

Энергосберегающие технологии: свет в Вашем доме

П.Ю. Боков

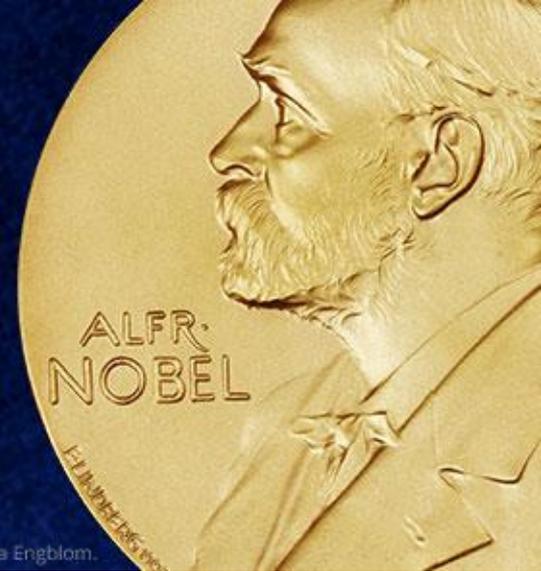
доцент физического факультета

МГУ им. М.В. Ломоносова

кандидат физико-математических наук

2014 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

Isamu Akasaki
Hiroshi Amano
Shuji Nakamura



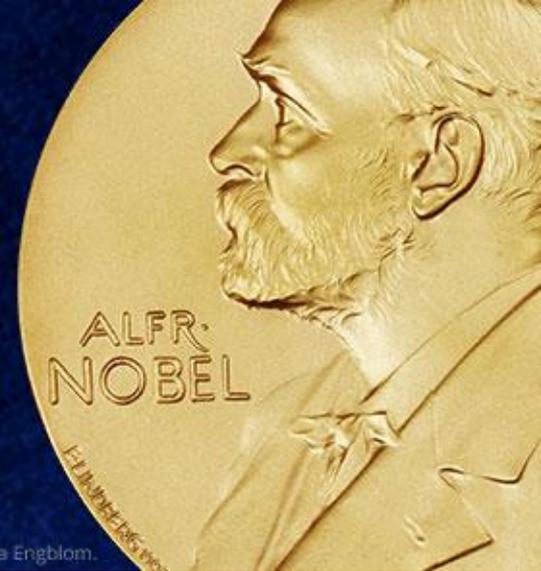
© The Nobel Foundation. Photo: Lovisa Engblom.

2014 Nobel Prize in Physics
The Nobel Prize in Physics 2014 was awarded jointly to Isamu Akasaki, Hiroshi Amano and Shuji Nakamura **"for the invention of efficient blue light-emitting diodes which has enabled bright and energy-saving white light sources"**.



www.nobelprize.org

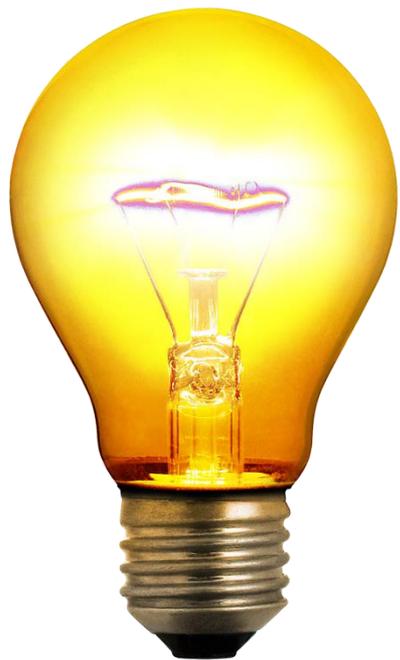
Isamu Akasaki Hiroshi Amano Shuji Nakamura



© The Nobel Foundation. Photo: Lovisa Engblom.

- Materials consumption is also diminished as LEDs last up to 100,000 hours, compared to 1,000 for incandescent bulbs and 10,000 hours for fluorescent lights.
- The LED lamp holds great promise for increasing the quality of life for over 1.5 billion people around the world who lack access to electricity grids: due to low power requirements it can be powered by cheap local solar power.

Все ли электрические лампы одинаковы?



- Каковы принципы работы ламп?

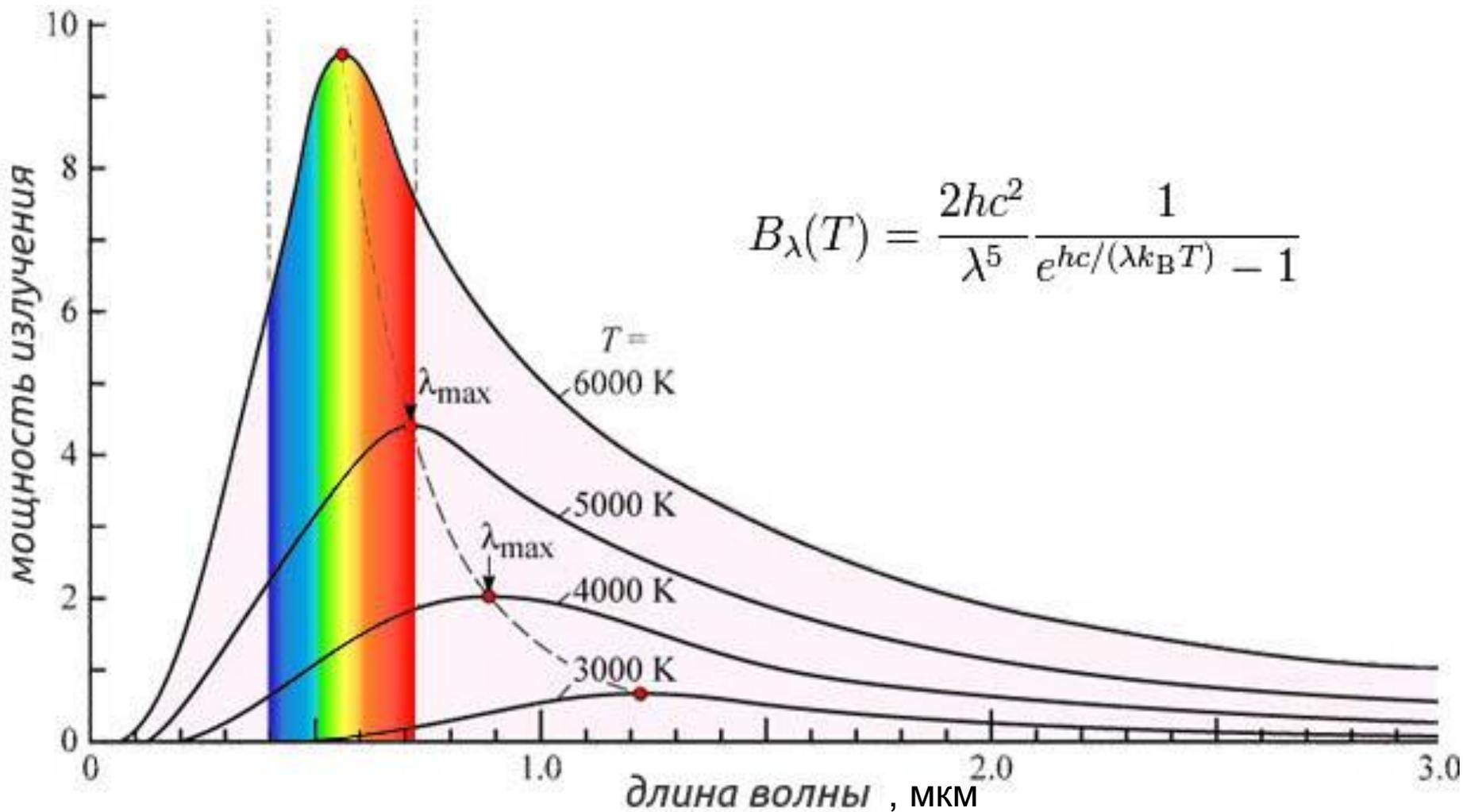
Виды излучения

- **Тепловое** – излучение, возникающее за счет внутренней энергии тела находящееся в состоянии теплового равновесия с телом
- **Люминесцентное** (luminescence - свечение) – излучение, энергетически избыточное над тепловым

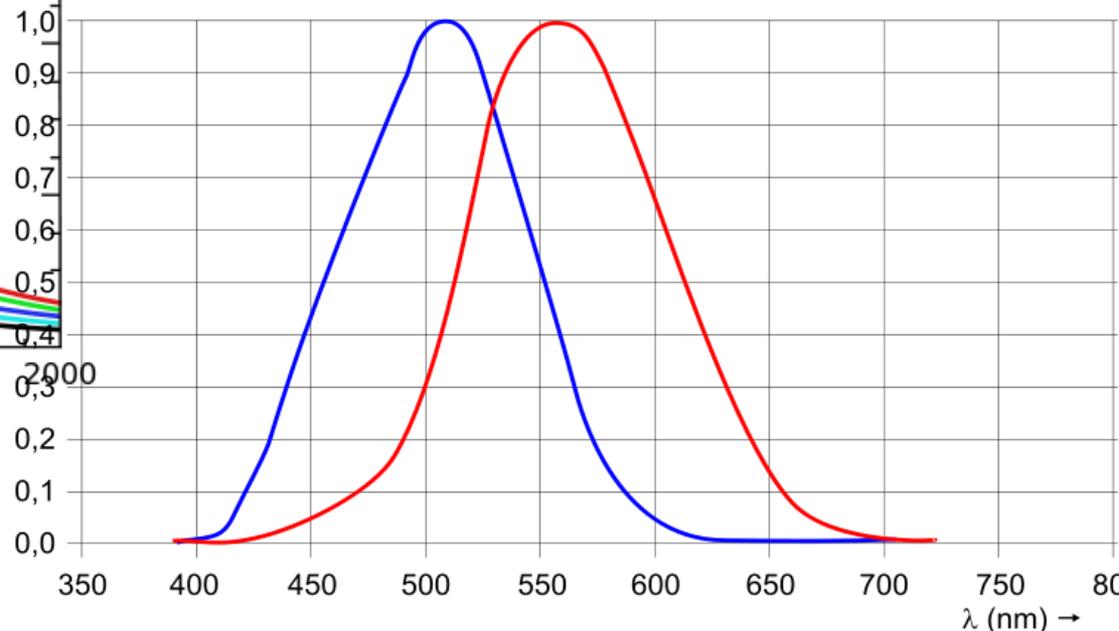
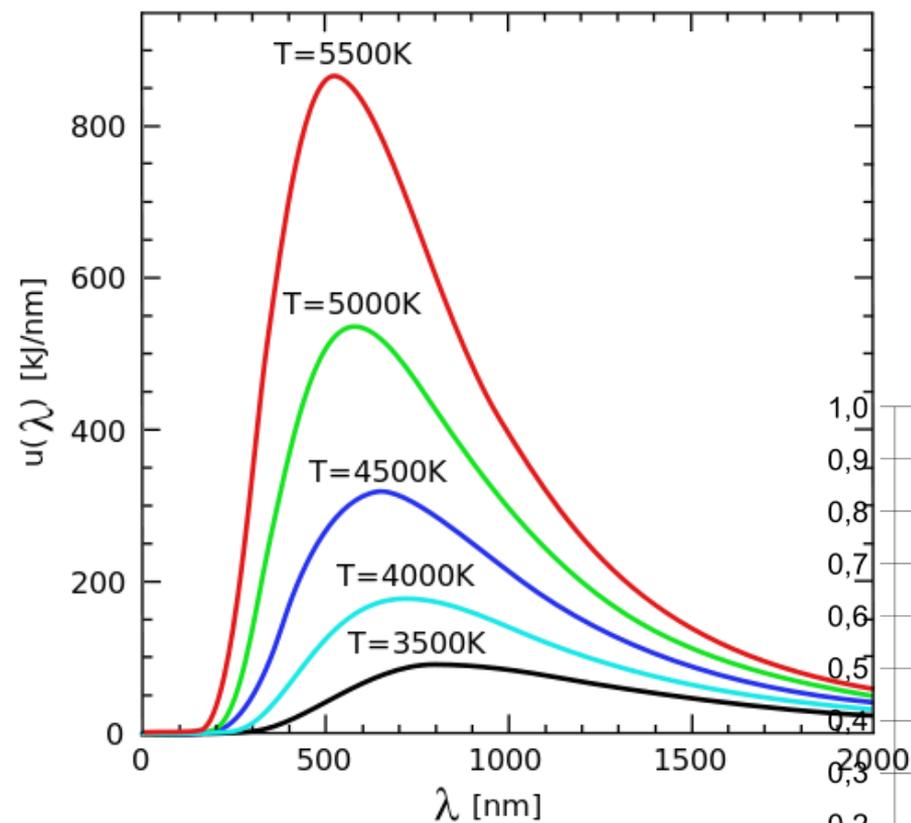
Спектр излучения

- Характеристика источника излучения
- Набор частот (длин волн), на которых источник излучает
- Спектры излучения бывают сплошные, линейчатые, полосатые

Тепловое излучение: спектр

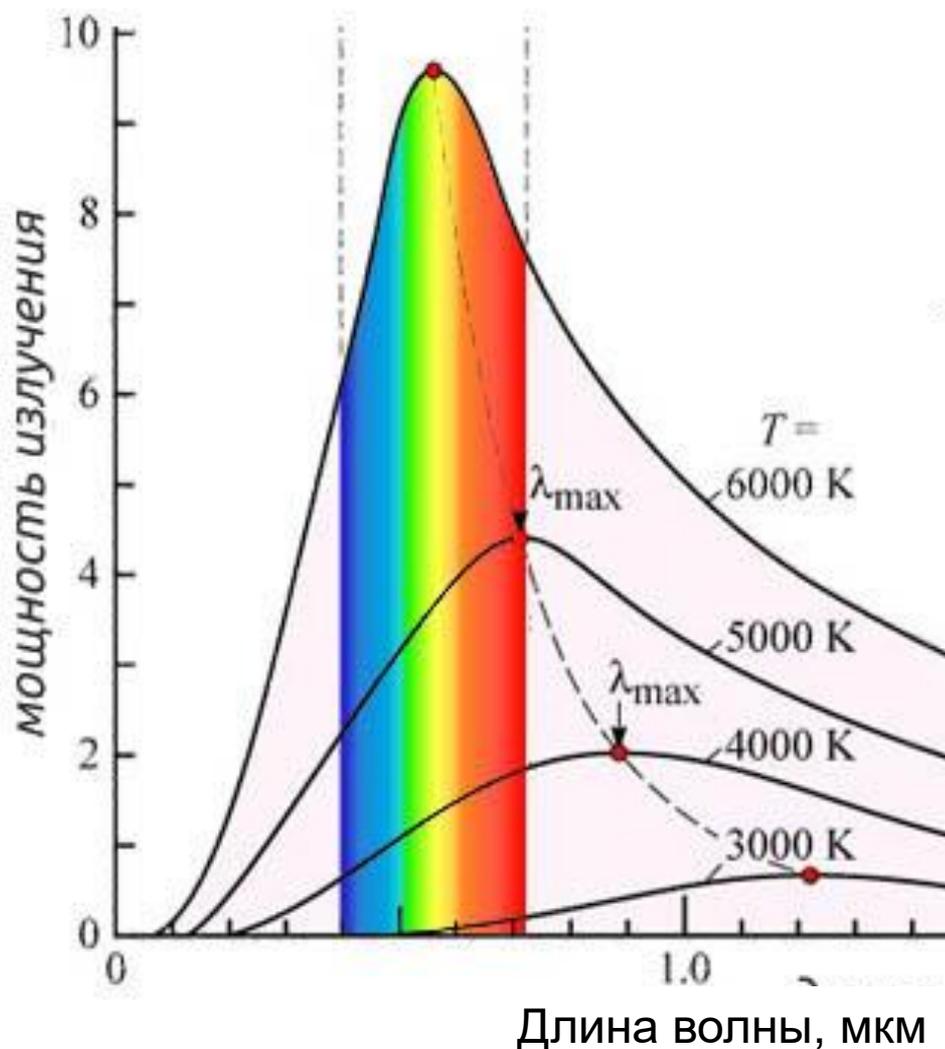


Излучение Солнца и чувствительность человеческого глаза



Чему светиться в лампе накаливания?

Металл или сплав	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$
Алюминий	660,4
Вольфрам	3420
Германий	937
Железо	1539
Золото	1063
Иридий	2447
Калий	63,6
Карбиды гафния	3960
ниобия	3760
титана	3150
циркония	3530
Константан	~1260
Кремний	1415
Латунь	~1000



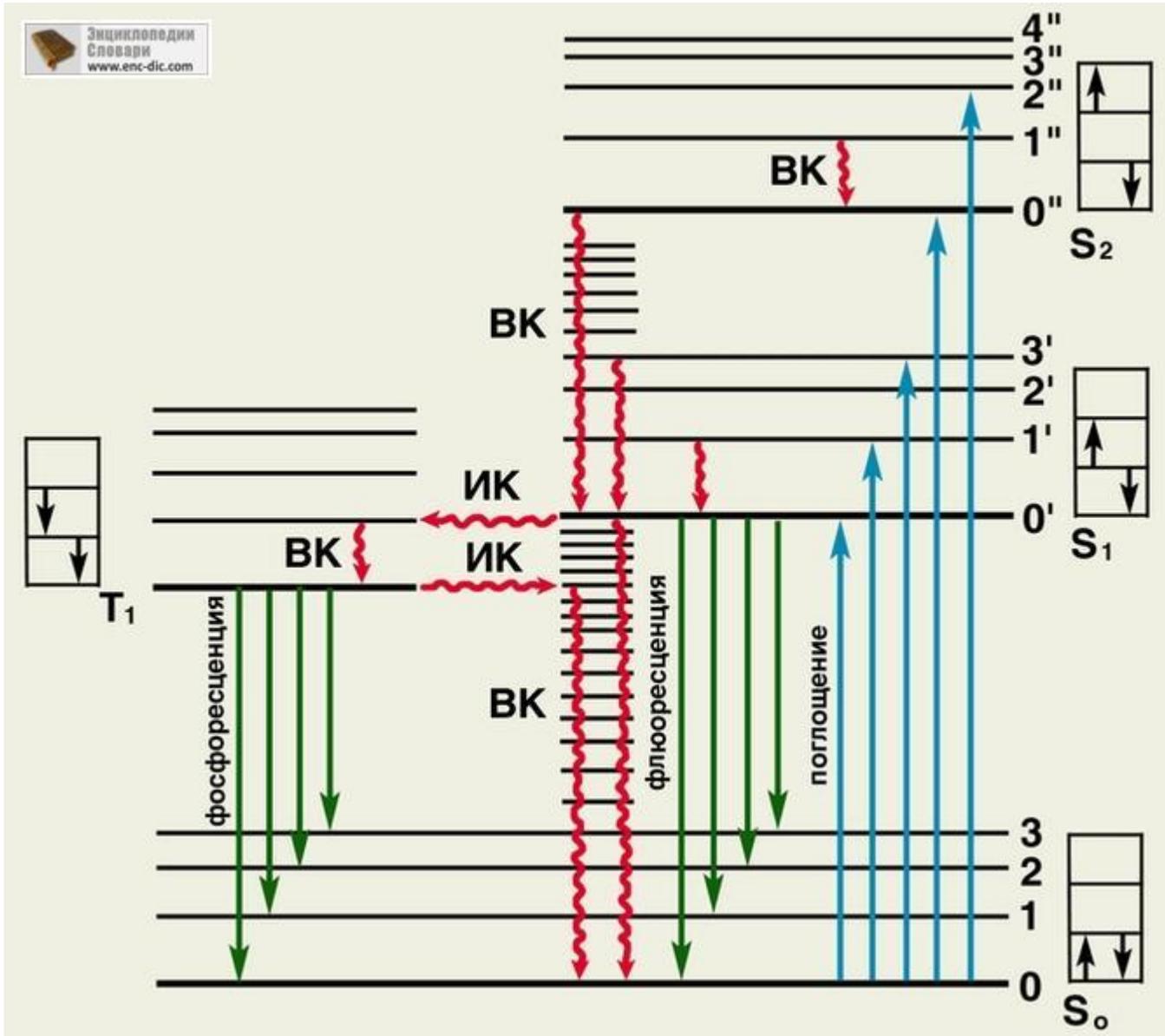
Люминесценция



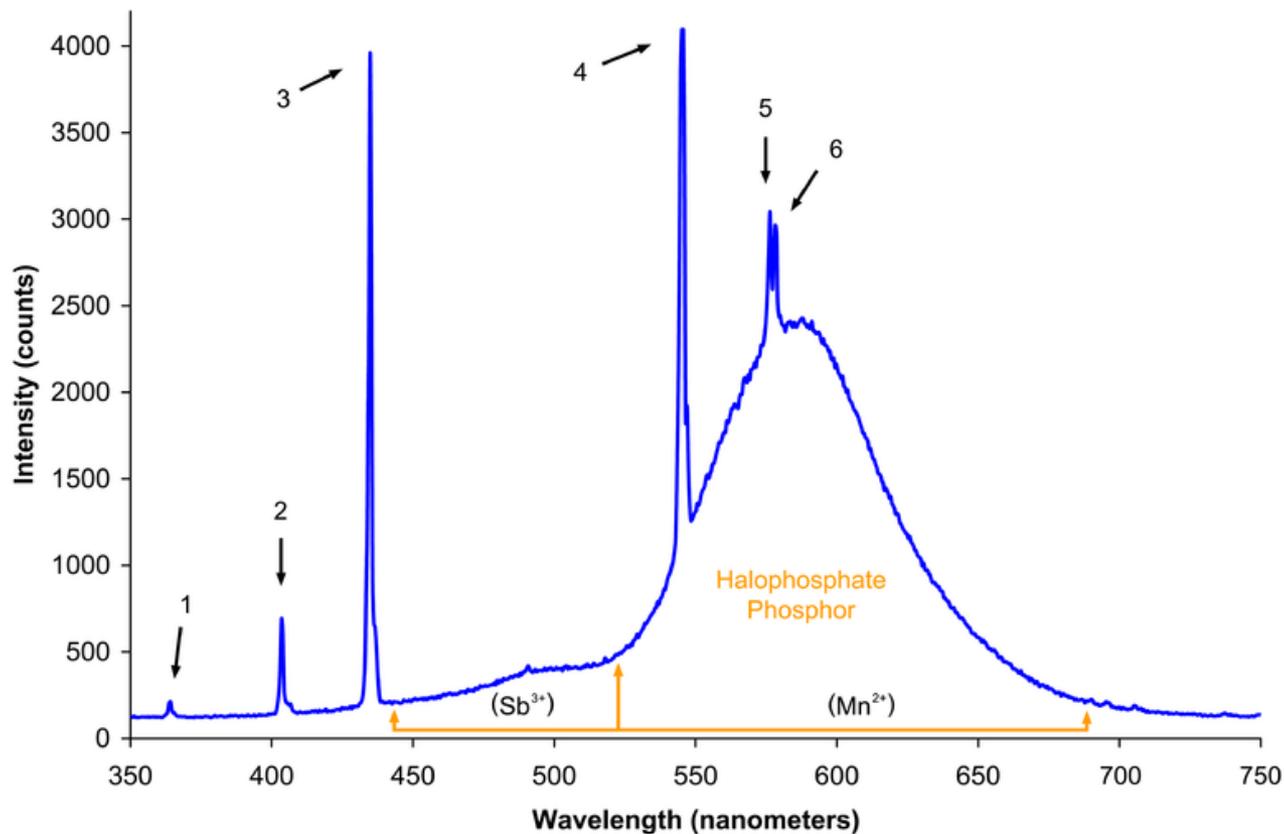
Люминесценция



Откуда берется люминесценция?



Люминесцентная лампа



- **Люминофор** — вещество, способное преобразовывать поглощаемую им энергию в световое излучение

Открытие О.В. Лосева

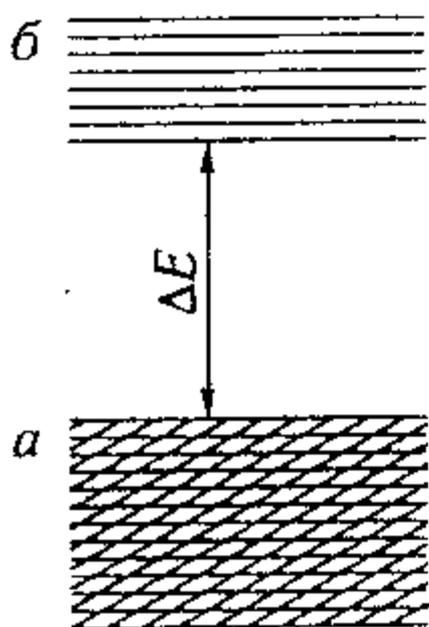
- 1922 год. Тверь

При пропускании тока через полупроводниковый детектор (селенид цинка) детектор (так раньше называли полупроводниковый диод) начинает светиться.

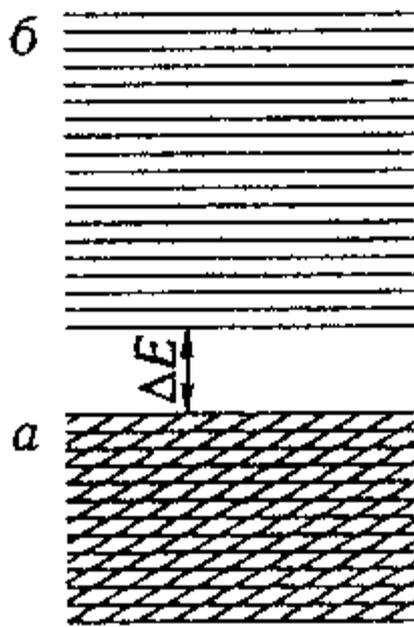


Что произошло в опыте О.В. Лосева?

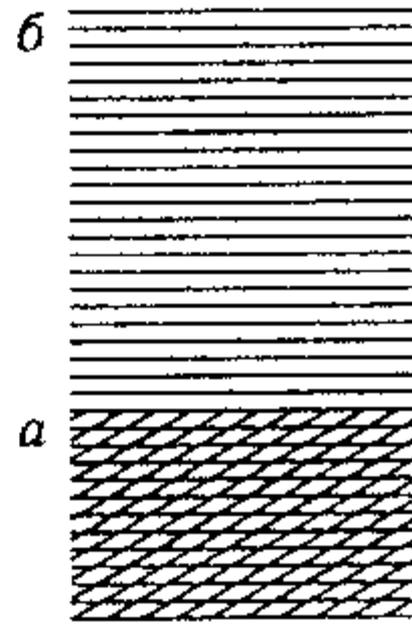
Зона проводимости



Изолятор



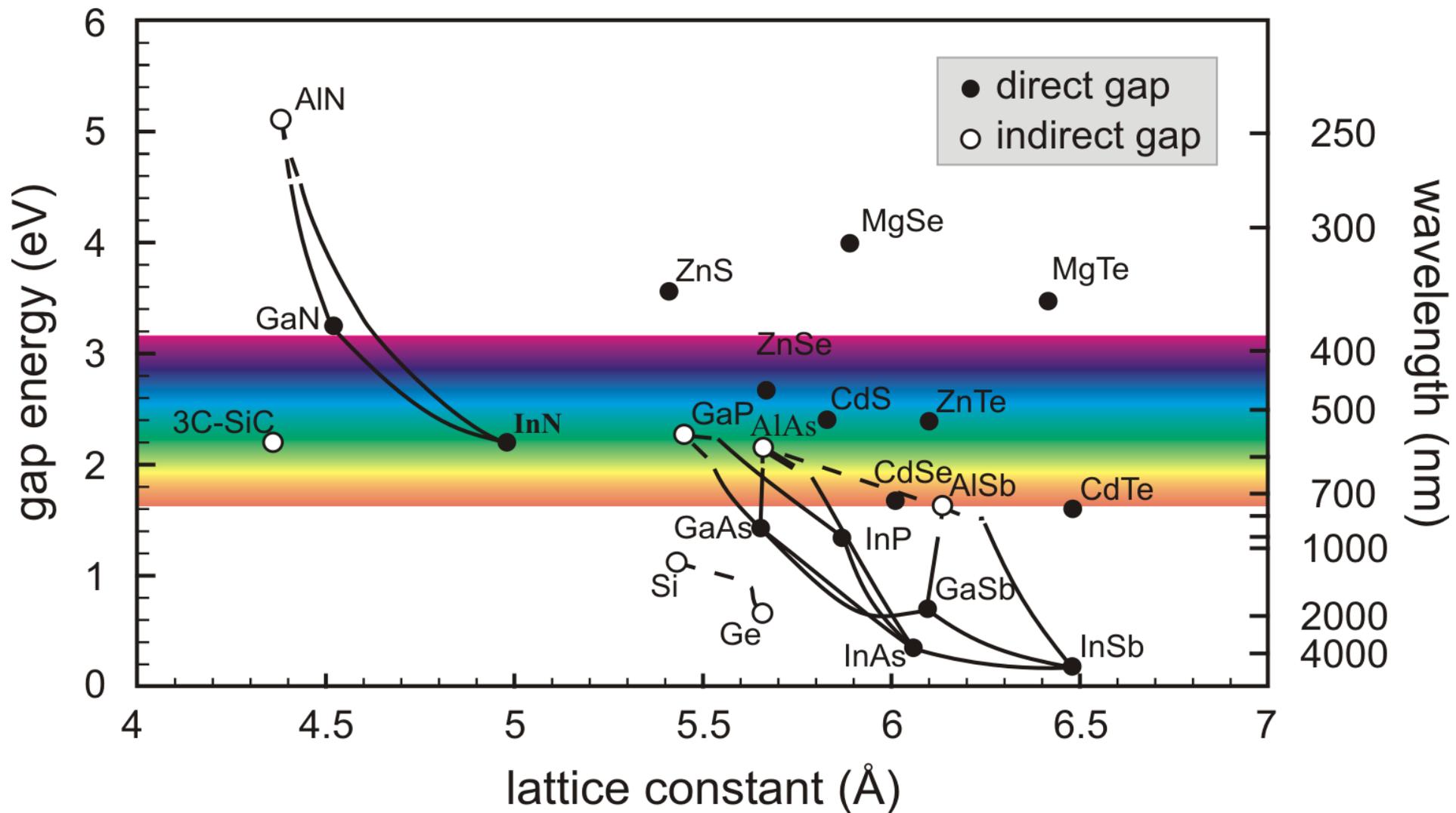
Полупроводник



Металл

Валентная зона

И почему о нем надолго забыли...





The Nobel Prize in Physics 2000

Zhores I. Alferov, Herbert Kroemer, Jack S. Kilby

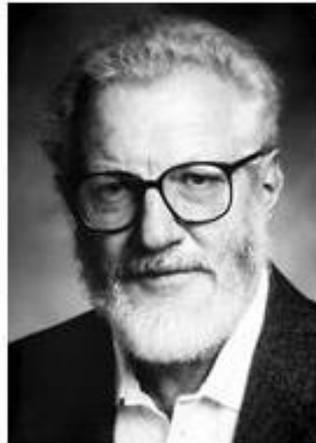
Share this: [f](#) [g+](#) [t](#) [+](#) [4](#) [e](#)

The Nobel Prize in Physics 2000



Zhores I. Alferov

Prize share: 1/4



Herbert Kroemer

Prize share: 1/4



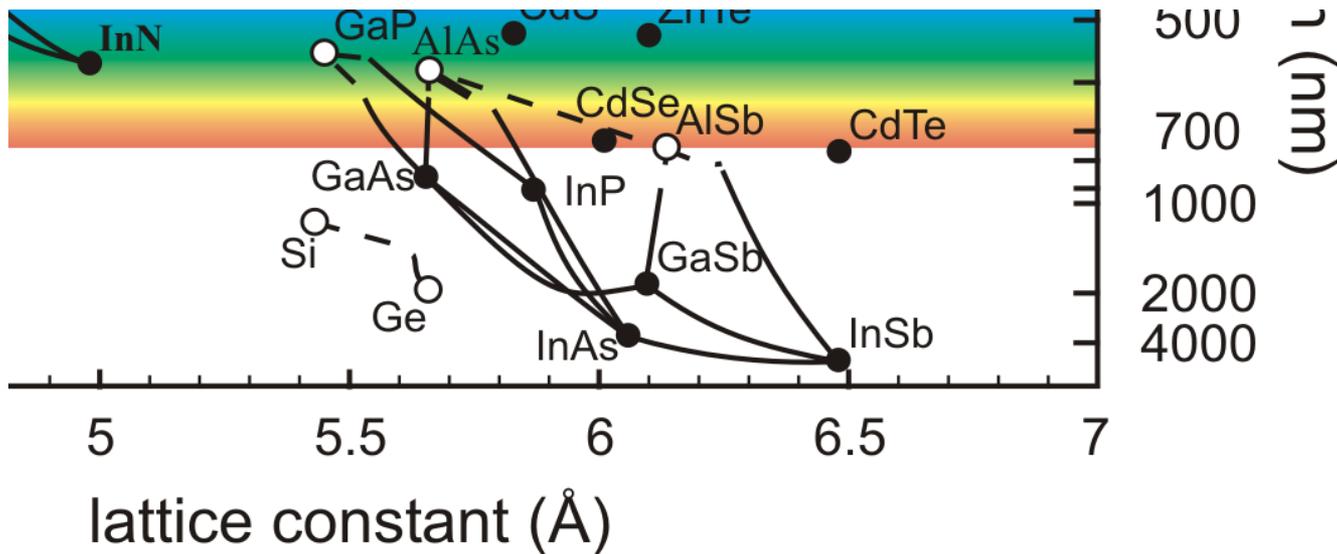
Jack S. Kilby

Prize share: 1/2

The Nobel Prize in Physics 2000 was awarded *"for basic work on information and communication technology"* with one half jointly to Zhores I. Alferov and Herbert Kroemer *"for developing semiconductor heterostructures used in high-speed- and optoelectronics"* and the other half to Jack S. Kilby *"for his part in the invention of the integrated circuit"*.

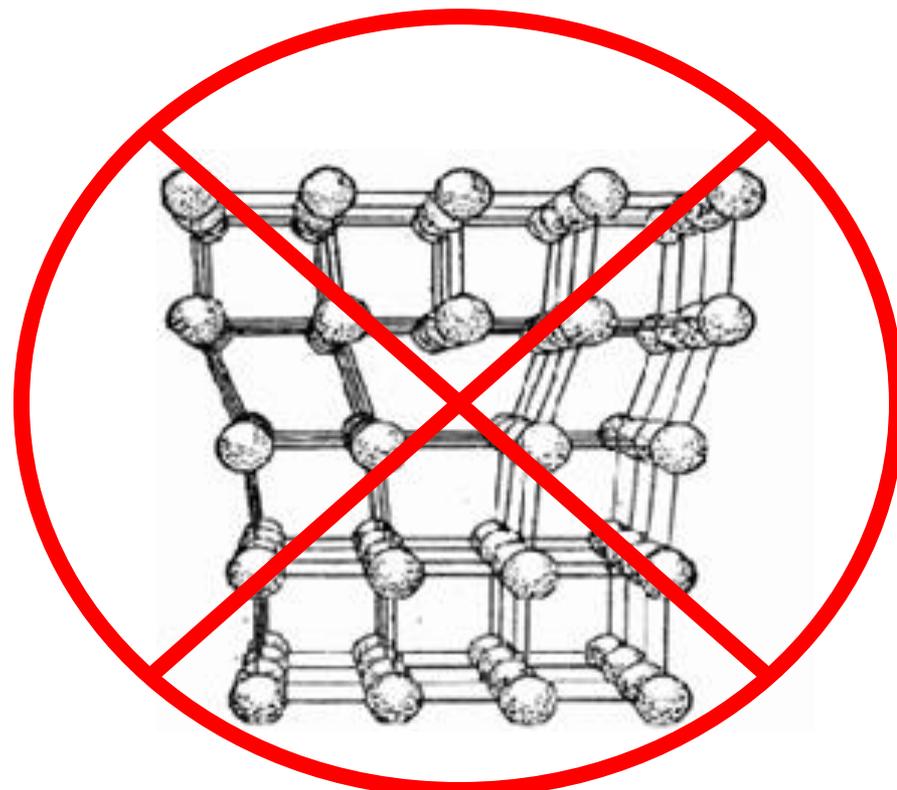
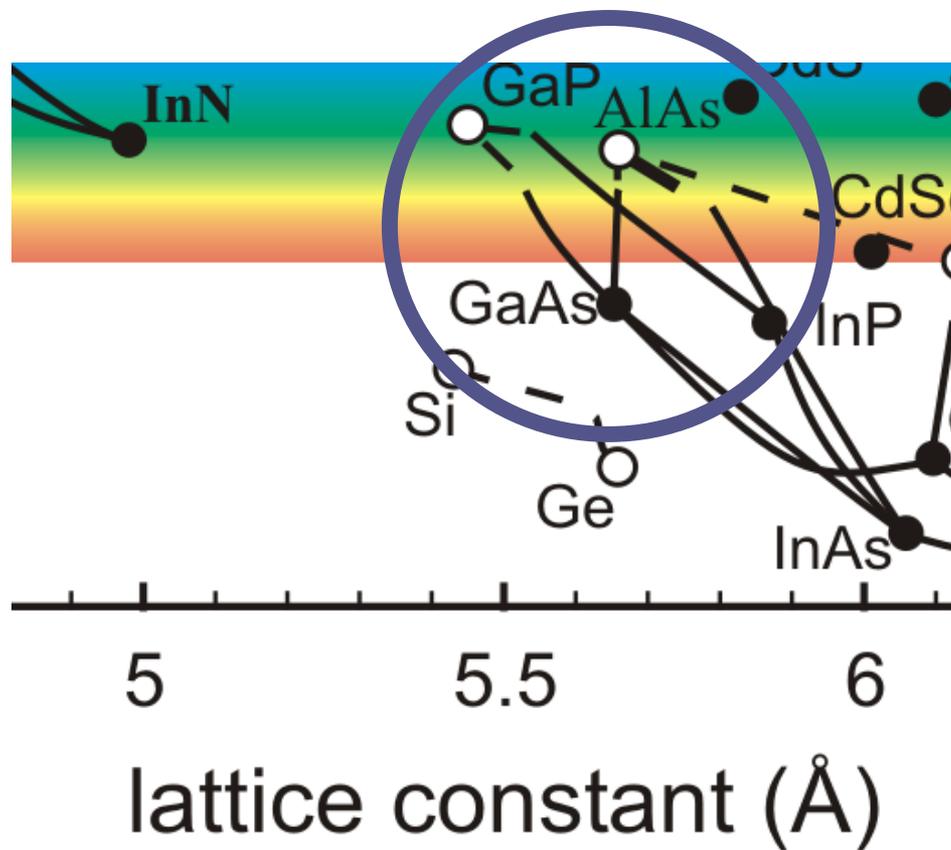
Photos: Copyright © The Nobel Foundation

О чем эта премия?

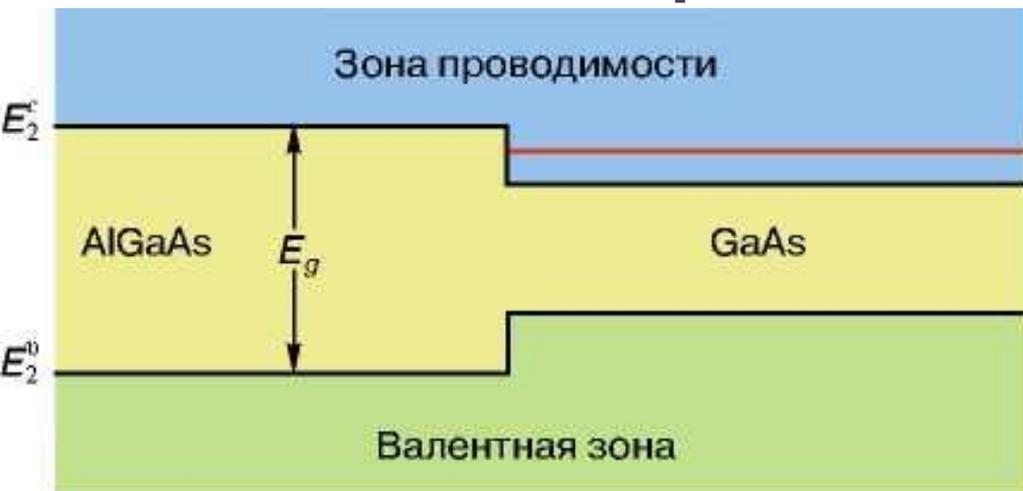


- Как перейти от GaAs к AlAs? – с помощью тройного соединения $Al_xGa_{1-x}As$
- x – мольная доля атомов галлия, замещенных атомами алюминия

О чем эта премия?

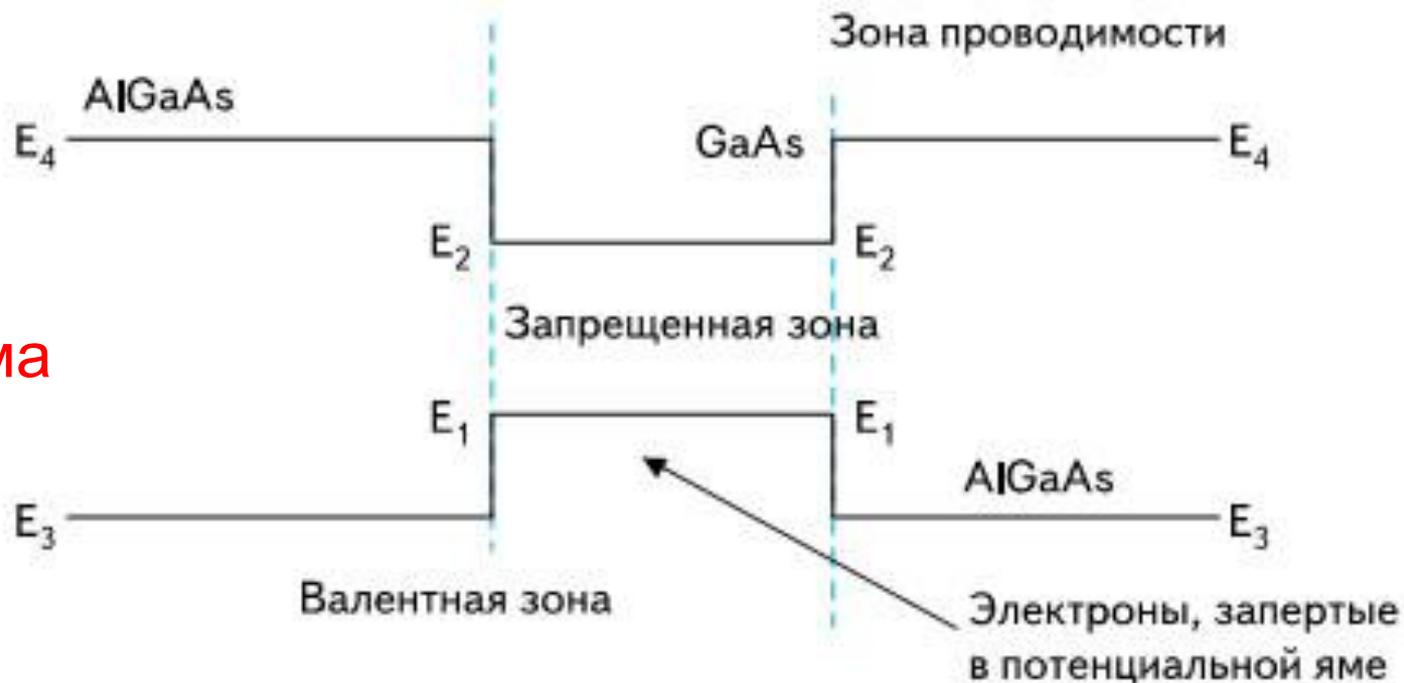


О чем эта премия?

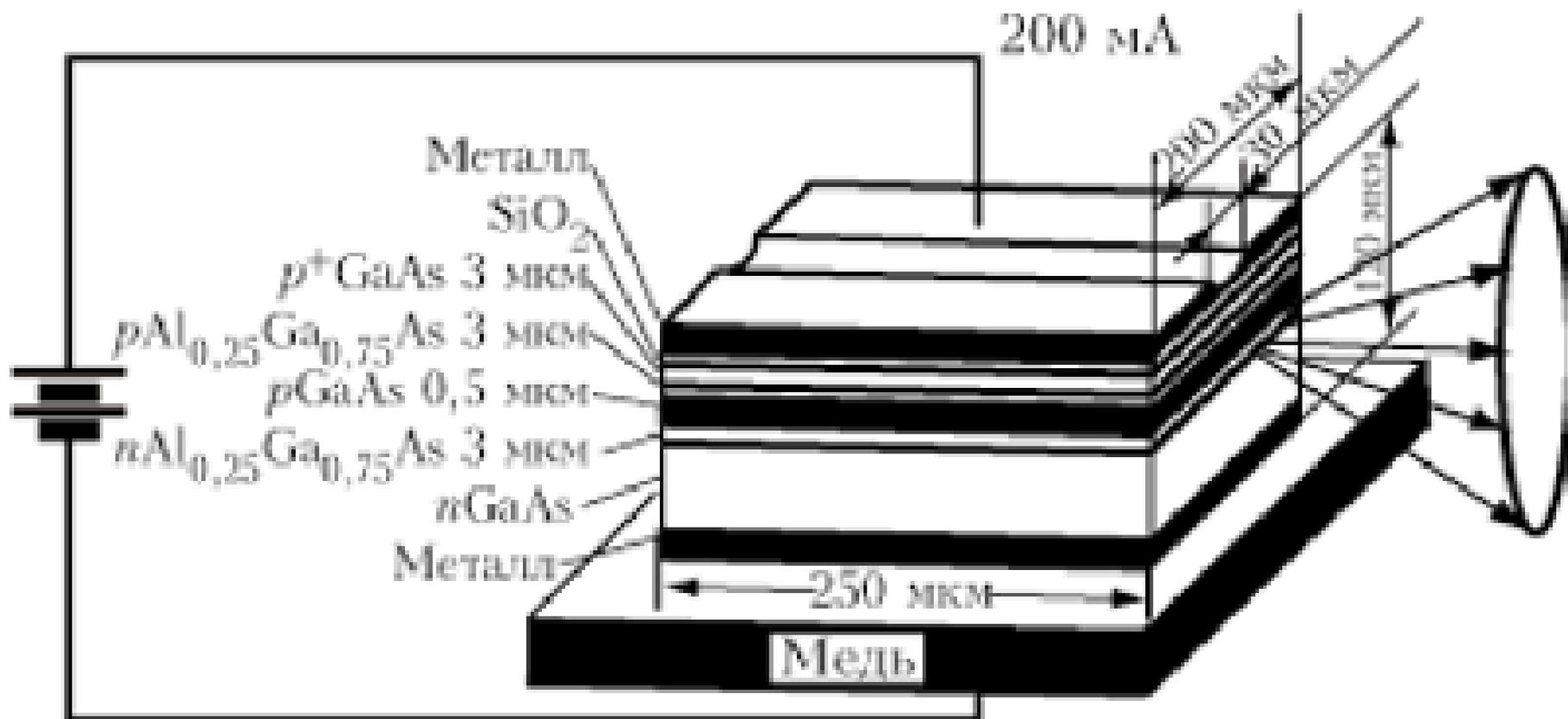


Одиночный гетеропереход

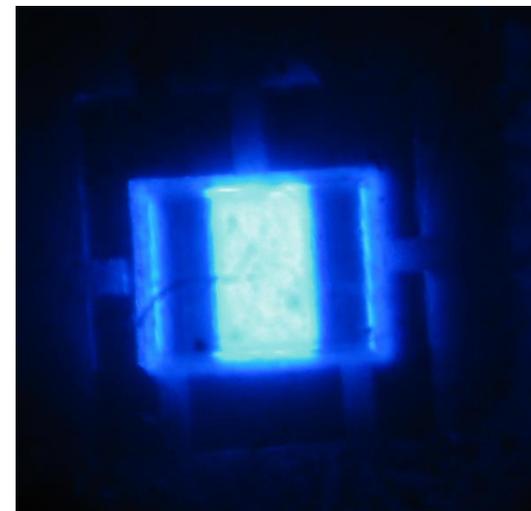
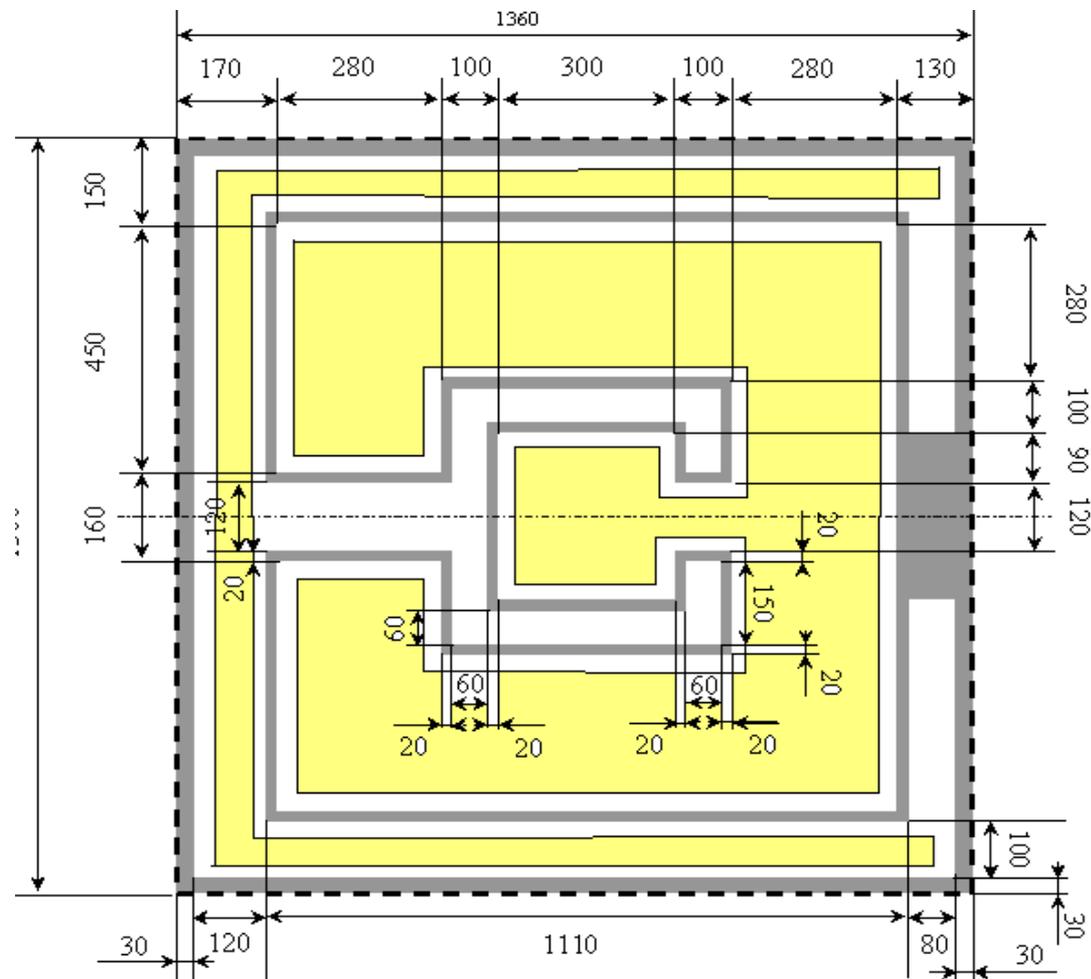
Квантовая яма



Светодиод в разрезе



Светодиод



Зачем нужны светодиоды?

- Долговечная мало потребляющая энергии индикация
- Экраны на основе светодиодов
- Замена люминесцентным лампам

Светодиод как источник света: проблемы

- Обычный светодиод дает квазимонохроматическое излучение, мы привыкли к белому свету. Белый свет надо суметь получить с помощью светодиода
- Светодиод излучает свет с малой площади, потому тени от потенциальных светодиодных ламп будут иными, большими чем от ламп накаливания
- Излучение светодиода направленно. Привычные нам лампы дают рассеянный свет
- Для питания одного светодиода необходимо напряжение 3-5 В постоянного тока, в сети 220 В переменного тока

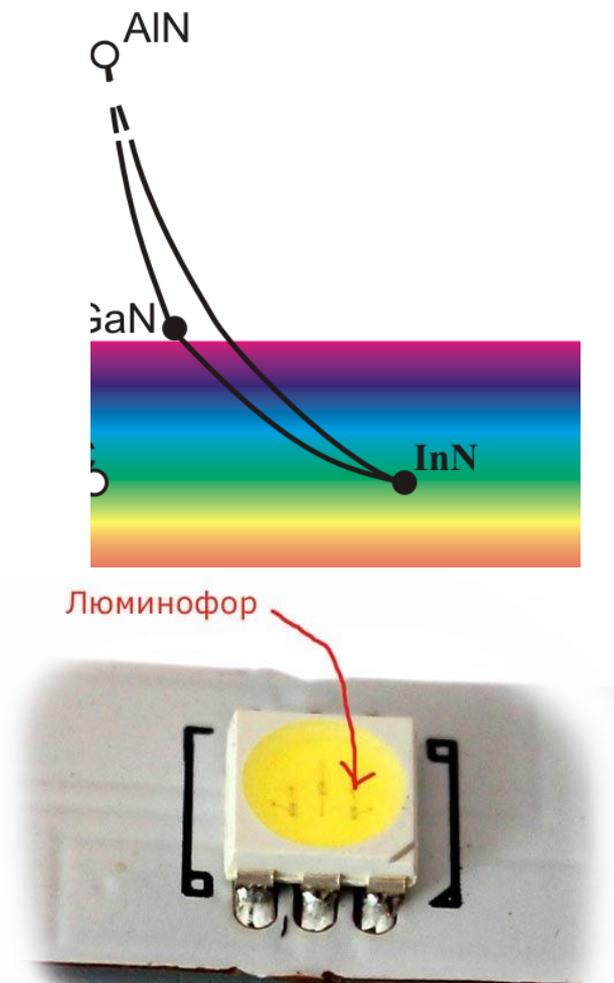
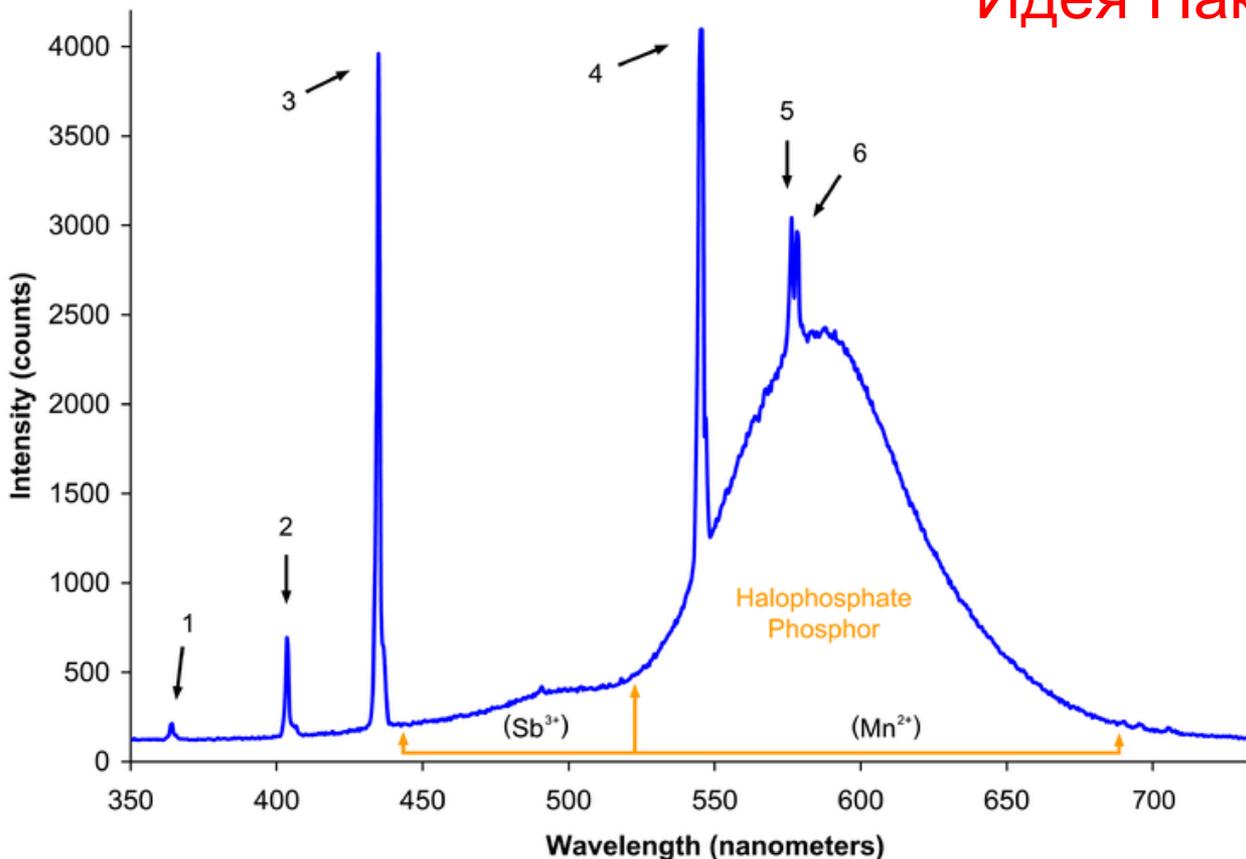
Пути решения проблем

- Светодиод белого свечения можно ИЗГОТОВИТЬ ИЗ СИДОВ, ДАЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЕ В КРАСНОМ, СИНЕМ И ЗЕЛЕНОМ ДИАПАЗОНАХ



Пути решения проблем

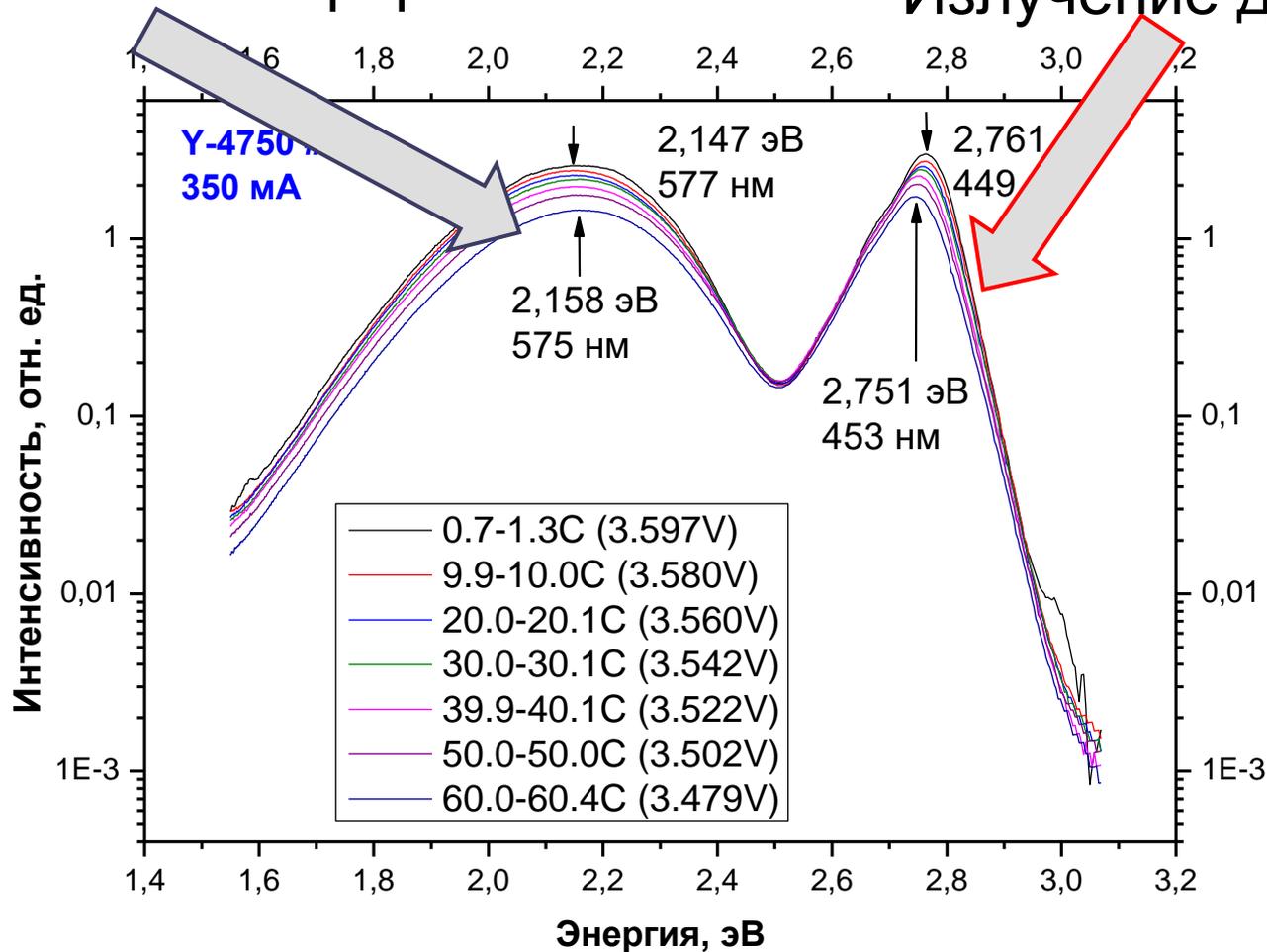
Идея Накамура и Амано, 1989



Излучение диода с люминофором

Излучение люминофора

Излучение диода



Недостатки светодиодных ламп

- Трудности в создании трех подходящих светодиодов, выход из строя при поломке одного из светодиодов
- Малое напряжение питания, для работы от сети 220 В требуются специальные конвертеры
- Горение люминофора

Как сравнивают разные источники света?

Кандела это...

- сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср
- Выбранная частота соответствует длине волны $555,016$ нм в воздухе при стандартных условиях и находится вблизи максимума чувствительности человеческого глаза, располагающегося на длине волны 555 нм.

Сила света различных источников

Источник	Мощность, Вт	Примерная сила света, кд
Свеча		1
Современная (2010 г.) лампа накаливания	100	100
Обычный светодиод	0,015..0,1	0,005..3
Сверхъяркий светодиод	1	25...500
Современная (2018 г.) люминесцентная лампа	22	120
Солнце	$3,83 \cdot 10^{26}$	$2,8 \cdot 10^{27}$

Световой поток

- Один люмен равен световому потоку, испускаемому точечным изотропным источником, с силой света, равной одной канделе, в телесный угол величиной в один стерадиан: $1 \text{ лм} = 1 \text{ кд} \times \text{ср}$. Полный световой поток, создаваемый изотропным источником, с силой света одна кандела, равен 4π люменам.

	Световой поток (люмен)	Световая отдача (лм/ватт)
Лампа накаливания 5 Вт	20	4
Лампа накаливания 10 Вт	50	5
Лампа накаливания 15 Вт	90	6
Лампа накаливания 25 Вт	175	7
Лампа накаливания 40 Вт	420	10
Лампа накаливания 60 Вт	710	11
Лампа накаливания 75 Вт	935	12
Галогенная лампа накаливания 230В 42 Вт	625	15
Галогенная лампа накаливания 230В 55 Вт	900	16
Люминесцентная лампа 40 Вт	2000	50
Светодиод МАХ на выставке 2013г (Москва) 3,6 Вт (в действующих прожекторах)	540	150
Светодиодная лампа (цокольная) 4500К, 10 Вт	860	86
Солнце	$3,63 \cdot 10^{28}$	93

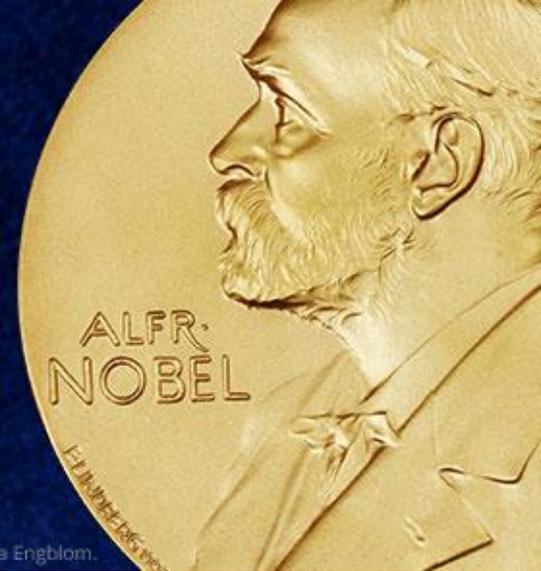
Задумаемся

В городе с населением 100 тыс. жителей
приблизительно 30 тыс. квартир...

Перейдя с ламп накаливания на светодиодные
лампы за 10 лет будет сэкономлено:

- 19 млн рублей
- 104 тонны каменного угля
- Атмосфера недополучит загрязнений...,
жители – сопутствующих заболеваний...
- Снизится скорость нарастания парниковой
катастрофы...

Isamu Akasaki Hiroshi Amano Shuji Nakamura



© The Nobel Foundation. Photo: Lovisa Engblom.

- Materials consumption is also diminished as LEDs last up to 100,000 hours, compared to 1,000 for incandescent bulbs and 10,000 hours for fluorescent lights.
- The LED lamp holds great promise for increasing the quality of life for over 1.5 billion people around the world who lack access to electricity grids: due to low power requirements it can be powered by cheap local solar power.