

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени С. П. КОРОЛЕВА

**ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ
ИНДУЦИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА**

Лабораторная работа 28

КУЙБЫШЕВ 1982

УДК 535 (075)

Лабораторная работа знакомит студентов со свойствами индуцированного излучения и физическими принципами работы оптических квантовых генераторов при решении практических задач определения угла расходимости, степени поляризации и длины волны излучения газового лазера.

В трех заданиях приведены порядок выполнения работы и методика обработки результатов измерений. Даны контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы.

Работа предназначена для студентов младших курсов всех факультетов дневного и вечернего отделений.

Составитель *Н. Г. Горчакова*

Рецензент *Л. П. Муркин*

Утверждена редакционно-издательским советом института
9.01.80 г.

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ИНДУЦИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

ГЕЛИЙ - НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА.

Краткая теория

I. Спонтанное и индуцированное излучение

Известно, что атом может находиться в различных квантовых состояниях, которым соответствует дискретный ряд значений энергии. Для простоты рассмотрим два из этих состояний с энергиями E_2 и E_1 , причем $E_2 > E_1$ (например, E_1 - уровень энергии, соответствующий невозбужденному состоянию, а E_2 - возбужденному).

Атом, не взаимодействующий с внешним полем и находящийся в данный момент в возбужденном состоянии E_2 , через некоторый промежуток времени может оказаться или в том же состоянии или самопроизвольно перейти в состояние с меньшей энергией E_1 , излучая квант энергии

$$h \nu_{21} = E_2 - E_1$$

Здесь

h - постоянная Планка,
 ν_{21} - частота излучения, соответствующая переходу атома из состояния с энергией E_2 в состояние с энергией E_1 .

Если атом вступает во взаимодействие с внешним полем, то результат этого взаимодействия может быть двояким.

Пусть с полем взаимодействует невозбужденный атом, тогда атом может лишь поглотить энергию, перейдя на более высокий энергетический уровень E_2 . Если же с полем будет взаимодействовать возбужденный атом, то возможен и акт излучения.

Процесс излучения, возникающий в результате взаимодействия возбужденного атома с внешним полем, называют индуцированным или вынужденным.

Процесс излучения, происходящий самопроизвольно (без действия внешнего поля), называют спонтанным или самопроизвольным. Например, излучение лампы накаливания.

Примером вынужденного или индуцированного излучения является излучение оптического квантового генератора (ОКГ) или лазера.

Рассмотрим систему, состоящую из большого числа атомов разреженного газа, когда взаимодействием между атомами можно пренебречь. Пусть N_2 - число атомов в единице объема этой системы, находящихся в состоянии с энергией E_2 . Если система не взаимодействует с внешним полем, то возможны только спонтанные переходы атомов. Эти переходы носят случайный характер. Для характеристики подобных переходов введем величину A_{21} - коэффициент Эйнштейна для спонтанного перехода $E_2 \rightarrow E_1$ или вероятность спонтанного перехода атома $E_2 \rightarrow E_1$ в единицу времени. Очевидно, что A_{21} - число переходов в единицу времени в единице объема системы.

Для рассматриваемой системы A_{21} не зависит от времени и характеризует среднее число фотонов с энергией $h\nu_{21}$, спонтанно испускаемых атомом в единицу времени. Величина обратная коэффициенту Эйнштейна равна среднему времени жизни атомов возбужденном состоянии E_2 относительно спонтанного перехода в состояние E_1 ($\tau = 1/A_{21}$). Это время в среднем порядка 10^{-8} с.

Расчеты показывают, что интенсивность спонтанного излучения со временем убывает по экспоненциальному закону:

$$I = A_{21} \cdot N_2 \cdot h\nu_{21} \cdot e^{-A_{21} \cdot t}$$

Статистический характер спонтанного излучения влечет за собой некогерентность этого излучения, отсутствие резкой направленности и широкий спектр его излучения.

Пусть теперь система взаимодействует с внешним излучением, частота которого попадает в интервал $\nu \div \nu + d\nu$. Это взаимодействие может вызвать акт поглощения или акт индуцированного излучения. Эти процессы случайны. Как показал Эйнштейн вероятность подобных переходов атома в единицу времени будет зависеть от $\rho\nu$, где $\rho\nu$ - объемная плотность мощности внешнего излучения в интервале частот от ν до $\nu + d\nu$, отнесенная к величине этого интервала. Вероятность этого индуцированного излучения атома в единицу времени при переходе $E_2 \rightarrow E_1$ есть величина $\rho\nu \cdot B_{21}$, где B_{21} - коэффициент Эйнштейна для индуцированного света частоты ν_{21} . Тогда число актов излучения (индуцированного) в единицу времени в единице объема будет равно:

$$\rho\nu \cdot B_{21} \cdot N_2$$

Здесь N_2 - населенность уровня E_2 , т.е. число атомов в единице объёма системы, обладающей энергией E_2 .

Вероятность акта поглощения атомом энергии определяется величиной

$$P \cdot B_{12}$$

где B_{12} - коэффициент Эйнштейна для поглощения света частоты ν_{21} при взаимодействии атома с внешним излучением.

Число актов поглощения, соответствующих переходу $E_1 \rightarrow E_2$, в единицу времени в единице объёма будет равно :

$$P \cdot B_{12} \cdot N_1$$

где N_1 - населенность уровня E_1 .

В состоянии термодинамического равновесия число переходов в единицу времени в единице объёма с поглощением энергии равно числу переходов за то же время с испусканием энергии, так что населенность энергетических уровней в этом состоянии не меняется.

Так как в системе акты излучения могут быть как самопроизвольными, так и индуцированными, то для системы находящейся в термодинамическом равновесии будет справедливо равенство:

$$A_{21} \cdot N_2 + P \cdot B_{21} \cdot N_2 = P \cdot B_{12} \cdot N_1 \quad (1)$$

Откуда:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{P \cdot B_{12}}{A_{21} + P \cdot B_{21}} \quad (2)$$

Между коэффициентами Эйнштейна существует следующая связь:

$$B_{12} = B_{21} \frac{g_2}{g_1} \quad \text{и} \quad A_{21} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} B_{21}$$

Здесь: g_1 и g_2 - статистические веса или степени вырождения состояний E_1 и E_2 соответственно.

Если пренебречь вырождением состояний, т.е. $g_1 = g_2 = 1$, то $B_{12} = B_{21}$ и тогда:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{P \cdot B_{12}}{A_{21} + P \cdot B_{12}}$$

Так как $A_{21} > 0$, то $\frac{N_2}{N_1} < 1$, то есть в состоянии термодинамического равновесия системы населенность энергетически более высокого уровня E_2 всегда меньше населенности энергетически более низкого уровня E_1 .

Если вероятность спонтанного излучения значительно

значительно меньше вероятности индуцированного излучения, то $\frac{N_2}{N_1} \rightarrow 1$. Этот вывод указывает на возможные способы увеличения населенности верхних энергетических уровней.

Пусть через слой толщиной dx вещества с коэффициентом поглощения $d\gamma$ и единичной площадью поперечного сечения проходит параллельный монохроматический поток внешнего излучения, распространяющийся вдоль оси X . Уменьшение dI_1 интенсивности I_1 этого потока при прохождении через указанный объем вещества можно представить согласно закону Бугера так:

$$-dI_1 = d\gamma I_1 dx \quad (3)$$

Здесь (-) указывает на то, что интенсивность света уменьшается при прохождении через вещество.

Это же изменение интенсивности света можно выразить через коэффициенты Эйнштейна.

Действительно указанный слой вещества содержит атомов в состоянии $E_1 - N_1 dx$, а в состоянии $E_2 - N_2 dx$. N_1 и N_2 соответственно плотности атомов в первом и втором состояниях. Так как каждый акт поглощения уносит из потока света, падающего на вещество, энергию $h\nu_{21}$, то уменьшение интенсивности вследствие переходов $E_1 \rightarrow E_2$ будет:

$$dI_1 = h\nu_{21} \rho\nu B_{12} N_1 dx \quad (4)$$

В том же объеме будут происходить акты вынужденного излучения, соответствующие переходам $E_1 \rightarrow E_2$, увеличивающие интенсивность падающего на вещество света на величину:

$$dI_2 = h\nu_{21} \rho\nu B_{21} N_2 dx \quad (5)$$

Общая убыль интенсивности падающего на вещество излучения будет равна:

$$-dI_1 = (N_1 B_{12} - N_2 B_{21}) \rho\nu h\nu_{21} dx \quad (6)$$

Плотность падающего на вещество излучения $\rho\nu$ можно выразить через интенсивность его I_1 так: $\rho\nu = \frac{I_1}{c}$.

где c - скорость света.

Тогда убыль интенсивности можно представить себе так:

$$-dI_1 = \frac{h\nu_{21}}{c} (N_1 B_{12} - N_2 B_{21}) I_1 dx \quad (7)$$

Сравнивая уравнения (3) и (7), получаем выражение для коэффициента поглощения света веществом через коэффициент Эйнштейна:

$$\alpha_{\nu} = \frac{h\nu_{21}}{c} (N_1 B_{12} - N_2 B_{21}) \quad (8)$$

Если как и прежде рассматривать невырожденные состояния, т.е.

$$g_1 = g_2 = 1, \text{ то } B_{12} = B_{21} \text{ и тогда:}$$

$$\alpha_{\nu} = \frac{h\nu_{21}}{c} B_{12} N_1 \left(1 - \frac{N_2}{N_1}\right) \quad (9)$$

Формула (9) позволяет сделать следующие выводы.

В состоянии термодинамического равновесия вещества отношение N_2/N_1 всегда меньше единицы, следовательно $\alpha_{\nu} > 0$, т.е. равновесная система всегда будет ослаблять проходящее сквозь неё излучение (эффект индуцированного излучения будет подавляться эффектом поглощения поля).

В предельном случае ($N_2/N_1 \rightarrow 1$) индуцированное испускание света атомами вещества компенсирует потери на поглощение и среда становится "прозрачной", т.е. не меняет интенсивности проходящего сквозь неё излучения.

В неравновесных системах может оказаться $\frac{N_2}{N_1} > 1$, тогда интенсивность света, прошедшего через вещество, возрастает ($\alpha_{\nu} < 0$), иными словами будет наблюдаться "отрицательное" поглощение.

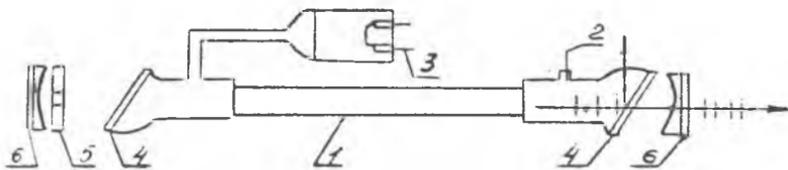
Населенность энергитических уровней, соответствующая условию $N_2/N_1 > 1$, называется инверсией, а состояние с инверсной населенностью уровней энергии - инверсными или состояниями с отрицательной температурой. Последнее название возникло потому, что распределение атомов по состояниям в термодинамически неравновесной системе формально можно описать законом Больцмана, приписав абсолютной температуре отрицательное значение.

Итак, индуцированное излучение преобладает над поглощением лишь в средах с инверсной населенностью энергитических уровней

Подобные среды подбираются в ОКГ (лазерах).

2. Физические принципы работы гелий-неонового лазера

Принципиальная схема гелий - неоновго лазера показана на рис. 1.



Где: 1 - газоразрядная трубка, 2 - анод, 3 - катод, 4 - выходные окна, 5 - диафрагма, 6 - зеркала резонатора.

В качестве активной среды, в которой создается инверсное распределение атомов по состояниям, служит смесь гелия и неона, помещенная в газоразрядную трубку 1 (давление гелия в трубке 1 мм.рт.ст., неона - 0,1 мм.рт.ст.)

Между анодом 2 и катодом 3 подается высокое напряжение - 1+2,5кВ, превышающее напряжение пробоя газа. Плоские прозрачные торцевые окна трубки 4 расположены под углом Брюстера к падающему на них излучению. В результате, излучение с вертикальной составляющей поляризации пропускается полностью, а излучение с горизонтальной составляющей поляризации почти не выходит из окон, испытывая на них отражение (см. рис. 1, правое окно). Таким образом лазерное излучение характеризуется высокой степенью поляризации.

Рассмотрим процессы, приводящие к созданию инверсной населенности уровней неона.

Рис. 2 изображает схему энергетических уровней атома гелия (слева) и атома неона (справа).

Электроны, покинувшие нагретый катод трубки, в поле между катодом и анодом преобретают энергии достаточную, чтобы при неупругом столкновении с атомами гелия перевести их из основного состояния E_0 в возбужденное состояние E_4 и E_7 . Время жизни атомов гелия с состояниях E_4 и E_7 намного больше среднего времени жизни атома в возбужденном состоянии, которое обычно заканчивается спонтанным переходом атома на энергетически более низкий

уровень. Такие долгоживущие состояния называют метастабильными.

Итак, электроны, сталкиваясь с атомами гелия, переводят их в метастабильные состояния E_4 и E_7 . Переход из этих состояний в основное маловероятен.

Эти атомы как и остальные, участвуя в хаотическом движении, сталкиваются с атомами неона, находящимися в основном состоянии E_0 .

Известно, что вероятность передачи энергии при неупругом столкновении атомов будет максимальной при совпадении энергий возбужденных состояний взаимодействующих атомов.

Вероятность передачи энергии будет быстро уменьшаться с ростом разницы энергий возбужденных состояний взаимодействующих атомов. Тогда, как видно из рис. 2 атомы гелия скорее всего передадут энергию при столкновении с атомами неона, переводя их в возбужденные состояния E_6 и E_3 , которые близки возбужденным состояниям гелия E_7 и E_4 . При этом атомы гелия безизлучательно переходят в основное состояние. Этот процесс поглощения энергии разряда атомами гелия и переход атомов неона в результате столкновений с гелием в возбужденное состояние называется накачкой.

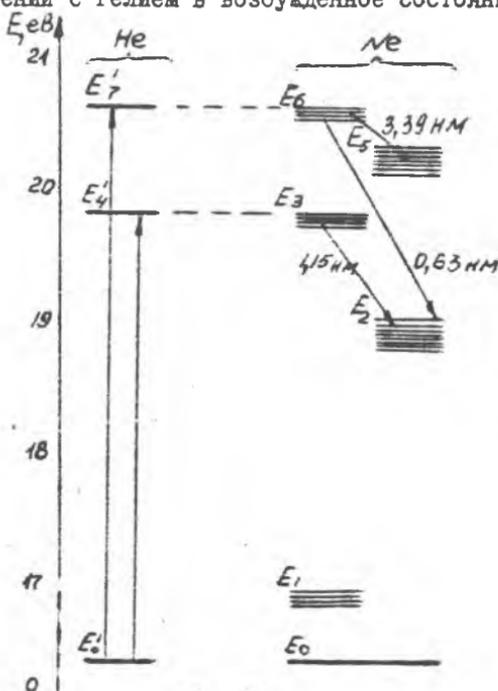


Рис. 2

Энергетические уровни неона E_5 , E_2 и E_1 заселяются в результате перехода атома неона в эти состояния с более высоких энергетических уровней. Время жизни в состоянии E_2 (у неона) оказывается меньше, чем в состояниях E_3 и E_6 . Состояние E_2 опустошается за счет спонтанных переходов быстрее, чем E_3 и E_6 . Кроме того населенность уровней E_3 и E_6 спонтанно пополняется за счет переходов атома неона из основного состояния. В результате этого уровни E_3 и E_6 оказываются инверсными относительно уровня E_2 .

По аналогичным причинам уровень E_6 инверсен относительно уровня E_5 .

Согласно теории индуцированного излучения внешний фотон такой же частоты, например, $\nu = \frac{E_6 - E_2}{h}$ вызовет индуцированное излучение, связанное с переходом неона из инверсного состояния E_6 в состояние E_2 . Вместо одного первоначального фотона, который появляется вследствие спонтанного перехода атомов неона из состояния E_6 в состояние E_2 и является внешним фотоном, появится два. Чем больше будет таких внешних фотонов, тем больше атомов неона будут участвовать в индуцированном излучении. Для увеличения числа возбуждающих фотонов уже полученные фотоны заставляют многократно проходить смесь неона и гелия, используя для этого два сферических зеркала 6, указанных на рис. 1. Пространство между окнами трубки и зеркалами герметизируется, чтобы предохранить поверхность зеркал от механического воздействия и загрязнения. Расстояние подбирается таким, чтобы при сложении волн падающей и отраженной длины происходило образование стоячей волны с максимальной амплитудой. А это будет при выполнении условия:

$$L = n \cdot \frac{\lambda n}{2}$$

где n - целое число.

Благодаря наличию зеркального резонатора усиливается лишь излучение длины волны λ_n , остальные излучения гасятся.

Например, в лазере ДДИ - 67 значительное усиление получает излучение соответствующее длине волны 0,63 мкм ($E_6 \rightarrow E_2$).

Усиление излучения атомами активной среды будет, очевидно, продолжаться не до бесконечности.

Стационарное состояние установится, когда наступит точная компенсация усиления в среде суммарными потерями энергии в активной среде, вызванными рассеянием энергии в ней, а так же тем, что зеркала имеют коэффициент отражения меньше 1 и сделаны частично прозрачными.

3. Свойства индуцированного излучения

а) Индуцированное излучение обладает высокой степенью монохроматичности. Степень монохроматичности определяется формулой:

$$\mu = \frac{\Delta \omega}{\omega_0}$$

где: $\Delta \omega$ - ширина спектральной линии лазерного излучения,

ω_0 - центральная частота, соответствующая этой линии.

Ширина спектральной линии отлична от нуля, так как энергетические уровни E_6 и E_2 , E_5 и E_3 представляют собой каждый совокупность близко расположенных уровней, что обусловлено неопределенностью энергии в каждом состоянии, столкновением атомов друг с другом, эффектом Доплера, так что:

$$\Delta \omega = 2\pi \cdot \frac{\Delta E_6 + \Delta E_2}{h}$$

где: ΔE_6 - ширина энергетического уровня E_6 , обусловленная указанными причинами,

ΔE_2 - ширина энергетического уровня E_2 .

У газовых лазеров степень монохроматичности порядка 10^{-7} - 10^{-14} . Столь высокая степень монохроматичности обусловлена неравномерностью усиления разных частотных составляющих лазерного излучения в резонаторе, а также малой шириной E_6 и E_2 .

б) Индуцированное излучение обладает высокой пространственной и временной когерентностью.

Пространственная когерентность - существование определенной разности фаз одновременно в разных точках пространства.

Временная когерентность - сохранение разности фаз в данной точке пространства в течение времени наблюдения.

Высокая когерентность вынужденного излучения обусловлена тем, что в резонаторе лазера поле состоит из стоячих волн одного или нескольких типов колебаний, имеющих фиксированную разность фаз между двумя любыми точками.

Пространственная и временная когерентность индуцированного излучения подтверждается опытами по интерференции и дифракции.

в) Лазерное излучение является резко направленным, что определяется характером электро - магнитного поля в резонаторе: сильнее всего усиливаются колебания, которые происходят вблизи линии оси резонатора.

О высоком направлении лазерного луча (малой расходимости) можно судить по такому сравнению: телесный угол раствора пучка индуцированного излучения настолько мал, что расхождение его на расстоянии километра от лазера – порядка одного метра, а например, пучок, образуемый прожекторным зеркалом около двух метров диаметром, дает расхождение на расстоянии 1 км – 17 м. Лазерный луч, посланный на Луну при посадке "Аполлона 12", образовал на ее поверхности световое пятно диаметром всего 4 км.

*) Лазерный луч является плоскополяризованным, так как плоскости торцевых окон разрядной трубки установлены под углом Брюстера.

Перечисленные свойства индуцированного излучения резко отличают его от спонтанного. Общим же между ними является квантовый характер излучения.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое излучение называют спонтанным?
2. Какое излучение называют вынужденным или индуцированным?
3. Каковы свойства спонтанного излучения?
4. Каковы свойства индуцированного излучения?
5. Что общего между спонтанным и вынужденным излучением?
6. Каков смысл коэффициента Эйнштейна для спонтанного излучения?
7. От чего зависит вероятность вынужденного излучения?
8. Что понимают под заселенностью энергетического уровня?
9. Какую заселенность энергетических уровней называют инверсной?
10. При каких условиях возможно возникновение индуцированного излучения?
11. Какие энергетические состояния называют метастабильными?
12. Получить соотношение между заселенностью уровней и коэффициентами Эйнштейна для равновесного термодинамического состояния системы.
13. Получить соотношение между коэффициентом поглощения вещества и коэффициентами Эйнштейна.

14. Каково устройство гелий - неоновом лазера ?
15. Каковы процессы, приводящие к возникновению индуцированного излучения в гелий - неоновом лазере ?
16. Какой процесс в лазере называют "накачкой"?
17. Чем обусловлена высокая степень поляризации индуцированного излучения?
18. Какое число пар энергетических уровней в гелий - неоновом лазере способно обеспечить индуцированное излучение?
19. Какова роль резонатора в лазере?
20. Что такое пространственная когерентность луча?
21. Что такое временная когерентность луча?
22. Какова роль гелия в лазере ЛДИ - 67?
23. Какова роль неона в лазере ЛДИ - 67?

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ландсберг Г.С. Оптика, изд. "Наука", М., 1976г., гл. X, §222 - §228.
2. Спроул Р. Современная физика, перев. с англ., изд. "Наука", М., 1974г., § 106.
3. Шпольский Э.В. Атомная физика, т. I, изд. "Ф - М литература", М., 1963г., § 97 - § 102.
4. Аллен Л. Джонс Д. Основы физики газовых лазеров, перев. с англ., изд. "Наука", 1970г.
5. Руководство к лабораторным работам по физике, изд. Московского авиационного института, часть III, М., 1973г.; стр. 107.

ЗАДАНИЕ № 1

Определение расходимости пучка лазерного излучения.

Внимание! Избегать прямого попадания луча лазера в глаз!

Принадлежности: лазер, оптическая скамья, экран с миллиметровой бумагой, рулетка.

Порядок выполнения

1. Поставить на оптическую скамью экран с миллиметровой бумагой на расстояние l_1 от лазера.
2. Для включения лазера на ЛАТРе установить 250 В.
Включить лазер тумблером на его панели.
После загорания лазера вывести ЛАТР на 200 В.
3. Отметить остро отточенным карандашом диаметр d_1 светового пятна, полученного на экране. Измерить его.
4. Повторить тоже для расстояния $l_2 < l_1$ (с целью получения результата с меньшей погрешностью разница между l_1 и l_2 должна быть как можно больше).
5. Повторить эти же измерения для двух других значений l_1 и l_2 .
6. Оценить расходимость (d°) луча для каждой пары l_1 и l_2 по формуле :

$$d^\circ = \frac{d_2 - d_1}{l_2 - l_1} \cdot \frac{360^\circ}{2\pi}$$
7. Найти среднее арифметическое $d_{\text{ср}}$.
8. Результаты измерений занести в таблицу:

№ п/п	l_1	d_1	l_2	d_2	d°	$d_{\text{ср}}$
1						
2						
3						

ЗАДАНИЕ № 2

Определение длины волны лазерного излучения.

Принадлежности: лазер, оптическая скамья, столик, дифракционная решетка, экран, рулетка.

Порядок выполнения.

1. Поставить на оптическую скамью вблизи лазера столик с дифракционной решеткой и как можно далее экран. Поворачивая решетку относительно оси, добиться, чтобы отраженный от неё луч падал на лазер в то место, откуда луч выходит из лазера. Тогда можно утверждать, что плоскость решетки перпендикулярна направлению лазерного излучения.
2. Измерить расстояние L от решетки до экрана.
3. Измерить расстояние l между спектрами I - го, 2 - го и 3 - го порядков.
4. Вычислить длину волны излучения лазера для спектров каждого порядка по формуле:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k} \approx \frac{d}{k} \cdot \frac{l}{2L}$$

Здесь: k - порядок спектра,

$d = 0,01$ мм - постоянная решетки.

5. Найти $\lambda_{\text{ср}}$.

6. Результаты измерений занести в таблицу:

L	l	k	λ	$\lambda_{\text{ср}}$
		1		
		2		
		3		

ЗАДАНИЕ № 3

Определение степени поляризации индуцированного излучения лазера.

Принадлежности: лазер, оптическая скамья, фотодиод, пелароид, УНИП-5, микроамперметр.

Порядок выполнения

1. Расположить приборы как показано на рис. 3.
2. Включить шнур УНИП-5 в розетку.
Включить тумблер "сеть" на передней стенке УНИП-5.
3. Установить максимальное напряжение на выходе УНИП-5, повернув регулятор 2 в крайнее правое положение.
4. Снять крышку с фотодиода и вращая поляроид измерить минимальный и максимальный ток в цепи фотодиода. Сила тока при постоянном напряжении на диоде в пределах мощности излучения лазера пропорциональна интенсивности падающего на диод света.
5. Повторить измерения I_{\max} и I_{\min} по 3 раза.
6. Найти среднее значение $I_{\max \text{ ср}}$ и $I_{\min \text{ ср}}$.
7. Вычислить степень поляризации по формуле:

$$\rho = \frac{I_{\max \text{ ср}} - I_{\min \text{ ср}}}{I_{\max \text{ ср}} + I_{\min \text{ ср}}};$$
8. Результаты измерений занести в таблицу:

№ п/п	I_{\max}	I_{\min}	ρ
1			X
2			
3			
Среднее значение			

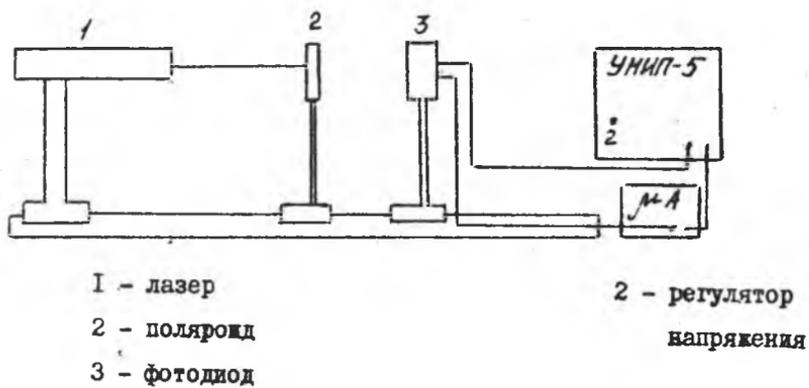


Рис.3.

Составитель: Нинель Григорьевна Горчакова

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ИНДУЦИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ГЕЛИЙ - НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА

Лабораторная работа № 28

Подписано в печать 8.07.82г. Формат 60 x 84^I/16.

Бумага оберточная белая. Печать офсетная.

Усл.п.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,8. Тираж 250 экз.

Заказ № 202 . Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева,
г.Куйбышев, ул.Молодогвардейская, 151.

Офсетный участок КуАИ,
г.Куйбышев, ул.Ульяновская, 18.