A young woman with dark hair, wearing a white lab coat, is focused on a task in a laboratory or classroom setting. She is leaning over a wooden table where a glass dish is placed. In the background, a chalkboard is visible with some yellow text at the top. The overall scene is brightly lit, suggesting an indoor environment.

**III Международный конкурс
исследовательских работ учащихся и студентов
«Открываю мир»**

Естествознание

Изучение зависимости скорости диффузии некоторых летучих жидких соединений от их молекулярной массы

Автор:

Буцких Анастасия Игоревна,
ученица 8 класса МОУ СОШ № 2
г. Мичуринска Тамбовской области

Руководитель:

Ушакова Ольга Валерьевна,
учитель химии МОУ СОШ № 2
г. Мичуринска Тамбовской области

Мичуринск, 2012 г.

Содержание

	стр.
Введение	3
1. Скорость диффузии	6
2. Исследование скорости диффузии некоторых летучих жидких соединений	9
2.1. Методика исследования	9
2.2. Результаты исследования	11
Заключение	14
Библиографический список	15
Приложение	

ВВЕДЕНИЕ

Будем ли мы говорить о питании корня за счёт веществ, находящихся в почве, будем ли говорить о воздушном питании листьев за счёт атмосферы или питании одного органа за счёт другого, соседнего, – везде для объяснения мы будем прибегать к тем же причинам: диффузия.

К.А. Тимирязев

Мы живем в мире, наполненном множеством веществ. Все они не существуют обособленно друг от друга, а находятся в постоянном взаимодействии. Одним из явлений, играющем большую роль в природе и технике, является диффузия. В природе благодаря диффузии, например, осуществляется питание растений из почвы, перенос питательных веществ по кровеносным сосудам. В быту – это засолка и засахаривание, смешивание различных ингредиентов при приготовлении пищи, склеивание поверхностей. В технике с помощью диффузии, например, поверхностный слой металлических изделий насыщается углеродом и т.д.

Самым известным примером диффузии является перемешивание газов или жидкостей. Данное явление не всегда играет положительную роль в жизни человека. При изучении школьного курса химии участники образовательного процесса (обучающиеся, учитель) могут пролить реагенты на рабочие поверхности, тем самым создавая условия для диффузии летучих соединений в воздухе классной комнаты. При использовании физиологически активных веществ может возникнуть угроза воздействия их на организм каждого ребенка, особенно если он склонен к заболеваниям со стороны органов дыхания.

На наш взгляд, **проблема** состоит в том, что при лабораторном использовании физиологически активных реагентов, не являющихся ядовитыми веществ-

вами, обучающиеся не всегда владеют информацией об оптимальной скорости нейтрализации разлитых веществ, тем самым нанося вред своему здоровью.

Мы выдвинули **гипотезу**: зная зависимость скорости диффузии от молекулярной массы вещества, обучающиеся смогут грамотно спланировать свою деятельность при нейтрализации разлитых соединений.

Цель нашей работы заключалась в выявлении зависимости между скоростью диффузии и молекулярной массой некоторых наиболее часто используемых в школьной лаборатории летучих жидких соединений.

В соответствии с целью мы сформулировали **задачи**:

- провести анализ информационных источников по вопросу зависимости скорости диффузии от различных факторов;
- рассмотреть характеристику наиболее часто используемых в лаборатории летучих жидких химических соединений с разной молекулярной массой;
- ознакомиться с методикой определения скорости диффузии в классной комнате;
- провести исследование зависимости скорости диффузии некоторых соединений от их молекулярной массы органолептическим методом.

Методы исследования:

- анализ научной, методической литературы, Интернет - источников;
- постановка физического эксперимента по изучению скорости диффузии некоторых летучих жидких соединений с разной молекулярной массой;
- статистическая обработка полученных данных.

В качестве **объекта исследования** были выбраны химические вещества, которые при обычных условиях являются летучими жидкостями с ярко выраженным характерным запахом, являющиеся физиологически-активными веще-

ствами, но не представляющие в небольших концентрациях опасности для организма человека: 1) раствор аммиака, 2) ацетон, 3) уксусная кислота.

Выбор данных веществ был обусловлен различием их относительной молекулярной массы (таблица 1).

Предмет исследования – зависимость скорости диффузии выбранных веществ от их молекулярной массы. Исследование проводилось на базе муниципального общеобразовательного учреждения «Средняя общеобразовательная школа № 2» г. Мичуринска Тамбовской области с трехкратным повтором в течение августа – октября 2011 г.

Данная работа, на наш взгляд, позволяет не только грамотно спланировать деятельность обучающихся по утилизации и нейтрализации некоторых химических реактивов при выполнении лабораторных и практических работ, но и разработать систему дополнительных мер безопасности при работе с физиологически-активными веществами.

1. СКОРОСТЬ ДИФФУЗИИ

Диффузия (от лат. *diffusio* - распространение, растекание, рассеивание) - неравновесный процесс, вызываемый молекулярным тепловым движением и приводящий к установлению равновесного распределения концентраций внутри фаз [11]. В однофазной системе при постоянной температуре и отсутствии внешних сил диффузия выравнивает концентрацию каждого компонента фазы по объёму всей системы. Если температура не постоянна или на систему действуют внешние силы, то в результате диффузия устанавливается пространственно неоднородное равновесное распределение концентраций каждого из компонентов.

Скорость протекания диффузии зависит от многих факторов: агрегатного состояния веществ (наиболее быстро происходит в газах, а наиболее медленно – в твердых веществах); от температуры (с увеличением температуры увеличивается скорость диффузии за счет увеличения скорости движения молекул взаимодействующих тел); от воздействия внешнего электрического поля – электрофорез. Скорость диффузии пропорциональна площади поперечного сечения образца (твердые вещества) или площади соприкосновения веществ (жидкости, газы). Она зависит от разности концентраций, температур и зарядов (в случае относительно небольших величин этих параметров). Скорость диффузии может увеличиваться под действием ламинарных потоков [8].

Наиболее быстро диффузия происходит в газах, медленнее в жидкостях, еще медленнее в твердых телах, что обусловлено характером теплового движения частиц в этих средах. Траектория движения каждой частицы газа представляет собой ломаную линию, т.к. при столкновениях частицы меняют направление и скорость своего движения. Неупорядоченность движения приводит к тому, что каждая частица постепенно удаляется от места, где она находилась, причем ее смещение по прямой гораздо меньше пути, пройденного по ломаной линии. Поэтому диффузионное проникновение значительно медленнее свобод-

ного движения (скорость диффузионного распространения запахов, например, много меньше скорости молекул) [1]. Смещение частицы меняется со временем случайным образом, но средний квадрат его $\langle L^2 \rangle$ за большое число столкновений растёт пропорционально времени t . Коэффициент пропорциональности D в соотношении: $\langle L^2 \rangle = Dt$ называется коэффициентом диффузии. Это соотношение, полученное А. Эйнштейном, справедливо для любых процессов диффузии. Для простейшего случая самодиффузии в газе коэффициент диффузии может быть определён из соотношения $D = \langle L^2 \rangle / t$, применённого к средней длине свободного пробега молекулы $\langle l \rangle$. Для газа $\langle l \rangle = \langle c \rangle \tau$, где $\langle c \rangle$ — средняя скорость движения частиц, τ — среднее время между столкновениями. Таким образом, $D = \langle l^2 \rangle / \tau = \langle l \rangle \langle c \rangle$ (более точно $D = \frac{1}{3} \langle l \rangle \langle c \rangle$) [5]. С увеличением молекулярной массы коэффициент диффузии уменьшается.

В каждой группе материалов в зависимости от их физико-химических свойств методы исследования скорости диффузии имеют разное физическое и конструктивное оформление [9]. Например, для металлов, стекол, керамики и минералов традиционным методом получения информации о концентрационном профиле в диффузионной зоне является метод электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа в сочетании с методикой поперечных срезов. Для систем полимер — олигомер, полимер — растворитель и жидкость — жидкость же информацию можно получить, используя методы оптической интерферометрии или сканирующей ИК-спектроскопии. Все экспериментальные методы определения коэффициента Диффузия содержат два основных момента: приведение в контакт диффундирующих веществ и анализ состава веществ, изменённого Диффузия Состав (концентрацию продиффундировавшего вещества) определяют химически, оптически (по изменению показателя преломления или поглощения света), масс-спектроскопически, методом меченых атомов и др.

Наряду с физическими методами анализа существуют математические, например, феноменологическая теория [2]. С ее помощью получены аналитиче-

ские уравнения, связывающие изменение тех или иных внешних параметров, регистрируемых в опыте, с координатой диффузии, временем, коэффициентом диффузии, размерами образца.

Одним из методов качественного анализа является органолептический, основанный на действии различных веществ на органы чувств человека. Тесно связанные между собой обоняние и вкус являются разновидностями химической чувствительности, при этом обоняние принадлежит к дистантрецепторам [7].

Обонятельная область представляет собою самую верхнюю часть слизистой оболочки носовой полости. Вся поверхность обонятельной области составляет приблизительно 5 кв. см. Пахучие вещества могут попадать сюда только двумя путями: при вдыхании и выдыхании, когда вещества проникают из хоан.

Для того чтобы пахучее вещество вызвало обонятельное ощущение, необходимо, чтобы оно было способно к испарению и к растворению в воде. Те из веществ, которые отличаются лёгкой поглощаемостью и растворимостью в липоидах, могут оказаться лучшими раздражителями. Из двух почти миллионов неорганических соединений обоняние возбуждает лишь пятая часть. Чувствительность к запаху у человека (и ещё больше у животных) очень велика. Для каждого химического вещества, обладающего летучестью и запахом, есть свой порог чувствительности – минимальная концентрация вещества, при которой человек способен ощущать его запах [4].

2. ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ДИФФУЗИИ НЕКОТОРЫХ ЛЕ- ТУЧИХ СОЕДИНЕНИЙ

3. Методика исследования

Исследование проводилось на базе муниципального общеобразовательного учреждения «Средняя общеобразовательная школа № 2» г. Мичуринска Тамбовской области в августе – октябре 2011 г.

Для исследования мы выбрали химические вещества, обладающие всеми рассмотренными нами ранее свойствами: жидкие (или хорошо растворимые в воде), летучие, обладающие ярко выраженным характерным запахом, не относящиеся к группе опасных и ядовитых реактивов, но обладающие физиологическим воздействием на организм при определенных концентрациях: 10%-ный водный раствор аммиака ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$); ацетон ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$); уксусная кислота техническая ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$).

Мы рассмотрели характеристики каждого их исследуемых веществ и за-несли их в таблицу (таблица 1).

На основе имеющихся значений среднего порога чувствительности указанных растворов [3; 10] (таблица 1) мы рассчитали минимальные объемы растворов (Приложение рис. 1) для эксперимента по схеме:

$$1. \quad m_{(в-ва)} = V_{\text{кабинета}} \cdot m_{(\text{порога})}$$

$$2. \quad V_{(в-ва)} = \frac{m}{\rho} \quad (\text{для растворов ацетона и кислоты, массовая доля}$$

которых равна 100%);

$$3. \quad V(\text{NH}_3) = \frac{m(p - pa) \cdot 10}{\rho} \quad (\text{для аммиака}).$$

Результаты расчетов занесли в таблицу (таблица 1).

Разница между объемами исследуемых растворов была обусловлена разницей в порогах чувствительности данных веществ.

Для проведения исследования в качестве экспертов были приглашены обучающиеся 9-11 классов (40 человек), относящиеся к 1-ой группе здоровья (главным показателем для нас было отсутствие хронических заболеваний со стороны дыхательных путей). Выбор данной возрастной группы было обусловлено имеющимися знаниями у обучающихся относительно характеристики запаха исследуемых образцов.

Эксперимент проводился в течение серий из 4-х дней с трехкратным повтором: в августе, октябре 2011 г. (8 – 11 августа; 22 – 25 августа; 6 – 9 октября 2011 г. – период каникул) в трех типовых классных комнатах №№ 26, 27, 28, объемом 192 м^3 (6м x 8м x 4м).

Эксперты размещались по центру классной комнаты по схеме:

День № 1 – 2 м от доски (Приложение рис. 2);

День № 2 – 4 м от доски;

День № 3 – 6 м от доски;

День № 4 – 8 м от доски.

Для чистоты эксперимента в одну и ту же аудиторию приглашались одинаковые эксперты (по 10 человек ежедневно).

Отсчет времени начинался с момента размещения исследуемого образца у доски (Приложение рис. 3).

Промежуток времени, через который начинался ощущаться запах, соответствующий индивидуальному порогу чувствительности, каждый из экспертов фиксировал с помощью секундомера.

В ходе эксперимента мы сделали ряд допущений.

1) Мы исключили влияние ламинарных потоков, учитывая, что экспериментальные кабинеты были с плотно закрытыми окнами и дверями.

2) Мы исключили потоки тепла от батарей и окон, поскольку эксперимент проводился в не отапливаемый период и пасмурную погоду.

3) Температуру воздуха в кабинетах мы считали постоянной (19-20⁰C), влажность 70-75%, эксперимент проводился ежедневно в 8.30 по московскому времени.

2.2. Результаты исследования

Результаты исследования мы занесли в таблицы (таблица 2-4), рассчитали истинное значение измеряемой величины, за которое принимается выборочное среднее значение \bar{X} для каждой серии исследований каждого вещества по формуле:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i,$$

где \bar{X} - среднее арифметическое по данной выборке, n – набор (выборка) [6, с.9].

Для каждого результата рассчитали значение случайной погрешности, за которое принимается выборочное стандартное отклонение среднего арифметического (среднеквадратичная погрешность среднего арифметического) по формуле [6, с.9]:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Результаты всех расчетов так же занесли в таблицы (таблица 2-4).

Для каждого вещества рассчитали среднее значение временных промежутков диффузии, исходя из результатов трех серий, и на основе полученных данных составили график, отражающий зависимость расстояния от времени (рис 1).

Исходя из данных графиков зависимости, можем точно сказать, что на эксперименте показано, что зависимость нелинейная. Но на небольших расстояниях можем пользоваться линейным приближением (аппроксимировать нашу нелинейную функцию - линейной функцией или, проще говоря, прямой).

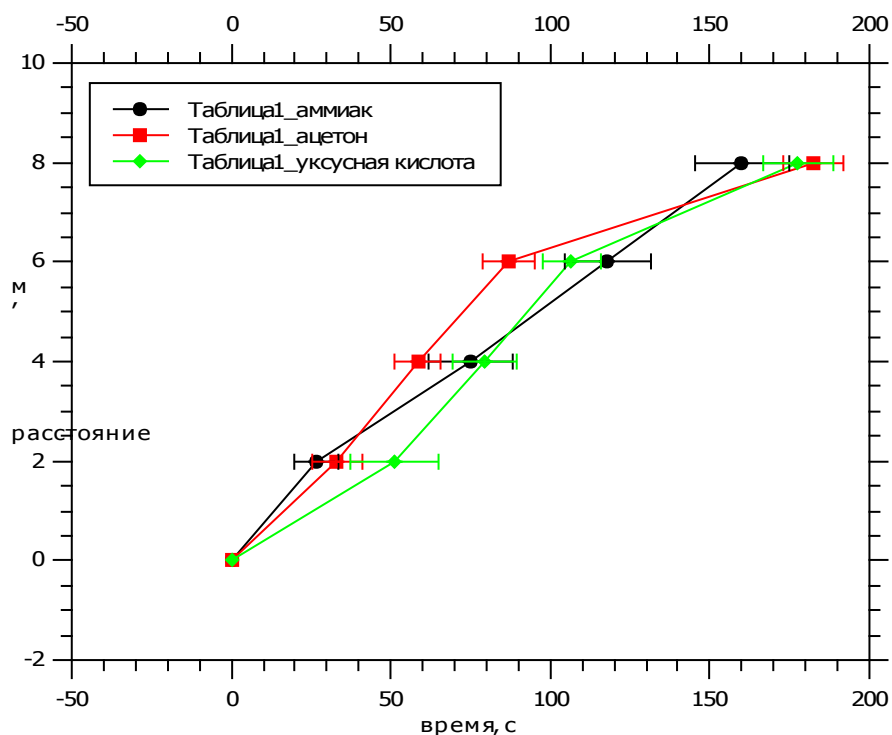


Рис. 1. Зависимость расстояния распространения диффундирующих веществ от времени

В этом случае, определив тангенс угла наклона графика на линейном участке, можем определить значение скорости диффундирующего вещества. Для этого берем только первые четыре точки (на них по графику наблюдается линейная часть) и рассчитываем тангенс угла наклона, то есть отношение Y к X . Так как в начальный момент времени значение функции равно нулю, то, следовательно, $y=kx$.

В ходе расчетов мы получили следующие результаты:

$$k_1=0,051234\pm 0,000023$$

$$k_2=0,068879\pm 0,000062$$

$$k_3=0,052870\pm 0,000036, \text{ где}$$

k_x – константа скорости, выраженная в м/с.

На основе графика зависимости мы можем сделать вывод, что на первом этапе (небольшом расстоянии от объекта) скорость диффундирования вещества находится в обратной зависимости от его молярной массы. Однако с увеличением расстояния данная зависимость нарушается, о чем свидетельствуют пока-

затели средней скорости диффузии веществ. Мы предположили, что этот факт может быть объяснен взаимодействием частиц исследуемого вещества и частиц веществ, входящих в состав воздуха; разницей в концентрации веществ на разных этапах; свойствами самих исследуемых веществ, в частности, летучестью и порогом чувствительности.

Учитывая, что ПДК паров уксусной кислоты и аммиака значительно ниже порога чувствительности этих веществ (таблица 1), и зная временной промежуток, в течение которого достигается порог чувствительности каждого соединения (таблица 2-4), можно предположить, что на расстоянии 2 м, т.е. соседних парт, концентрация аммиака и уксусной кислоты превысит ПДК менее, чем за 24с и 51с соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диффузия – физическое явление, которое находит широкое применение как в промышленности, сельском хозяйстве, так и в жизни человека, животных и растений.

Для определения скорости диффузии существует целый ряд методов, в том числе и органолептический, который позволяет исследовать скорость линейной диффузии (вдоль одной плоскости), но не является совершенным, поскольку зависит от субъективных показателей (индивидуальные физиологические свойства человека) и поэтому позволяет сделать выводы со значительной погрешностью. Однако это единственно доступный метод в условиях школьной лаборатории.

Скорость диффузии зависит от ряда факторов, в том числе и молекулярной массы вещества. Мы выяснили, что чем больше молекулярная масса вещества, тем скорость диффузии вещества на первом этапе ниже. Но эта закономерность нарушается при увеличении расстояния, на которое распространяется диффундирующее вещество. Этот факт вызвал у нас интерес, и мы планируем заняться его исследованием в ближайшее время.

Наше исследование показало, что промежуток времени, за который концентрация исследуемых веществ достигает значения ПДК, незначителен, поэтому при работе с указанными реактивами необходимо соблюдать ряд мер безопасности: наличие проточной воды, проветриваемое помещение, наличие реактивов, способных быстро нейтрализовать действие аммиака (слабым раствором уксусной кислоты) и уксусной кислоты (раствором соды).

Библиографический список

1. Академик // <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/84943/%D0%94%D0%B8%D1%84%D1%84%D1%83%D0%B7%D0%B8%D1%8F>
2. Бекман И.Н. Феноменологическая теория диффузии в гетерогенных средах и ее применение для описания процессов мембранного разделения // И.Н.Бекман, И.П.Романовский // <http://profbeckman.narod.ru/UH.htm>
3. Инженерный справочник. Таблицы DPVA info//<http://www.dpva.info/Guide/GuideMedias/Ammonia/AmmoniaProperties/>
4. Крылов А.А. Психология // А.А. Крылов // BOOKAP.info: Психологическая библиотека // http://bookap.info/genpsy/krylov_psihologiya/gl25.shtm
5. Матвеев А.Н. Молекулярная физика / А.Н. Матвеев.- М.: Высшая школа, 1991.- 400 с.
6. Митин И.В. Анализ и обработка экспериментальных данных / И.В. Митин, В.С. Русаков.- М.: Физический факультет МГУ, 2006.- 44 с.
7. Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии// С.Л. Рубинштейн //BOOKAP.info: Психологическая библиотека // <http://bookap.info/klasik/rubinshteyn/gl39.shtm>
8. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика / Д.В. Сивухин.- М.: Наука, 1991.- 591 с.
9. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике // Д.А. Франк-Каменецкий.- М.: Наука, 1987.- 500 с.
10. Фримантл М. Химия в действии в 2-х частях // М. Фримантл.- М.: Мир, 1998.- 620 с.
11. Энциклопедия физики и техники // http://femto.com.ua/articles/part_1/1086.html

Характеристика исследуемых веществ

Параметры	Вещества		
	Водный раствор аммиака ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	Ацетон ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$)	Уксусная кислота (CH_3COOH)
Молекулярная масса, а.е.м.	17	46	60
Плотность исследуемого раствора (г/см^3)	0,9575	0,79	1,05
Порог чувствительности (мг/м^3)	35	70	400
ПДК (мг/м^3)	20	200	5
Физиологическое воздействие на организм человека	Пары аммиака вызывают обильное слезотечение, боль в глазах, химический ожог конъюнктивы и роговицы, потерю зрения, приступы кашля, покраснение и зуд кожи.	Ацетон обладает возбуждающим и наркотическим действием, поражает центральную нервную систему, способен накапливаться в организме, в связи с чем токсическое действие зависит не только от его концентрации, но и от времени воздействия на организм.	Пары уксусной кислоты раздражают слизистые оболочки верхних дыхательных путей.
Объем исследуемого раствора (мл)	70,2	17	73,1

Приложение Таблица 2

Результаты исследования времени диффузии аммиака
в классной комнате (август, октябрь 2011 г.)

Серия опытов	Время диффузии (с)			
	2м	4м	6м	8м
№ 1 (8-11.08.2011)	12	96	109	129
	33	54	133	164
	29	47	141	181
	27	111	108	128
	14	52	97	151
	27	68	99	147
	36	105	109	178
	21	57	121	175
	28	49	127	168
	17	61	133	155
Среднее значение	24,4±6,8	70±9	118±14	158±16
№ 2 (22-25.08.2011)	34	67	109	181
	17	65	111	173
	24	91	134	160
	23	102	125	163
	29	56	98	151
	35	56	87	159
	41	77	128	163
	13	69	135	169
	21	49	102	149
	27	74	109	157
Среднее значение	26,4±6,6	71±11	114±14	163±7
№ 3 (06-09.10.2011)	37	43	115	120
	27	95	92	122
	31	82	135	186
	33	108	131	183
	20	104	133	180
	16	73	148	168
	60	102	122	179
	21	108	108	146
	15	69	112	167
	34	61	130	151
Среднее значение	29,4±9	85±19	123±13	160±21

Приложение Таблица 3

Результаты исследования времени диффузии ацетона
в классной комнате (август, октябрь 2011 г.)

Серия опытов	Время диффузии (с)			
	2м	4м	6м	8м
№ 1 (8-11.08.2011)	47	61	99	191
	21	44	81	158
	35	59	69	187
	36	57	86	187
	29	58	85	165
	31	73	100	199
	54	59	94	200
	25	60	69	167
	19	52	77	183
	38	69	89	179
Среднее значение	34±8	59±4	85±9	182±12
№ 2 (22-25.08.2011)	20	61	100	187
	51	54	85	192
	29	51	93	194
	33	68	80	168
	31	71	102	171
	41	50	67	179
	34	58	87	183
	30	58	89	191
	27	60	93	185
	39	59	81	190
Среднее значение	34±6	59±5	88±8	184±7
№ 3 (06-09.10.2011)	31	43	101	183
	16	76	87	184
	15	53	90	187
	35	38	85	179
	80	80	85	196
	37	57	101	151
	25	63	69	169
	33	51	76	187
	31	61	98	188
	24	49	86	192
Среднее значение	33±10	57±11	88±8	182±10

Приложение Таблица 4

Результаты исследования времени диффузии уксусной кислоты
в классной комнате (август, октябрь 2011 г.)

Серия опытов	Время диффузии (с)			
	2м	4м	6м	8м
№ 1 (8-11.08.2011)	57	76	121	207
	98	59	119	184
	45	61	98	191
	57	76	99	167
	26	88	102	178
	52	101	108	173
	39	113	97	182
	41	79	96	174
	34	74	109	154
	57	78	113	169
Среднее значение	51±13	81±12	106±8	178±10
№ 2 (22-25.08.2011)	44	79	112	185
	58	78	123	194
	59	64	109	157
	63	93	97	187
	78	77	89	173
	23	79	112	162
	27	69	108	186
	54	86	87	171
	39	78	131	191
	68	81	104	170
Среднее значение	51±15	78±5	107±10	178±11
№ 3 (06-09.10.2011)	33	64	98	180
	52	61	94	188
	74	71	122	197
	29	58	123	157
	39	78	103	156
	40	102	110	174
	78	110	108	171
	62	86	102	173
	37	77	117	166
	66	86	87	206
Среднее значение	51±14	79±14	106±10	177±12



Рис. 1. Приготовление исследуемых растворов заданного объема



Рис. 2. Работа экспертов в кабинете химии № 28



Рис. 3. Момент начала отсчета времени эксперимента