

Краевой конкурс учебно-исследовательских и проектных работ учащихся  
«Прикладные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

**Фазовые переходы воды: зависимость температуры кипения воды  
и температуры плавления льда от концентрации соли в растворе**

Антропова Екатерина,

Никонов Михаил,

МОУ «Гимназия №2»

г. Соликамска, 9 кл.

Львова Татьяна Вячеславовна,

учитель физики

МОУ «Гимназия №2»

## Оглавление

I. Введение .....	3
II. Теоретическая часть работы .....	5
1. Кинетическая и потенциальная энергии молекул .....	5
2. Объяснение фазовых переходов 1-го рода на основании молекулярно-кинетической теории: .....	6
В учебнике названы температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении - $100^{\circ}\text{C}$ и температура кристаллизации льда - $0^{\circ}\text{C}$ . Эти значения при нормальном атмосферном давлении служат реперными точками температурной шкалы термометра Цельсия. ....	6
A) Молекулярная картина кипения и конденсации .....	7
B) Молекулярная картина плавления и кристаллизации .....	8
III. Экспериментальная часть работы .....	10
1. Изучение зависимости температуры кипения воды от концентрации соли в ней при постоянном атмосферном давлении .....	10
2. Изучение зависимости температуры плавления льда от концентрации соли в нём при постоянном атмосферном давлении .....	11
IV. Заключение .....	15
v. Библиографический список .....	17
VI. Приложения .....	18
Лабораторная работа для физического практикума в 11-ом классе по теме «Определение зависимости температуры кипения воды от концентрации соли в ней» .....	18
Лабораторная работа для физического практикума в 11-ом классе по теме «Определение зависимости температуры плавления льда от концентрации соли в нём» .....	19
Фотографии экспериментальной установки .....	20

## I. Введение

Роль воды в жизни нашей планеты удивительна и, как ни странно, раскрыта еще не до конца. Но давно известно, что самым появлением жизни на нашей планете мы обязаны воде.

Вся практическая деятельность человека, с самой глубокой древности, связана с использованием воды и водных растворов и для приготовления пищи, и для других житейских надобностей. Природная вода не бывает совершенно чистой. Наиболее чистой является дождевая вода, но и она содержит незначительные количества различных веществ, которые захватывает из воздуха.

Вода - на первый взгляд, простое химическое соединение водорода и кислорода, но именно она является универсальным растворителем значительного количества веществ. Особенно ярко свойства растворителя проявляются в морской воде, в ней растворяются почти все вещества. Около семидесяти элементов Периодической системы содержатся в ней в обнаруживаемых количествах. Даже редкие и радиоактивные элементы находятся в водах морей и океанов. В наибольшем количестве содержатся: хлор, натрий, магний, сера, кальций, калий, бром, углерод, стронций, бор. Одного только золота растворено в водах океана по 3 кг на душу населения Земли.

По содержанию растворенных в ней веществ вода делится на 3 класса: пресная, соленая и рассолы. Наибольшее значение в быту имеет пресная вода. Хотя вода покрывает три четверти поверхности Земли, запасы ее огромны и постоянно поддерживаются кругооборотом воды в природе, но проблема обеспечения пресной водой во многих районах земного шара не решена и с развитием научно-технического прогресса обостряется.

Плотность соленой воды превышает плотность дистиллированной воды и зависит от состава растворенных солей и общей солёности  $S$ . Общая солёность морской воды не превосходит 4%, тогда как в соленых озерах она достигает 25 — 30%. Вода так называемых пресных озер и рек всегда немного минерализована. Например, концентрация солей воды озера Байкал составляет  $0,0697 \text{ кг/м}^3$ . Поэтому для природных озер и искусственных водохранилищ температура наибольшей плотности воды всегда немного меньше  $4^\circ\text{C}$ .

Очевидно, что с увеличением солёности воды, т.е. с увеличением процентного содержания соли в ней, каким-то образом должны изменяться её физические свойства: теплопроводность и электропроводность, теплоёмкость, температуры фазовых переходов и другие. Достаточно большой интерес вызывает, в частности, давно укоренившееся мнение о том, что в процессе приготовления пищи добавлением соли в воду можно добиться более быстрого её закипания. Причиной этого считается понижение температуры кипения воды при увеличении её солёности. Но так ли это на самом деле? Вопрос этот оказался настолько актуальным для многих, что вызвал нешуточный спор по этой теме на интернет-форумах, в которых приняли участие не только домохозяйки и кулинары, но и люди, всерьёз занимающиеся наукой. Мы решили проверить высказанное выше мнение об изменении температуры кипения воды от её солёности.

Большой практический интерес вызывает также вопрос об изменении температуры замерзания воды при увеличении её солёности. Это связано с аномальным расширением воды при охлаждении в определённом интервале температур – вблизи значения 4°C. Необходим строгий учёт этого явления, в частности, в системе водоснабжения. Зависимость температуры замерзания воды (или плавления льда) от солёности мы также решили выяснить.

**Гипотеза:** температуры фазовых переходов воды (вода – пар и вода – лёд) зависят от содержания солей:

1. Растворение поваренной соли в воде приводит к образованию новых электромагнитных связей между молекулами воды и ионами натрия и хлора, но при этом, возможно, уменьшаются силы взаимодействия (водородные связи) между отдельными молекулами воды. Если в целом потенциальная энергия молекул при этом увеличивается, то, как следствие, должна быть увеличена и кинетическая энергия, необходимая для разрыва связей между молекулами, то есть температура кипения с повышением концентрации рассола возрастет. И наоборот: если в целом потенциальная энергия взаимодействия молекул с появлением ионов натрия и хлора уменьшается, то и температура кипения станет ниже.

2. Привнесение в кристаллическую решётку льда ионов натрия и хлора (при растворении соли в воде) изменяет силу электромагнитного взаимодействия молекул и, как следствие, внутреннюю энергию вещества. При этом температура плавления льда также должна измениться в ту или иную сторону - в зависимости от того, становятся ли связи между молекулами в ней более прочными или наоборот ослабевают.

**Цель работы:** оценить изменения, происходящие во взаимодействии молекул воды и льда, при повышении концентрации содержащихся в них солей, исследуя зависимость температуры фазовых переходов воды от концентрации рассола.

**Задачи:**

1. Теоретическое описание взаимодействия молекул в зависимости от расстояния между ними, изучение процессов фазовых переходов вещества с точки зрения молекулярно-кинетической теории.

2. Получение исследовательских навыков - экспериментальное выяснение зависимости температуры кипения воды и температуры плавления льда от содержания в них поваренной соли, объяснение полученных результатов, оформление экспериментальных данных, в том числе и графическое представление информации, с учётом погрешностей измерения.

3. Разработка лабораторных работ для физического практикума в 11-ом классе по темам «Определение зависимости температуры кипения воды от концентрации соли в ней» и «Определение зависимости температуры плавления льда от концентрации соли в нём».

**Предмет исследования:** физические свойства воды.

**Объект исследования:** процессы кипения воды и плавления льда.

**Методы исследования:** физический эксперимент, изучение учебной и научно-популярной литературы.

## II. Теоретическая часть работы

### 1. Кинетическая и потенциальная энергии молекул

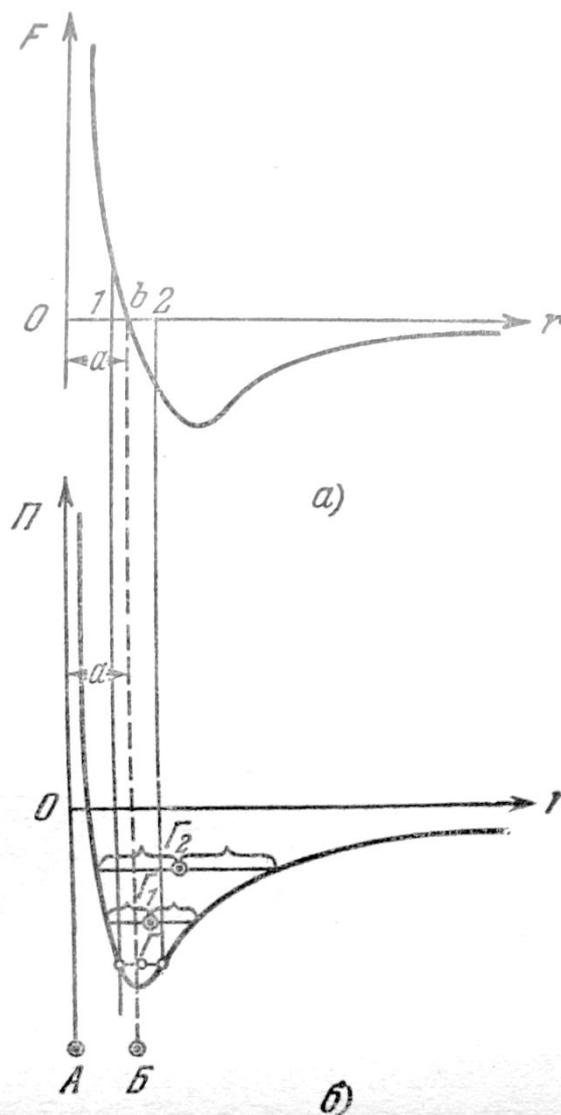
Поскольку молекулы всегда находятся в движении, каждая из них обладает кинетической энергией  $E_k$ . В силу своего взаимодействия молекулы обладают также и потенциальной энергией  $\Pi$ . Соотношение этих энергий и определяет в конечном итоге прочность молекулярных связей и, следовательно, температуру фазового перехода.

Силы отталкивания условились считать положительными, а силы притяжения – отрицательными. На рис. а) показан график изменения равнодействующей сил отталкивания и притяжения между двумя молекулами А и Б в зависимости от расстояния  $r$  между их центрами. При расстоянии между центрами молекул, равном  $a$ , молекулы находятся в устойчивом равновесии, так как равнодействующая молекулярных сил в этом случае равна нулю. При сближении молекул равнодействующая представляет собой силу отталкивания (положение 2), а при удалении (положение 1) – силу притяжения.

Как известно, устойчивому положению соответствует минимум потенциальной энергии.

На рис. б) показан график зависимости потенциальной энергии взаимодействия молекул от расстояния между ними. Часть этого графика вблизи минимального значения потенциальной энергии называется потенциальной ямой, а величина наименьшей энергии – глубиной ямы.

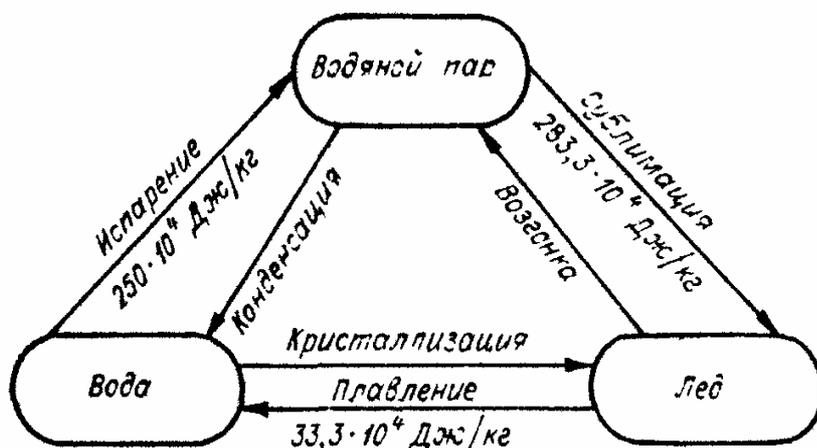
Представим себе, что молекула А находится в точке О, а молекула Б – в точке б. При движении молекулы Б влево (уменьшении  $r$ ) её кинетическая энергия резко убывает, при этом возрастает потенциальная энергия, и сближение молекул прекращается. При движении молекулы Б вправо (увеличении  $r$ ) её кинетическая энергия тоже будет переходить в потенциальную, и если  $E_k$  будет больше  $\Pi_{\text{мин}}$ , то молекулы А и Б могут разойтись как угодно далеко. Другими словами, кинетическая энергия молекулы Б достаточна для преодоления потенциального барьера  $\Pi_{\text{мин}}$ , и молекула может выйти из потенциальной ямы.



Если же  $E_k$  будет меньше  $P_{\text{мин}}$ , то молекула будет двигаться внутри потенциальной ямы, например между точками 1 и 2, и не сможет уйти за её пределы, т.е. будет совершать колебательное движение. Чем больше будет энергия  $E_k$ , тем правее будет находиться точка Г, около которой происходят колебания молекулы Б, т.е. больше будет среднее расстояние  $r$  между молекулами А и Б. Поэтому с нагреванием тел и, следовательно, с увеличением средней кинетической энергии молекул происходит тепловое расширение большинства веществ. Объясняется это тем, что с изменением расстояния  $r$  силы отталкивания меняются быстрее, чем силы притяжения (график силы слева от точки б идёт вверх круто, а справа – опускается более полого).

## 2. Объяснение фазовых переходов 1-го рода на основании молекулярно-кинетической теории:

В курсе физики 8-го класса в теме «Тепловые явления» мы изучаем фазовые переходы 1-го рода - переходы вещества из одного агрегатного состояния в другое.



В учебнике названы температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении -  $100^{\circ}\text{C}$  и температура кристаллизации льда -  $0^{\circ}\text{C}$ . Эти значения при нормальном атмосферном давлении служат реперными точками температурной шкалы термометра Цельсия.

Однако при измерении этих температур в классе мы получили другие величины, и решили выяснить, в чём причина отличий. Причин оказалось две: во-первых, давление атмосферы у нас на Урале зачастую меньше нормального, т.к. наш край расположен выше уровня моря, а во-вторых, в нашей соликамской водопроводной воде большое содержание солей.

Водопроводная вода города Соликамска довольно сильно минерализована. Лабораторные исследования показали, что в одном кубическом дециметре нашей воды содержится:

- Ионов кальция – 61 мг
- Гидрокарбонат-ионов – 220 мг
- Сульфатов – 25 мг
- Ионов магния – 17 мг
- Ионов хлора – 16,8 мг

- Нитратов – 13,4 мг
- Ионов натрия - 2,8 мг
- Ионов калия – более 1 мг
- Аммиака и аммония – более 0.1 мг
- Нитритов – более 0, 005 мг

Мы не будем затрагивать в нашей работе медицинских и иных проблем, связанных с повышенной минерализацией нашей воды. Однако нам было любопытно сравнить температуры кипения и плавления льда, полученного из дистиллированной воды и воды водопроводной. Измерения проводились при атмосферном давлении 765 мм рт.ст. с помощью температурных датчиков. Были получены такие значения:

- Температура кипения дистиллированной воды –  $99,2^{\circ}\text{C}$ , водопроводной воды -  $98^{\circ}\text{C}$ ;
- Температура плавления льда из дистиллированной воды –  $1,17^{\circ}\text{C}$ , льда из водопроводной воды –  $0,85^{\circ}\text{C}$ .

О зависимости температуры кипения воды от атмосферного давления упоминается в учебниках физики 8-го и 10-го классов: пузырьки пара, выходящие на поверхность жидкости в процессе кипения, лопаются, когда давление насыщенного пара в них становится равным или больше внешнего атмосферного давления. При понижении атмосферного давления и температура кипения становится ниже. О зависимости температуры кипения воды, а также о зависимости температуры плавления льда от содержания примесей, в частности солей, в них при постоянном атмосферном давлении в учебниках не говорится. Мы решили выяснить эту зависимость.

### **А) Молекулярная картина кипения и конденсации**

Прежде, чем рассмотреть результаты эксперимента, мы расскажем немного о кипении. Кипение - это интенсивное парообразование, которое происходит при нагревании жидкости не только с поверхности, но и внутри неё. Кипение происходит с поглощением теплоты. Большая часть подводимой теплоты расходуется на разрыв связей между частицами вещества, остальная часть - на работу, совершаемую при расширении пара. В результате энергия взаимодействия между частицами пара становится больше, чем между частицами жидкости, поэтому внутренняя энергия пара больше, чем внутренняя энергия жидкости при той же температуре. Кипение представляет собой переход жидкости в пар с непрерывным образованием и ростом в жидкости пузырьков пара, внутри которых происходит испарение жидкости. В начале нагревания вода насыщена воздухом и имеет комнатную температуру. При нагревании воды, растворенный в ней газ выделяется на дне и стенках сосуда, образуя воздушные пузырьки. Они начинают появляться задолго до кипения. В эти пузырьки испаряется вода. Пузырек, наполненный паром, при достаточно высокой температуре начинает раздуваться. Достигнув определенных размеров, он отры-

вается от дна, поднимается к поверхности воды под действием Архимедовой силы и лопается. При этом пар покидает жидкость.

Потенциальная энергия притяжения, которой также приписывается отрицательный знак, у абсолютного большинства молекул по модулю много больше их средней кинетической энергии, которая в свою очередь определяется температурой тела. Любая молекула, будучи связана силами притяжения со своими соседками, находится в так называемой потенциальной яме. В процессе испарения и кипения на разрыв связей со своими соседями оказываются способны лишь те молекулы, у которых в результате хаотичного движения значение кинетической энергии оказалось равно и выше, чем модуль потенциальной энергии. С повышением температуры процентное содержание таких молекул увеличивается, и с достижением температуры кипения процесс парообразования протекает бурно, интенсивно.

## **Б) Молекулярная картина плавления и кристаллизации**

Чтобы расплавить тело, мы его нагреваем. По мере нагревания кристаллического тела средняя энергия его молекул увеличивается за счет возрастания средней кинетической энергии. Увеличивается также потенциальная энергия молекул, так как увеличивается амплитуда колебания молекул около положения равновесия, и увеличивается расстояние между молекулами, т.е. тела при нагревании расширяются.

После того как достигнута температура плавления, вся подводимая энергия идет на совершение работы по разрушению пространственной (кристаллической) решетки, т.е. на увеличение потенциальной энергии молекул. В процессе плавления кинетическая энергия молекул не изменяется, о чем свидетельствует постоянство температуры во время плавления.

Во время затвердевания вещества его молекулы располагаются упорядоченно, образуя кристаллическую решетку. Их потенциальная энергия в процессе кристаллизации уменьшается, а кинетическая энергия остаётся неизменной. Поэтому при кристаллизации температура не изменяется и происходит отдача количества теплоты окружающим телам.

Когда при охлаждении отвердевает аморфное вещество, его частицы не располагаются в правильном порядке и не образуют кристаллические решетки. В твердом состоянии частицы аморфного тела расположены примерно в таком же беспорядке, как и в жидком. При отвердевании аморфных веществ происходит постепенное уменьшение кинетической энергии их частиц. Но нет скачкообразного уменьшения их потенциальной энергии. Точно так же при нагревании твердого

аморфного тела постепенно растет кинетическая энергия его частиц, но нет скачкообразного возрастания их потенциальной энергии, как это наблюдается при плавлении кристаллических тел.

Кратко различие в поведении кристаллических и аморфных тел при плавлении можно объяснить следующим образом. В кристаллах связи между молекулами в разных местах разрушаются одновременно, так как они всюду одинаковы. Поэтому переход в жидкое состояние происходит при строго определенной температуре. В аморфных телах при некоторой температуре часть молекул приобретает способность к более или менее свободному перемещению, другая же еще нет. Ведь связи между молекулами неодинаковы из-за отсутствия строгого порядка в расположении молекул относительно друг друга. В результате переход из твердого состояния в жидкое оказывается растянутым на некоторый интервал температур.

## I. Экспериментальная часть работы

### 1. Изучение зависимости температуры кипения воды от концентрации соли в ней при постоянном атмосферном давлении

Для того, чтобы установить, как температура кипения воды зависит от концентрации в ней соли, мы приготовили несколько соляных растворов различных концентраций:

5%, 10%, 12%, 15%, 18%, 20%, 22%, 25%, 28%, 30%, 32%, 35%.

Для их приготовления мы использовали дистиллированную воду и поваренную соль. Мы растворяли определенное (в зависимости от нужной концентрации) количество соли в 100 мл воды. Объем воды отмеряли с помощью мензурки. Перелив эту воду в колбу, ставили её на электрическую плитку. Температуру нагревания и кипения мы измеряли спиртовым термометром с ценой деления 2°C. Погрешность измерения температуры термометром равна 1°C.

При нагревании и кипении масса каждой порции воды уменьшалась примерно на 5г. Это мы определяли отдельно, измеряя объем рассола после окончания кипения, считая, что масса соли в колбе не меняется. В процессе нагревания и кипения вода испарялась, концентрация рассола росла. Именно с этим и были связаны основные погрешности измерений в наших опытах. Предложение плотно закрыть колбу пробкой мы не посчитали удачным, так как под давлением пара пробка была бы всё равно вытеснена. Больше того – была бы опасность разрыва колбы под давлением пара.

Поскольку уменьшение массы воды в результате испарения во всех опытах было практически одинаковым, а концентрация растворов в них – разной, нам пришлось рассчитывать погрешность измерения концентрации раствора отдельно для каждого опыта.

Вот как мы рассчитывали погрешность измерения концентрации и массы:  $\Delta m$  соли = 5 мг (т.к. наименьшая гиря  $m = 10$  мг) = 0,005 г. Концентрация равна отношению массы соли к массе воды, в которой она растворяется. Следовательно, наибольшее значение концентрации будет получено при наибольшем же значении массы соли и наименьшем значении массы воды. Для пятипроцентного раствора наибольшее значение массы соли – 5,005 г, наименьшее значение массы воды – 95г (с учётом погрешности их измерения). Тогда наибольшее значение концентрации  $n_{\max}(5\%) = 5,005/95 * 100\% = 0,0526 * 100\% = 5,3\%$ , т.е.  $\Delta n = 0,3\%$

$$n_{\max}(10\%) = 10,005/95 * 100\% = 0,1053 * 100\% = 10,5\%, \Delta n = 0,5\%$$

$$n_{\max}(12\%) = 12,005/95 * 100 = 0,126 * 100 = 12,6\%, \Delta n = 0,6\%$$

$$n_{\max}(15\%) = 15,005/95 * 100 = 0,1579 * 100 = 15,8\%, \Delta n = 0,8\%$$

$$n_{\max}(18\%) = 18,005/95 * 100 = 0,1895 * 100 = 19\%, \Delta n = 1\%$$

$$n_{\max}(20\%) = 20,005/95 * 100 = 0,21075 * 100 = 21\%, \Delta n = 1\%$$

$$n_{\max}(22\%) = 22/95 * 100 = 0,23163 * 100 = 23,2\%, \Delta n = 1,2\%$$

$$n_{\max}(25\%) = 25/95 * 100 = 0,263 * 100 = 26,3\%, \Delta n = 1,3\%$$

$$n_{\max}(30\%) = 30/95 * 100 = 0,316 * 100 = 31,6\%, \Delta n = 1,6\%$$

$$n(32\%) = 32/95 * 100 = 0,337 * 100 = 33,7\%, \Delta n = 1,7\%$$

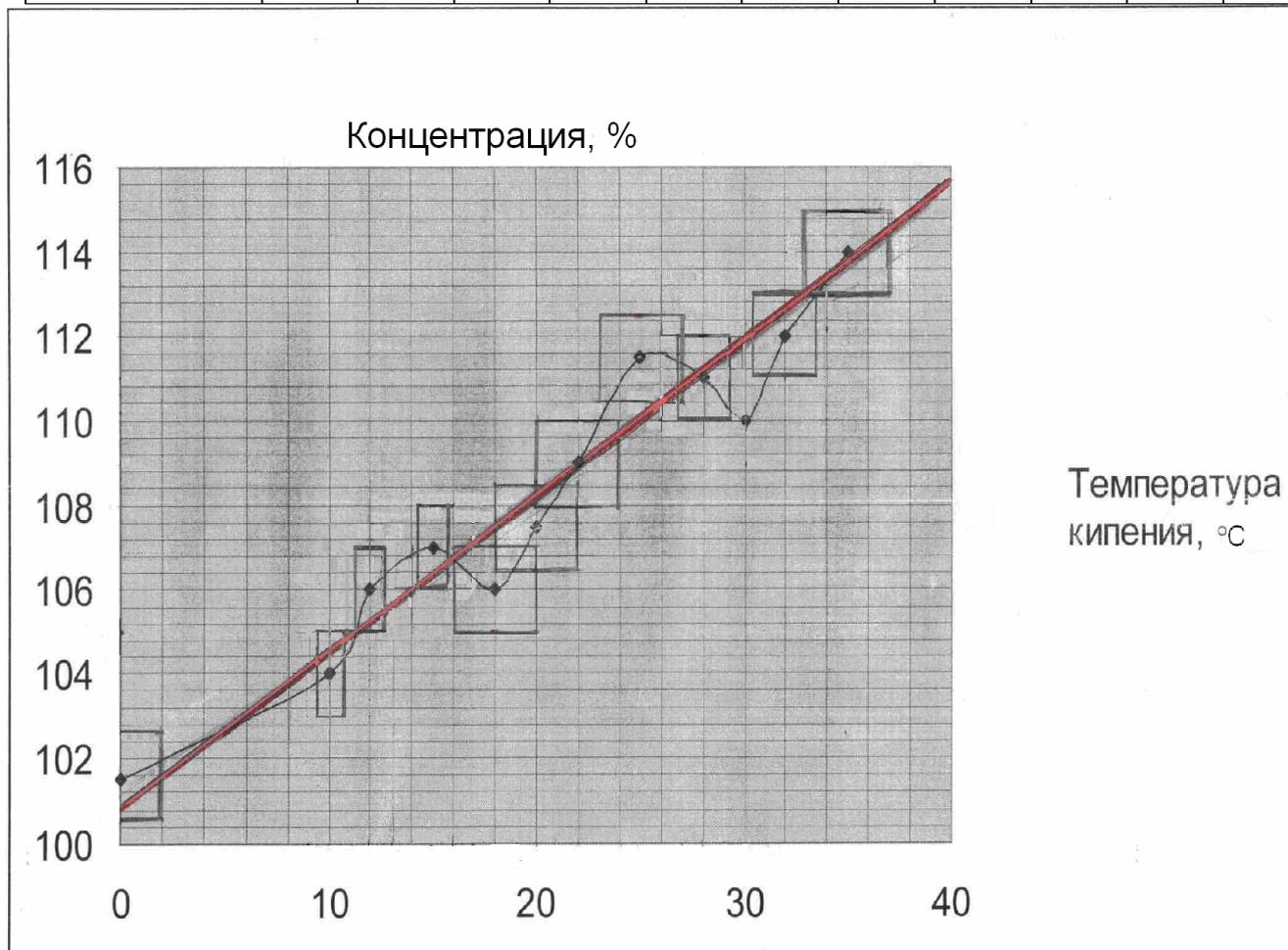
$$n_{\max}(35\%) = 35/95 * 100 = 0,368 * 100 = 36,8\%, \Delta n = 1,8\%$$

Наименьшая погрешность концентрации равна 0,3%

Наибольшая погрешность концентрации равна 1,8%

Результаты измерений мы занесли в таблицу и построили график зависимости температуры кипения от концентрации раствора с учетом погрешностей.

Концентрация раствора, %	10	12	15	18	20	22	25	28	30	32	35
Температура кипения, °	104	106	107	106	107,5	109	111,5	111	110	112	114



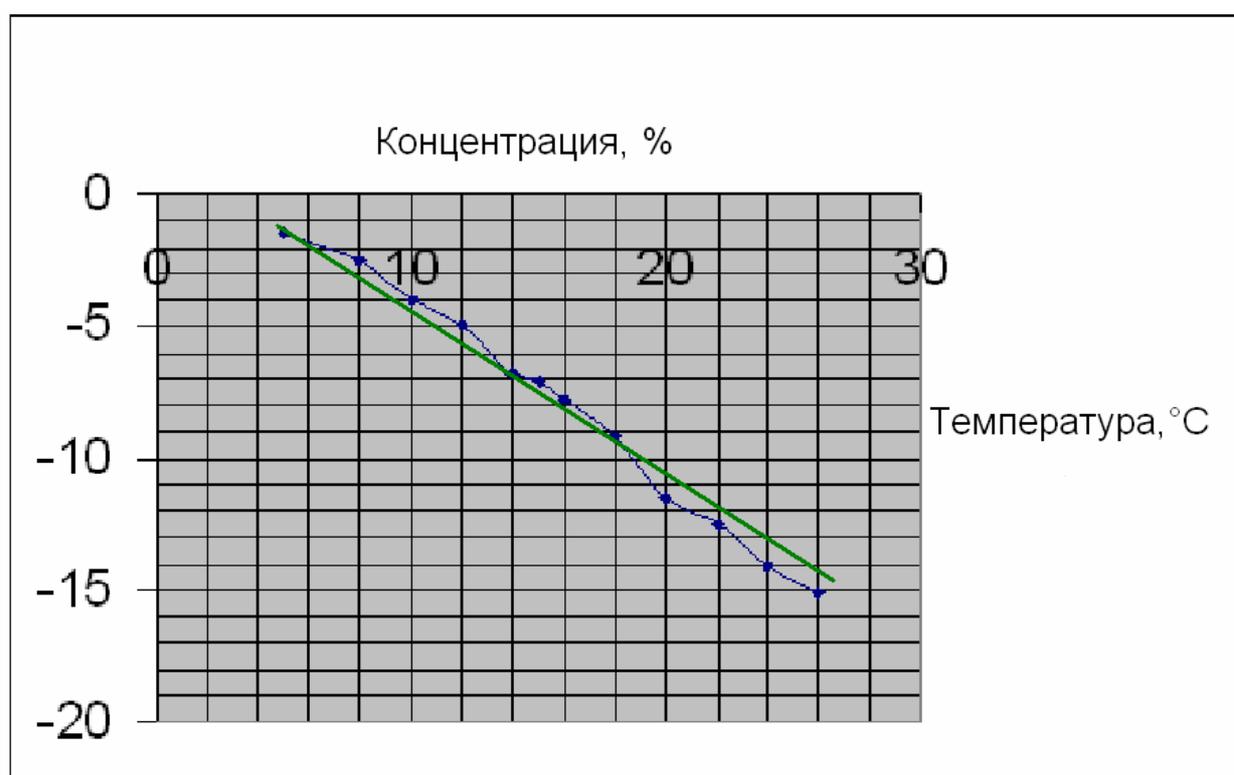
Повышение температуры кипения воды при увеличении концентрации соли в ней можно объяснить следующим образом. По-видимому, добавление соли в воду приводит к образованию новых, дополнительных связей между молекулами воды и ионами натрия и хлора. Поэтому увеличивается потенциальная энергия их взаимодействия и, как следствие, для начала процесса кипения должна увеличиться и средняя кинетическая энергия молекул. Именно поэтому необходимо повышение температуры воды.

## 2. Изучение зависимости температуры плавления льда от концентрации соли в нём при постоянном атмосферном давлении

Для того, чтобы выяснить зависимость температуры плавления раствора от концентрации соли, мы брали те же самые соляные растворы, которые использовались в первом опыте. Затем замораживали их в стеклянных колбах и с помощью специального датчика измеряли температуру плавления. Тип датчика DS18B20. Дискретность индикации температуры 0,1 °С. Результаты измерений - в приведенной ниже таблице.

%n	5	8	10	12	14	15	16	18	20	22	24	26
t°плав.	-1,5	-2,5	-4	-5	-6,8	-7,1	-7,8	-9,2	-11,5	-12,5	-14,1	-15,1

Теперь построим график с учетом погрешностей и посмотрим на нём зависимость температуры плавления от концентрации соли в соляном растворе.



Для того, чтобы рассчитать погрешность концентрации соли, нам нужно рассчитать погрешность в определении массы воды и погрешность в измерении массы соли.

$$\Delta m \text{ воды} = 0,5 \text{ г, т.к. } \Delta V = 1 \text{ мл} = 1 \text{ см}^3$$

$$\Delta m \text{ воды} = \Delta V * \rho = 1 \text{ см}^3 * 1 \text{ г/см}^3 = 1 \text{ г}$$

$$\Delta m \text{ соли} = 5 \text{ мг (т.к. наименьшая гиря } m = 10 \text{ мг)} = 5 * 10^{-3} = 0,005 \text{ г}$$

Температуру плавления мы измеряли температурным датчиком, у которого дискретность индикации температуры 0,1 °С.

Далее по формулам, данным ниже, мы сможем найти погрешности расчёта всех концентраций соли.

n – концентрация соли

$$n_{\max} = m_{\text{соли}} \max / m_{\text{воды}} \min * 100\%$$

$$n_{\min} = m_{\text{соли}} \min / m_{\text{воды}} \max * 100\%$$

$$5\%: n_{\max} = 5,005: 99 * 100\% = 5,05\%$$

$$n_{\min} = 4,995: 101 * 100\% = 4,95\%$$

$$\Delta n (5\%) = 0,05\%$$

$$8\%: n_{\max} = 8,005: 99 * 100\% = 8,08\%$$

$$n_{\min} = 7,995: 101 * 100\% = 7,92\%$$

$$\Delta n (8\%) = 0,08\%$$

$$10\%: n_{\max} = 10,005: 99 * 100\% = 10,1\%$$

$$n_{\min} = 9,995: 101 * 100\% = 9,9\%$$

$$\Delta n (10\%) = 0,1\%$$

$$12\%: n_{\max} = 12,005: 99 * 100\% = 12,12\%$$

$$n_{\min} = 11,995: 101 * 100\% = 11,88\%$$

$$\Delta n (12\%) = 0,12\%$$

$$14\%: n_{\max} = 14,005: 99 * 100\% = 14,14\%$$

$$n_{\min} = 13,995: 101 * 100\% = 13,86\%$$

$$\Delta n (14\%) = 0,14\%$$

$$15\%: n_{\max} = 15,005: 99 * 100\% = 15,15\%$$

$$n_{\min} = 14,995: 101 * 100\% = 14,85\%$$

$$\Delta n (15\%) = 0,15\%$$

$$16\%: n_{\max} = 16,005: 99 * 100\% = 16,16\%$$

$$n_{\min} = 15,995: 101 * 100\% = 15,84\%$$

$$\Delta n (16\%) = 0,16\%$$

$$18\%: n_{\max} = 18,005: 99 * 100\% = 18,18\%$$

$$n_{\min} = 17,995: 101 * 100\% = 17,82\%$$

$$\Delta n (18\%) = 0,18\%$$

$$20\%: n_{\max} = 20,005: 99 * 100\% = 20,2\%$$

$$n_{\min} = 19,995: 101 * 100\% = 19,8\%$$

$$\Delta n (20\%) = 0,2\%$$

$$22\%: n_{\max} = 22,005: 99 * 100\% = 22,22\%$$

$$n_{\min} = 21,995: 101 * 100\% = 21,78\%$$

$$\Delta n (22\%) = 0,22\%$$

$$24\%: n_{\max} = 24,005: 99 * 100\% = 24,24\%$$

$$n_{\min} = 23,995: 101 * 100\% = 23,76\%$$

$$\Delta n (24\%) = 0,24\%$$

$$26\%: n_{\max} = 26,005: 99 * 100\% = 26,26\%$$

$$n_{\min} = 25,995: 101 * 100\% = 25,74\%$$

$$\Delta n (26\%) = 0,26\%$$

Из расчётов видно, что погрешности составляют десятые и сотые доли процента, т. е. по сравнению с первым опытом они очень невелики. Кроме того погрешности учитываются и в процессе построения графика: прямая линия проводится таким образом, чтобы количество экспериментальных точек, находящихся вверху и внизу линии было примерно одинаковым и расстояния от этих точек до графика

также были примерно равными. Именно поэтому при построении графика погрешности измерения в каждом отдельном опыте мы отмечать не стали.

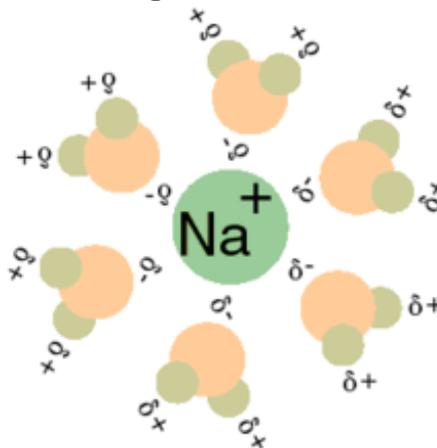
Таким образом, проведённые нами измерения свидетельствуют о понижении температуры плавления льда с увеличением солёности воды, из которой он получен. Экспериментально полученные точки с учётом погрешностей измерений выстраиваются в прямую линию. Понижение температуры плавления льда при увеличении концентрации соли в нём можно объяснить следующим образом. По-видимому, ионы натрия и хлора в кристаллической решётке ослабляют связи между молекулами воды. Поэтому уменьшается потенциальная энергия их взаимодействия и, как следствие, для разрушения кристаллической решётки достаточно, чтобы молекулы воды обладали меньшей кинетической энергией, чем в случае пресной воды. Именно поэтому температура плавления льда понижается..

## IV. Заключение

Особый интерес для нас описанные выше процессы представляют ещё и в связи с тем, что изучение кипения и плавления, связанных с изменением внутренней энергии вещества, позволяет сделать некоторые выводы о взаимодействии молекул. В некотором смысле «приоткрыть занавес» в явлениях, не воспринимаемых невооружённым глазом. Попробовать объяснить наблюдаемое на опыте изменение температур кипения и плавления на основе молекулярно-кинетической теории, опираясь на те знания, которыми уже владеет обычный восьмиклассник.

Другими словами, у нас появляется возможность убедиться в необыкновенной эвристической способности молекулярных представлений.

Для объяснения полученных в эксперименте зависимостей нам необходимо было разобраться в особенностях процесса растворения солей в воде. Молекулы воды представляют собой диполи, т.е. обладают пространственно разделёнными зарядами противоположного знака. В кристалле поваренной соли в узлах кубической решётки располагаются положительные ионы натрия и отрицательные ионы хлора. При погружении кристалла соли в воду отрицательные полюса  $\text{OH}^-$  молекул воды притягиваются электрическими силами к положительно заряженным ионам натрия. К отрицательно заряженным ионам хлора молекулы воды поворачиваются своим положительным полюсом  $\text{H}^+$ . Полярные молекулы воды отрывают ионы с поверхности кристалла соли. Другими словами, молекулы воды связываются с ионами соли, происходит процесс гидратации (см. рисунок). Гидратация (от греч. hydro — вода) — присоединение молекул воды к другим молекулам или ионам. Связь между молекулами воды слабее, чем связь, образовавшаяся в результате гидратации. Поэтому молекула пресной воды легче испаряется при более низкой температуре. А для того, чтобы молекула разорвала связь с солью и другими молекулами воды, требуется больше энергии, т.е. большая температура.



В процессе отвердевания образуется кристаллическая решетка. В процессе плавления кристаллическая решётка разрушается. Если для разрушения кристаллической решётки льда, полученного из рассола, необходима более низкая температура, чем в случае пресной воды, а значит, и меньшая кинетическая энергия теплового движения молекул, то ионы соли, по-видимому, ослабляют связи моле-

кул воды в кристаллической решётке. То есть появление ионов натрия и хлора в кристаллической решётке льда является причиной уменьшения потенциальной энергии молекул воды.

Тот факт, что растворение поваренной соли в воде приводит к увеличению потенциальной энергии взаимодействия молекул жидкой фазы, таким образом, мы сумели объяснить на основе молекулярных представлений. Чего не скажешь о второй части нашей работы и наших выводов. Уменьшение потенциальной энергии взаимодействия молекул в кристаллической фазе никак не обсуждается в той литературе, которую мы имели возможность изучить. Тем интереснее представляется нам проведённое исследование и сделанные на его основе обобщения. Проблема истолкования данного эмпирического факта остаётся открытой. В наших планах – найти её решение.

## **v. Библиографический список**

1. Жданов Л. С., Марандисян В. А. Курс физики для старших учеников заведений. Часть 1. М.: 1970, Наука. Гл. редакция физико-математической литературы.
2. Мякишев Г. Л., Синяков А. З. Физика.: Молекулярная физика. Термодинамика 10 класс: учебник для углубленного изучения физики – 3-е издание – М.: Дрофа. 1998.
3. Суорц Кл. Э. Необыкновенная физика обыкновенных явлений: Пер. с англ. В двух томах; том 1 – М.: Наука. Гл. редакция физико-математической литературы.
4. Г. Роуэлл, С. Герберт. Физика / Пер. с англ. Под ред. В. Г. Разумовского. – М.: Просвещение, 1994.
5. ifeclty.com.ua
6. nauka.ru
7. ru.wikipedia.org
8. shepotka.ru
9. wild-che.liverjournal.com

## VI. Приложения

### Лабораторная работа для физического практикума в 11-ом классе по теме «Определение зависимости температуры кипения воды от концентрации соли в ней»

**Цель работы:** определить и объяснить зависимость температуры кипения воды от концентрации в ней соли.

**Приборы и материалы:** электрическая плитка, измерительный цилиндр (мензурка), спиртовой термометр, стеклянный сосуд, рычажные весы, набор грузов, чистая поваренная соль, дистиллированная вода.

#### Указания к работе.

1. Налить в измерительный цилиндр 100мл дистиллированной воды. Отмерить на рычажных весах определённое, в зависимости от заданной концентрации, количество соли. Соль растворить в воде. Таким образом приготовить из воды и соли несколько соляных растворов с концентрациями: 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%. Налить в измерительный цилиндр 100мл чистой дистиллированной воды.
2. Дистиллированную воду и приготовленные растворы довести до температуры кипения с помощью электрической плитки.
3. Измерить температуру кипения воды и растворов.
4. Полученные результаты занести в таблицу.

Концентрация раствора, %									
Температура кипения, °С									

5. Построить по полученным результатам график зависимости температуры кипения от концентрации раствора.
6. Сделать вывод о полученной зависимости и предположение о том, как изменились силы взаимодействия молекул после растворения соли в воде.

## Лабораторная работа для физического практикума в 11-ом классе по теме «Определение зависимости температуры плавления льда от концентрации соли в нём»

Проводится в зимнее время.

**Цель:** выяснить, как зависит температура плавления от концентрации соли в растворе.

### Предварительная работа

**Приборы и материалы для предварительной работы:** измерительный сосуд (мензурка), дистиллированная вода в сосуде, поваренная соль без примесей, рычажные весы, несколько колб, небольшая воронка, ложечка, набор грузов.

### Указания к предварительной работе

1. Отмерьте с помощью измерительного сосуда (мензурки) 100 мл дистиллированной воды и перелейте в колбу.
2. Затем взвесьте на рычажных весах 5 г соли и пересыпьте в колбочку с помощью воронки. Перемешайте ложечкой, чтобы соль растворилась, и поставьте замораживаться в морозильную камеру или вынесите на мороз.
3. Таким же образом, как и этот 5% раствор, приготовьте остальные: 10%, 15%, 20%, 25%, 30%.
4. Охладите все приготовленные растворы до появления в них значительного количества льда. Заметим, что для замораживания растворов с концентрацией выше 10% морозильной камеры холодильника будет недостаточно, т. к. потребуется значительно более низкая температура: до  $-20^{\circ}\text{C}$

**Приборы и материалы к лабораторной работе:** температурный датчик, предварительно замороженные растворы разных концентраций (солености).

### Указания к работе по выяснению зависимости температуры плавления от концентрации соли в растворе

1. Возьмите замороженные на предварительной работе растворы и после начала процесса плавления измерьте у каждого с помощью специального датчика температуру плавления.
2. Все данные измерений запишите в таблицу:

Концентрация раствора, %									
Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$									

3. По полученным данным постройте график зависимости температуры плавления от концентрации соли в растворе.

4. Сделайте соответствующие выводы о полученной зависимости и предположение о том, как изменяются связи молекул в кристаллической решётке после растворения соли в воде и замораживании раствора.

## Фотографии экспериментальной установки



