

4. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. — М.: Наука, 1996. — С. 81–83.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. — Т. II. — М.: Наука, 1985. — С. 284–290.
6. Савельев И.В. Курс общей физики. — Кн. 3. Молекулярная физика и термодинамика. — М.: АСТ, 2001. — 201 с.

УДК 378.147:372.853

Л.Ф.Ильина, Д.К.Тажобаева

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

*Мектептегі физика курсында типтік бағдарлама бойынша сұйықтар мен газдардың механикасы қарастырылмайды. Бұл бөлім авторлық бағдарлама бойынша физика-математикалық сыныптарда ғана оқылады. Тақырып бойынша эксперимент жасау көп қиындықтар келтіреді, өйткені мектептерде керек құрал-жабдықтар жоқ. Компьютерлік лабораториялық тренажерлер физикалық виртуалды ортаны жасайды, онда оқушылар нақты құралдар қолданбай лабораториялық жұмыстар істей алады.*

*The mechanics of liquids and gases in a school course of physics under typical programs is not considered. It is studied in physical and mathematical classes, basically, under author's programs. Section not traditional, difficult enough, therefore its development without application of modern interactive technologies inconveniently. Special problems arise at carrying out of experiments on a theme, as schools are not arranging the corresponding equipment. The laboratory computer training apparatus creating the virtual physical environment in which schoolchildren could to perform laboratory works, without using the real equipment, but, acquiring the same knowledge and skills, allows solve many problems.*

### Введение

Знание законов сохранения дает возможность познакомиться с основными закономерностями движения жидкостей и газов, которое весьма распространено в природе и технике. Двигается воздух в земной атмосфере; вода — в океанах, морях, озерах, реках; вода, нефть и газ — в трубопроводах; кровь — в сосудах; соки — в растениях и т.д. [1].

Изучению движения жидкостей и газов посвящен специальный раздел механики — механика жидкостей и газов.

#### 1. Идеальная жидкость. Ламинарное и турбулентное течение.

##### Трубка тока. Линия тока

*Идеальная жидкость — несжимаемая жидкость, в которой отсутствует внутреннее трение.*

*Ламинарное течение (от лат. *lamina* — слой) — такое, при котором жидкость (газ) течет как бы разделенной на слои, которые скользят друг относительно друга, не перемешиваясь. Обычно это бывает при небольших скоростях жидкости. Если в ламинарный поток воды опустить несколько кристалликов перманганата калия (марганцовки), то образовавшиеся от их растворения струйки подкрашенной воды, не размываясь, сохраняются на протяжении всего потока. Это свидетельствует о стационарности (постоянстве во времени) ламинарного течения.*

При увеличении скорости характер течения жидкости изменяется.

*Турбулентное течение (от лат. *turbulentus* — вихревой) — такое, при котором слои жидкости начинают беспорядочно перемешиваться, возникают завихрения [2].*

В дальнейшем мы будем рассматривать ламинарное течение идеальной жидкости.

Для описания движения жидкости можно поступить двумя способами: можно проследить за движением каждой частицы жидкости, т.е. указать положение и скорость ее в любой момент времени, тем самым будут определены и траектории всех частиц. А можно иначе. Можно проследить, что происходит с течением времени в каждой точке пространства. Точнее, можно указать величины и направления скоростей различных частиц жидкости, которые в различные моменты времени прохо-

дят одну и ту же точку в пространстве. Если взять всевозможные точки пространства и зафиксировать определенный момент времени, то получится мгновенная картина распределения скоростей жидкости — поле скоростей.

В каждой точке пространства будет указан вектор скорости той частицы, которая в этот момент проходит через эту точку. *Линия, касательная к которой указывает направление скорости частицы жидкости, проходящей в рассматриваемый момент через точку касания, называется линией тока* (см. рис. 1). Проводят их таким образом, чтобы их густота соответствовала скорости течения (чем гуще, тем больше скорость течения в этом участке).

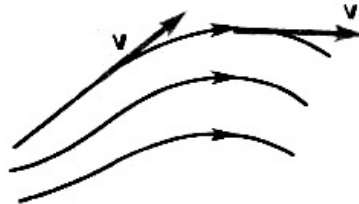


Рис. 1

При ламинарном течении поле скоростей и, следовательно, линии тока, не меняются с течением времени.

В случае нестационарного течения линии тока не совпадают с траекториями частиц.

Возьмем произвольный замкнутый кусочек и через каждую его точку в один и тот же момент времени проведем линии тока. Часть жидкости, ограниченную линиями тока, называют трубкой тока.

Так как скорости направлены по касательным, то при течении жидкость не может пересекать боковую поверхность трубки тока, т.е. трубка тока подобна жесткой трубке. На такие трубки можно разбить все пространство, занимаемое жидкостью.

Так как скорости направлены по касательным, то при течении жидкость не может пересекать боковую поверхность трубки тока. Трубка тока — как боковая поверхность жесткой трубки. На такие трубки можно разбить все пространство, занимаемое жидкостью [3].

## 2. Уравнение неразрывности

Рассмотрим какую-либо трубку тока. Выберем два ее сечения, перпендикулярные направлению скорости (см. рис. 2). Считаем, что жидкость несжимаема ( $\rho = \text{const}$ ), течение ламинарное.

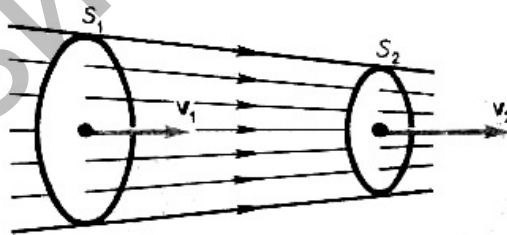


Рис. 2

За время  $\Delta t$  через сечение  $s$  проходит масса жидкости

$$m = \rho V = \rho sh = \rho s v \Delta t. \quad (1)$$

В случае стационарного течения масса, проходящая через сечения  $s_1$  и  $s_2$ , одна и та же:

$$\rho v_1 s_1 \Delta t = \rho v_2 s_2 \Delta t, \quad (2)$$

$$s_1 v_1 = s_2 v_2 = \text{const}. \quad (3)$$

Если бы это не соблюдалось, то масса была бы разной, а это противоречит закону сохранения массы.

Это — *уравнение неразрывности: произведение скорости течения несжимаемой жидкости на поперечное сечение трубки тока есть величина постоянная для данной трубки тока* [4].

### 3. Закон Бернулли. Уравнение Бернулли. Формула Торричелли

Так как при переходе жидкости из широкого участка трубы в узкий скорость течения увеличивается, значит, где-то на границе между узким и широким участками трубы жидкость получает ускорение. А по второму закону Ньютона для этого на границе должна действовать какая-то сила.

Этой силой может быть только разность между силами давления в широком и узком участках трубы (ведь труба горизонтальная, так что сила тяжести везде одинаковая). В широком участке трубы давление должно быть больше, чем в узком.

Этот парадоксальный, на первый взгляд, вывод следует из закона сохранения энергии.

Действительно, если в узких местах трубы увеличивается скорость жидкости, то увеличивается, значит, и ее кинетическая энергия. Жидкость идеальная, т.е. течет без трения, значит, этот прирост должен компенсироваться уменьшением потенциальной энергии, потому что полная энергия должна оставаться постоянной.

О какой потенциальной энергии идет речь? Это не может быть  $mgh$ , так как труба горизонтальная, и высота  $h$  везде одна и та же. Значит, остается только потенциальная энергия, связанная с силой упругости. Сила давления жидкости — это и есть сила упругости сжатой жидкости. В широкой части трубы жидкость несколько сильнее сжата, чем в узкой. Правда, мы считаем жидкость несжимаемой, но это значит, что она не настолько сжата, чтобы сколько-нибудь изменился ее объем. Однако даже очень малое сжатие вызывает появление сил упругости.

В этом и состоит закон (принцип) Бернулли (открыт в 1758 г.): *давление жидкости, текущей в трубе, больше в тех частях трубы, где скорость ее движения меньше, и наоборот (где скорость больше — давление меньше).*

Все эти рассуждения относились к случаю, когда жидкость, текущую по трубе, можно считать замкнутой системой («жидкость–труба»). В реальных условиях жидкость течет в трубе под действием внешней силы, создающей разность давлений на концах, существует и сила трения. Но принцип Бернулли остается верным и в этом случае, что мы сейчас и докажем.

Рассмотрим участок трубы (см. рис. 3) [3].

Пусть в месте сечения  $s_1$  давление  $p_1$ , скорость  $v_1$  на высоте  $h_1$  и аналогично в месте сечения  $s_2$  давление  $p_2$  и скорость  $v_2$  на высоте  $h_2$ . За небольшой промежуток времени жидкость переместилась к сечениям  $s'_1$  и  $s'_2$ .

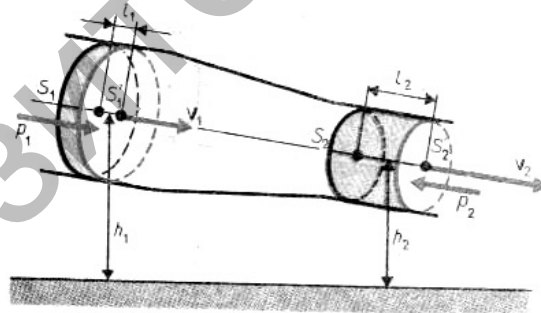


Рис. 3

Жидкость перемещается под давлением, создаваемым внешними силами. По закону сохранения энергии

$$E_{k1} + E_{p1} + A_1 = E_{k2} + E_{p2} + A_2, \quad (4)$$

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 + p_1 s_1 v_1 \Delta t = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2 + p_2 s_2 v_2 \Delta t. \quad (5)$$

Согласно уравнению неразрывности

$$s_1 v_1 = s_2 v_2 \text{ или } s_1 v_1 \Delta t = s_2 v_2 \Delta t = \Delta V. \quad (6)$$

Поделим (5) на (6):

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gh_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho gh_2 + p_2;$$

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = const. \quad (7)$$

Это — уравнение Бернулли: выражение закона сохранения энергии применительно к установившемуся течению идеальной жидкости. Оно хорошо выполняется и для реальных жидкостей, в которых невелико внутреннее трение. Здесь  $p$  — статическое давление (давление жидкости на поверхность обтекаемого ею тела);  $\frac{\rho v^2}{2}$  — динамическое давление;  $\rho gh$  — гидростатическое давление.

Если труба горизонтальна ( $h_1 = h_2$ ), то уравнение Бернулли примет вид:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = const, \quad (8)$$

где  $\frac{\rho v^2}{2} + p$  — полное давление.

Отсюда видно, что чем больше  $v$  (чем меньше  $s$ ), тем меньше статическое давление, о чем и говорит закон Бернулли. Это проверено опытным путем с помощью манометров (см. рис. 4) [5].

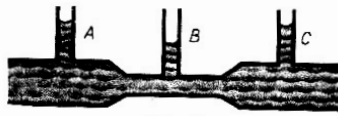


Рис. 4

Уравнение Бернулли, в частности, используется для нахождения скорости истечения жидкости через отверстие в стенке или на дне сосуда. Рассмотрим цилиндрический сосуд с жидкостью, в боковой стенке которого на некоторой глубине ниже уровня жидкости имеется маленькое отверстие [6].

Рассмотрим два сечения на уровне  $h_1$  свободной поверхности жидкости в сосуде и на уровне  $h_2$  выхода ее из отверстия (см. рис. 5).

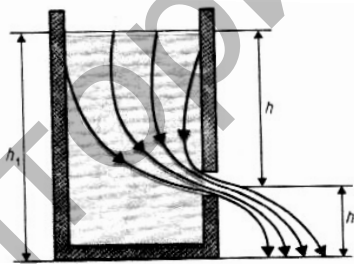


Рис. 5

Напишем для них уравнение Бернулли:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gh_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho gh_2 + p. \quad (9)$$

Так как давления  $p_1$  и  $p_2$  в жидкости на уровнях первого и второго сечений равны атмосферному, т.е.  $p_1 = p_2$ , то уравнение Бернулли примет вид:

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{v_2^2}{2} + gh_2. \quad (10)$$

Если  $s_1 \gg s_2$ , то по уравнению неразрывности  $v_1 \ll v_2$ , то есть членом  $\frac{v_1^2}{2}$  можно пренебречь, поэтому:

$$v_2^2 = 2g(h_1 - h_2), \quad (11)$$

$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}. \quad (12)$$

Это выражение получило название формулы Торричелли. Она используется при решении задач на истечение жидкости из отверстия [5].

Раздел «Механика жидкостей и газов» имеет большое практическое значение. Уравнение Бернулли позволяет измерять скорость потока жидкости. На нем основано действие водоструйного насоса, действие пульверизатора [3].

Закон Бернулли относится не только к жидкости, но и к газу (если газ не сжимается настолько, чтобы изменился его объем). Благодаря закону Бернулли летают самолеты [5].

#### 4. Виртуальная лабораторная работа

Многие эксперименты, сыгравшие значительную роль в развитии физики и поэтому важные для формирования у учащихся адекватных представлений о Мире, невозможно поставить в учебной физической лаборатории. Причины могут быть различны:

- длительность эксперимента;
- параметры установки (высокие давления, низкие температуры и пр.);
- стоимость и габариты оборудования.

В обычной учебной лаборатории также не всегда представляется возможным организовать фронтальное проведение всех предусмотренных учебным планом работ.

Лабораторные компьютерные тренажеры, создающие виртуальную физическую среду, в которой учащиеся могут выполнять лабораторные работы, не используя реального оборудования, но, приобретая те же знания и навыки, позволяют решить многие проблемы.

Рассмотрим пример выполнения виртуальной лабораторной работы «Изучение движения тел при наличии сил вязкого трения» (см. рис. 6–12) [7].

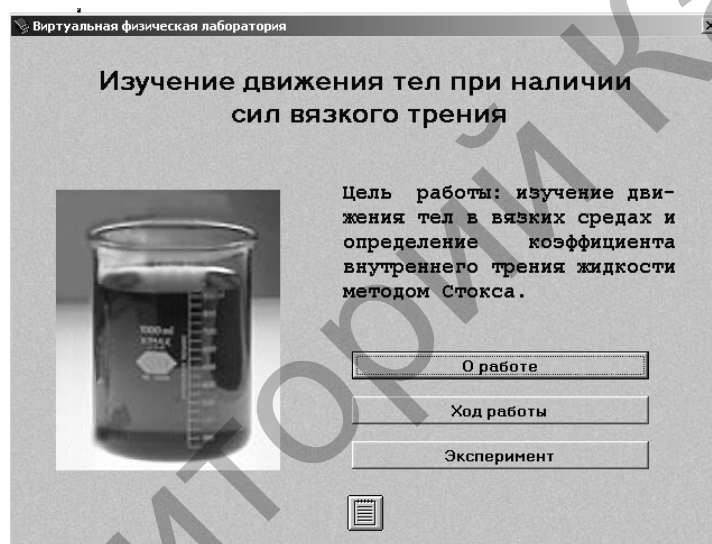


Рис. 6

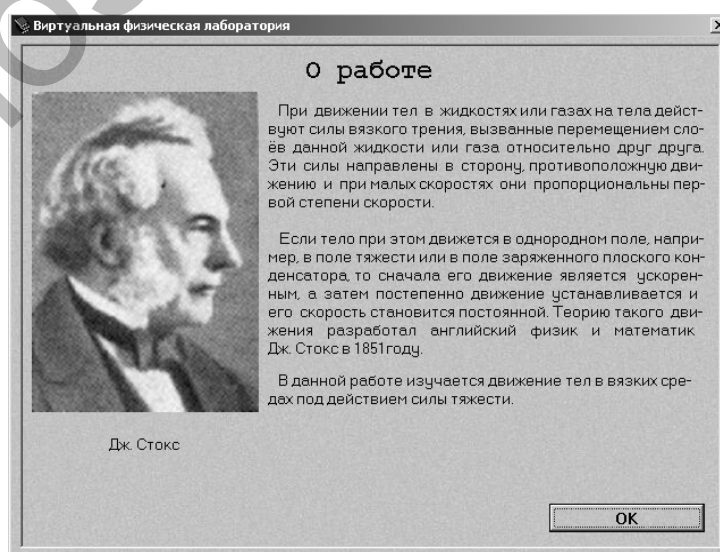


Рис. 7

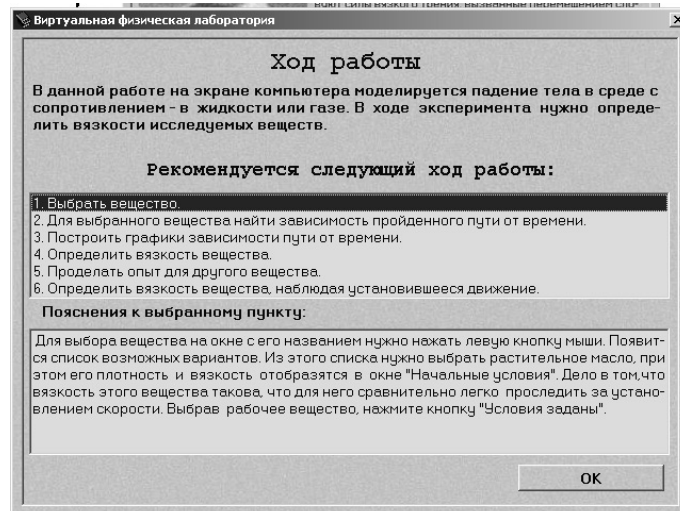


Рис. 8

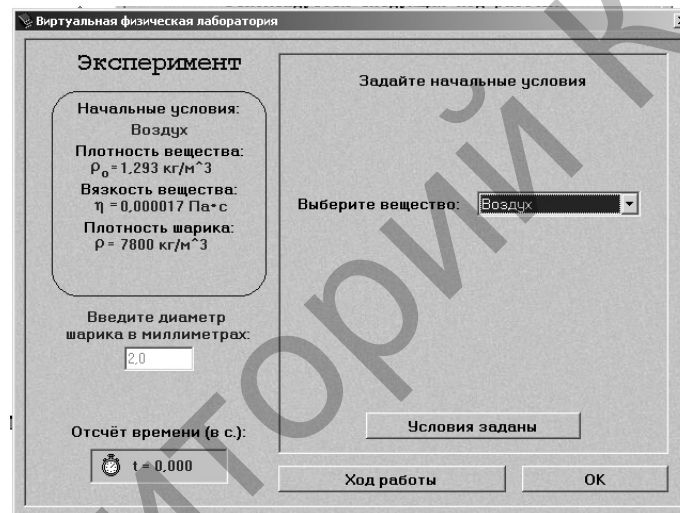


Рис. 9



Рис. 10

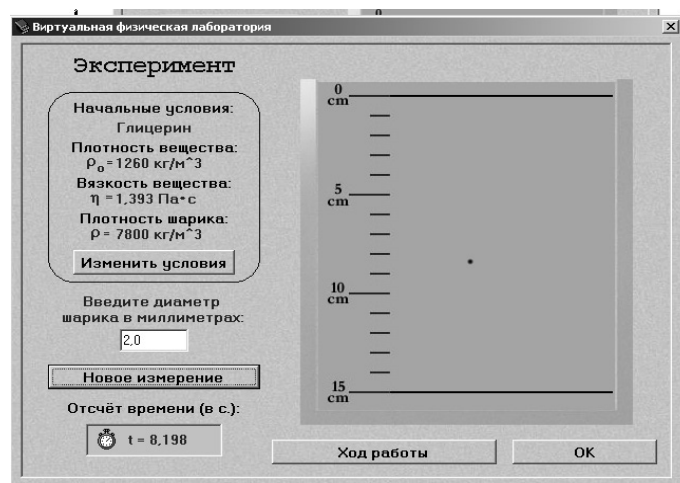


Рис. 11



Рис. 12

### 5. Проверка уровня подготовки учащихся по теме

Для проверки знаний учащихся используются различные формы контроля. Физический диктант — одна из форм контроля знаний по теме или целому разделу. Приведем пример вопросов, включаемых в физические диктанты по теме.

#### 1 вариант.

1. Идеальная жидкость — это...
2. Линии тока — это...
3. Уравнение Бернулли.
4. Формула Торричелли.

#### 2 вариант.

1. Трубка тока — это...
2. Уравнение неразрывности.
3. Закон Бернулли.
4. Эффект Магнуса.

Следующий вид опроса — тесты. В последнее время тестовые вопросы в системе письменной проверки знаний учащихся проводятся очень часто. Тесты, в зависимости от преследуемых целей, бывают различных видов: закрытые, открытые, смешанные.

Преимущества тестов перед другими видами письменных работ:

- возможность проверить усвоение значительного объема знаний;
- проверка выполненных работ не занимает у учителя значительного времени;

– большое число вопросов, включаемых в задание, позволяют определить различные уровни усвоения учебного материала; есть возможность для учеников с различными способностями составить разноуровневые задания, т.е. использовать технологию дифференциации знаний.

Тесты проводятся по заданиям из 15–20 вопросов, составленных так, что каждый из них проверяет, как правило, один из элементов знаний по теме или разделу программы. Возможность дать ответ на такое сравнительно большое число вопросов обеспечивается тем, что на каждый вопрос имеются варианты ответов, из которых учащийся должен выбрать содержащийся в этом ряду один верный. В качестве тестовых вопросов можно также использовать соответствующие задачи.

Оценка знаний производится по числу правильных ответов. Приведем пример тестовых вопросов по теме.

1. Жидкость течет через трубу с переменным поперечным сечением (см. рис. 13).

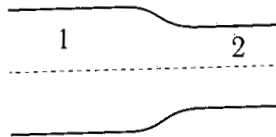


Рис. 13

В каком сечении трубы скорость  $v$  течения жидкости и ее давление  $p$  на стенки максимальны?

- А.  $v$  и  $p$  максимальны в сечении 1.
- Б.  $v$  и  $p$  максимальны в сечении 2.
- В.  $v$  максимальна в сечении 1,  $p$  — в сечении 2.
- Г.  $v$  максимальна в сечении 2,  $p$  — в сечении 1.

2. Катер движется по воде с постоянной скоростью  $v$ . Как зависит мощность катера от скорости, если известно, что сила сопротивления пропорциональна скорости катера?

- А.  $\sim v$ .
- Б.  $\sim v^2$ .
- В.  $\sim v^3$ .
- Г. Не зависит от  $v$ .

3. Жидкость течет через трубу с переменным поперечным сечением (см. рис. 14). В каком сечении трубы скорость  $v$  течения жидкости и ее давление  $p$  на стенки минимальны?



Рис. 14

- А.  $v$  и  $p$  минимальны в сечении 1.
- Б.  $v$  и  $p$  минимальны в сечении 2.
- В.  $v$  минимальна в сечении 1,  $p$  — в сечении 2.
- Г.  $v$  минимальна в сечении 2,  $p$  — в сечении 1.

4. Катер движется по воде с постоянной скоростью  $v$ . Как зависит мощность катера от скорости, если известно, что сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости катера?

- А.  $\sim v$ .
- Б.  $\sim v^3$ .
- В.  $\sim v^2$ .
- Г. Не зависит от  $v$ .

Приведем примеры задач по теме.

1. На столе стоит сосуд с водой, в боковой поверхности которого имеется малое отверстие, расположенное на расстоянии 25 см от дна сосуда и на расстоянии 16 см от уровня воды. Уровень воды в сосуде поддерживается постоянным. На каком расстоянии от сосуда по горизонтали струя воды падает на стол?

2. В дне цилиндрического сосуда диаметром 0,5 м имеется круглое отверстие диаметром 1 см. Найти скорость понижения уровня воды в сосуде для высоты  $h = 0,2$  м.

### Заключение

Итак, подведем итоги. Подраздел «Механика жидкостей и газов» более подробно изучают в классах физико-математического направления, хотя и в гуманитарных классах следует уделять большее внимание этому непростому разделу.

Тема «Механика жидкостей и газов» усваивается учащимися хорошо, несмотря на то, что раздел в обычной школьной программе лишь упоминается, является нетрадиционным, и почти все выносимые вопросы являются элементами вузовского курса.

В процессе работы нами был освоен и проанализирован теоретический материал по законам сохранения в курсе средней школы с использованием вузовской литературы; подобраны вопросы к физическим диктантам, тестовые вопросы и задачи, при этом в задачах необходимо было откорректировать их содержание так, чтобы оно стало доступно учащимся.

Этот раздел, с одной стороны, базируется на классическом содержании законов сохранения, освоение которых обеспечивается классическими методами, а с другой — до недавнего времени он вообще не рассматривался в курсе физики средней школы, откуда следует, что при его изучении потребовалось использование новых образовательных технологий, в частности, элементов вузовской технологии обучения в школе, которая относится к группе предметно-ориентированных технологий, технологии внешней и внутренней уровневой дифференциации, проблемного обучения, модульного обучения [6].

В процессе решения задач и выполнения физпрактикума по теме неизбежно было использование и других технологий из группы личностно-ориентированных, таких как технология коллективной мыслительной деятельности, технология обучения как учебного исследования и других.

Предлагаемый материал был обсужден на научно-методическом семинаре кафедры общей и теоретической физики, а его презентация вошла как составная часть в презентацию лекции по теме: «Механика жидкостей и газов» в курсе «Физика-1».

### Список литературы

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. — Т. 1. Механика. — М.: Наука, 1989. — 520 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие для вузов: В 5 кн. Кн. 1. Механика. — М.: ООО «Изд-во Астрель», ООО «Изд-во АСТ», 2001. — 336 с.
3. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. — М.: Высш. шк., 1990. — 478 с.
4. Пинский А.А., Разумовский В.Г., Бугаев А.И. и др. Физика и астрономия: Учебник для 9 кл. общеобразоват. шк. / Перераб. Р.Башарулы, Д.Казахбаевой, У.Токбергеновой. — Алматы: Просвещение-Казахстан, 2005. — 264 с.
5. Шахмаев Н.М., Шахмаев С.Н., Шодиев Д.Ш. Физика: Учебник для 9 кл. ср. шк. — М.: Просвещение, 1990. — 247 с.
6. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Методика преподавания нетрадиционных разделов физики в средней школе» для специальности: 050110 — «Физика» / Сост. Л.Ф.Ильина, И.Ф.Васильева. — Караганда: Изд-во КарГУ, 2007. — 165 с.
7. Толстик А.М. Виртуальная лаборатория по общей физике. — Томск: ТГУ, Ин-т дистанц. образования, 2004.