

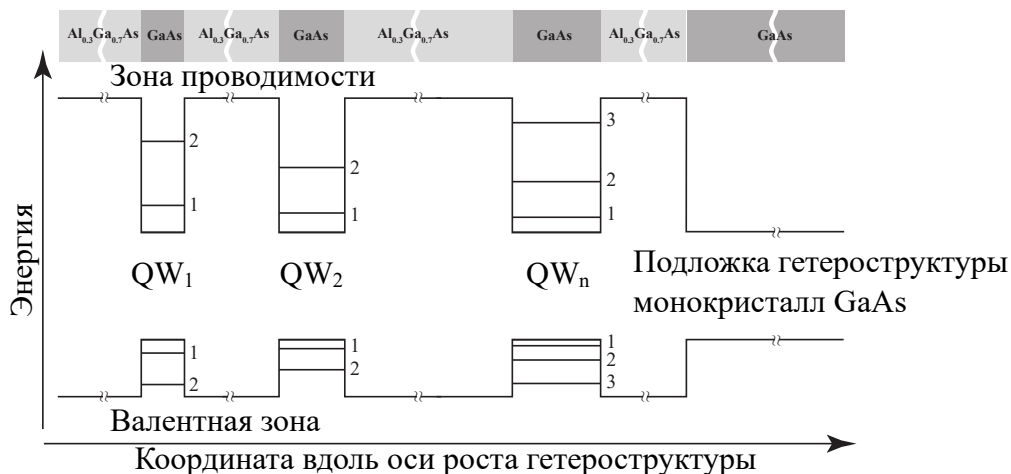
## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №24

### КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫЙ ЭФФЕКТ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ КВАНТОВОЙ ЯМЕ

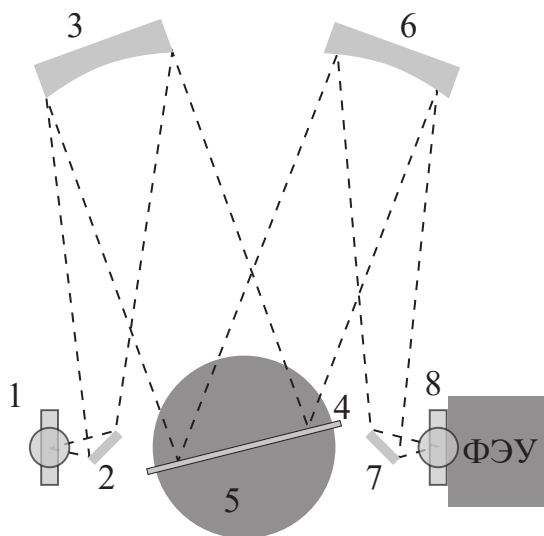
Поляков Даниил, 19.Б23-фз

**Цель работы:** определить толщину полупроводниковых квантовых ям на основе анализа их спектров люминесценции.

#### Схема установки

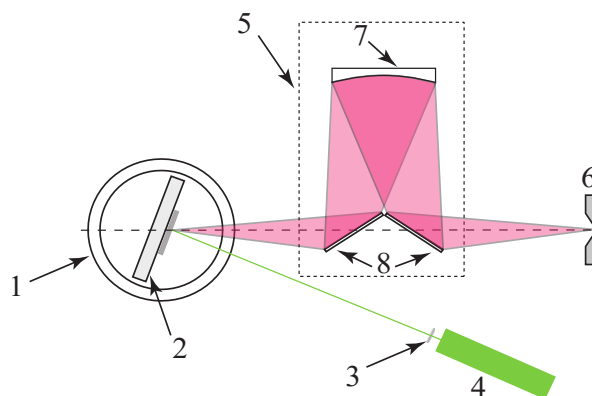


**Рисунок 1.** Схема исследуемой гетероструктуры



**Рисунок 2.** Оптическая схема спектрометра МДР-206

- 1 — входная щель прибора;
- 2, 7 — поворотные зеркала;
- 3, 6 — сферические зеркала;
- 4 — дифракционная решётка;
- 5 — вращающаяся платформа;
- 8 — выходная щель спектрального прибора.



**Рисунок 3.**

Осветительная схема установки

- 1 — сосуд Дьюара;
- 2 — хладопровод с образцом;
- 3 — фокусирующая лазерный пучок линза;
- 4 — лазер;
- 5 — зеркальный конденсор;
- 6 — входная щель спектрального прибора;
- 7 — сферическое зеркало;
- 8 — поворотные зеркала.

## Расчётные формулы

- Энергия кванта света, выпущенного из квантовой ямы:

$$E = \frac{hc}{n_0 \lambda}$$

$h$  — постоянная Планка;

$c$  — скорость света;

$n_0 = 1.00029$  — показатель преломления воздуха;

$\lambda$  — длина волны кванта света.

- Толщина квантовой ямы:

$$L = \frac{h}{2} \sqrt{\frac{m_e^{-1} + m_h^{-1}}{2(E - E_g)}}$$

$h$  — постоянная Планка;

$m_e = 0.067m_0$  — эффективная масса электрона в GaAs;

$m_h = 0.34m_0$  — эффективная масса дырки в GaAs;

$m_0$  — масса электрона;

$E$  — энергия кванта света, выпущенного из квантовой ямы;

$E_g$  — энергия запрещённой зоны GaAs.

- Формулы для вычисления погрешностей:

- Абсолютная погрешность косвенных измерений:

$$\Delta_{f(x_1, x_2, \dots)} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta_{x_2}\right)^2 + \dots}$$

- $\Delta_E = \left| \frac{\partial E}{\partial \lambda} \cdot \Delta_\lambda \right| = \left| E \cdot \frac{\Delta_\lambda}{\lambda} \right|$

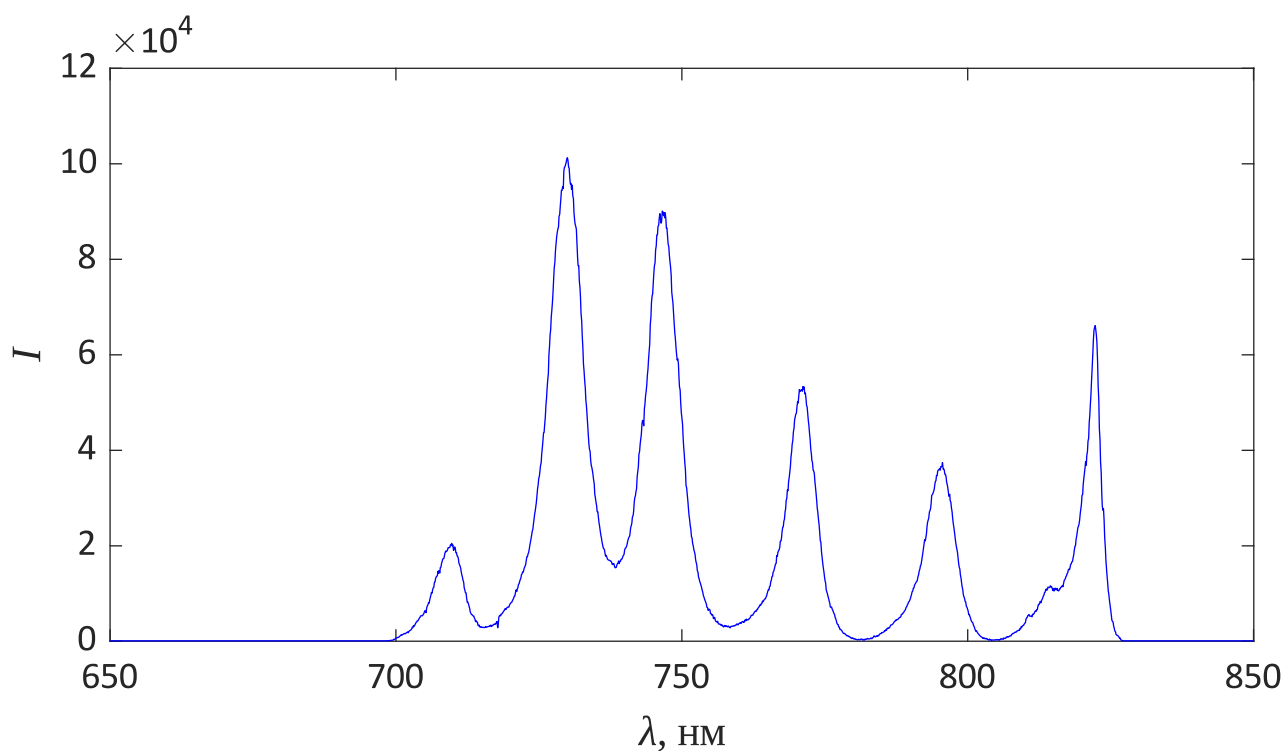
- $\Delta_L = \sqrt{\left(\frac{\partial L}{\partial E} \cdot \Delta_E\right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial E_g} \cdot \Delta_{E_g}\right)^2} = \left| \frac{L}{2(E - E_g)} \right| \sqrt{(\Delta_E)^2 + (\Delta_{E_g})^2}$

## Порядок измерений

- Заливаем жидкий азот в систему охлаждения образца и ждём некоторое время, пока не выкипит азот, перекрывающий образец.
- С помощью ПО измеряем спектр излучения образца 3 раза.

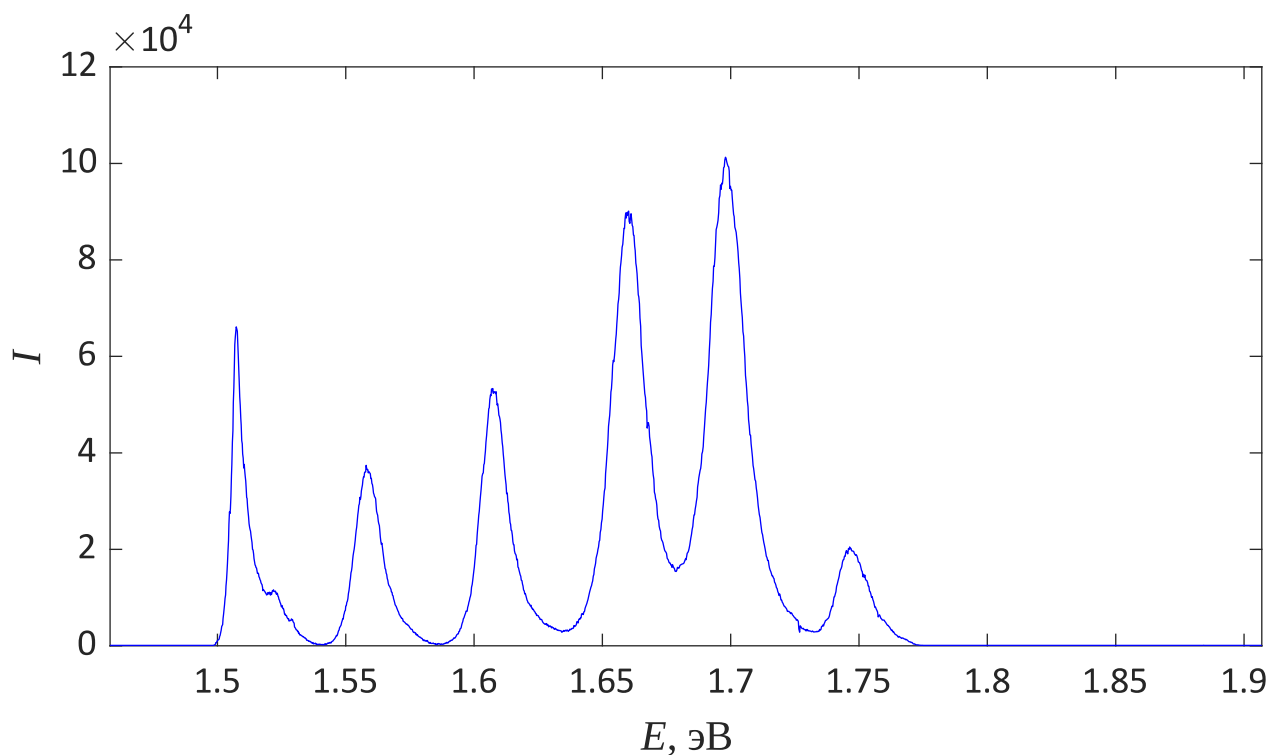
## Результаты

Для обработки был выбран первый из трёх полученных спектров, обладающий наибольшей интенсивностью спектральных линий.



**График 1.**

*Спектр низкотемпературной люминесценции образца по длинам волн*



**График 2.** *Спектр низкотемпературной люминесценции образца по энергиям*

На полученных графиках наблюдается 6 спектральных линий. 5 из них относятся к излучению квантовых ям, а одна, при наибольшей длине волны, — это излучение запрещённой зоны. Длина волны и энергия запрещённой зоны:

$$\lambda_g = 822.29(10) \text{ нм}$$

$$E_g = 1.5074(2) \text{ эВ}$$

Здесь и далее в таблице длина волны определена как значение, соответствующее максимуму спектральной линии, а её погрешность оценена приблизительно. Там, где пик чёткий, указана минимальная погрешность 0.1 нм, равная шагу измерения спектра. Там, где пик относительно шумный, погрешность выбрана большей.

Значения толщины квантовых ям  $L$  в монослоях получены делением значений в нанометрах на половину постоянной решётки кристалла GaAs. Постоянная решётки:

$$a_0 = 0.564 \text{ нм}$$

**Таблица. Параметры спектральных линий**

№	$\lambda$ , нм	$E$ , эВ	Полуширина полосы, мэВ	$L$ , нм	$L$ , мс
1	709.8(2)	1.7464(5)	14.3	5.302(6)	18.80(2)
2	729.99(10)	1.6979(2)	16.1	5.937(5)	21.05(2)
3	746.6(5)	1.6602(11)	15.9	6.63(2)	23.51(9)
4	771.2(5)	1.6073(10)	12.1	8.20(4)	29.1(2)
5	795.59(10)	1.5579(2)	11.8	11.52(3)	40.87(11)

Полученные значения толщины квантовых ям, выраженные в монослоях, оказались отличными от целых.

## Выводы

В ходе работы успешно выполнена проверка существования квантово-размерного эффекта в кристалле GaAs. Эффект заключается в том, что возбуждённые светом электроны и дырки рекомбинируют, излучая дискретные значения энергии, зависящие от толщины квантовой ямы.