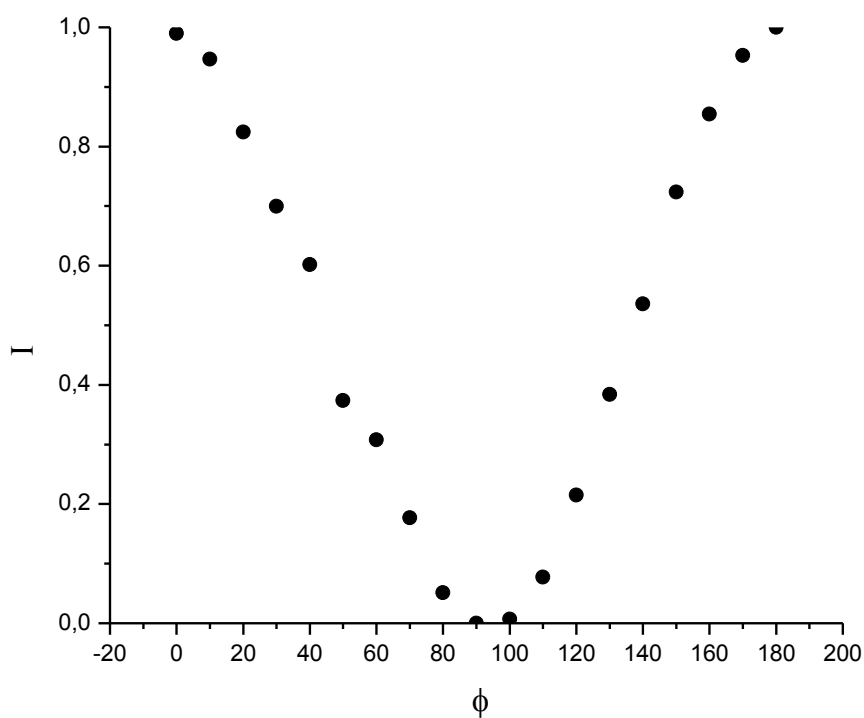


11 класс Поляризация Решение

Часть 1. Изучение поляризаторов

Результаты

φ , градусы	I , о.е.	φ , градусы	I , о.е.
0	9,2	100	0,30
10	8,9	110	0,84
20	8,0	120	1,89
30	7,0	130	3,18
40	5,0	140	4,34
50	3,1	150	5,77
60	2,6	160	6,77
70	1,6	170	7,52
80	0,64	180	7,88
90	0,25	100	0,30

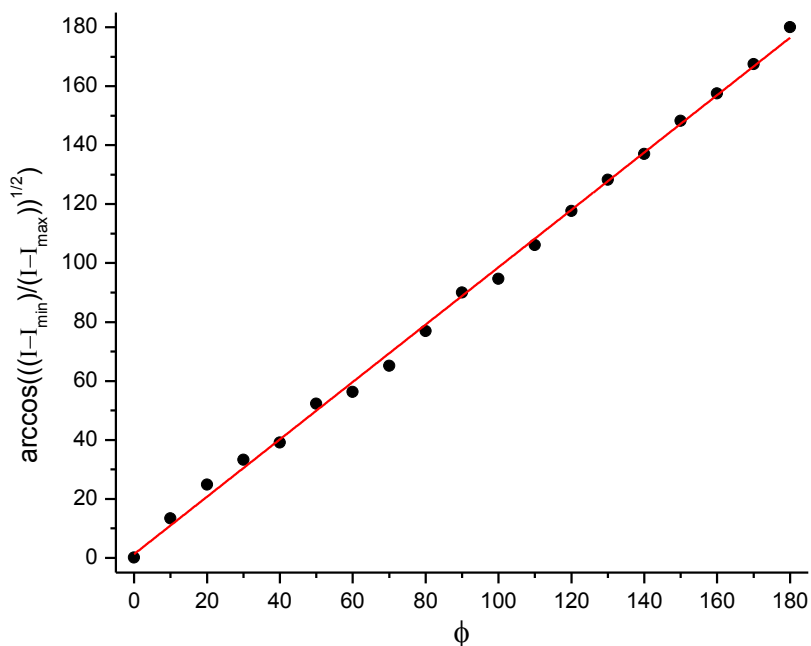


Данные точки можно линеаризировать, используя закон Малюса:

$$I = I_{pol} \cdot \cos^2(\varphi - \varphi_0) + I_0$$

$$I_{max} = I_{pol} + I_0$$

$$\varphi = \varphi_0 + \arccos\left(\sqrt{\frac{I - I_0}{I_{max} - I_0}}\right)$$



Определение угла между опорной линией и главной осью второго поляризатора – задача простая.

Необходимо расположить поляризаторы так, чтобы через поляризаторы проходило как можно меньше света от фонарика. В этом случае поляризаторы будут скрещены и их оси будут находиться под углом в 90 градусов. Таким образом можно определить положение главной оси исследуемого поляризатора и определить угол между опорной линией и осью поляризации. Для нашего эксперимента он составил:

$$\Delta\phi = 60 \pm 5 \text{ градусов.}$$

Часть 2. Поляризация рассеяния.

Результаты части 2 схожи с результатами, полученными в части 1. То есть зависимость показаний фотодетектора от угла поворота поляризатора также есть функция, обладающая минимумом. Причем минимумом находится близко с нулем по показаниям люксметра. Такое поведение этой зависимости говорит о том, что излучения красного лазера является поляризованным.

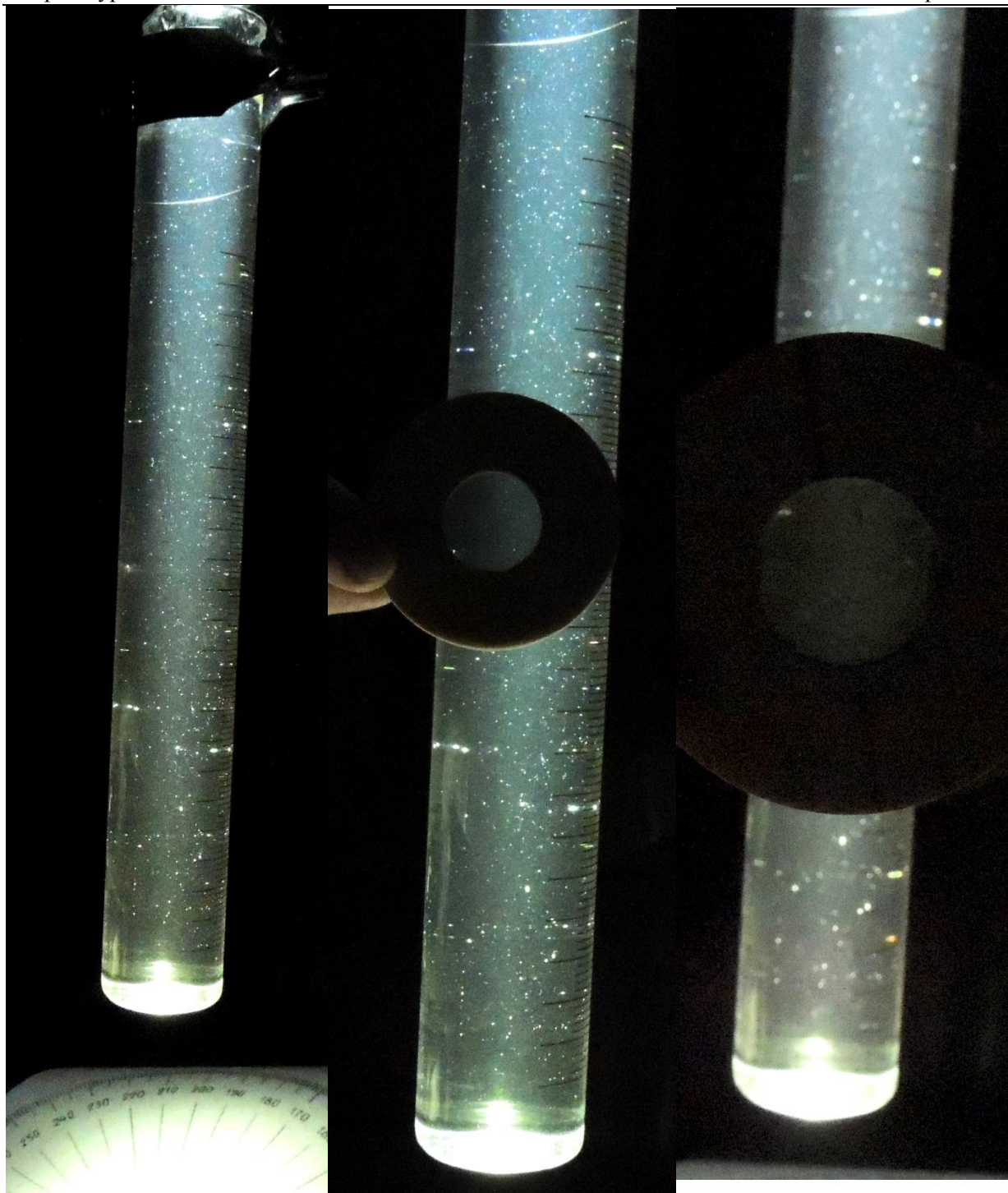
Часть 3. Поляризация рассеяния.

Из аналитических соображений, а также при выполнении заданий 1 и 2 видно, что если смотреть через поляризатор на свет с естественной (случайной поляризацией) то, при вращении поляризатора не будет заметно ни каких изменений. Поляризатор просто уменьшает интенсивность проходящего излучения в два раза.

Если испускаемый или рассеиваемый объектами свет будет линейно-поляризован, то при вращении поляризатора изображение будет меняться. Если плоскость пропускания поляризатора совпадает с плоскостью поляризации излучения - не будет видно ни каких изменений по сравнению с картиной, наблюдаемой в отсутствии поляризатора между глазом и рассматриваемым объектом. Если плоскость пропускания поляризатора перпендикулярна плоскости поляризации излучения, то изображение объекта полностью пропадет.

Часть 3.а рассеяние света естественной поляризации

При наблюдении рассеянного света видно, что если направление распространения луча перпендикулярно плоскости пропускания поляризатора ($\beta = 90^\circ$), то мы видим рассеянный «столб света» без изменений. Если же направление распространения света лежит в плоскости поляризации ($\beta=0$), то он полностью пропадает.



Данное наблюдение свидетельствует о том, что рассеянный свет является плоско-поляризованным. При этом рассеяние во все стороны происходит с одинаковой интенсивностью, что легко установить из соображений симметрии относительно оси пучка света от фонарика.

Часть 3.b рассеяние поляризованного света

При линейно-поляризованном свете наблюдаемая картина несколько изменяется. Рассеянный свет все так-же плоско-поляризован в плоскости перпендикулярной направлению распространения рассеиваемого луча. Но интенсивность рассеяния зависит от направления наблюдения. Максимально интенсивно рассеяние происходит в направлении перпендикулярном плоскости поляризации рассеиваемого луча света. В направлении, лежащем в плоскости поляризации луча света, рассеяние практически не идет.

$$I(\alpha = 90^\circ) = I_{\text{MAX}}$$

$$I(\alpha = 0) \approx 0$$

Часть 4. Поворот плоскости поляризации

Измерение зависимости поворота плоскости поляризации от длины пути излучения в растворе производится методом простого удаления части раствора с помощью шприца с надетой на него силиконовой трубкой.

Для экономии времени, при определении поляризации выходящего излучения используется «метод скрещенных поляризаторов». Из теории и результатов предыдущих заданий следует, что если плоскость пропускания поляризатора перпендикулярна плоскости поляризации излучения, то на выходе из поляризатора будет минимально возможная яркость света.

Расположив поляризатор П1 после пробирки, вращая поляризатор П1 необходимо добиться максимально возможного затемнения луча. Даже определение минимума «на глаз» дает достаточную точность для данной работы.

Для изучения поворота плоскости поляризации зеленого света необходимо использовать поляризатор П2, располагая его между лазером и пробиркой с раствором.

Поскольку необходимо определить на сколько повернулась поляризация света, то даже нет необходимости прибавлять 90° к результатам измерений. То если найти положение выходного поляризатора, при котором наблюдается минимум интенсивности на фотодетекторе, без прохождения света через раствор, а потом найти аналогичное положение поляризатора с уже прошедшем через раствор пучком, то разность углов поворота выходного поляризатора и будет углом поворота плоскости поляризации раствором.

Поскольку сечение пробирки постоянно, то вместо измерения толщины столба жидкости достаточно измерять объем раствора внутри пробирки.

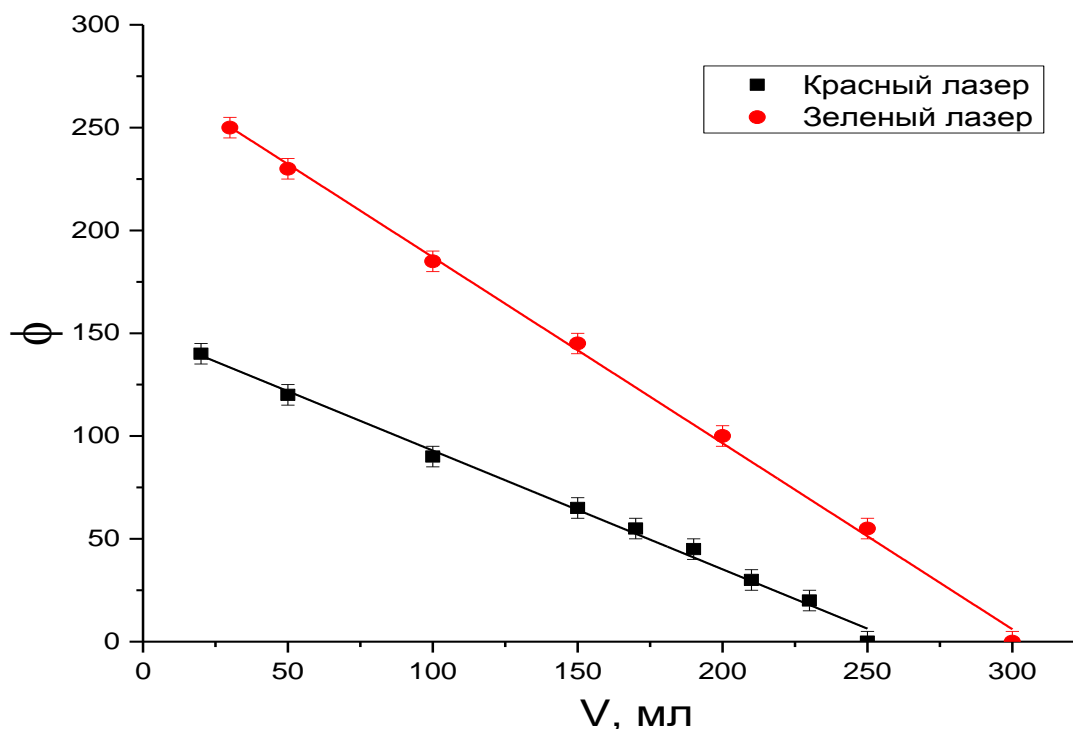
Измерение длины шкалы миллиметровкой позволяет получить коэффициент пропорциональности:

$$h/V = 0,0913 \text{ см/мл}$$

Результаты измерений положения поляризатора, при котором достигается минимальная яркость луча при его прохождении, приведены в таблице:

Красный лазер				Зеленый лазер			
V , мл	ΔV , мл	φ , град	$\Delta\varphi$, град	V , мл	ΔV , мл	φ , град	$\Delta\varphi$, град
250	2	0	5	30	2	250	5
230	2	20	5	50	2	230	5
210	2	30	5	100	2	185	5
190	2	45	5	150	2	145	5
170	2	55	5	200	2	100	5
150	2	65	5	250	2	55	5
100	2	90	5	300	2	0	5
50	2	120	5				
20	2	140	5				

Построим графики полученных зависимостей:



Из полученных графиков видно, что угол поворота плоскости поляризации излучения в растворе фруктозы является линейной функцией глубины проникновения света в раствор. Тангенсы углов наклона линейной аппроксимации:

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta V} = -0,58 \frac{\text{град}}{\text{мл}} - \text{для красного лазера}$$

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta V} = -0,90 \frac{\text{град}}{\text{мл}} - \text{для зеленого лазера}$$

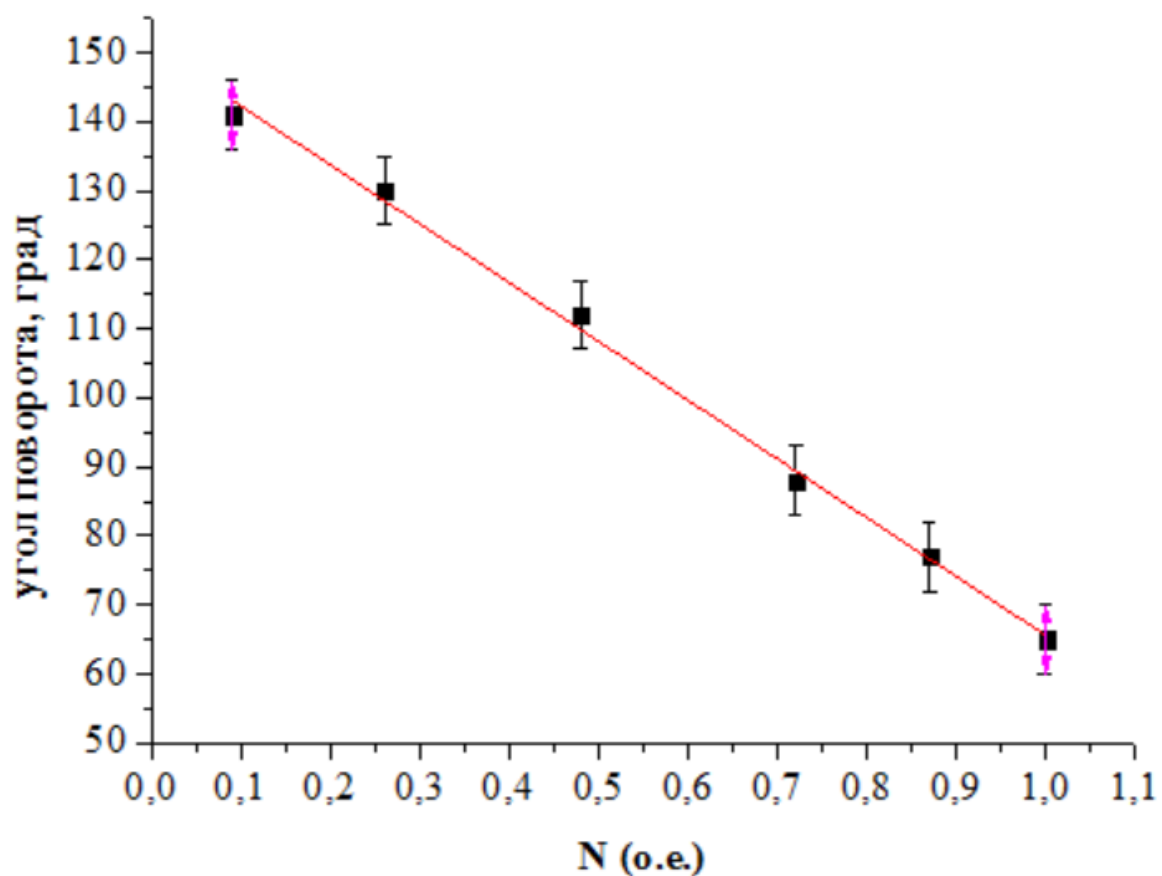
Для измерения зависимости угла поворота от концентрации фруктозы будем удалять часть раствора фруктозы, доливая такое же количество воды (водный раствор молока). Для того, чтобы раствора фруктозы хватило на следующее упражнение, будем использовать 150 мл. раствора. Измерение будем проводить только с красным лазером.

Начальная концентрация фруктозы не известна. Будем считать концентрацию раствора в относительных единицах, то есть отношение концентрации разбавленного раствора к его начальной концентрации.

Данные измерений и расчетов приведены в таблице

ΔV , мл	N , о. е.	φ , град	$\Delta\varphi$, град
0	1,00	65	5
20	0,87	77	5
25	0,72	88	5
50	0,48	112	5
70	0,26	130	5
100	0,09	141	5

Построим график полученной зависимости:



Из графика видно, что данная зависимость так же является линейной.

Из двух полученных зависимостей, можно сделать вывод о том, что угол поворота плоскости поляризации излучения можно определить по следующей формуле:

$$\delta\varphi = k * NL$$

Из полученных данных и углов наклона линий аппроксимации получаем следующую зависимость:

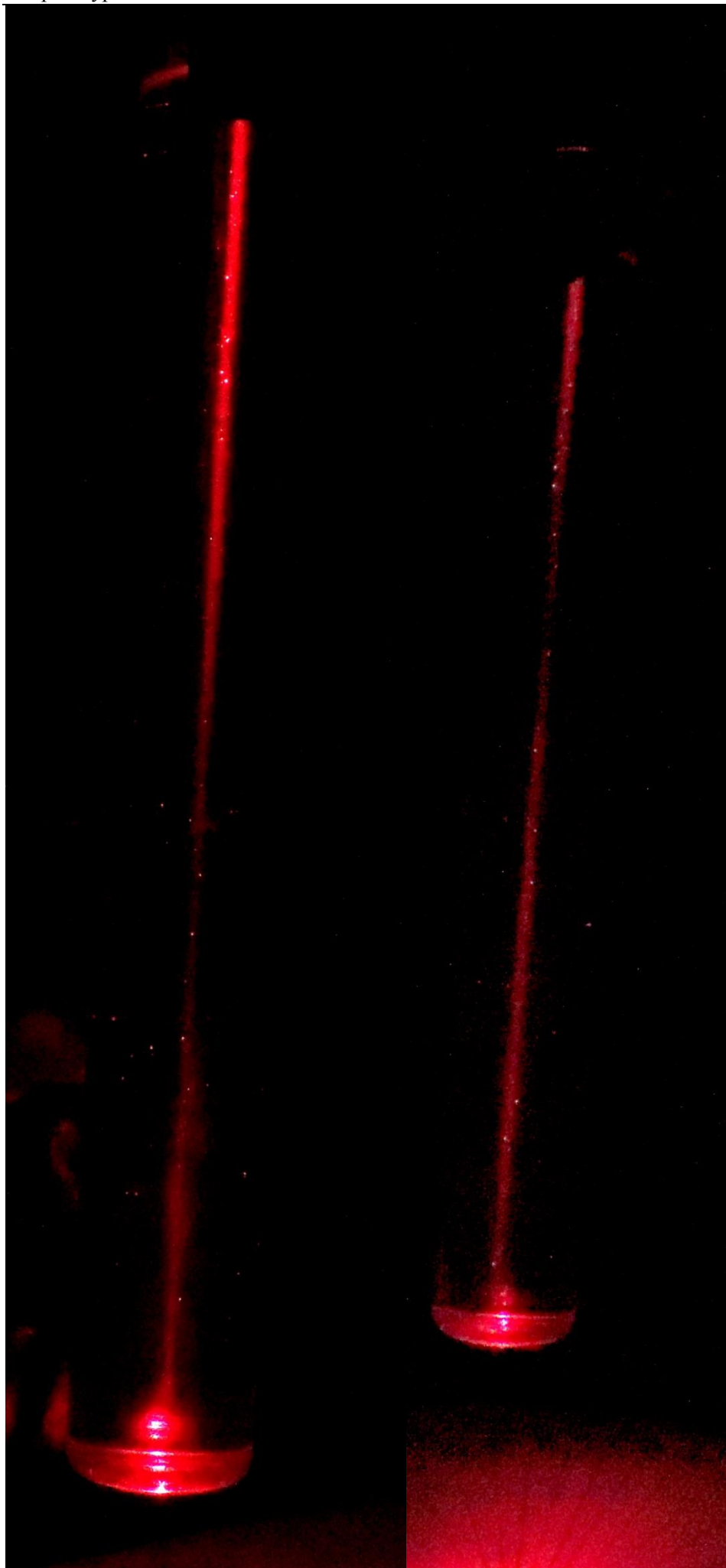
$$k = 0,58 * 10^{-2} \frac{\text{град}}{\text{см} * \text{о.е.}} - \text{для красного лазера}$$

$$k = 0,90 * 10^{-2} \frac{\text{град}}{\text{см} * \text{о.е.}} - \text{для зеленого лазера}$$

Часть 5 Визуальное определение поворота плоскости поляризации

5.а Вращение красного лазера

Наблюдаемая картина изображена на фотографии ниже:



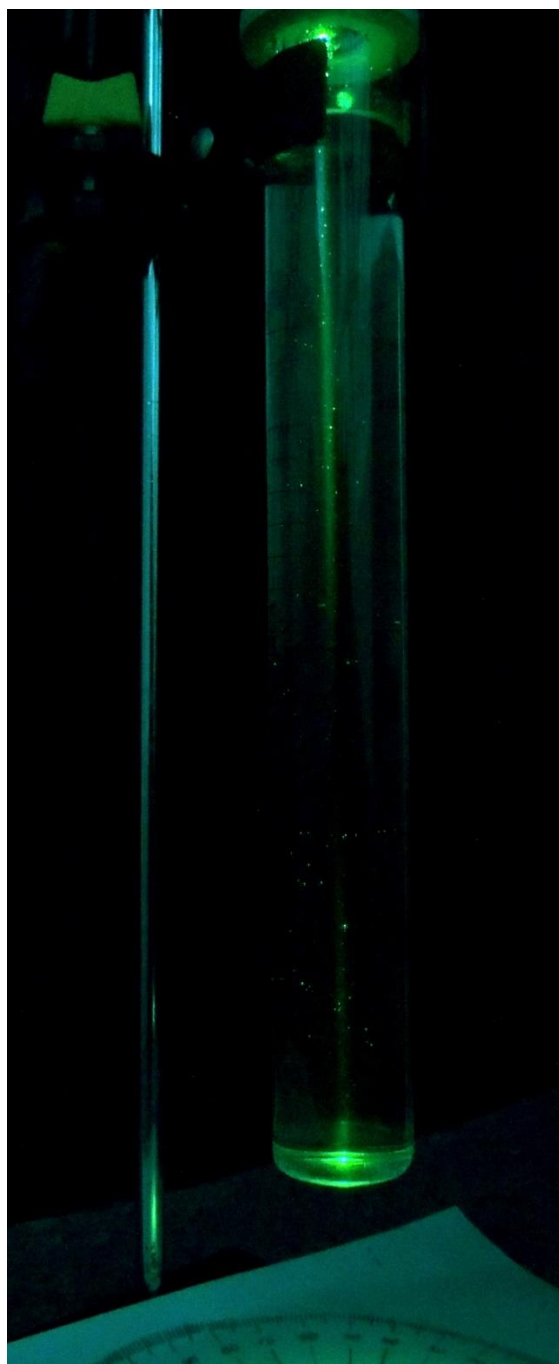
- Является ли интенсивность рассеяния лазерного излучения монотонно спадающей/возрастающей от глубины проникновения излучения в раствор?

Нет, интенсивность рассеянного света, распространяющегося в выбранном направлении, меняется не монотонно. Присутствуют максимумы и минимумы.

- Как изменится наблюдаемая картина если, повернуть установку вокруг вертикальной оси на 90 градусов?

Максимумы и минимумы меняются местами.

5.6 Вращение зеленого лазера



- Является ли интенсивность рассеяния лазерного излучения монотонно спадающей/возрастающей?

Нет, интенсивность рассеянного света, распространяющегося в выбранном направлении, меняется не монотонно. Присутствуют максимумы и минимумы.

- Как изменится наблюдаемая картина если, повернуть установку вокруг вертикальной оси на 90 градусов?

Максимумы и минимумы меняются местами.

5.в Сравнение наблюдаемых картин

Меняется частота следования максимумов и минимумов. Для зеленого света минимумы и максимумы интенсивности располагаются чаще.

5.г Обоснование результатов.

Присутствие максимумов и минимумов интенсивности рассеянного излучения распространяющегося в выбранном направлении объясняется поворотом плоскости поляризации в растворе фруктозы. Максимум соответствует точке, в которой плоскость поляризации излучения перпендикулярна направлению наблюдения. Минимум – направление наблюдения лежит в плоскости поляризации. (См. пункт 3.б)

Часть 6 «Радуга»

Наблюдаемая картина показана на фотографии ниже.

Появление цветной спирали объясняется тем, что для различных длин волн скорость вращения поляризации раствором фруктозы отличается. (См. результаты части 4).

При этом, в какой-то точке луча становится возможной ситуация, когда свет с длиной волны соответствующей красному цвету поляризован в плоскости перпендикулярной направлению наблюдения, а для зеленого – направления наблюдения лежит в плоскости поляризации. В такой ситуации из белого свет будет «вырезан» зеленый цвет, а красный будет преобладать.

Что получится, если вырезать один из цветов из белого света вы можете узнать из задачи про RGB-светодиод данной олимпиады.

Стоит особо отметить, что в данном случае речь не идет о том, что в каждой точке мы видим тот цвет, для которого направление наблюдения является максимумом рассеяния. В таком случае мы получили бы классическую радугу, чего не происходит. Изменение цветов происходит скорее из-за обратного процесса – удаления части спектра.



Критерии оценивания

Пункт задачи	Содержание	Всего за пункт	Баллы
1	Изучение поляризаторов		
	Измерение зависимости интенсивности от угла поворота одного поляризатора	2	
	диапазон изменения углов не менее 180° (90° . менее)		0,2(0,1;0)
	шаг изменения угла меньше или равен 20° (30° , менее)		0,2(0,1;0)
	получен правильный вид зависимости (положение максимумов и минимумов)		0,2
	Построение графика (оси, точки, сглаживающая линия)		0,4
	предложена формула вида $a \cos^2(\varphi - \varphi_0) + b$,		0,3
	проверена предложенная формула (линеаризация, сравнение...)		0,4
	Измерен угол между плоскостями $60^\circ \pm 5^\circ$		0,3
2	Поляризация лазерного излучения	1,0	
	Измерение зависимости интенсивности от угла поворота поляризатора		
	диапазон изменения углов 180° (90° . менее)		0,2(0,1;0)
	шаг изменения угла 20° (30° , менее)		0,2(0,1;0)
	получен правильный вид зависимости (два минимума, два максимума)		0,2
	Вывод: линейно поляризован		0,4
3	Поляризация рассеяния	0,7	
3а	Рассеяние естественного света		
	Вывод: поляризован		0,1
	Указана плоскость поляризации рассеянного света		0,1
	Интенсивность рассеянного света не зависит от направления наблюдения		0,1
3б	Рассеяние поляризованного света		
	Поляризован так же, как в п. 3а		0,1
	Интенсивность рассеянного света минимальна в плоскости поляризации падающего света и максимальна в перпендикулярном направлении		0,3
4	Поворот плоскости поляризации	4	
	измерение зависимости угла поворота от длины пути: - не менее 5 (3, менее) точек - диапазон не менее 15 см (10, меньше); - получена прямо пропорциональная зависимость; - найден коэффициент с погрешностью 20% (30% , более)	(x2)	0,2(0,1;0) 0,2(0,1;0) 0,2 0,3(0,2;0)
	измерение зависимости от концентрации - не менее 5 (3, менее) точек	(x2)	0,2(0,1;0)

	- диапазон не менее 15 см (10, меньше); - получена прямо пропорциональная зависимость; - найден коэффициент с погрешностью 20% (30%, более)		0,2(0,1;0) 0,2 0,3(0,2;0)
	Предложена общая формула		0,2
	Найдена постоянная вращения 20% (30%, более)		0.2(0,1;0)
5	Вращение плоскости поляризации	1,5	
5a	Вращение плоскости поляризации красного света		
	Интенсивность изменяется не монотонно		0.2
	При повороте на 90° максимумы и минимумы меняются местами		0.2
5b	Вращение плоскости поляризации зеленого света		
	Интенсивность изменяется не монотонно		0,2
	При повороте на 90° максимумы и минимумы меняются местами		0.2
5c	Сравнение картин		
	периоды разные		0.1
	Максимумы зеленого на меньшем расстоянии		0,2
5d	Объяснение		
	плоскость поляризации вращается		0.1
	направленность излучения диполя		0.2
	Постоянная вращения зависит от длины волны		0,1
6	Радуга	0,8	
	Спирали разных цветов имеют разный шаг		0.3
	Происходит сложение цветов спектра разными интенсивностями		0.5
	Всего за задачу	10	