

УДК 53.06**Лабораторный практикум по физике для студентов нефтегазового профиля вузов****Ильясов Вадим Хабибович**

Кандидат физико-математических наук,
Ухтинский государственный технический университет,
169300, Российская Федерация, Ухта, ул. Первомайская, 13;
e-mail: pt22_PlyasVN@list.ru

Шамбулина Вера Николаевна

Доцент кафедры физики,
Ухтинский государственный технический университет,
169300, Российская Федерация, Ухта, ул. Первомайская, 13;
e-mail: shambula999@mail.ru

Аннотация

В нефтегазовой промышленности происходят процессы, требующие большой информированности и знаний. Для их понимания и трактовки конечно необходимо знание и использование физических законов. Одним из способов проверки физических законов является выполнение лабораторных работ по физике, где студенты изучают определенные физические явления, измеряют те или иные физические величины, экспериментально подтверждают выполнение данных законов или физических постоянных. Также лабораторные работы по физике дают студентам возможность получить опыт работы на сложном научном оборудовании. Авторы данной статьи, описали применимость к нефтегазовой промышленности нескольких лабораторных работ, по разделам колебания и волны, молекулярная физика и оптика. Резюмируя все изложенное в статье, авторы выражают уверенность, что все физические понятия, рассмотренные в лабораторном практикуме по физике, в дальнейшем пригодятся студентам в их профессиональной деятельности.

Для цитирования в научных исследованиях

Ильясов В.Х., Шамбулина В.Н. Лабораторный практикум по физике для студентов нефтегазового профиля вузов // Педагогический журнал. 2019. Т. 9. № 2А. С. 326-339.

Ключевые слова

Колебание, длина волны, водонефтяной контакт, газлифт, соляно-кислотная обработка, конденсация, давление насыщенного пара, диффузия, спектроскопия, нефть.

Введение

В нефтяной промышленности имеются много механизмов, совершающие колебательное движение. Например, станок-качалка, поршневой насос. Для трудноизвлекаемых запасов нефти, обусловленных геологическими особенностями залегания, выраженными в макронеоднородности коллекторов, множественных водонефтяных контактах, разломах, тектонических экранах, управляемое физическое воздействие на фильтрационные процессы позволит адресно воздействовать на зоны с остаточными запасами [Мордвинов, 2015]. Для повышения нефтеотдачи пласта используют различное воздействие, в частности электромагнитное. Электромагнитное воздействие (ЭМВ) – воздействие, оказываемое колебаниями волн различных диапазонов с целью влияния на нефтесодержащий пласт и пластовый флюид, для изменения их свойств, которые повлияют на дополнительное извлечение нефти.

В процессе глубокой переработки нефти используют СВЧ-излучение. Это излучение может быть использовано в процессе глубокого обезвоживания и обессоливания нефти на пунктах подготовки и нефтеперерабатывающих заводах.

Т.е. параметры, которыми характеризуются понятия колебательного движения (частота, амплитуда и т.д.), широко представлено в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. И поэтому студентам, соответствующих специальностей, необходимо изучать колебательное движение [Трофимова, 2015; Кузнецов, 2013].

Студентам нефтегазового направления Ухтинского государственного технического университета предлагаются лабораторные работы, где данные параметры изучаются экспериментально.

Основная часть

Покажем это на примере лабораторной работы «Механические колебания и волны», цель которой заключается в следующем:

1. определение длины волны колебаний шнура в зависимости от его длины и силы натяжения;
2. изучение продольных колебаний цилиндрической пружины: определение длины волны в зависимости от частоты колебаний.

Для выполнения лабораторной работы используем шнур, цилиндрическую пружину, динамометр и функциональный преобразователь.

Механические волны могут возникать в растягиваемых цилиндрических пружинах, где возникают продольные волны, и натянутой веревке, где возникают поперечные волны. В любом случае стоячие волны установятся, если один конец системы, где они распространяются, закрепить неподвижно. Это происходит потому, что падающая волна и отраженная от точки крепления волна имеют одинаковые амплитуды и налагаются друг на друга. Если закрепить и другой конец, волны смогут распространяться только при выполнении условий резонанса. В этом опыте цилиндрическая пружина и веревка закрепляются на одном из своих концов (рисунок 1).

Другой конец, на расстоянии L от точки неподвижного крепления, крепится к генератору вибрации, в котором генератор сигналов различной формы используется для возбуждения колебаний малой амплитуды с изменяемой частотой f . В той или иной степени этот конец также

можно рассматривать как закрепленную точку. Собственная частота вибрации измеряется по количеству узлов стоячей волны. Затем по этим данным можно рассчитать скорость распространения волны.



Рисунок 1 – Шнур, цилиндрическая пружина, динамометр и функциональный преобразователь

Частота f и длина волны λ связаны следующим образом:

$$v = f \cdot \lambda,$$

где v – скорость распространения волны.

$$L = (n+1) \cdot \frac{\lambda_n}{2} \tag{1}$$

Тогда, согласно $v = f \cdot \lambda$ частота равна

$$f_n = (n+1) \cdot \frac{v}{2 \cdot L} \tag{2}$$

Это подразумевает, что условие резонанса выполняется, только если длина шнура L кратна половине длины волны. Резонансная частота должна соответствовать этой длине волны. В этом случае n – количество узлов колебания. Оно равно нулю, если в основном колебании имеется только одна пучность (рисунок 2).

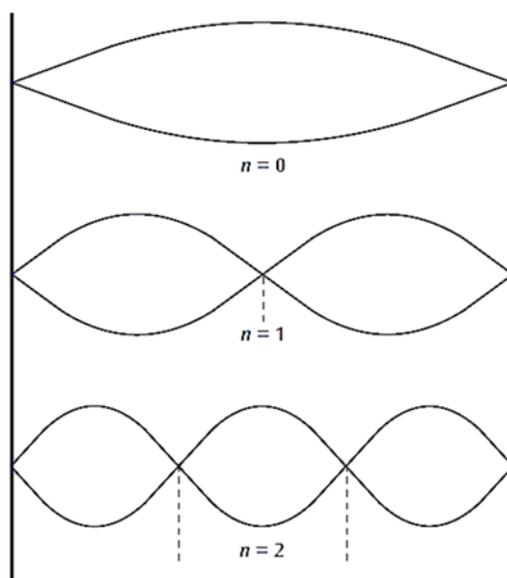


Рисунок 2 - Стоячие волны

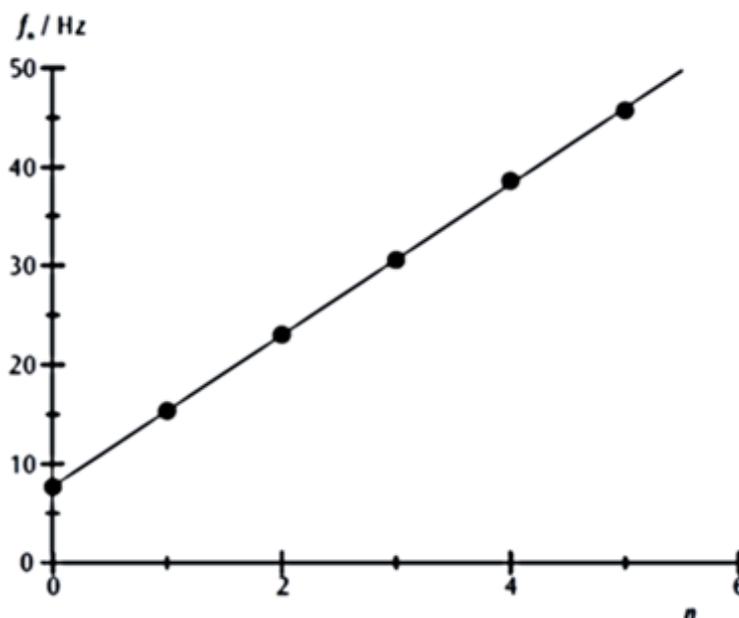


Рисунок 3 - Зависимость резонансной частоты от количества узлов волн в цилиндрической пружине

В этом опыте средой, где распространяется волна, является либо пружина, либо веревка, закрепленная одним концом к некоторой неподвижной точке. Другой конец соединяется с генератором вибрации на расстоянии L от этой неподвижной точки. В нем генератор сигналов различной формы используется для возбуждения колебаний малой амплитуды с изменяемой частотой f . В той или иной степени этот конец также можно рассматривать как закрепленную точку.

Если построить график зависимости частоты от количества узлов стоячей волны, точки этого графика окажутся на прямой с наклоном α (рисунок 3):

$$\alpha = \frac{v}{2 \cdot L} \quad (3)$$

Поэтому, если известна длина шнура L , можно рассчитать скорость распространения волны v . При равенстве всех остальных параметров она будет зависеть от силы натяжения шнура F (рисунок 4).

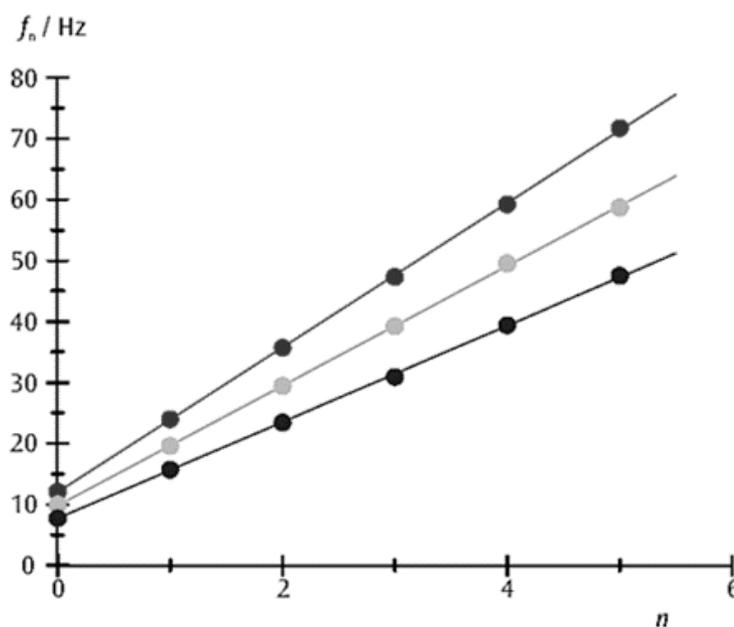


Рисунок 4. Зависимость скорости распространения волны v от F^2 для случая волн в шнуре

Длину волны можно вывести из формулы (1):

$$\lambda_n = 2 \cdot \frac{L}{n+1} \quad (4)$$

Необходимо выполнить следующие задания:

1. Исследование зависимости длины волны от длины шнура L .
2. Исследование зависимости длины волны от силы натяжения шнура.
3. Исследование зависимости длины волны пружины от частоты колебаний.

В каждом задании необходимо построить соответствующие зависимости (рисунок 4). Для закрепления материала студентам необходимо ответить на контрольные вопросы и выполнить индивидуальные задания.

В ходе выполнения данных заданий студенты получают представление о таких параметрах как частота, амплитуда, резонанс, длина волны и скорость ее распространения.

В нефтяной промышленности используют различные методы воздействия на пласт, для

интенсификации добычи нефти. Многие методы основаны на таком физическом явлении как диффузия. Некоторые примеры рассмотрим ниже.

Одним из примеров возникновения процесса диффузии является наличие водонефтяного контакта в пласте.

Водонефтяной контакт (ВНК) – поверхность, отделяющая в пласте нефтяной залежи от контактирующих с ними напорных пластовых вод. Граница между водой и нефтью не является резкой; в зоне ВНК существует переходная зона или зона взаимного проникновения (диффузия) различных мощностей (от долей м до 10-15 м), зависящая от высоты капиллярного подъема воды, коллекторских свойств водоносных и нефтеносных отложений, а также от физико-химических параметров воды и нефти.

После того, когда давление в скважине уменьшится, и скважина начнет давать мало нефти, переходят на механизированный способ эксплуатации скважин, при котором вводят дополнительную энергию с поверхности. Одним из таких способов, при котором вводят энергию в виде сжатого газа, является газлифт.

Газлифт (эрлифт) – система, состоящая из эксплуатационной (обсадной) колонны труб и опущенных в нее насосно-компрессорные трубы (НКТ), в которой подъем жидкости осуществляется с помощью сжатого газа (воздуха). Иногда эту систему называют газовый (воздушный) подъемник. Способ эксплуатации скважин при этом называется газлифтным.

В затрубное пространство нагнетают газ под высоким давлением, в результате чего уровень жидкости в нем будет понижаться, а в НКТ повышаться. Когда уровень жидкости понизится до нижнего конца НКТ, сжатый газ начнет поступать в НКТ и перемешиваться с жидкостью (диффузия). В результате плотность такой газожидкостной смеси становится ниже плотности жидкости, поступающей из пласта, а уровень в НКТ будет повышаться. Чем больше будет введено газа, тем меньше будет плотность смеси и тем на большую высоту она поднимется. При непрерывной подаче газа в скважину жидкость (смесь) поднимается до устья и изливается на поверхность, а из пласта постоянно поступает в скважину новая порция жидкости.

Для очистки забоев, призабойной зоны, НКТ от солевых, парафинисто-смолистых отложений и продуктов коррозии при освоении скважины с целью их запуска, а также для увеличения проницаемости пород предназначены соляно – кислотные обработки (СКО) скважин. Под воздействием соляной кислоты (диффузия) в породах ПЗС образуются пустоты, каверны, каналы разъедания, вследствие чего увеличивается проницаемость пород, а следовательно, и производительность нефтяных (газовых) и приемистость нагнетательных скважин.

И поэтому студентам соответствующих направлений необходимо изучать явление диффузии. Для студентов нефтегазового направления Ухтинского государственного технического университета предлагается выполнить лабораторную работу, где данное явление изучается экспериментально.

Покажем это на примере лабораторной работы «Определение коэффициента взаимной диффузии воздуха и водяного пара», цель которой заключается в следующем:

1. изучение диффузии как одного из явлений переноса;
2. экспериментальное определение коэффициента взаимной диффузии воздуха и водяного пара.

Для выполнения лабораторной работы используется экспериментальная установка ФПТ1-4, включающая микроскоп, рабочий элемент, блок приборов со встроенным секундомером и цифровым контроллером для измерения температуры (рисунок 5), пипетка.

Диффузия – это явление самопроизвольного взаимного проникновения и перемешивания частиц двух соприкасающихся газов, жидкостей и даже твердых тел. В химически чистых газах диффузия возникает вследствие неодинаковой плотности в различных частях объема газа. В случае смеси газов причиной диффузии является различие в концентрации отдельных газов в объеме смеси. Если это явление не осложнено изменением температуры по объему газа, то оно заключается в переносе массы газа из мест с большей концентрацией данного газа в места с меньшей концентрацией [Шамбулина, 2016].

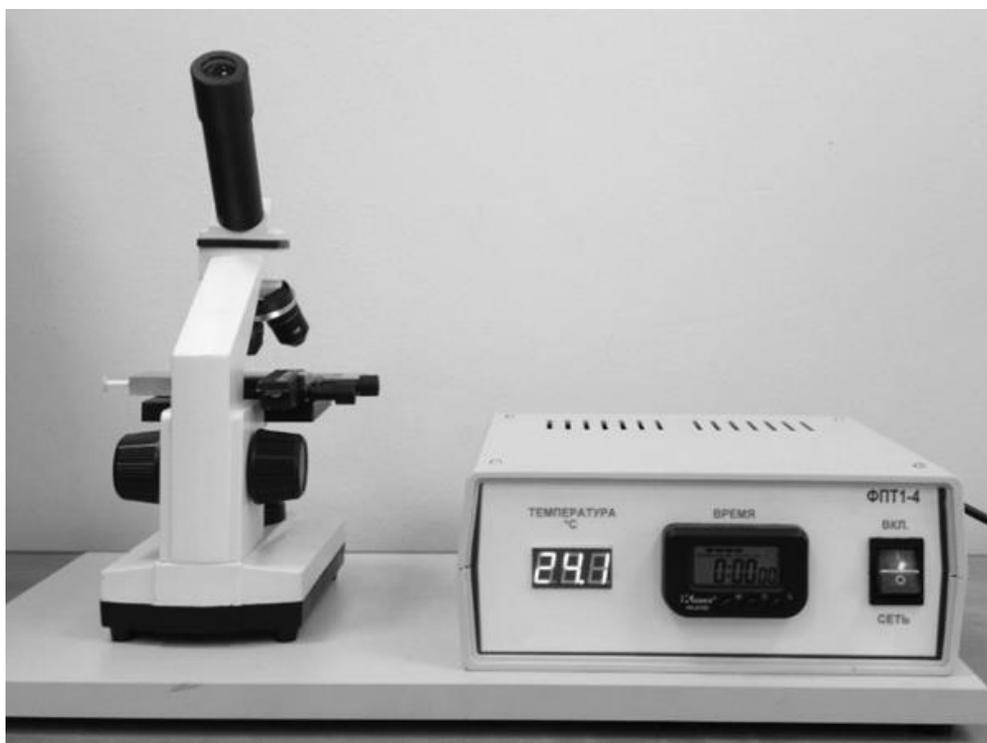


Рисунок 5 - Экспериментальная установка ФПТ1-4

Масса компонента газа, которая переносится вследствие диффузии через поверхность площадью S , перпендикулярную к оси Ox , за время τ , определяется законом Фика:

$$M = -D \frac{d\rho}{dx} S \tau \quad (5)$$

Таким образом, коэффициент диффузии численно равен массе вещества, которое диффундирует за единицу времени через плоскую поверхность единичной площади, проведенную в газе перпендикулярно к направлению переноса вещества при единичном градиенте плотности. Знак минус в формуле (5) показывает, что перенос массы вещества при диффузии осуществляется в направлении убывания плотности.

Для идеального газа коэффициент диффузии

$$D = \frac{1}{3} \langle \lambda \rangle \langle g \rangle \quad (6)$$

Когда один и тот же объем занимает смесь газов (два газа и более), то полное давление смеси равно сумме парциальных давлений отдельных газов, из которых состоит смесь. Парциальное давление газа определяется как давление этого газа, если бы он один занимал этот объем. Этот экспериментальный закон был установлен Дальтоном и называется законом Дальтона для смеси газов. Согласно этому закону, каждый газ в смеси создает парциальное давление, пропорциональное его молекулярной концентрации. Это положение согласуется с законом идеального газа, из которого следует, что полное давление

$$P = \frac{N}{V} kT \quad (7)$$

При этом имеем

$$P = \frac{N_1}{V} kT + \frac{N_2}{V} kT + \dots + \frac{N_i}{V} kT = P_1 + P_2 + \dots + P_i \quad (8)$$

Процесс испарения жидкости можно объяснить в рамках молекулярно-кинетической теории. Молекулы жидкости движутся с различными скоростями. Между этими молекулами имеются значительные силы притяжения, которые и удерживают их вместе в жидком состоянии. Только те молекулы, кинетическая энергия которых больше некоторого определенного значения, могут перейти в газообразное состояние. При более высоких температурах скорость испарения больше.

Поскольку самые быстрые молекулы улетают с поверхности жидкости, средняя скорость оставшихся молекул уменьшается, а значит, абсолютная температура жидкости понижается. Таким образом, процесс испарения представляет собой процесс охлаждения жидкости.

Воздух обычно содержит водяные пары (воду в газообразном состоянии), причем они попадают в воздух главным образом за счет испарения. Поскольку испарившиеся молекулы движутся вблизи поверхности жидкости, некоторые из них будут сталкиваться с ней и возвращаться в жидкое состояние; этот процесс называется конденсацией. Число молекул пара возрастает до тех пор, пока не будут достигнуты такие условия, когда число возвращающихся в жидкость молекул равно числу молекул, покидающих жидкость за тот же промежуток времени. При этом наблюдается состояние равновесия, и пространство над жидкостью насыщено. Давление пара, если он насыщен, называется давлением насыщенного пара. Оно в значительной степени зависит от температуры и в точке кипения равно атмосферному давлению.

Относительная влажность воздуха равна отношению парциального давления водяного пара в воздухе к давлению насыщенного пара при этой температуре; ее обычно выражают в процентах.

Необходимо выполнить следующее задание: вычислить коэффициент взаимной диффузии воздуха и водяного пара. Таким образом, выполнив эту лабораторную работу, студенты усваивают такие понятия как диффузия, давление насыщенного пара, влажность воздуха.

В нефтегазовой промышленности также широко используются спектроскопические методы анализа вещества, в частности нефти и нефтепродуктов [Ильичев, 2010; Логинов, Некрасова, 2018]. Спектроскопия — это наука о взаимодействии электромагнитного излучения с веществами. В процессе этого взаимодействия получают различные спектры (линейчатые, сплошные и т.д.), позволяющие делать анализ света и вещества. Разделом физики, изучающим

спектры, является оптика. Оптика – раздел физики, в котором изучают явления и закономерности, связанные с возникновением, распространением и взаимодействием с веществом световых электромагнитных волн. Для понимания спектроскопии, необходимо усвоить понятия (явления) дисперсия, интерференция и дифракция.

На кафедре физики УГТУ имеется установка для проведения лабораторной работы для усвоения понятия интерференция света (рисунок 6).



Рисунок 6 - Установка для проведения лабораторной работы для усвоения понятия интерференция света

Изучение интерференционных явлений рассмотрим на примере интерференции света в толстой стеклянной пластинке при освещении ее расходящейся сферической монохроматической волной [Шамбулина, 2008]. В плоскости наблюдения происходит наложение волн, отразившихся от передней и от задней поверхности пластинки. При наложении сферических волн в плоскости наблюдения возникает интерференционная картина в виде системы интерференционных колец – полос равного наклона (в отличие от колец Ньютона – колец равной толщины). Возможность возникновения интерференционной картины связано с большой когерентностью лазерного излучения. Интерференционная картина возникает, когда длина когерентности света больше разности хода интерферирующих волн.

Если плоскопараллельная стеклянная пластина освещена точечным источником квазимонохроматического света, то в любую точку наблюдения P_0 , находящуюся с той же стороны, что и источник S , приходят две волны: одна – отразившаяся от передней поверхности пластины, и другая, отразившаяся от задней ее поверхности (рисунок 7).

Интерферируя, эти волны образуют не локализованную интерференционную картину. Из соображений симметрии понятно, что в плоскостях, параллельных пластине, интерференционные полосы имеют вид колец (рисунок 8). Разрешимость этих полос уменьшается при увеличении размеров источника в направлении перпендикулярном к

плоскости пластины.

В случае точечного монохроматического источника света каждая точка пространства характеризуется вполне определенной разностью хода приходящих в нее отраженных волн. Поэтому для монохроматического когерентного источника света устойчивая интерференция должна наблюдаться в каждой точке пространства. Про соответствующие полосы интерференции говорят, что они не локализованы (или локализованы всюду).

Мы ограничились интерференцией только двух волн, пренебрегая при этом многократными отражениями. Это приближение справедливо, когда коэффициент отражения невелик. Например, для стекла ($n = 1,51$) интенсивности волн, возникающих при однократном отражении от одной и другой плоскости почти одинаковы, а последующие многократные отражения уменьшают интенсивность в сто и более раз. Поэтому последующие отражения можно не принимать во внимание.

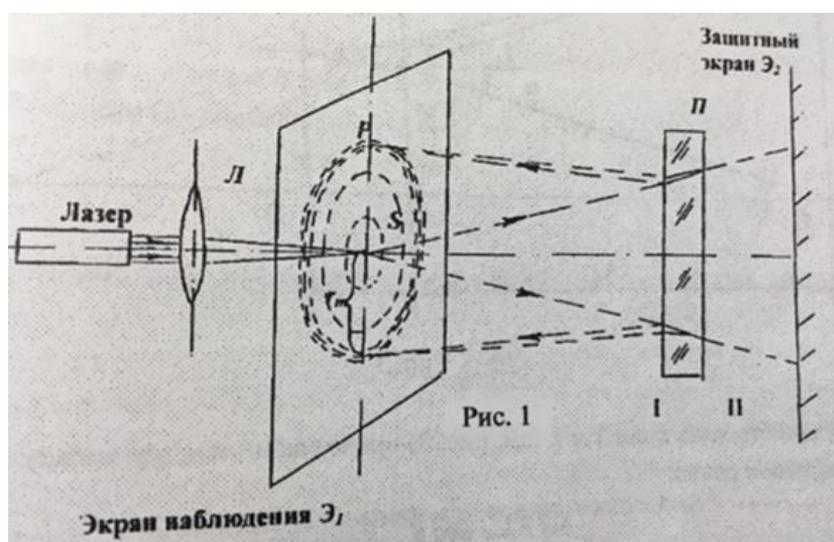


Рисунок 7 – Две волны

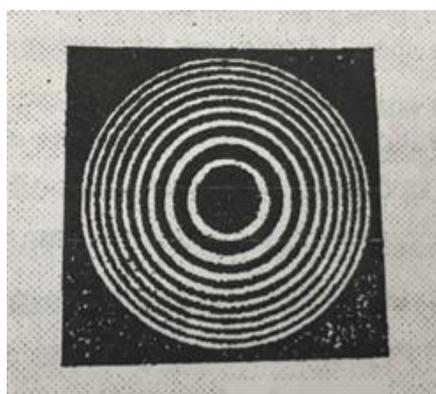


Рисунок 8 - В плоскостях, параллельных пластине, интерференционные полосы имеют вид колец

Приведенные далее соотношения описывают интерференцию в толстой стеклянной пластине как двухлучевую интерференцию.

Итак, на экран падают две сферические волны, возникающие при отражении от передней и

задней поверхности пластины. Разница между радиусами ΔR этих двух сферических волн в точке наблюдения P определяется толщиной пластины h и коэффициентом преломления материала n . Интерференционная картина имеет вид концентрических темных и светлых колец.

Для описания картины интерференции определим радиусы колец в картине. Ход лучей при отражении от толстой стеклянной пластины показан на рисунок 4.

Разность хода волн 1 и 2 (рисунок 9) приходящих к m -му кольцу (в точку r_m) равна:

$$\Delta = 2 h n \cos \beta \quad (9)$$

Можно полагать, что эти волны излучаются мнимыми точками S' и S'' – изображениями источника S в передней и задней поверхностях пластины.

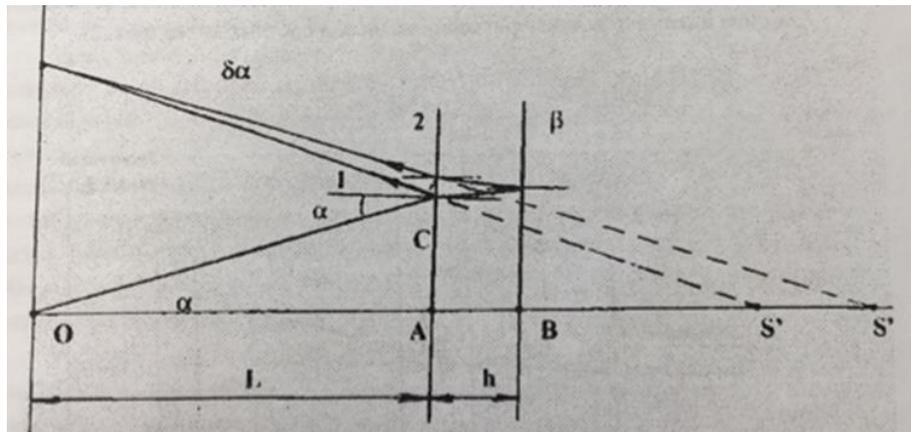


Рисунок 9 - Разность хода волн 1 и 2

При условии $\Delta = m\lambda$ кольцо порядка m оказывается темным, так как к геометрической разности хода Δ необходимо добавить еще $\lambda/2$ и учесть, таким образом, изменение фазы волны 1 на π при отражении от передней поверхности пластины.

Полагаем, что L велико: $L \gg h$, угол падения α - мал, $\delta\alpha \ll \alpha$.

Будем полагать для простоты, что центральной точке O также соответствует условие минимума, т.е. разность хода $\Delta_o = 2hn = m_o\lambda$ (т.е. точке O на экране наблюдения соответствует порядок интерференции m_o). Тогда m -му темному кольцу радиуса r_m отвечает порядок интерференции $m_o - m$ и разность хода $\Delta = (m_o - m)\lambda$. Как видно из рисунка 4

$$r_m = 2 L \operatorname{tg} \alpha \approx 2 L \alpha \approx 2 L n \beta \quad (10)$$

(β - угол преломления в пластинке, связанный с углом падения α законом преломления $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \approx \frac{\alpha}{\beta}$). Мы получаем $\Delta_o - \Delta = 2hn(1 - \cos \beta) = m\lambda$ или $2hn\beta^2 = m\lambda$, (так как $1 - \cos \beta \approx 1/2 \beta^2$).

Используя (10), находим $\beta^2 = \frac{r_m^2}{4L^2 n^2}$.

Окончательно, для радиуса m -ого темного кольца имеем:

$$r_m = 2L \sqrt{\frac{nm\lambda}{h}} \quad (11)$$

При выполнении эксперимента на экран наблюдения закрепляется белая бумага. Для фиксированного значения L по любому из радиусов в интерференционной картине карандашом делается отметка положения всех видимых интерференционных минимумов. Таких зарисовок делается несколько. Далее рисунок снимается и с помощью линейки определяется среднее значение для каждого x_m . По результатам строится график зависимости $x_m = x_m \sqrt{m}$. Чистый лист бумаги вновь закрепляется на экране \mathcal{E}_1 , далее делается зарисовка положения минимумов или одного из них для различных значений L . Рисунок вновь снимается и после измерений строится график зависимости $x_m = x_m(L)$. Проверяется соотношение (11). По тангенсу наклона в графиках зависимостей $x_m = x_m(\sqrt{m})$ и $x_m = x_m(L)$ определяется значение толщины стеклянной пластины h . После определения h на графиках $x_m(\sqrt{m})$ и $x_m(L)$ наносятся расчетные значения по формуле (11). Длина волны считается заданной. Если задать значение толщины пластины, то, используя полученные результаты, можно определить длину волны.

Заключение

Резюмируя вышеизложенное, мы уверены, что все физические понятия, рассмотренные в лабораторном практикуме по физике, в дальнейшем пригодятся студентам в их профессиональной деятельности.

Библиография

1. Ильичев И.С. Основы физико-химического анализа продуктов нефтепереработки и нефтехимического синтеза. Нижний Новгород, 2010. URL: <http://window.edu.ru/resource/870/79870>
2. Ильясов В.Х. Направления развития методов преподавания и практико-ориентированный подход к преподаванию курса физики // Балтийский гуманитарный журнал. 2018. Т.7. №2(23). С. 247-250.
3. Кузнецов С.И. (ред.) Справочник по физике. Часть I. Механика. Механические колебания и волны. Молекулярная физика и термодинамика. Томск, 2013. 113 с.
4. Логинов В.Г., Некрасова Л.А. Исследование температурных зависимостей ИК-спектров поглощения аномальных нефтей Усинского, Ярегского и Кыртаельского месторождений // Материалы Всероссийской научно-технической конференции: Проблемы геологии, разработки и эксплуатации месторождений и транспорта трудноизвлекаемых запасов углеводородов. Ухта, 2018. С. 156-163.
5. Мордвинов А.А. Основы нефтегазопромыслового дела. Ухта, 2015. 161 с.
6. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Академия, 2015. 560 с.
7. Шамбулина В.Н. Изучение интерференции лазерного света в толстой стеклянной пластинке. Ухта, 2008. 11 с.
8. Шамбулина В.Н. Определение коэффициента взаимной диффузии воздуха и водяного пара. Ухта, 2016. 11 с.

Laboratory course in physics for students of oil and gas profile universities

Vadim Kh. Ilyasov

PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor,
Department of Physics,
Ukhta State Technical University,
169300, 13, Pervomaiskaya st., Ukhta, Russian Federation;
e-mail: pt22_IlyasVH@list.ru

Vera N. Shambulina

Associate Professor, Department of Physics,
Ukhta State Technical University,
169300, 13, Pervomaiskaya st., Ukhta, Russian Federation;
e-mail: shambula999@mail.ru

Abstract

In the oil and gas industry there are processes that require a great deal of awareness and knowledge. For their understanding and interpretation, of course, knowledge and use of physical laws is necessary. One way to check the physical laws is to perform laboratory work in physics, where students study certain physical phenomena, measure certain physical quantities, experimentally confirm the fulfillment of these laws or physical constants. Also, laboratory work in physics gives students the opportunity to gain experience in complex scientific equipment. For example, the parameters that characterize the concepts of oscillatory motion (frequency, amplitude, etc.) are widely represented in the oil and petrochemical industry. And therefore, students of relevant specialties, it is necessary to study the oscillatory motion. Students of the oil and gas sector of Ukhta State Technical University are offered laboratory work, where these parameters are studied experimentally. The authors of this article described the applicability to the oil and gas industry of several laboratory works, on the sections of oscillations and waves, molecular physics and optics. Summarizing everything stated in the article, the authors express confidence that all the physical concepts considered in the laboratory practical work on physics will later be useful to students in their professional activities.

For citation

Il'yasov V.Kh., Shambulina V.N. (2019) Laboratornyi praktikum po fizike dlya studentov neftegazovogo profilya vuzov [Laboratory course in physics for students of oil and gas profile universities]. *Pedagogicheskii zhurnal* [Pedagogical Journal], 9 (2A), pp. 326-339.

Keywords

Oscillation, wavelength, oil-water contact, gas lift, hydrochloric acid treatment, condensation, saturated vapor pressure, diffusion, spectroscopy, oil.

References

1. Il'ichev I.S. (2010) *Osnovy fiziko-khimicheskogo analiza produktov neftepererabotki i neftekhimicheskogo sinteza* [Fundamentals of physics-chemical analysis of refined petroleum products and petrochemical synthesis]. Nizhniy Novgorod. Available at: <http://window.edu.ru/resource/870/79870> [Accessed 02/02/2019]
2. Il'yasov V.Kh. (2018) Napravleniya razvitiya metodov prepodavaniya i praktiko-orientirovannyi podkhod k prepodavaniyu kursa fiziki [Directions of development of teaching methods and practice-oriented approach to teaching physics course]. *Baltiiskii gumanitarnyi zhurnal* [Baltic Humanitarian Journal], 7, 2(23), pp. 247-250.
3. Kuznetsov S.I. (ed.) (2013) *Spravochnik po fizike. Chast' I. Mekhanika. Mekhanicheskie kolebaniya i volny. Molekulyarnaya fizika i termodinamika* [Handbook of Physics. Part I. Mechanics. Mechanical vibrations and waves. Molecular physics and thermodynamics]. Tomsk.
4. Loginov V.G., Nekrasova L.A. (2018) Issledovanie temperaturnykh zavisimostei IK-spektrov pogloshcheniya anomal'nykh neftei Usinskogo, Yaregskogo i Kyrtael'skogo mestorozhdenii [Investigation of the temperature dependences of the IR absorption spectra of anomalous oil from the Usinsk, Yaregskoye and Kyrtaelskoye fields]. In: *Materialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii: Problemy geologii, razrabotki i ekspluatatsii mestorozhdenii i transporta trudnoizylekaemykh zapasov uglevodorodov* [Proceedings of the All-Russian Scientific and

Technical Conference: Problems of geology, development and operation of deposits and transport of hard-to-recover hydrocarbon reserves]. Ukhta.

5. Mordvinov A.A. (2015) *Osnovy neftegazopromyslovogo dela* [Fundamentals of oil and gas business]. Ukhta.
6. Shambulina V.N. (2008) *Izuchenie interferentsii lazernogo sveta v tolstoi steklyannoi plastinke* [The study of the interference of laser light in a thick glass plate]. Ukhta.
7. Shambulina V.N. (2016) *Opredelenie koefitsienta vzaimnoi diffuzii vozdukha i vodyanogo para* [Determination of the coefficient of mutual diffusion of air and water vapor]. Ukhta.
8. Trofimova T.I. (2015) *Kurs fiziki* [Physics course]. Moscow: Akademiya Publ.