

**ВЛИЯНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАТОРА НА ЗНАЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ
ВЕЛИЧИН КВАНТОВЫХ ЧАСТИЦ**

**THE EFFECT OF THE EXPERIMENTER ON THE MEASUREMENTS OF THE PHYSICAL
VALUES OF QUANTUM PARTICLES**

Злобин С.М., студент 2 курса
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им.
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Zlobin S.M., 2nd year student
FSBEI HE «Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Близникевич Н.Е., студент 2 курса
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им.
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Bliznikevich N.E., 2nd year student
FSBEI HE «Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Дрожжин И.О., студент 2 курса
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им.
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Drozhhin I.O., 2nd year student
FSBEI HE «Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Кириченко И.А., студент 2 курса
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им.
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Kirichenko I.A., 2nd year student
FSBEI HE «Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Матвеев Н.Н., доктор физико-
математических наук, профессор, профессор
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им.
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Matveev N.N., DrSc in Physics and
Mathematics, Professor, Professor
FSBEI HE «Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Камалова Н.С., кандидат физико-
математических наук, доцент, доцент
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им.
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Kamalova N.S., PhD in Physics and
Mathematics, Docent, Associate professor
FSBEI HE «Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Аннотация. В работе рассматривается «эффект наблюдателя» на примере анализа результатов эксперимента по определению мощности полос излучения атомами водорода, гелия и аргона разными экспериментаторами на одном и том же оборудовании. Для получения атомных спектров используется газоразрядная трубка и универсальный монохроматор УМ-2. Результаты проведенной работы показали, что в соответствии с выбранной методикой оценки, величина мощности излучения во многом определяется точностью измерения ширины полосы, которая сильно варьируется у наблюдателей.

Ключевые слова: квантовый объект, эффект наблюдателя, атомные спектры.

Abstract. The paper considers the "observer effect" on the example of an analysis of the results of an experiment to determine the power of emission bands by hydrogen, helium and argon atoms by different experimenters using the same equipment. To obtain atomic spectra, a gas discharge tube and a universal UM-2 monochromator have used. The results of the work performed showed that, in accordance with the chosen estimation technique, the magnitude of the radiation power is largely determined by the accuracy of measuring the bandwidth, which varies greatly among observers.

Keywords: quantum object, observer effect, atomic spectra.

Введение

«Эффектом наблюдателя» в физике называют теорию, согласно которой наблюдение за явлением неизбежно ведет к его изменению. В качестве примера часто приводится проверка давления в шинах автомобиля, в ходе которой присоединение манометра сопровождается выпуском небольшого количества воздуха, и не учитывается объем самого прибора. Наиболее сложно для понимания проявление «эффекта наблюдателя» в таком разделе физики, как квантовая механика, где просто пассивное наблюдение за квантовыми объектами может существенно повлиять на результаты измерения.

Отметим, что в физике под наблюдателем подразумевается или реальный человек, или измерительный прибор, и под «эффектом наблюдателя» надо считать не ошибку человека, а неоднозначность определения характеризующей явление физической величины [1]. Некоторые западные ученые (например, М. Бунге, Дж. Ст. Белл, К. Поппер) считают, что некорректно использовать термин «наблюдатель» при формулировке физических законов, в квантовой механике это может привести к значительным ошибкам [1-3].

Наблюдать за квантовым объектом невозможно без его взаимодействия с окружающей средой [4]. Для определения характеристик объекта на основе информации от этого взаимодействия на него надо направить световой поток, а при использовании электронного микроскопа – поток электронов, или заставить его двигаться через какое-либо вещество. Естественно, что состояние квантового объекта при этом изменяется. И этот принцип является общим и важным: наблюдать за системой или измерять ее свойства нельзя без взаимодействия с ней. А взаимодействие приводит к изменению свойств.

Целью данной работы является демонстрация «эффекта наблюдателя» на примере анализа результатов эксперимента по определению мощности полос излучения атомами водорода, гелия и аргона студентами ВГЛУ на одинаковом оборудовании. Объектами исследования были атомные спектры водорода, гелия и аргона в видимой области излучения.

Методика эксперимента

В данной работе исследуется излучение атомов с использованием газоразрядной трубки. Трубка установлена в защитном футляре, смонтированном вместе с источником питания. В газоразрядную трубку впаяны электроды. При включении напряжения между электродами имеющиеся в газе ионы, ускоряясь, сталкиваются с атомами газа, переводя их в возбужденное состояние. Возвращаясь в стационарное состояние, электроны атомов испускают фотоны различных длин волн. Для исследования спектра в эксперименте используется универсальный монохроматор УМ-2, в котором благодаря дисперсии

происходит разложение света в спектр. Свет после преломления на обеих поверхностях призмы отклоняется от первоначального направления на угол φ . При нормальной дисперсии угол отклонения φ увеличивается с уменьшением длины волны, что позволяет увидеть в поле зрения наблюдателя излучение в виде набора ярких цветных линий, соответствующих различным участкам спектра атома в оптическом диапазоне.

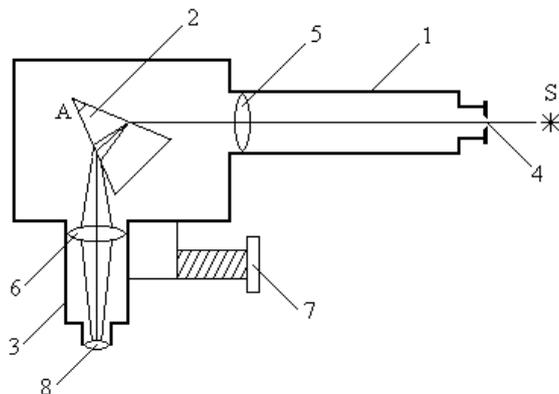


Рисунок 1 – Схема монохроматора

Схема монохроматора показана на рисунке 1. Основными частями монохроматора являются: коллиматор 1, дисперсионная призма 2, зрительная труба 3, входная щель 4, которая находится в фокусе объектива 5 коллиматора. В фокусе объектива 6 зрительной трубы имеется указатель, на который устанавливается изучаемая линия спектра. Установка производится путем поворота дисперсионной призмы при вращении барабана 7. На барабане нанесена шкала, деления которой оцифрованы через каждые два градуса. Окуляр 8 позволяет получить одновременно резкие изображения спектральной линии и указателя. Примеры атомных спектров водорода, гелия и аргона показаны на рисунке 2 (по горизонтали отложены длины волн в нм).

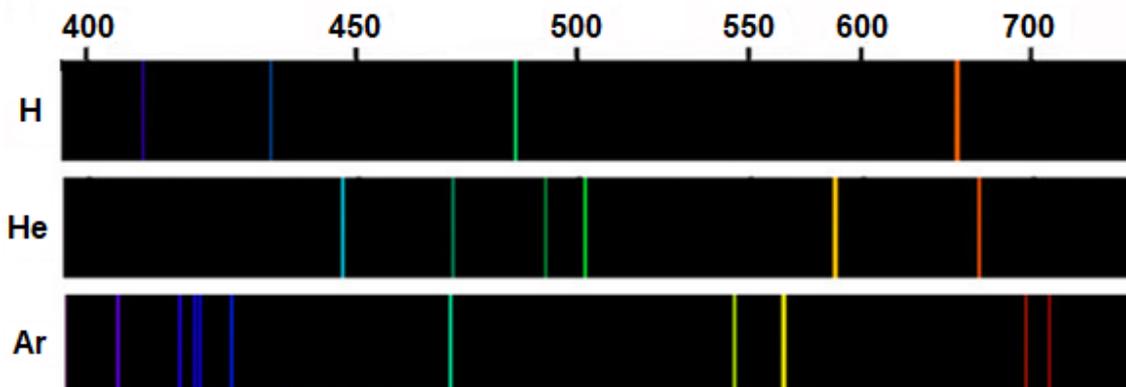


Рисунок 2 – Атомные спектры водорода, гелия и аргона

Определение мощности излучения в спектральной линии осуществлялось по стандартной методике. Базовый принцип: которой основан на том, что ширина спектральной линии $\delta\omega$ (рис. 3) связана со временем жизни возбужденного атома τ , которое определяется через частотную флуктуацию как

$$\delta\omega = \frac{1}{\tau}, \quad \tau = \frac{\lambda^2}{2\pi c \delta\lambda}, \quad (1)$$

где λ – длина волны линии спектра, c – скорость света в вакууме, $\delta\lambda = 2\frac{v\lambda}{c}$ (v – средняя скорость движения атома) – ширина полосы.

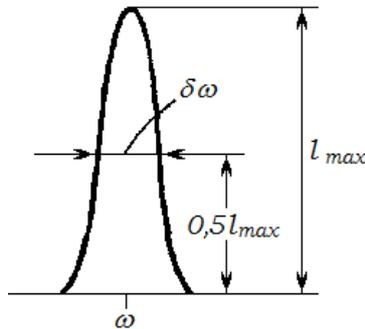


Рисунок 3 – Ширина спектральной линии

Из (1) следует, что

$$\delta\omega = \frac{2\pi c}{\lambda^2} \delta\lambda. \quad (2)$$

Для оценки средней скорости движения атома можно воспользоваться соотношением для среднеквадратичной скорости:

$$v = \sqrt{3RT/\mu}, \quad (3)$$

где R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура, μ – молярная масса газа.

Мощность излучения одного моля газа в линии спектра можно оценить из соотношений Гейзенберга

$$P = \frac{\hbar}{\tau^2} N_A, \quad (4)$$

где N_A – число Авогадро, \hbar – постоянная Планка. Время оценивается как:

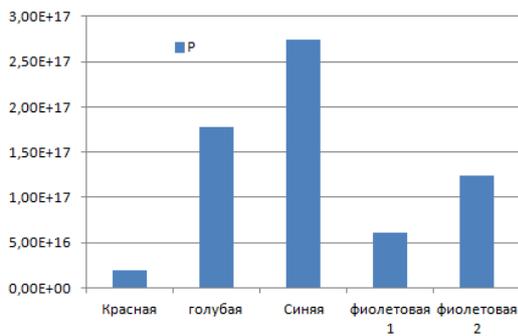
Результаты экспериментов

Результаты обработки полученных разными студентами экспериментальных спектров для атомов водорода, гелия и аргона по формуле (4) с учетом (1) – (3) представлены на рисунках 4 – 6.

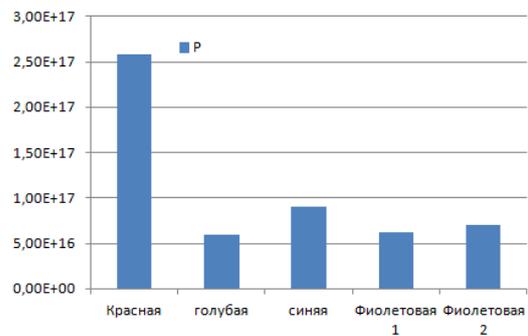
Очевидно, что распределение мощности излучения по полосам значительно отличается при проведении эксперимента разными наблюдателями.

Однако, необходимо отметить, что на столь существенную разницу результатов могли оказать влияние два фактора:

- 1) из-за отсутствия стандартной калибровки щели коллиматора студенты регулировали ее ширину вручную, ориентируясь на зрительное восприятие спектральных линий;
- 2) положение газоразрядной лампы относительно щели могло немного отличаться при проведении эксперимента разными людьми.



Наблюдатель 1

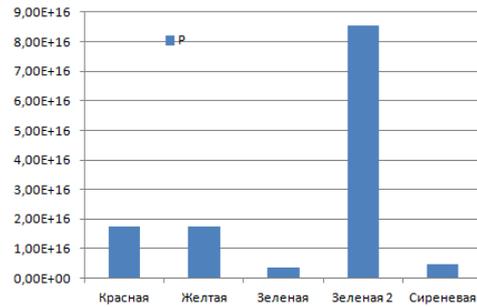


Наблюдатель 2

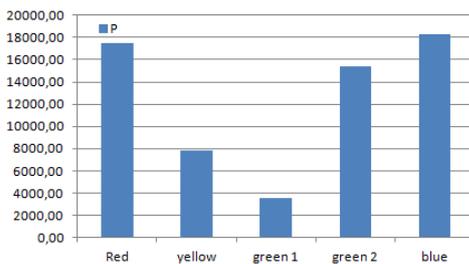
Рисунок 4 – Распределение мощности излучения по полосам в спектре атома водорода



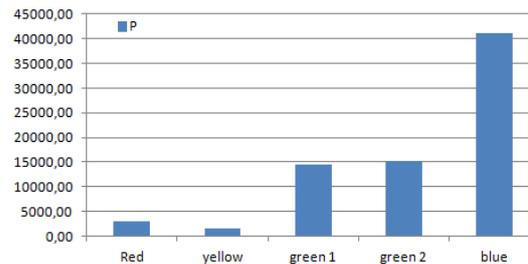
Наблюдатель 1



Наблюдатель 2

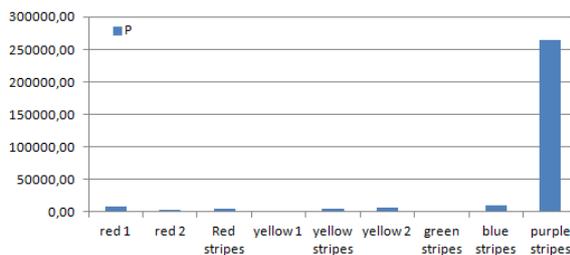


Наблюдатель 3

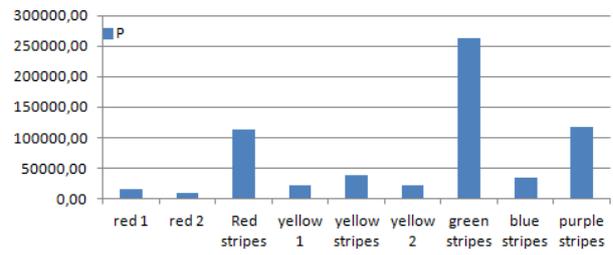


Наблюдатель 4

Рисунок 5 – Распределение мощности излучения по полосам в спектре атома гелия



Наблюдатель 1



Наблюдатель 2

Рисунок 4 – Распределение мощности излучения по полосам в спектре атома аргона

Заклучение

Результаты проведенной работы показали, что согласно выбранной методике оценки, величина мощности излучения в исследуемом диапазоне частот видимого спектра во многом определяется точностью измерения ширины полосы $\Delta\lambda$, которая сильно варьируется у наблюдателей. Однако, известно, что в экспериментах с крупными молекулами, наблюдать которые можно по их тепловому излучению, было определено, что «эффект наблюдателя»

проявляется не только в отсутствие непосредственного воздействия наблюдателя на квантовый объект, но при любом взаимодействии (обмене энергией) между квантовой системой и окружающим пространством. Таким образом, феноменальность квантового подхода в том, что он позволяет при существующей неопределенности оценить физические характеристики процессов в квантовых системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bunge, M. *Philosophy of Physics* / M. Bunge. – Dordrecht: Reidel Publishing Company, 1973. – 196 p.
2. Bell, J. *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics: Collected Papers on Quantum Philosophy* (2nd ed.) / J. Bell, A. Aspect. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – doi:10.1017/CBO9780511815676
3. Popper, K.R. *Quantum Theory and the Schism in Physics* / K.R. Popper. – London: Hutchinson, 1982. – 228 p.
4. Петров, М. Загадка наблюдателя: 5 знаменитых квантовых экспериментов / М. Петров // *Theory and practice. Просто о сложном.* – URL: <https://theoryandpractice.ru/posts/8507-quantum-experiment>
5. *Физические основы наноинженерии : Учебное пособие для практических занятий бакалавров* / Н.С. Камалова, Н.Ю. Евсикова, В.В. Саушкин, В.В. Постников; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2017. – 134 с. – ЭБС ВГЛТУ.