



ИНСТИТУТ СОДЕРЖАНИЯ И МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ

федеральное государственное
бюджетное научное учреждение

МЕТОДИЧЕСКИЙ КЕЙС (ФИЗИКА. 7 КЛАСС)

Гидростатическое давление

АВТОРЫ:

САУШКИНА ТАТЬЯНА ВЛАДИМИРОВНА,
заслуженный учитель Республики Мордовия,
почетный работник общего образования
Российской Федерации, учитель физики ГБОУ
Республики Мордовия «Республиканский
лицей для одарённых детей».

ЯКУТА АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
к. ф-м. н., старший научный сотрудник
лаборатории естественно-научного
образования ФГБНУ «ИСМО»

РЕЦЕНЗЕНТ:

АСАНОВА ЛИДИЯ ИВАНОВНА
к. п. н., старший научный сотрудник
лаборатории естественно-научного
образования ФГБНУ «ИСМО»

Аннотация

Методический кейс направлен на развитие методических компетенций педагогических работников.

Обоснование выбора темы кейса обусловлено следующими причинами.

1. Тема «Давление» предоставляет учителю большие возможности для демонстрации важности изучения физических явлений, наблюдаемых в различных жизненных ситуациях:

– уменьшение или увеличение давления в различных технических устройствах (широкие покрышки или гусеницы, колющие или режущие предметы);

– создание приборов для измерения давления (гидростатического, атмосферного и артериального);

– действие гидростатического давления на живые организмы (ныряльщики; глубоководные рыбы);

– связь атмосферного давления и природных явлений (климатические явления).

2. При изучении темы «Гидростатическое давление» обучающиеся решают значительное количество задач, формирующих естественно-научную грамотность.

3. В вариантах КИМ ОГЭ по физике и в заданиях различных олимпиадах школьников (особенно для обучающихся 7–9 классов) часто встречаются задачи, требующие определения давления.

4. Задачи, в которых с разных сторон анализируются эффекты, связанные с атмосферным и гидростатическим давлением, достаточно часто вызывают затруднения у обучающихся (задание № 16, 19 КИМ ОГЭ по физике – повышенной трудности, с развёрнутым ответом), хотя решение этих задач не требует привлечения каких-либо знаний, выходящих за рамки федеральной рабочей программы.

Указанные трудности связаны с тем, что для решения указанных задач обучающимся необходимо одновременно применять знания, относящиеся

к различным темам раздела «Механика»: «Динамика», «Статика и гидростатика», а также демонстрировать владение достаточно широким спектром умений.

Необходимые знания и умения

Для успешного решения задач на определение гидростатического давления обучающиеся должны *освоить элементы содержания*, относящиеся к различным темам.

По теме «Динамика»:

- Сила: направление, модуль точка приложения.
- Сложение сил, приложенных к одному телу (материальной точке), направленных вдоль одной прямой.

- Сила тяжести, вес тела.

По теме «Давление»:

- Давление, способы уменьшения и увеличения давления.
- Сила давления.

По теме «Статика и гидростатика»:

- Давление газа, зависимость давления газа от объёма и температуры.

- Передача давления твердыми телами, жидкостями и газами.

- Закон Паскаля.

- Гидростатическое давление, зависимость давления жидкости от глубины.

- Сообщающиеся сосуды.

- Атмосферное давление, измерение атмосферного давления.

Обучающиеся должны обладать следующими умениями:

- Применять основные понятия и законы механики при решении типовых учебных задач.

- Объяснять физические явления и процессы с опорой на изученные физические законы, выявляя причинно-следственные связи рассматриваемых явлений.

– Проводить опыты по наблюдению физических явлений: формулировать проверяемое предположение (гипотезу), собирать установку из предложенного оборудования, описывать ход эксперимента и используемые методы его проведения.

– Находить (получать) и использовать аналитические (формулы) и графические зависимости физические величин.

– Использовать правила сложения сил, действующих вдоль одной прямой, применять закон Паскаля и закон Архимеда.

– Проводить расчёты на основании имеющихся данных, анализировать полученные результаты (в том числе графические зависимости физических величин), корректировать методы решения с учётом полученных результатов, делать выводы.

При изучении физики на углублённом уровне предлагается дополнить предметное содержание рассмотрением задач на определение гидростатического давления в неоднородной жидкости. Данное умение позволит в ряде случаев упростить вычисление давления в сложных гидростатических системах. Также предлагается ввести понятие равнодействующей нескольких сил, не направленных вдоль одной прямой.

Методические рекомендации

1. Прежде чем переходить к объяснению способов определения гидростатического давления, необходимо напомнить обучающимся основные понятия, определения и законы:

- сила: направление, модуль, точка приложения;
- равнодействующая нескольких сил – сложение сил, направленных вдоль одной прямой;
- условие равновесия тела под действием нескольких сил, направленных вдоль одной прямой;
- сила тяжести, вес тела (в состоянии покоя);
- давление, сила давления;
- давление в газах;

- атмосферное давление;
- давление неподвижной жидкости;
- закон Паскаля.

Также необходимо актуализировать знания следующих определений и формул.

- Давление – физическая величина, численно равная отношению силы, действующей на некоторую поверхность перпендикулярно к ней, к площади этой поверхности; если сила равномерно распределена по поверхности площадью S , то давление p равно отношению модуля F этой силы к площади поверхности ($p = \frac{F}{S}$); в системе СИ единица измерения давления — Паскаль ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$).
- Сила давления (сила нормального давления) – сила, действующая по нормали на поверхность тела обычно со стороны молекул жидкой или газообразной среды ($F = pS$).
- Сила тяжести ($F = mg$, g – ускорение свободного падения, у поверхности Земли $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$), в системе СИ единица измерения силы – Ньютон ($1 \text{ Н} = 1 \text{ кг}\cdot\text{м/с}^2$).
- Равнодействующая сила – векторная (геометрическая) сумма всех действующих сил ($\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$), приложенных к данному телу (дополнительное предметное содержание).
- $\sum_i \vec{F}_i = 0$ – условие равновесия материальной точки (необходимо отметить, что условия равновесия протяжённого тела имеют более сложный вид).
- Гидростатическое давление – давление, которое создаёт жидкость, находящаяся в состоянии равновесия при наличии силы тяжести; в случае, если $g = \text{const}$, гидростатическое давление может найдено при помощи формулы $p = \rho gh$, где h – глубина (высота столба жидкости) измеряется в метрах, ρ – плотность жидкости на данной глубине (измеряется в кг/м^3).

- Закон Паскаля: давление, производимое внешними силами на покоящуюся жидкость (газ), передаётся без изменений жидкостью (газом) во все её точки одинаково по всем направлениям.
- Давление в жидкости на любой глубине h складывается из внешнего (например, атмосферного) давления на жидкость p_0 и гидростатического давления $p = \rho gh$ (то есть $p = p_0 + \rho gh$); важно отметить, что знак «+» не означает увеличение давления – в записанной формуле величину h следует понимать как изменение глубины (высоты столба жидкости): эта величина при погружении положительная, а при всплытии – отрицательная).
- Однородная покоящаяся жидкость в сообщающихся сосудах устанавливается на одном горизонтальном уровне.
- Если в сообщающихся сосудах находятся разнородные жидкости, то отношение высот столбов этих жидкостей над границей их раздела обратно пропорционально отношению плотностей этих жидкостей.

2) Подчеркивая важность экспериментальной составляющей при обучении физике, рекомендуется при помощи опытов продемонстрировать на уроках:

- зависимость гидростатического давления жидкости от высоты её столба (одна и та же жидкость, налитая в сосуд разных количествах); от плотности жидкости (разные жидкости при одинаковых высотах столбов);
- расположение уровней однородной жидкости в сообщающихся сосудах различной формы;
- расположение уровне разнородных несмешивающихся жидкостей в сообщающихся сосудах.

Далее рекомендуется предложить примерный алгоритм решения задач на расчет гидростатического давления.

Шаг 1. Изобразить схематично сосуд с жидкостью (если это ещё не сделано в условии задачи).

Шаг 2. Выяснить, учитывается ли внешнее давление в условиях данной задачи.

Шаг 3. Определить участки (объемы), где содержится газ.

Шаг 4. Обозначить цифрами или буквами точки, в которых определяется давление (целесообразно обозначить точки, соответствующие одинаковому давлению, одинаковыми цифрами или буквами). Для нахождения этих точек необходимо применить закон Паскаля.

Шаг 5. Применить формулу для расчёта гидростатического давления в условиях выбранной модели.

Примеры решения задач

Для успешного освоения темы «Гидростатическое давление» предлагается рассмотреть основные типы задач.

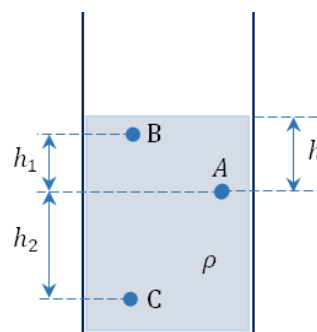
Пример 1

Определение давления в разных точках системы в случае, когда известно давление хотя бы в одной её точке (без учета внешнего давления).

Юный экспериментатор налил в сосуд однородную жидкость плотностью ρ . С помощью жидкостного манометра ему удалось определить давление в этой жидкости в точке A , находящейся на глубине h . Помогите экспериментатору определить на основе результата проведённых им измерений, чему равно давление жидкости в точках B и C . Атмосферное давление не учитывать.

Решение

Обозначим давление жидкости в точке A через p_A , оно равно $p_A = \rho gh$. Так как плотность жидкости одинакова в любой её точке, а атмосферное давление не учитывается, получаем выражения для расчёта гидростатического давления в точках B и C с учетом указанных на рисунке глубин, на которых они расположены:

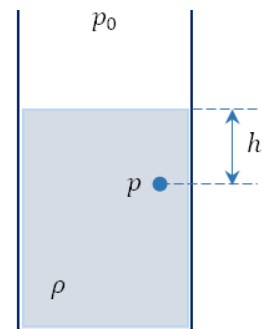


$$p_B = p_A - \rho gh_1, \quad p_C = p_A + \rho gh_2.$$

Пример 2

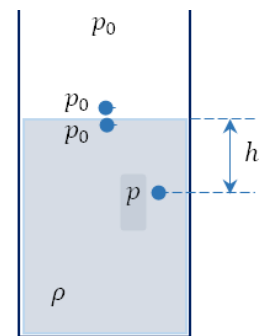
Давление в жидкости с учётом атмосферного давления.

В распоряжении юного экспериментатора есть барометр и жидкостный манометр. В сосуд налита однородная жидкость плотностью ρ . Чему равно давление жидкости на глубине h , которое измерил экспериментатор с помощью имеющегося у него оборудования? Атмосферное давление в день эксперимента было равно p_0 .



Решение

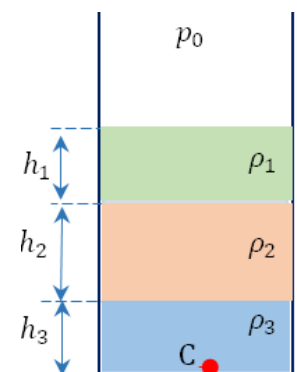
Так как плотность жидкости одинакова в любой её точке, а атмосферное давление равно p_0 , обозначим на рисунке точки, давление в которых одинаково. Поверхность жидкости плоская и находится в равновесии, значит, давление по обе стороны границы раздела «жидкость – воздух» одинаково (в точках, которые находятся непосредственно над поверхностью и непосредственно под поверхностью жидкости). Тогда давление на искомой глубине равно:
$$p = p_0 + \rho gh.$$



Пример 3

Давления в системах несмешивающихся жидкостей.

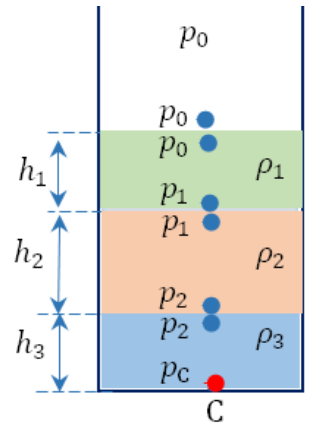
Неосторожный юный экспериментатор, раздумывая, в каком соотношении находятся плотности трёх несмешивающихся жидкостей, налитых в сосуд, уронил в него маленький тяжелый шарик C . Какое давление испытывал на дне сосуда шарик C , пока экспериментатор решал, как его достать? Помогите экспериментатору сравнить плотности ρ_1 , ρ_2 и ρ_3 этих жидкостей. Атмосферное давление в день эксперимента было равно p_0 .



Решение

Жидкости в сосуде расположатся в порядке возрастания плотности. Более плотные жидкости будут выталкивать на поверхность менее плотные. Поэтому соотношение плотностей будет следующим: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$.

Так как плотность каждой жидкости в пределах её слоя одинакова в любой её точке, а атмосферное давление равно p_0 , обозначим на рисунке точки, давление в которых одинаковое. Границы раздела жидкостей плоские и находятся в равновесии, значит, давление по обе стороны каждой из границ раздела «воздух – жидкость № 1», «жидкость № 1 – жидкость № 2» и «жидкость № 2 – жидкость № 3» одинаково. В соответствии с законом Паскаля, атмосферное давление p_0 без изменений передается во все точки жидкостей. Тогда давление, которое испытывал шарик C , находясь на дне сосуда, равно сумме гидростатических давлений столбов трех жидкостей: $p = p_0 + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 + \rho_3 g h_3$.

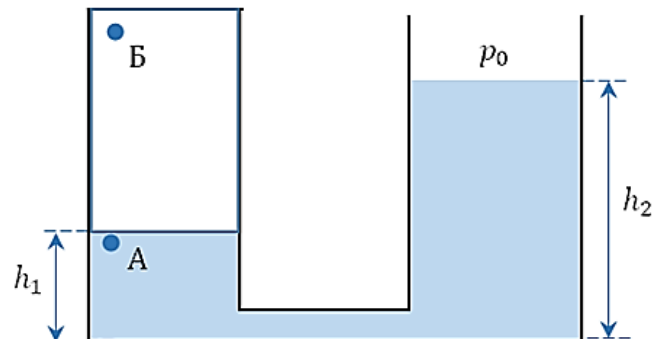


Получив данное выражение, заметим, что давление на дно равно сумме давлений всех компонентов данной системы. Это правило можно применять в дальнейшем без подробного пояснения.

Пример 4

Давления в системах «жидкость + газ».

Юному экспериментатору подарили необычные сообщающиеся сосуды: один из них был сверху открыт, а второй – запаян (см. рисунок). Налив в эти сообщающиеся сосуды однородную жидкость

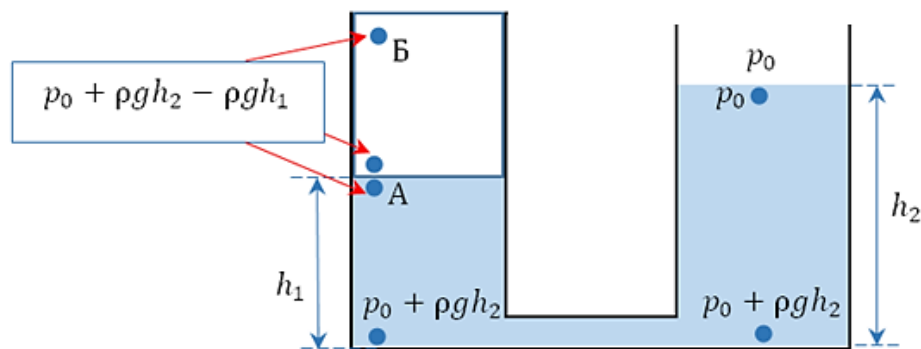


плотностью ρ , экспериментатор обнаружил, что уровни жидкости в них находятся не на одном горизонтальном уровне. Объясните, почему жидкость

в левом сосуде оказалась на более низком уровне? Чему равно давление воздуха в точках А и Б?

Решение

Так как плотность жидкости одинакова в любой её точке, а атмосферное давление равно p_0 , определим давления на границах раздела «жидкость – воздух». Обе границы раздела жидкости и воздуха плоские и находятся в равновесии, значит, давление при переходе через границу раздела «жидкость–воздух» не изменяется. Учитывая, что при погружении в жидкость оказываемое ею давление увеличивается, на одном горизонтальном уровне (в однородной жидкости) давление не меняется, а при погружении давление уменьшается, определим давление в заданных точках (см. рисунок).



Уровень жидкости в левом сосуде ниже, чем в правом, потому что давление сжатого воздуха над жидкостью в левом закрытом сосуде больше:

$$p_B = p_A = p_0 + \rho g(h_2 - h_1), \quad (h_2 - h_1) > 0, \quad \Rightarrow \quad p_B > p_0.$$

Давление равно данной величине в точке А непосредственно под поверхностью жидкости, а также в точке, находящейся непосредственно над поверхностью жидкости и в точке Б.

Важно отметить, что, согласно закону Паскаля, давление в газах передаётся по всем направлениям одинаково. Учитывая малую плотность газа, можно пренебречь изменением давления с высотой подъёма и считать его одинаковым в любой точке данного объема газа.

Дополнительное предметное содержание

Необходимо отметить, что в системах с неоднородной жидкостью, плотность которой изменяется при погружении в жидкость, давление вычисляется более сложным образом.

Если зависимость $\rho(h)$ нелинейная, то давление в этом случае можно определить графически: для этого необходимо вычислить площадь под графиком зависимости плотности от глубины (высоты столба жидкости). Будем считать изменение высоты Δh столба жидкости малым, так что плотность $\rho(h)$ жидкости в слое жидкости данной малой толщины практически не изменяется. Тогда произведение $\rho(h)\Delta h$ пропорционально изменению давления при опускании в глубину жидкости на расстояние Δh :

$$\Delta p = \rho(h)g\Delta h, \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta p}{g} = \rho(h)\Delta h.$$

Этот факт можно интерпретировать геометрически, как площадь фигуры под графиком зависимости плотности жидкости от глубины погружения (рис. 1).

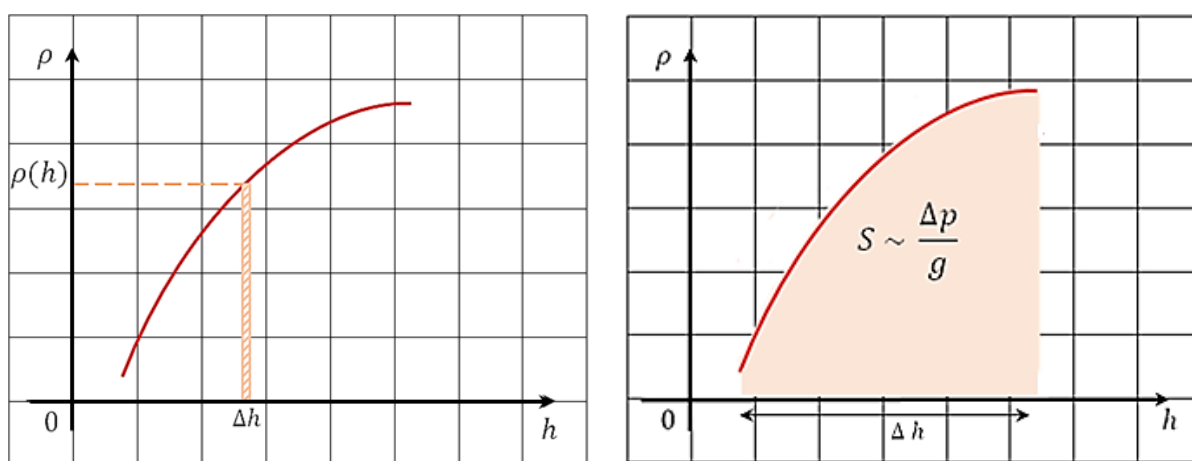


Рис. 1. Нелинейная зависимость давления жидкости от глубины погружения

Наиболее простым является случай, когда давление в жидкости возрастает при увеличении глубины по линейному закону (см. рисунок.). При этом можно использовать для вычисления давления на глубине h среднее арифметическое значение плотности жидкости: $p = \rho_{\text{ср}}gh$.

Рекомендуется предложить обучающимся, которые изучают физику на углублённом уровне, доказать это утверждение самостоятельно, воспользовавшись формулой для вычисления площади трапеции.

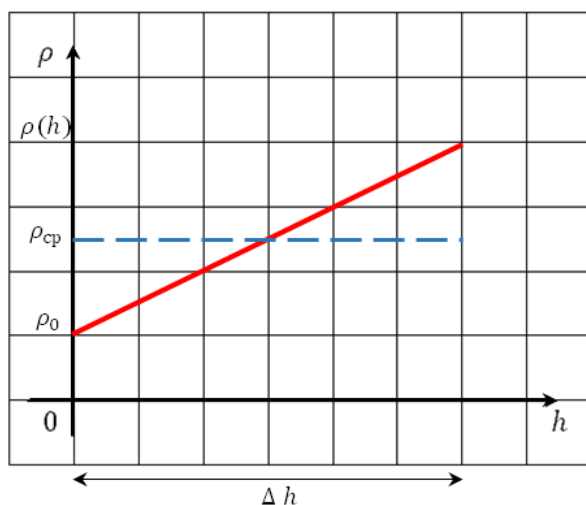


Рис. 2. Линейная зависимость давления жидкости от глубины погружения

Дополнительные интернет-источники

1. Камзеева Е. Е., Демидова М. Ю. Методические материалы для предметных комиссий субъектов Российской Федерации по проверке выполнения заданий с развёрнутым ответом экзаменационных работ ОГЭ 2024 года. ФИЗИКА. – М.: ФИПИ, 2024. – 157 с. URL: https://doc.fipi.ru/oge/dlya-predmetnyh-komissiy-subektov-rf/2024/mr_oge_fizika_2024.pdf
2. Демидова М. Ю., Камзеева Е. Е. Методические рекомендации обучающимся по организации индивидуальной подготовки к ОГЭ 2024 года по физике. – М.: ФИПИ, 2024. – 19 с. URL: https://doc.fipi.ru/navigator-podgotovki/navigator-oge/MR_fizika_oge_2024.pdf
3. Открытый банк тестовых заданий ОГЭ. Физика. URL: <https://oge.fipi.ru/bank/index.php?proj=B24AFED7DE6AB5BC461219556ССА4F9В>
4. Навигатор самостоятельной подготовки к ОГЭ. – URL: <https://fipi.ru/navigator-podgotovki/navigator-oge>