоты. Смоделировав данное явление, мы получили результат и произвели расчет. (Приложение 3, рис.2а, 2б, табл. 1а).

2.3. Пульверизатор и его действие

Пульверизатор знаком каждому – это прибор для распыления жидкостей на мелкие капли, где с ростом скорости происходит рост динамического давления и падение

статического давления. Прибор имеет две стеклянные капиллярные трубки, соединенные под прямым углом, одна из которых опущена в баллон с жидкостью, а через вторую вдувается воздух. Вдувание снижает атмосферное давление в капилляре, и жидкость из баллона пульверизатора под действием большего атмосферного давления поднимается вверх. Там она дробится струей воздуха. (Приложение 1, рис. 3а,3б)

2.4.Подъемная сила крыла самолета

Уравнение Бернулли, являющееся частным случаем закона сохранения энергии, дало мне возможность объяснить, почему поднимаются в воздух и летают тяжелые самолеты. Крыло самолета в сечении имеет несимметричную форму, поэтому при движении самолета воздушный поток обтекает крыло так, что давление воздуха на крыло сверху меньше, чем снизу (Приложение 1, рис.4). Благодаря этому возникает сила, которая поднимает самолет в воздух.

В справедливости этого мы убедились, создав для исследования самодельный прибор. В процессе работы была сделана модель крыла самолета, в которой просверлены два параллельных канала, один из которых выходил в нижнюю поверхность крыла, а другой - в верхнюю. В каналы были вставлены две трубки, первоначально присоединенные к жидкостному манометру. Собрав установку по схеме, выставляем угол атаки $=0$ и включаем воздуходувку. Чашка с крылом поднимается, нарушая равновесие весов, делаю вывод, что ее поднимает обтекающая крыло струя воздуха. Разновесами, восстановив равновесие весов, определила величину подъемной силы. Изменяя угол атаки, повторяю эксперимент. Наглядно видно, что подъемная сила крыла увеличилась. Вывод: при увеличении угла атаки, растет подъемная сила, но одновременно увеличивается лобовое сопротивление. Эксперимент подтверждает, что при угле атаки $>20^\circ$ подъемная сила падает, а сопротивление растет. С помощью данного прибора можно выяснить причину подъемной силы, действующей на крыло [2, с.204-207] [4, с.338-339].

«Крыло самолета» и жидкостный манометр устанавливаю напротив воздуходувки (Приложение 1, рис.5а,5б). Горизонтальный поток воздуха, направленный на крыло, создает разность давлений, что отражается на изменении уровня столбиков жидкости в манометре: опустился в колене, соединенным с нижним отверстием, и поднялся в колене, соединенным с верхним, но совсем немного. Поэтому в эксперименте жидкостный манометр пришлось заменить на более чувствительный прибор: 2 микроманометра с трубками-зондами, укрепленными над и под крылом. Результаты опыта подтвердили, что давление над крылом меньше, чем под ним. Опыт подтверждает возникновение подъемной силы крыла самолета [10, с.190-191]. В 1904 г. Жуковский открыл закон,

определяющий подъёмную силу крыла самолёта; определил основные профили крыльев и лопастей винта самолёта; разработал вихревую теорию воздушного винта (Приложение 3, табл.2 график 1)(Приложение 4, табл.3, график 2, рис.3).

2.5. Вертолеты

Большинство современных вертолётов строится по классической схеме, предложенной в 1911 г. академиком Б. Н. Юрьевым.

Винт является главной частью вертолёта. Лопасти несущего винта представляют собой подвижные длинные узкие крылышки, в поперечном сечении они имеют вид профиля крыла самолёта. В случае вертолёта подъёмная сила винта называется силой тяги несущего винта, под действием которой вертолёт поднимается в воздух.

Идея создания первого в мире летательного аппарата тяжелее воздуха возникла у гениального русского учёного М.В.Ломоносова, который предназначался для подъёма метеорологических приборов с целью исследования верхних слоёв атмосферы.

У вертолёта М. В. Ломоносова было два несущих четырёхлопастных винта, расположенных на одной геометрической оси, один над другим, и вращающихся в разных направлениях под действием пружинного часового механизма. Благодаря противоположному вращению винтов их реактивные моменты взаимно уравновешивались [6, с.76-79] [12] (Приложение 1, рис.6).

Принцип полета вертолета был смоделирован с помощью воздушного винта, вырезанного из липовой дощечки, насаженной на деревянную палочку диаметром 4-5 мм, и длиной 100мм. Для запуска винта взаимно противоположными движениями рук придают ему быстрое вращение. Винт взлетает к потолку, а по мере уменьшения скорости вращения медленно опускается вниз [2, с.208].

2.6. Парашюты

В 1911г. наш соотечественник Г. Е. Котельников изобрел первый ранцевый авиационный парашют, который стал необходимой принадлежностью экипажа военных и экспериментальных самолётов.

В парашютной технике, наоборот, стремятся как можно больше увеличить лобовое сопротивление с тем, чтобы больше затормозить движение падающего тела.

После раскрытия парашюта скорость падения резко уменьшится и с некоторого момента, когда аэродинамическое сопротивление купола парашюта станет равным весу парашютиста вместе с парашютом, наступит спуск с постоянной скоростью. Эта скорость легко подсчитывается, если приравнять силу тяжести опускаемого тела силе аэродинамического сопротивления. ($P=F_{\text{сопр}}$).

Из формулы $P=F_c=C_x S \frac{\rho V^2}{2}$ (расчет силы лобового сопротивления) находим $V_{\text{спуска}}$, где C_x - коэффициент лобового сопротивления парашютного купола

$\rho_{\text{возд}},$ кг/м ³	C_x	$S, \text{ м}^2$	$m_{\text{пар-та}},$ кг	$m_{\text{пар}}, \text{ кг}$	$P=F_c=C_x S \frac{\rho V^2}{2}$,Н	$V_{\text{спуска}} = \sqrt{\frac{2P}{C_x \rho S_{\text{парашюта}}}}$ м/с
1,25	0,75	0,0628	$5 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$7,7 \cdot 10^{-2}$	0,51

Парашют используется и для торможения самолёта во время пробега по земле. Он «выбрасывается» сзади самолёта в тот момент, когда самолёт чуть коснётся колёсами земли, и тянет самолёт назад, значительно сокращая пробег (Приложение 1, рис.7а,7б).

2.7. Встречные поезда

Стоя на перроне в ожидании своего поезда, каждый раз слышу, как дежурный по вокзалу предупреждает: «Уважаемые пассажиры, будьте осторожны, не стойте у края платформы и соблюдайте правила личной безопасности». Почему нельзя стоять у края платформы? Оказывается, и это может объяснить закон Бернулли.

Впереди быстро идущего поезда создается фронт высокого давления, а за ним – область низкого давления. Когда встречные поезда разъезжаются, стекла в вагонах могут быть выдавлены наружу, поскольку между поездами возникает область пониженного давления. Поэтому скоростные поезда при встрече должны замедлить ход (Приложение 1, рис.8а,8б).

Так же опасно находиться на ж.д. платформе близко к ее краю пассажирам, поэтому он отделен ограничительной линией на расстоянии 0,5 м (при скорости до 140 км/ч на расстоянии 2 м от крайнего рельса, а при скорости больше 140 км/ч на расстоянии 5м)[1].

2.8. Парение шарика в воздушном потоке

Понижением статического давления в воздушном потоке можно объяснить парение в нем легкого теннисного шарика.

Для демонстрации опыта воздухоудку выходным отверстием направляем вертикально вверх. В установившийся воздушный поток помещаем шарик на некотором расстоянии от выходного отверстия воздухоудки. Шарик парит в воздушном потоке.

Регулируя скорость потока воздуха, добиваемся зависания шарика на различной высоте. Устойчивое положение шарика в воздухе создается благодаря наличию в потоке бокового статического давления, меньшего чем атмосферное. Сила тяжести, действующая на шарик, уравнивается силой динамического давления (Приложение 1, рис.9а,9б).

Если медленно поворачивать воздухоудку на угол до 45°, то можно наблюдать, как шарик продолжает висеть в воздухе при наклонном направлении потока. В этом случае сила тяжести P уравнивается подсасывающим действием струи (сила F_1) и динамическим давлением сила F_2 . [8, с. 94-95]

2.9. Эффект Магнуса

Эффект описан немецким физиком Генрихом Густавом Магнусом в 1853 году.

Эффектом Магнуса называется явление возникновения силы, перпендикулярной к потоку, при обтекании вращающегося тела.

Если из тонкой бумаги склеить цилиндр и дать ему возможность скатиться с наклонной плоскости, то он не будет двигаться по параболе (Приложение 1, рис.10, рис.11).

Это явление называется эффектом Магнуса, в результате которого образуется сила, действующая на тело и направленная перпендикулярно направлению потока. Это является результатом совместного воздействия таких физических явлений, как эффект Бернулли и образования пограничного слоя в среде вокруг обтекаемого объекта.

Для проверки данного явления намотаем на цилиндр ленту. Резко дернув в горизонтальном направлении палочку, прикрепленную к ленте, мы сообщим цилиндру вращение вокруг своей оси и движение вперед, поэтому давление на цилиндр снизу будет больше, чем сверху; цилиндр поднимется на некоторую высоту над столом, а затем плавно опустится на пол. Проведенный опыт подтвердил правильность явления.

Формула для расчета подъемной силы для тел разной формы была получена великим русским ученым Н. Е. Жуковским: $F = \frac{k\rho v^2 S}{2}$, где ρ — плотность воздуха (кг/м^3); v — скорость набегающего потока (м/с); S — характерная площадь (м^2); k — коэффициент подъемной силы. Коэффициент подъемной силы определяется опытным путем и имеет табличные значения: у тела в форме конуса $k = 0.4$; у тела в форме шара $k = 0.6$; у тела в форме цилиндра $k = 0.5$.

Применение: Эффект проявляется на телах вращения и находит свое применение: при разделении смешанных жидкостей на фазы; в баллистике; в конструировании воздушных змеев; в ветроэнергетических установках; в спортивных играх с мячом; судостроении т.д.

В играх с мячом спортсмены широко используют так называемые «резаные» подачи мяча. Так, ударя по футбольному мячу сбоку, спортсмен заставляет мяч не только двигаться по выбранному направлению, но и вращаться. Результатом движения мяча является сложная криволинейная траектория, поэтому мяч огибает стоящих на его пути игроков. Такой удар в футболе иногда называют «сухой лист», т.к. у мяча, как и у падающего листа, сложная траектория движения [10, с. 185-186] (Приложение 1, рис.12).

2.10. Трубка Пито

Трубка Пито применяется для измерения разности давлений в двух точках, то есть с помощью этой трубки можно найти динамическое давление. Для жидкостей и газов играет роль манометра, один конец которого направлен навстречу потоку, а другой

выступает из него и подключен к прибору, который измеряет давление. Имеет вид буквы "Г". Перед отверстием 1 скорость уменьшается до значения $v_1 = 0$, а в точке 2 скорость $v_2 = v$ (скорости воздушного потока), следовательно $p_2 = p_{\text{атм}}$ (статическое давление), а p_1 (динамическое давление) $> p_{\text{атм}}$, при этом $h_1 = h_2$

Из уравнения Бернулли следует:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_{\text{атм}} + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

$$p_1 - p_{\text{атм}} = \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

$$\Delta p = \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

$$v_{\text{возд}} = v_2 = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad v_{\text{возд1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,006 \cdot 1000 \cdot 9,8}{1,25}} = 9,7 \text{ м/с} \quad v_{\text{возд2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,008 \cdot 1000 \cdot 9,8}{1,25}} = 11,2 \text{ м/с}$$

Микроманометром с трубкой Пито мы измерили скорость потока воздуха $v_{\text{возд1}}$, выходящего из фена, а затем, создав модель трубки Пито, проверили полученный результат ($v_{\text{возд2}}$).

Трубка Пито является главной частью спидометра самолета, с помощью которого определяют скорость самолета относительно воздуха. Радиолокатором определяют скорость самолета относительно земли. Исходя из этого, можно рассчитать скорость ветра, что необходимо учитывать при полете (Приложение 1, рис.13а,13б,13в).

2.11. Распределение давления в струе воздуха

2.11.1. Создание подъемной силы воздушным потоком («Срыв» крыши)

С точки зрения аэродинамики, воздействие ветра на крышу аналогично влиянию скоростного напора на крыло самолета. В обоих случаях создается подъемная сила. По закону Бернулли, если поток воздуха (жидкости) сужается, то в нем создается разрежение. Именно этому закону обязаны снесенные ураганом крыши.

Сконструировав модель дома, создав феном набегающий поток ветра, мы проверили на практике справедливость данного закона.

Уменьшение давления над крышей дома при большой скорости ветра приводит к ее срыву. Та сторона крыши, которая обращена к ветру, прижимается потоком, а другая, при некоторой скорости потока, поднимается и располагается горизонтально в направлении потока. Наличие слуховых окон позволяет несколько сравнить давление в чердачном помещении и над крышей, тем самым снизив аэродинамическое воздействие ветра [8, с.94] (Приложение 1, рис.14а,14б,14в).

2.11.2. Парение картонного диска

В процессе экспериментов был создан прибор, состоящий из катушки, легкого картонного диска и швейной иглы. В центре диска укреплен небольшой стержень в виде иглы диаметром 1мм и длиной 55мм.

Картонный диск ничем не удерживается, а стерженек свободно выходит в катушку и является лишь направляющим, чтобы диск не смещался в стороны. С помощью воздуходувки сильно продуваем воздух через отверстие в катушке, удерживая картон в нижнем положении. Давление между картоном и катушкой становится ниже атмосферного, поэтому диск приподнимается к катушке и удерживается у ее нижнего конца все время, пока продувается воздух. Следовательно, опыт показал, что большая скорость истечения воздуха в щель между диском и катушкой вызывает понижение давления между ними и атмосферное давление снизу прижимает картонный диск к катушке. [8, с.93] (Приложение 1, рис.15а,15б).

Заключение

1. Закончив исследование, мы убедились, что выдвинутая гипотеза полностью подтверждается: в лабораторных условиях можно проверить главный закон гидро-, аэродинамики, закон Д. Бернулли.

2. Рассматривая уравнение Бернулли, как следствие закона сохранения энергии, мы в процессе эксперимента убедились, что давление текущей несжимаемой жидкости (и газа) больше там, где скорость ее течения меньше, и, наоборот, меньше там, где скорость ее течения больше.

3. В процессе работы мы применяли закон Бернулли к конкретным условиям поставленной задачи, выполняли измерения, делали расчеты, строили графики, сопоставляли полученные результаты с табличными значениями, что потом отразилось в работе.

4. Экспериментально подтвердили закон Бернулли в результате исследовательской деятельности и конструировании простейших самодельных приборов, которые в дальнейшем могут быть использованы как демонстрационное наглядное пособие на уроках физики, а в элективном курсе как отдельные экспериментальные задачи.

5. Работа для меня была полезной в плане расширения знаний в области физики, гидро- и аэродинамики.

Список использованных источников

1. ОАО «РЖД» Распоряжение от 24.12.12 №2665р «Об утверждении правил по безопасному нахождению работников ОАО «РЖД» на железнодорожных путях»
2. Глазырин А.И. самодельные демонстрационные приборы по физике и опыты с ними. Из-во Учпедгиз, Москва, 1960.
3. Енахович А.С. справочник по физике. Из-во «просвещение», М., 1978.
4. Знаменский П.А. Методика преподавания физики. Из-во Учпедгиз, Ленинград, 1954.
5. Кабардин О. Ф. В. А. Орлов, А. В. Пономарева. Факультативный курс физики: 8 кл. Из-во 3-е, перераб. М.:»Просвещение», 1985.
6. Казневский В.П. Аэродинамика в природе и технике. Из-во М., «Просвещение», 1985.
7. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. Том 1. Из-во «Наука». М., 1985.
8. Покровский А.А. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе. Ч. 1. Механика, молекулярная физика, основы электродинамики. Из-во 3-е, перераб. М., «Просвещение», 1978.
9. Покровский А.А. Учебное оборудование по физике в средней школе. Из-во М., «Просвещение», 1973.
10. Шахмаев Н.М., Шахмаев С.Н., Шовдиев Д.Ш. Физика 9 класс. Из-во М., «Просвещение» 1994.
11. <http://avia.pro/blog/vertolet-lomonosova>
12. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1



Рис. 1а



Рис. 1б

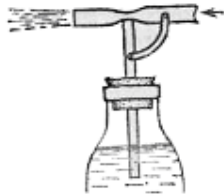


Рис. 3а



Рис. 3б



Рис. 4



Рис. 5а



Рис. 5б

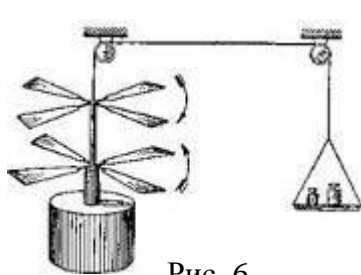


Рис. 6

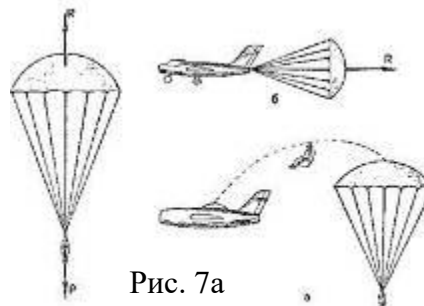


Рис. 7а

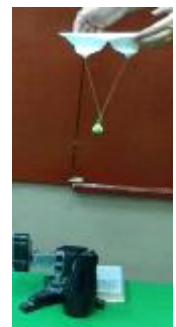


Рис. 7б

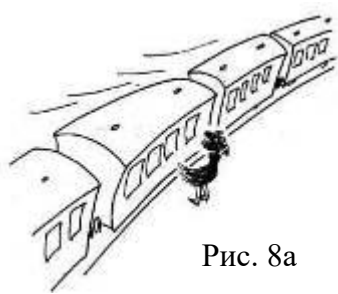


Рис. 8а



Рис. 8б

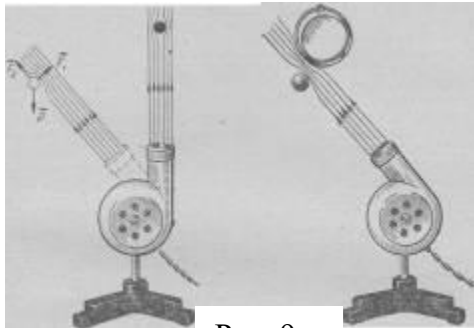


Рис. 9а



Рис. 9б

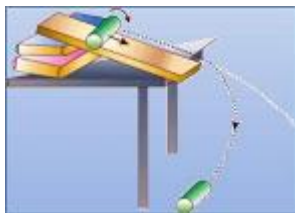


Рис. 10



Рис. 11



Рис. 12

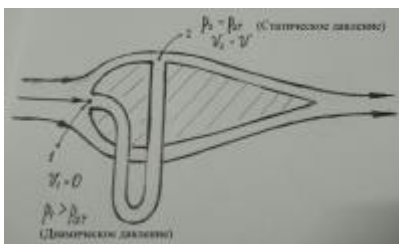


Рис. 13а



Рис. 13б



Рис. 13в

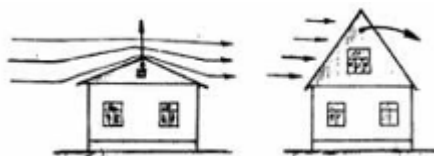


Рис. 14а



Рис. 14б



Рис. 14в

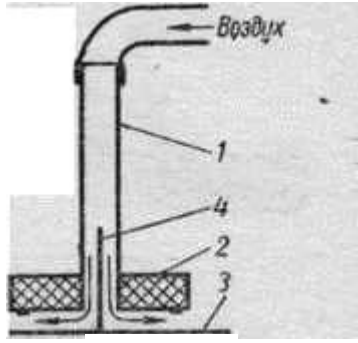


Рис. 15а



Рис. 15б

Приложение 2

Задача: определить поток газа Q через трубку Вентури.

Пусть газ не сжимаем. $\rho = \text{const}$ $\vartheta_1 S_1 = \vartheta_2 S_2$ (уравнение непрерывности, в основе которого лежит закон Ломоносова о сохранении вещества)

$Q = \vartheta_1 S_1$ трубка горизонтальна $\Rightarrow h = \text{const}$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho \vartheta_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho \vartheta_2^2$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho (\vartheta_2^2 - \vartheta_1^2)$$

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{\vartheta_1^2 S_1^2}{S_2^2} - \vartheta_1^2 \right) = \frac{1}{2} \rho \vartheta_1^2 \left(\frac{S_1^2 - S_2^2}{S_2^2} \right)$$

$$\vartheta_1 S_1 = \vartheta_2 S_2$$

$$\vartheta_2 = \frac{\vartheta_1 S_1}{S_2}$$

$$\vartheta_1^2 = \frac{2 \Delta p S_2^2}{\rho (S_1^2 - S_2^2)}$$

$$\vartheta_1 = \sqrt{\frac{2 \Delta p S_2^2}{\rho (S_1^2 - S_2^2)}} = S_2 \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho (S_1^2 - S_2^2)}}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho (S_1^2 - S_2^2)}} * S_1 * S_2$$

$$\Delta p = \rho_{\text{ж}} g \Delta h$$

Таблица 1

физ. величина	формула	результат
$\rho_{\text{возд}}$	-	1,25 кг/м ³
d_1	-	0,05 м
d_2	-	0,013 м
Δh	-	0,05 м
Δp	$\Delta p = \rho_{\text{ж}} g \Delta h$	490 Па

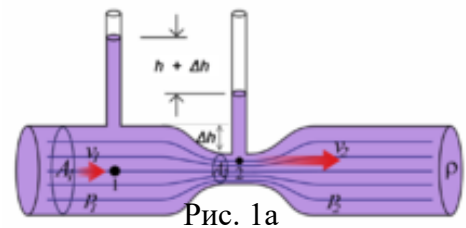


Рис. 1а

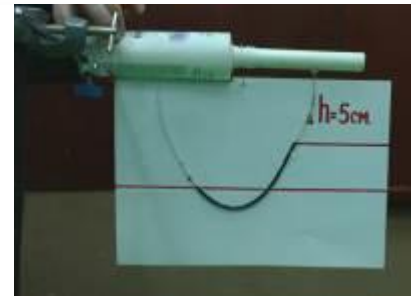


Рис. 1б

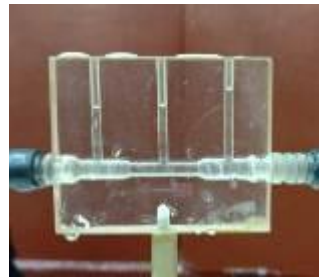


Рис. 1г



Рис. 1в

S_1	$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$	0,0019625 м ²
S_2	$S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$	0,000132665 м ²
v_1	$v_1 = S_2 \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho (S_1^2 - S_2^2)}}$	0,19 м/с
v_2	$v_2 = \frac{v_1 S_1}{S_2}$	2,81 м/с
Q	$Q = \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho (S_1^2 - S_2^2)}} \cdot S_1 \cdot S_2$	0,0004 м ³ /с

Приложение 3

Задача: рассчитать скорость вытекания жидкости из отверстия в широком сосуде

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$p_1 = p_{\text{атм}} \quad h_1 = H \quad v = 0 \text{ (сосуд широкий)}$$

$$p_2 = p_{\text{атм}} + \rho g h_2 \quad h_2 = 0 \quad v_2 = v$$

$$p_{\text{атм}} + \rho g h + 0 = p_{\text{атм}} + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$\rho g h = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$2gh = v^2$$

$$v = \sqrt{2gh} \text{ Формула Торричелли}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,115}$$

$$= 1,5 \text{ м/с}$$

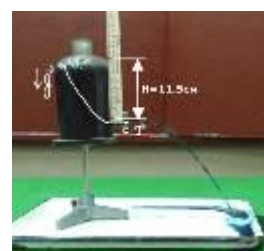


Рис.2а

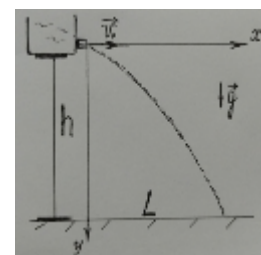


Рис.2б

Таблица 1а

L, м	h, м	g, м/с ²	$t = \sqrt{\frac{2g}{h}}$, с	$V = \frac{L}{t}$, м/с
0,3	0,28	9,8	0,2	1,49

Приложение 4

Таблица 2

Угол атаки, °	m ₁ , г	m ₂ , г	F _{T1} =mg, Н	F _{T2} =mg, Н	F _{T1} =F _{y1} , Н	F _{T2} =F _{y2} , Н
0	5	6	5*10 ⁻⁴	6*10 ⁻⁴	5*10 ⁻⁴	6*10 ⁻⁴
5	6	8,5	6*10 ⁻⁴	8,5*10 ⁻⁴	6*10 ⁻⁴	8,5*10 ⁻⁴
10	8	11	8*10 ⁻⁴	11*10 ⁻⁴	8*10 ⁻⁴	11*10 ⁻⁴
15	10	14	10 ⁻³	14*10 ⁻⁴	10 ⁻³	14*10 ⁻⁴
20	11	18	11*10 ⁻⁴	18*10 ⁻⁴	11*10 ⁻⁴	18*10 ⁻⁴

График 1

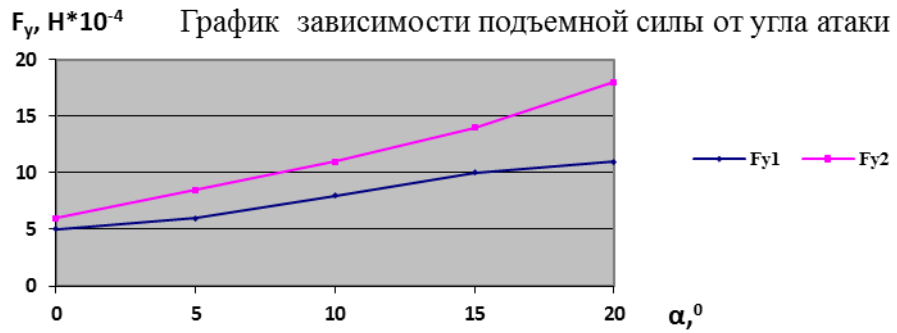


Таблица 3

$\alpha, ^\circ$	$\Delta p_{\text{над}}, \text{ММ.ВОД.СТ.}$	$\Delta p_{\text{под}}, \text{ММ.ВОД.СТ.}$
0	12	7
5	15	7.5
10	16	8
15	14	8
20	13	7
30	12	6

График 2

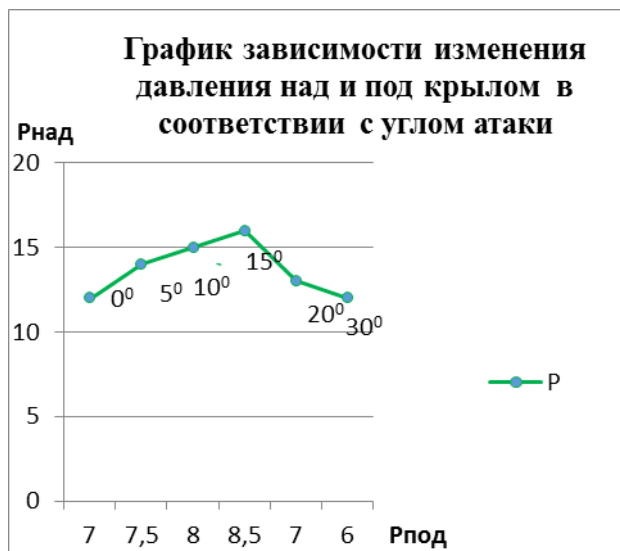


Рис.3