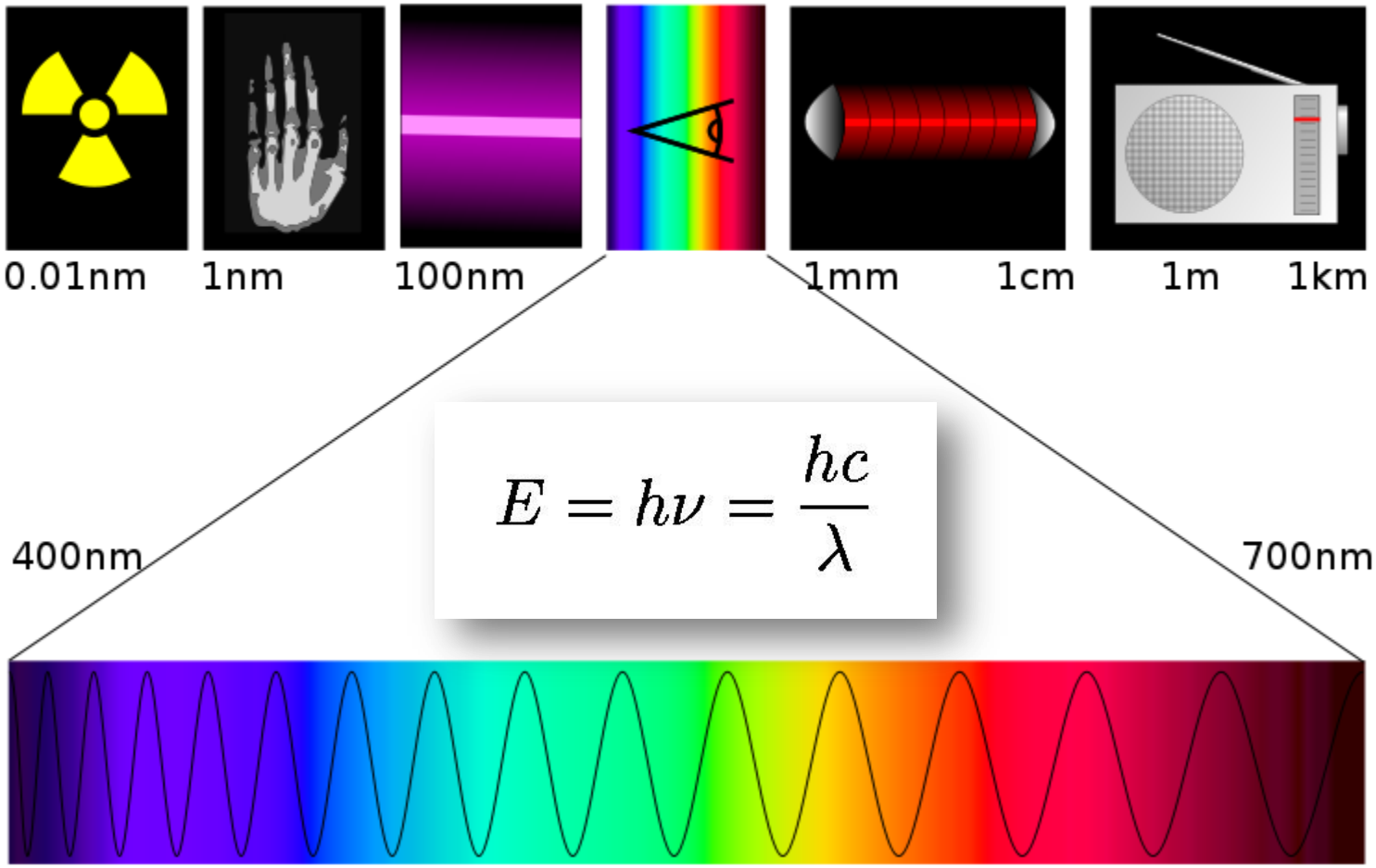
# Люминесценция:
## не только красиво, но и полезно

Уточникова Валентина Владимировна

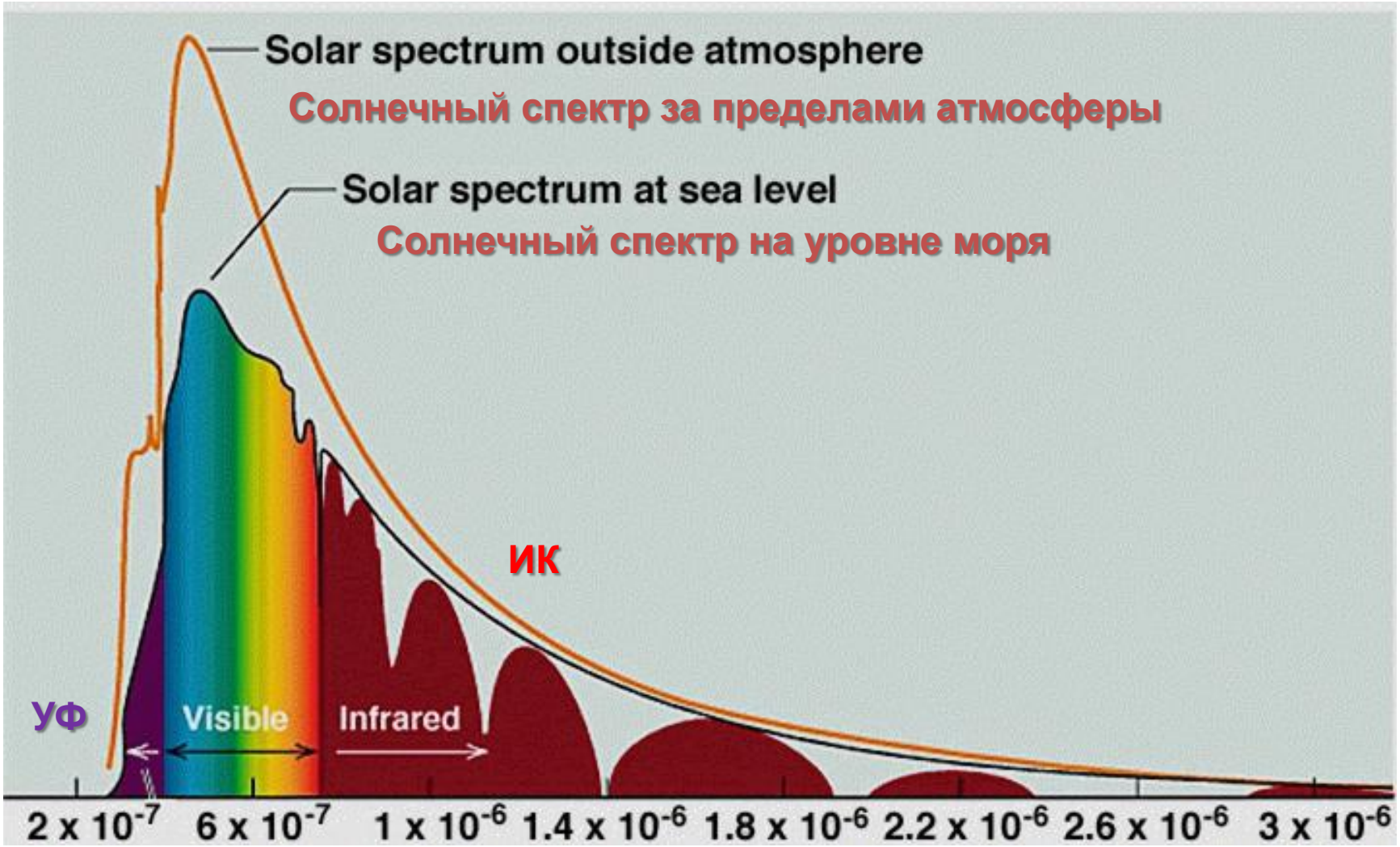

CALCITE (fl. white)
Hamposa, Texas
CALCITE (manganese) (fl. red)
Horsido Mine
Telluride, Colorado
CALCITE ( fl. blu-whi
Deming, New Mexico
FLUORITE
Weardale, W
County Durh
FLUORITE
White Rock Quarry
Clay Center, OH
CALCITE (fl. red)
Hunan, Cheng Zhou Prov.
CORUNDUM var RUBY (fl. red)
Lac Yen Bhai,
Yen Bai, Vietnam
PETRIFIED WOOD (fl. white)
Unknown locality
HEIDITE (fl. yellow-orange)
McGill Farm
Quebec, Canada
WILLEMITE (fl. green)
Franklinite (non fl.)
Franklin, Sussex Co., NJ
SEMI OPAL (fl. white)
Peru
ANTHOPHYLLITE ( fl. red )
TREMOLITE ( fl. orange )
Belmat, New York
SODALITE
Ilimaussaq, Greenland
CAVE ONYX ( fl. cre-whi )
Corydon Rock Crusher Quarry
Corydon, Indiana
CERUSSITE
Mibladen, Morocco
AGRELLITE
Kipawa River,
Temiscaming County,
Quebec, Canada
CALCITE (fl. red)
Hunan, Cheng Zhou Prov.
China
SODALITE (fl. orange)
Mont Saint-Hilaire
Quebec, Canada

# Свет

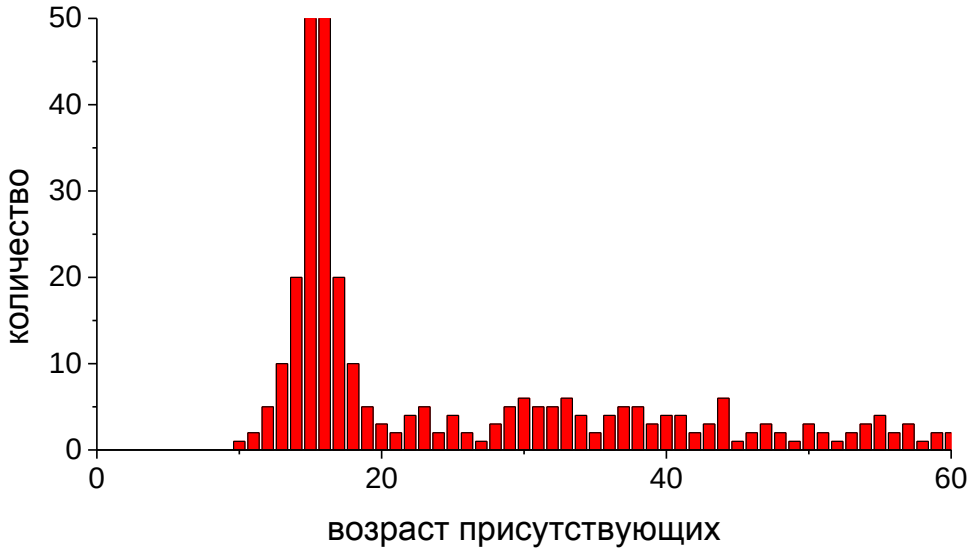



$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

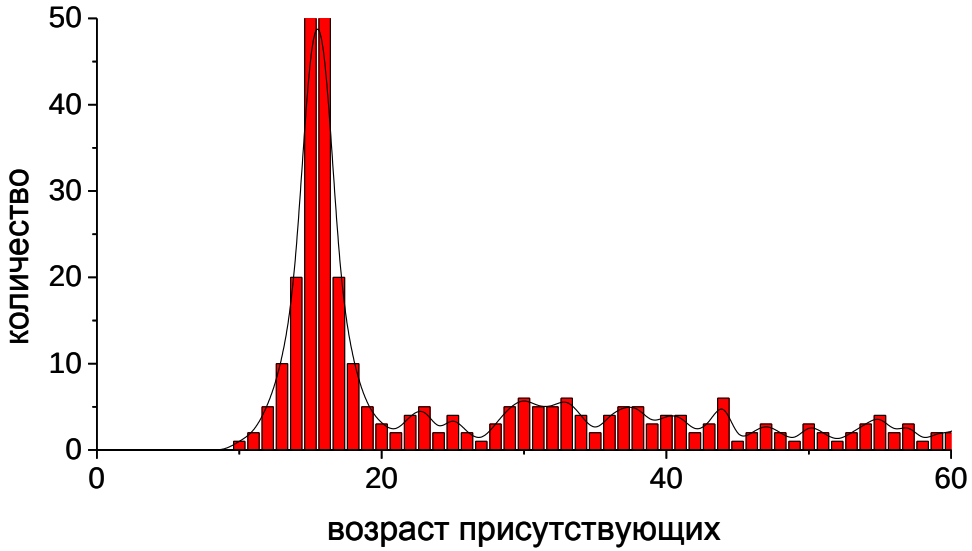
# Видимый свет



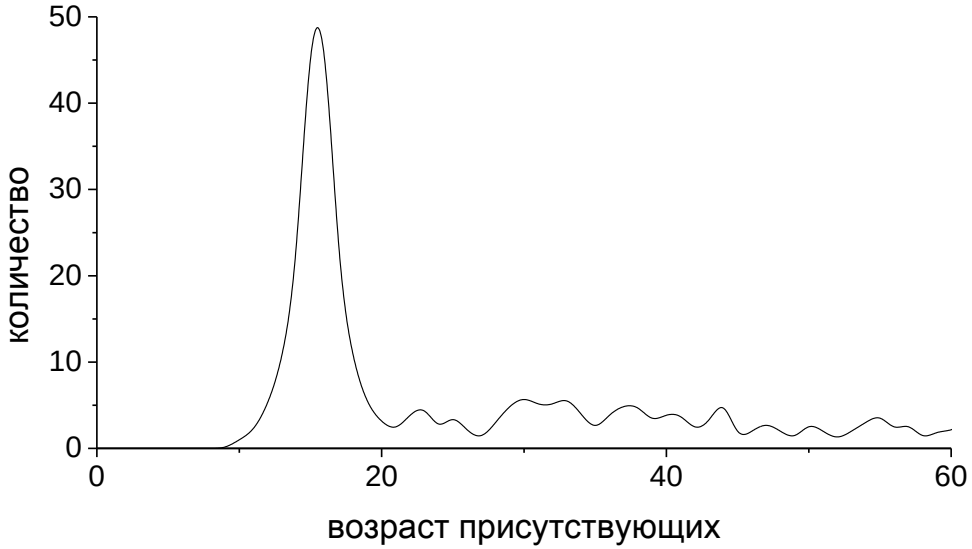
# Спектр

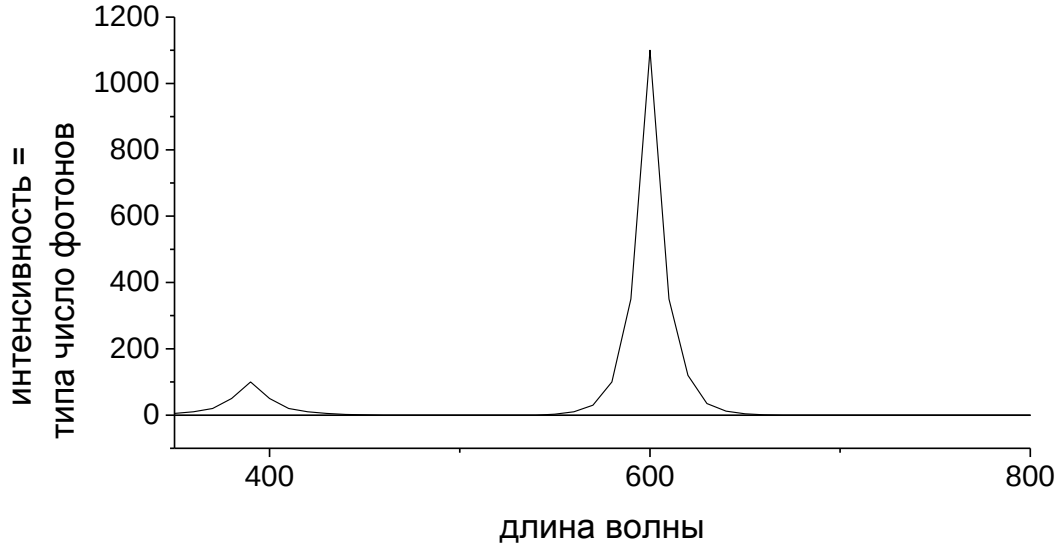


# Спектр

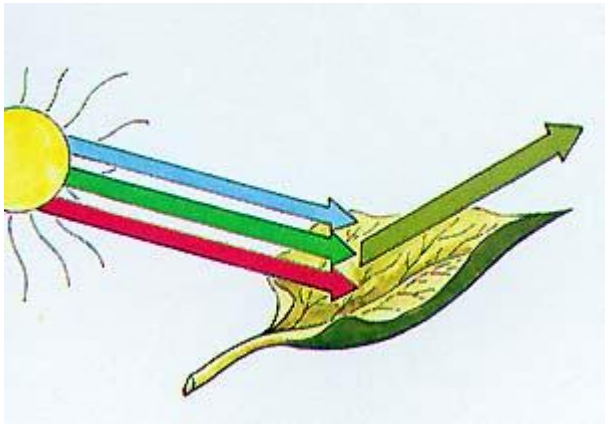


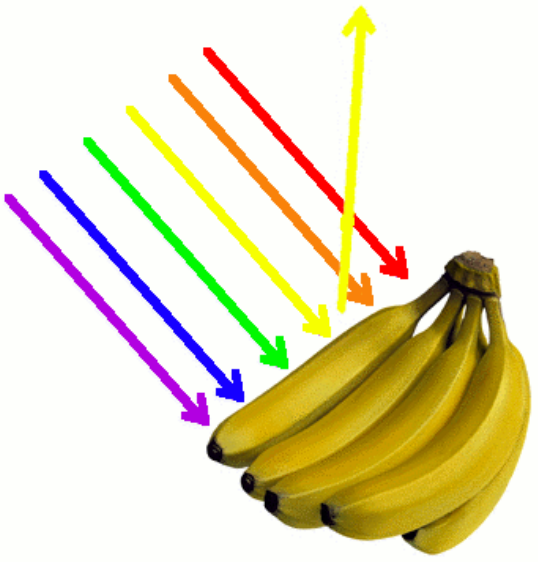
# Спектр

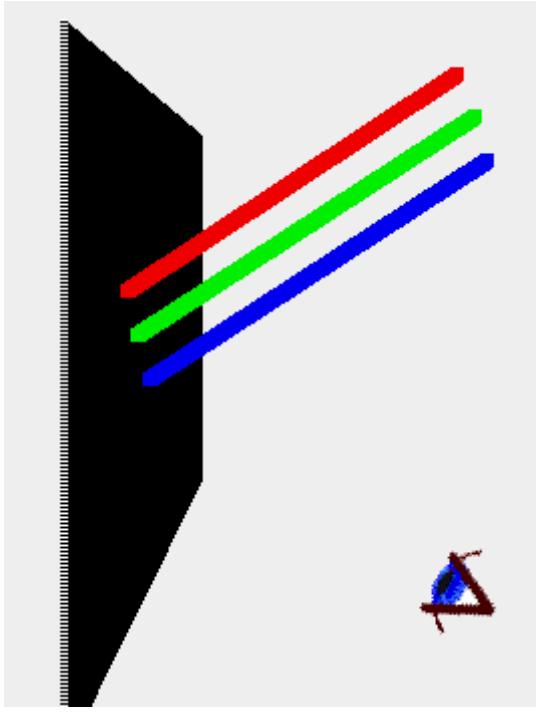

50
40
30
20
10
0
количество
0
20
40
60
возраст присутствующих

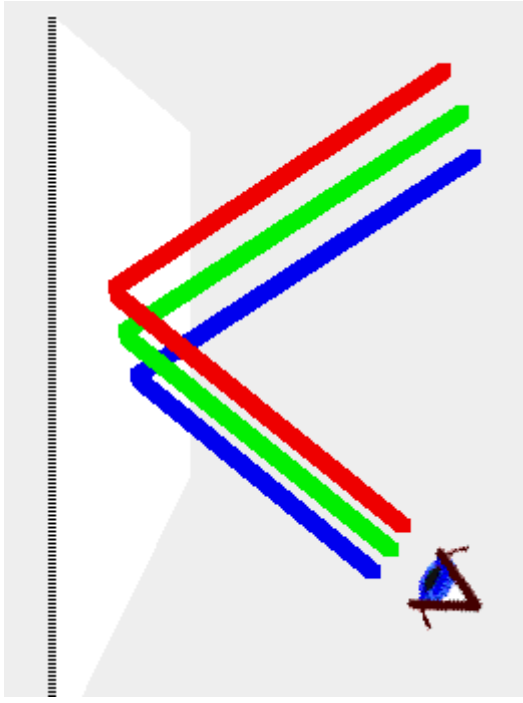

1200
1000
800
600
400
200
0
интенсивность =
типа число фотонов
400
600
800
длина волны

# Поглощение = окраска

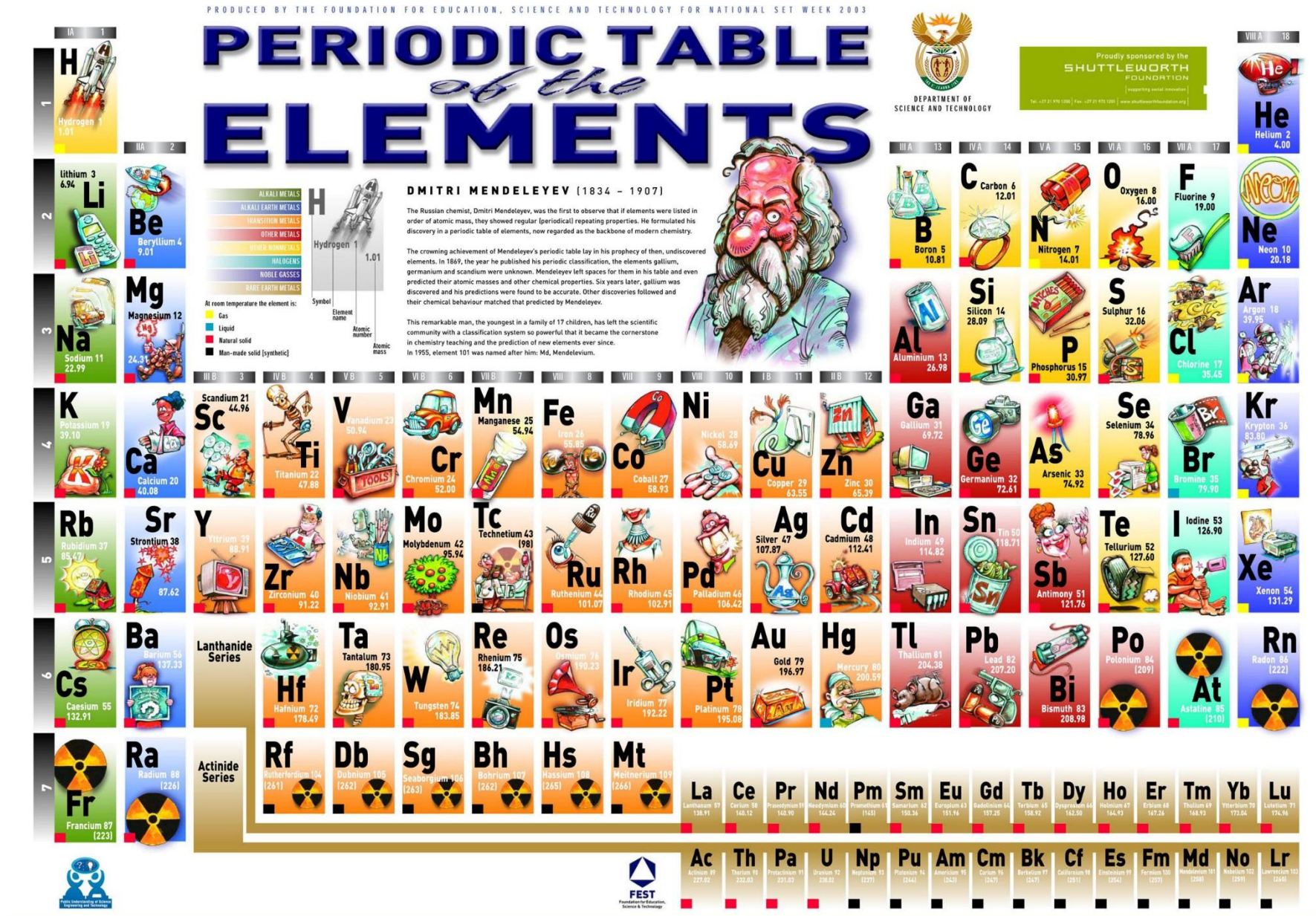




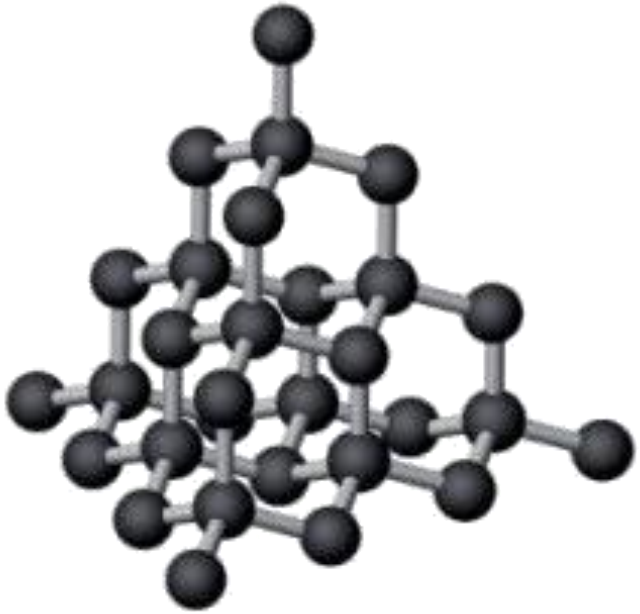


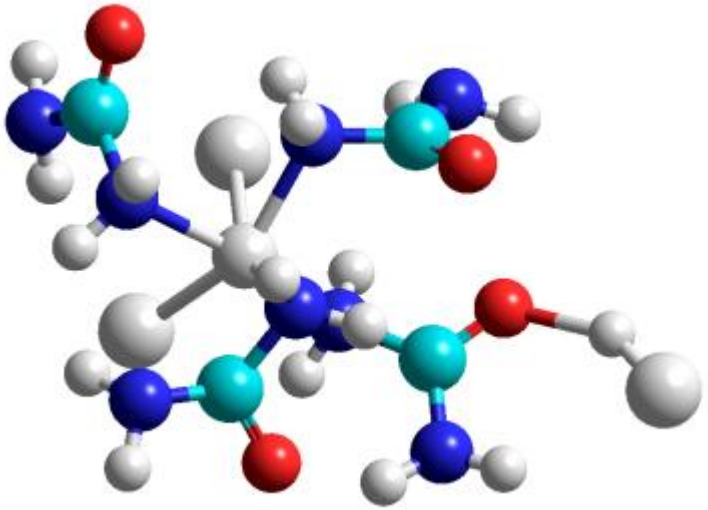


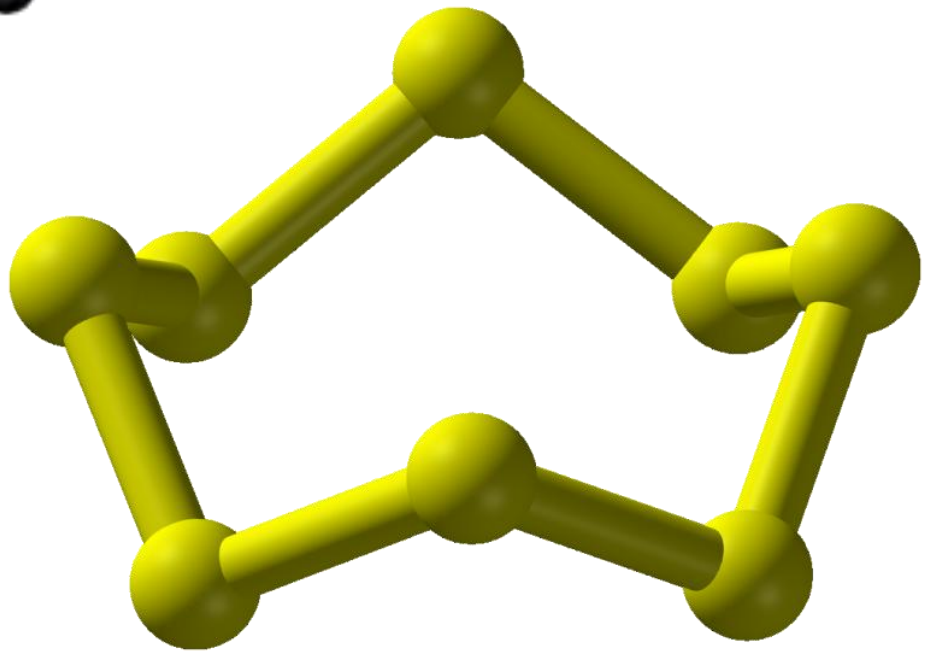
# Вещества состоят из атомов



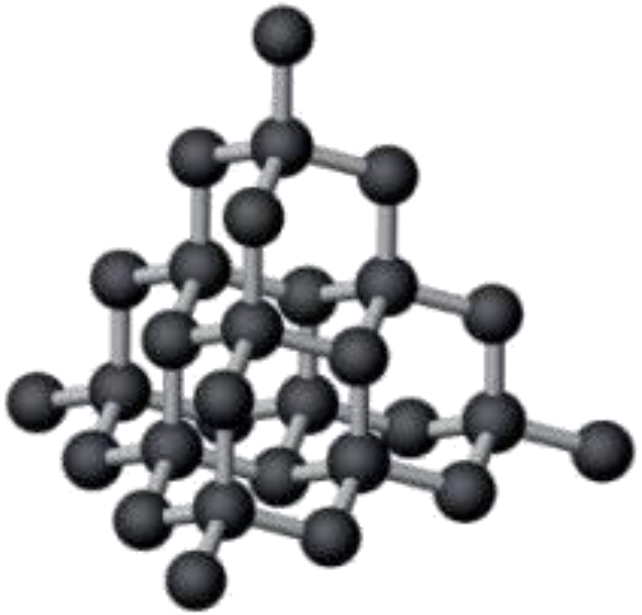
# Вещества состоят из атомов

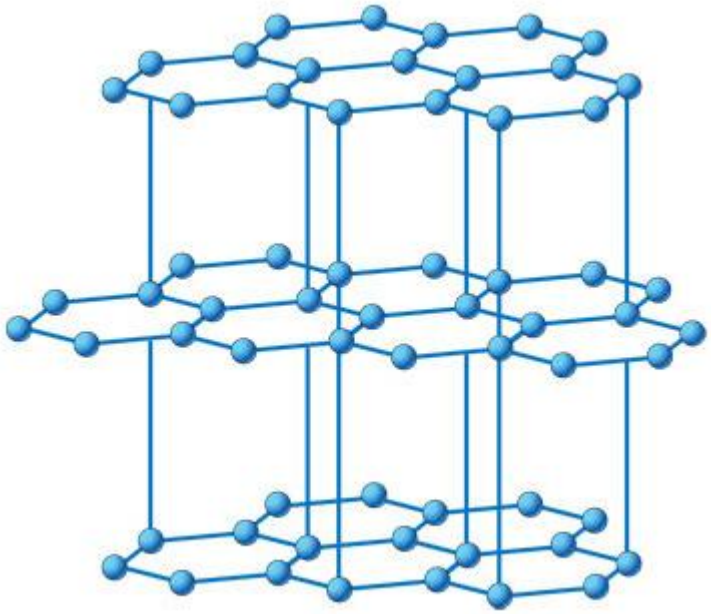




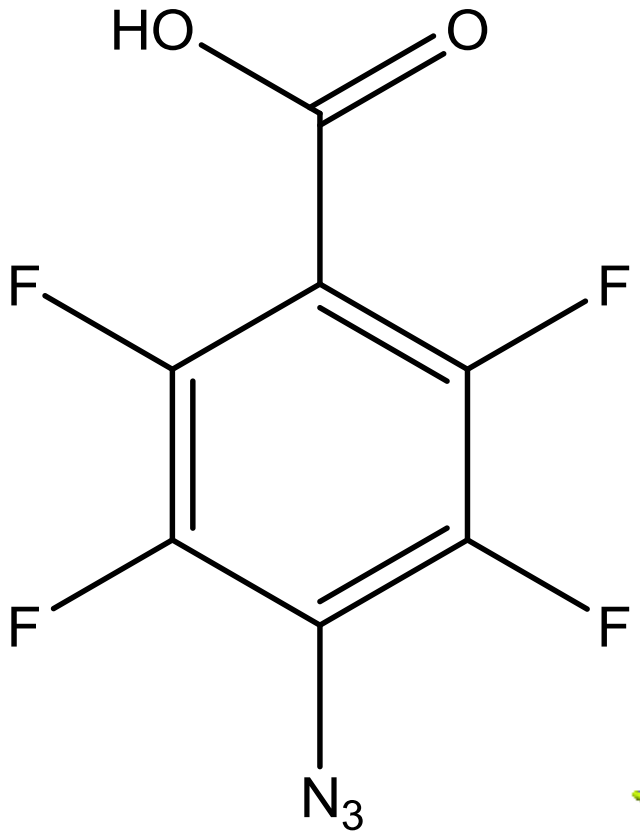


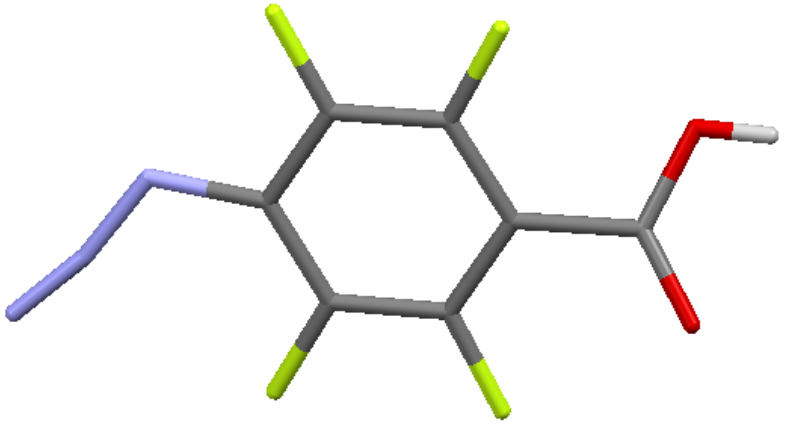
# Пространственное расположение

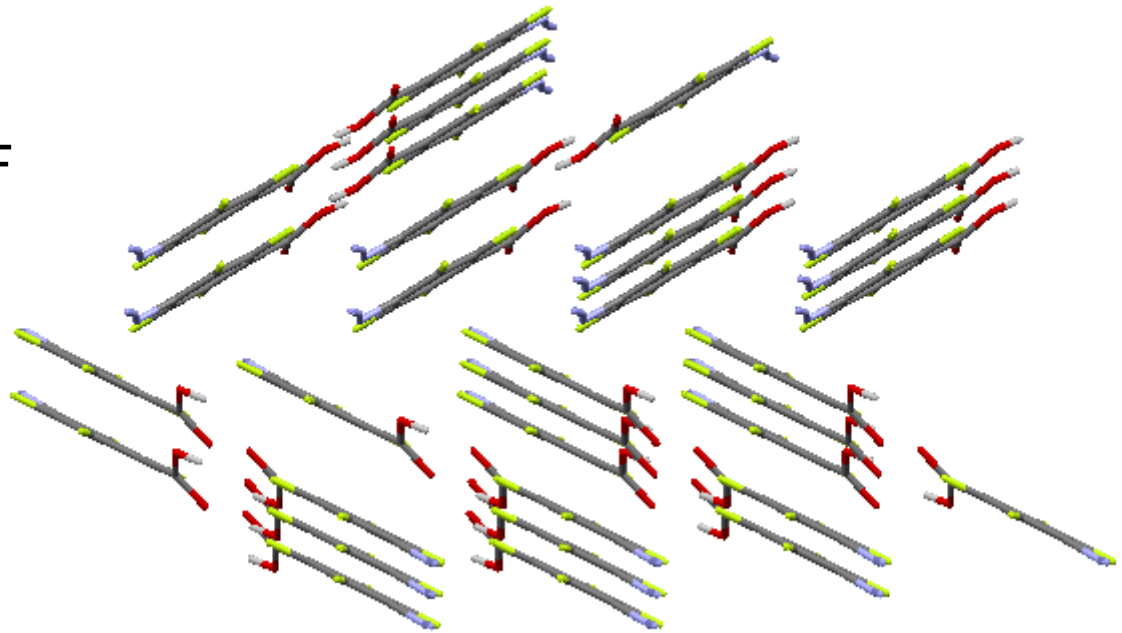




# Молекулярные материалы

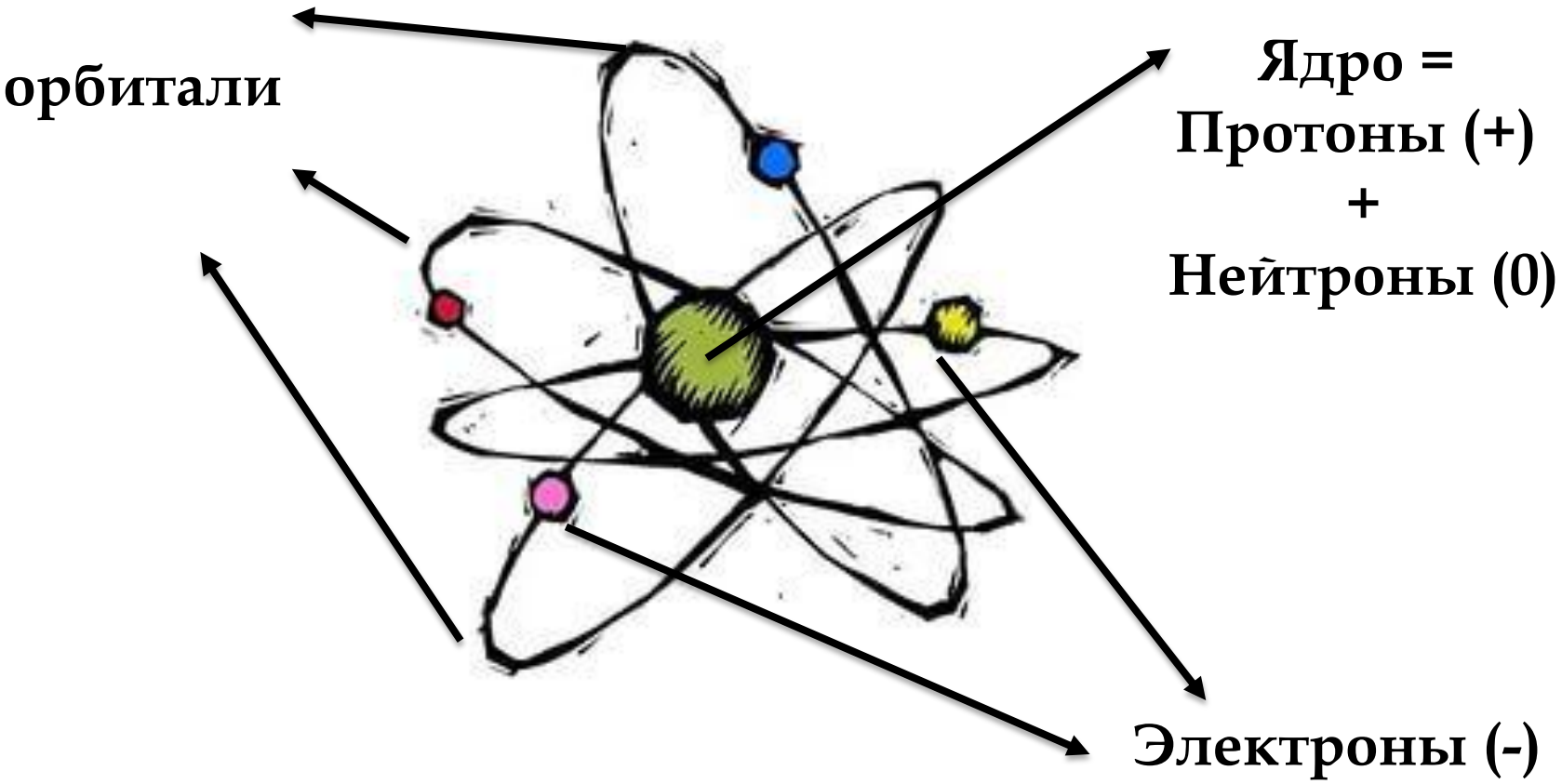


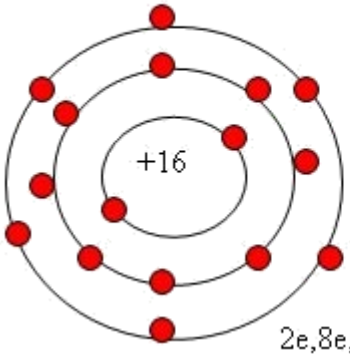


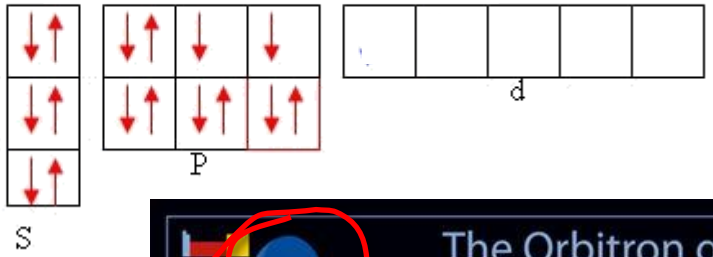
**$HC_7N_3O_2F_4$**

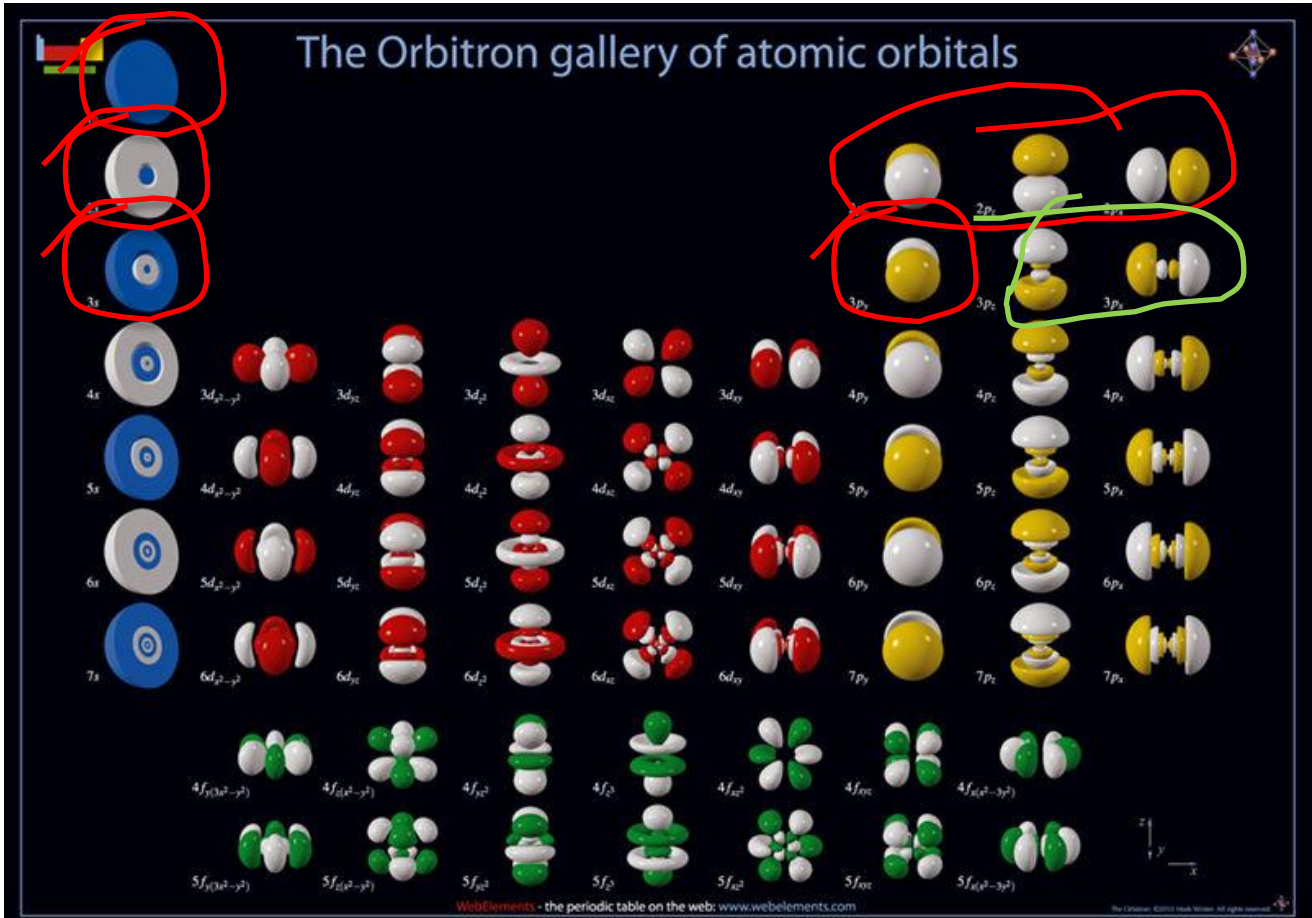
# Обратно к атомам



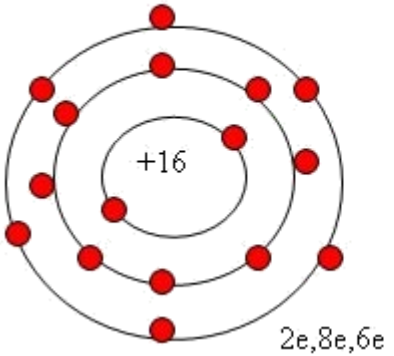
# Основное состояние

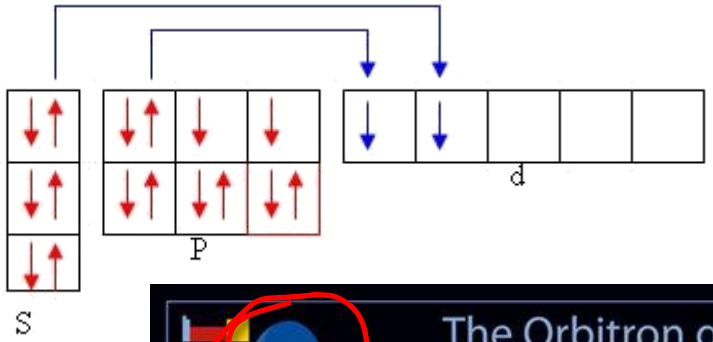


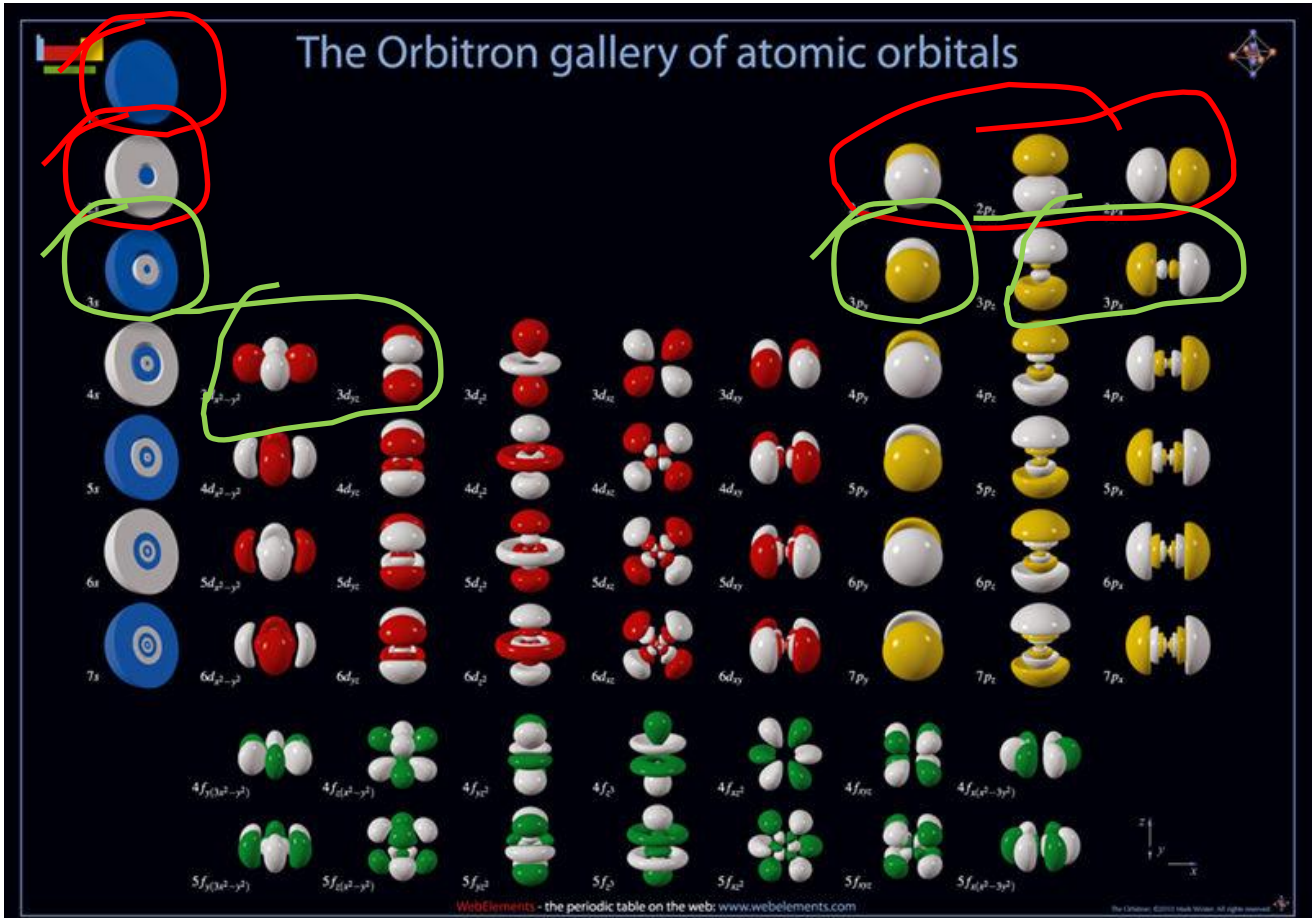



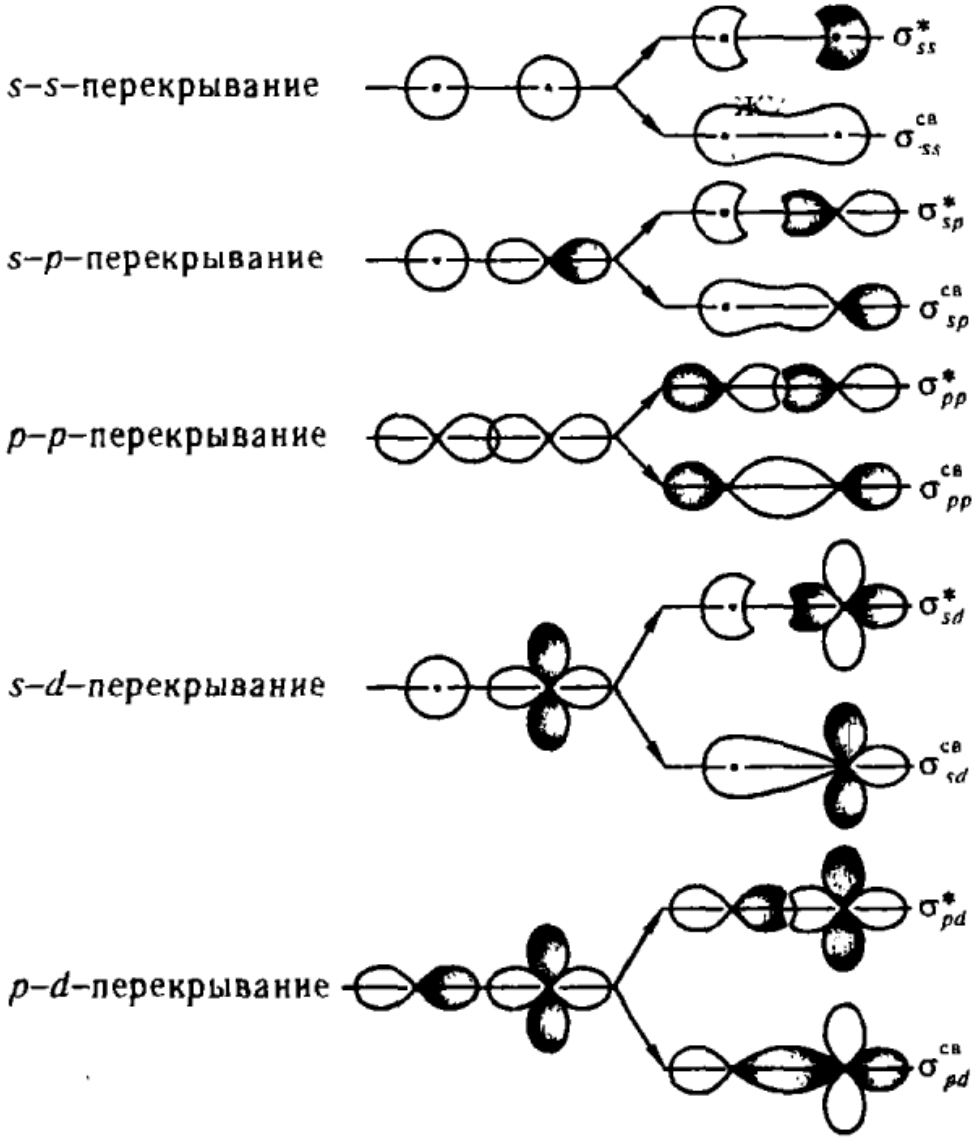
# Возбужденное состояние



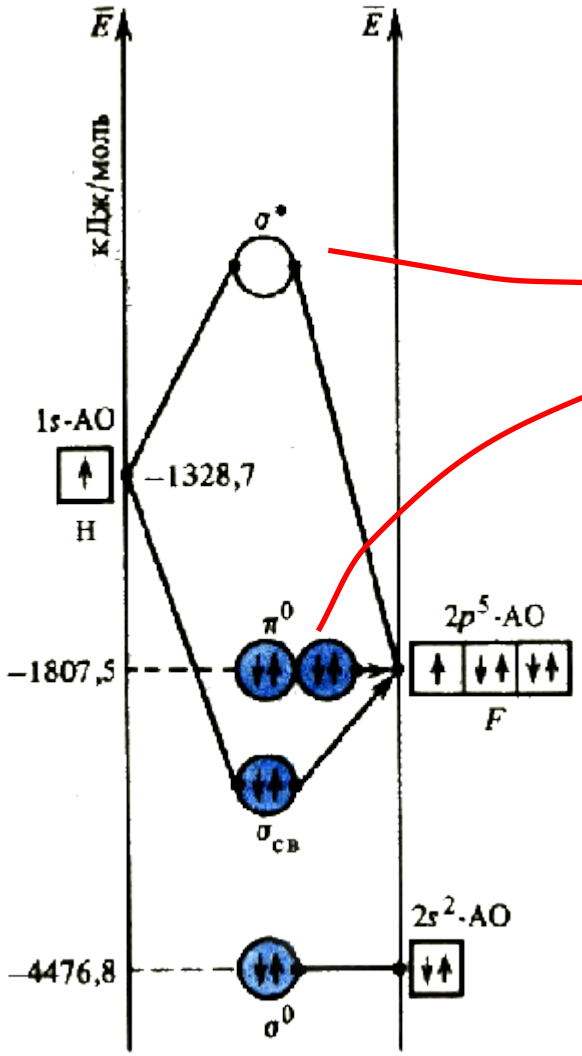



# Молекулярные орбитали



# Вспомнили энергию




**Низшая свободная молекулярная орбиталь**

**НСМО**

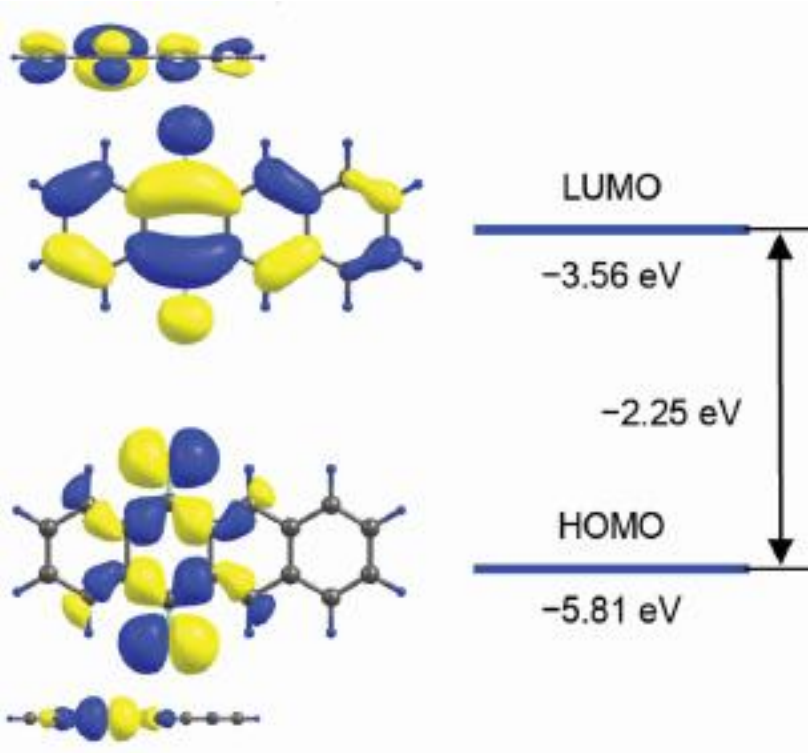
**LUMO**

**Высшая занятая молекулярная орбиталь**

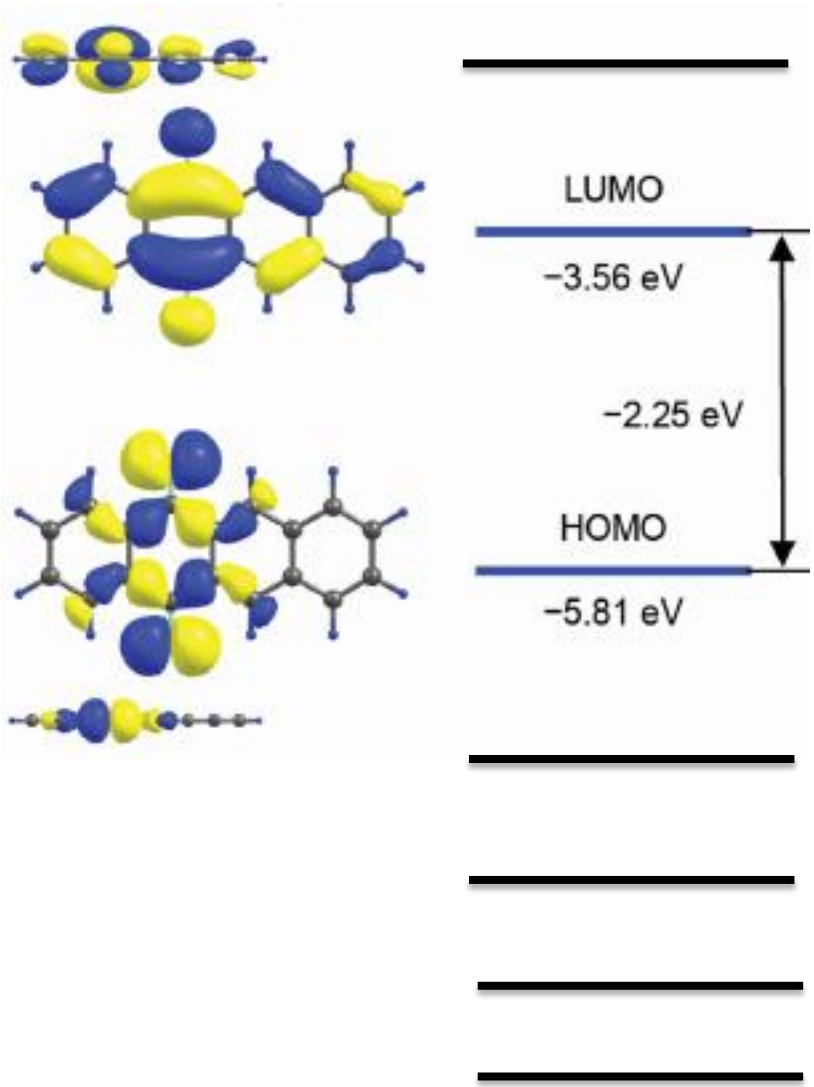
**ВЗМО**

**НОМО**

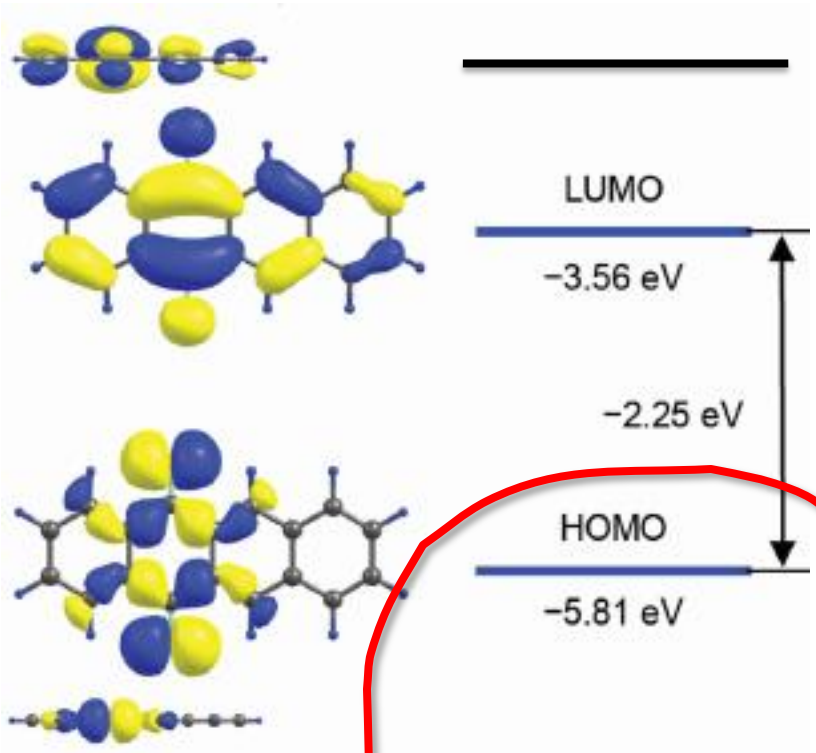
# Настоящая молекула



# Настоящая молекула



# Настоящая молекула

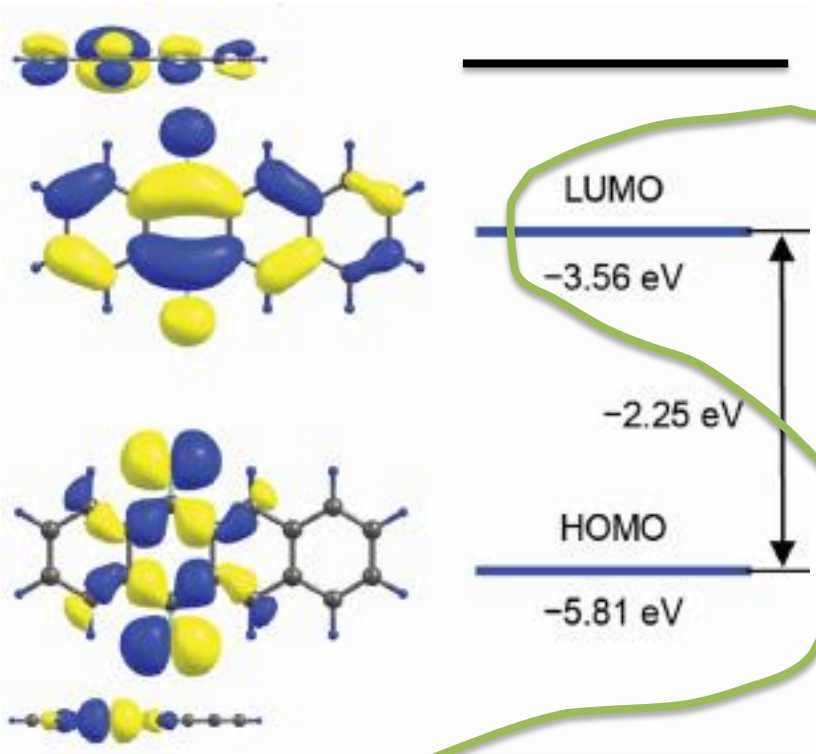




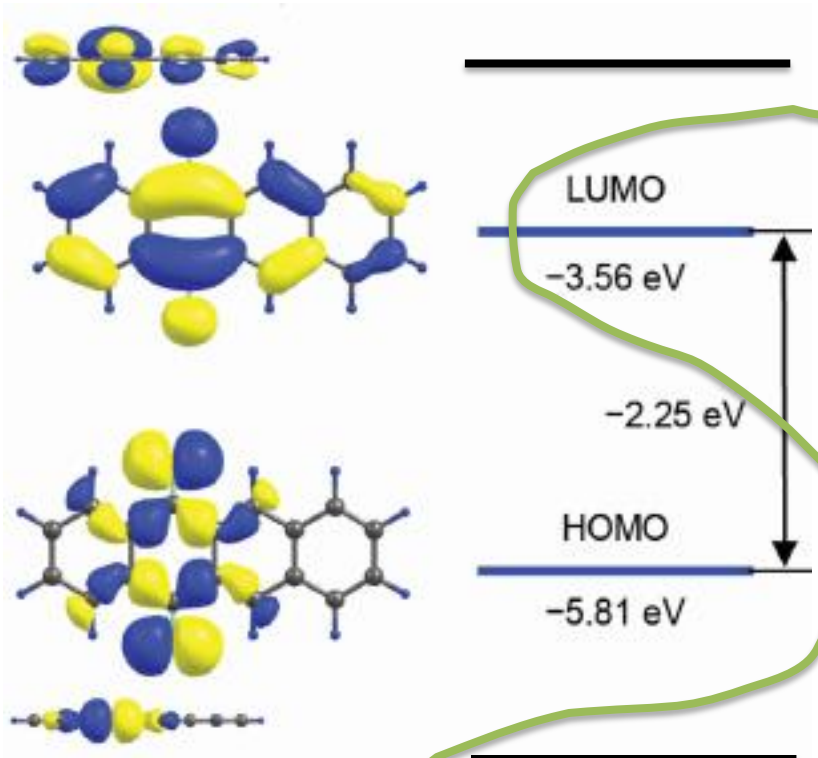

E

**Основное состояние**

# Настоящая молекула

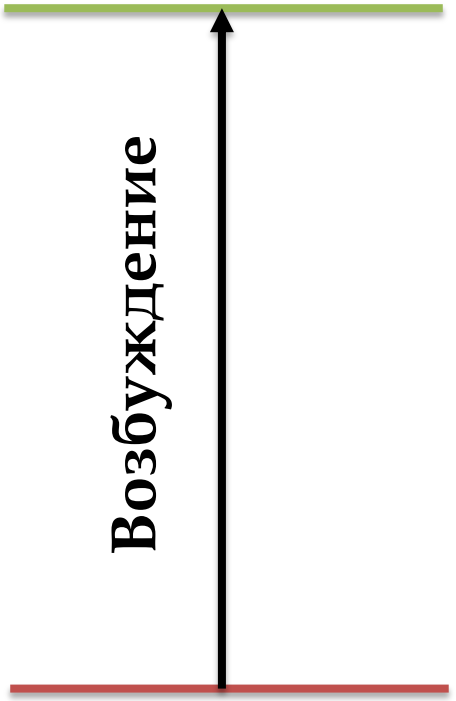


# Настоящая молекула



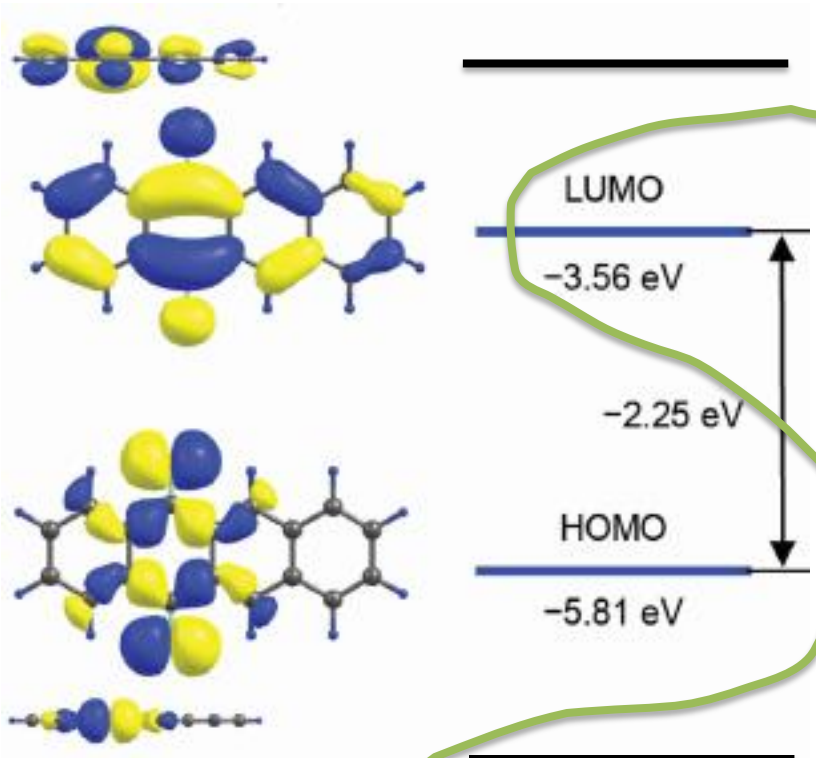






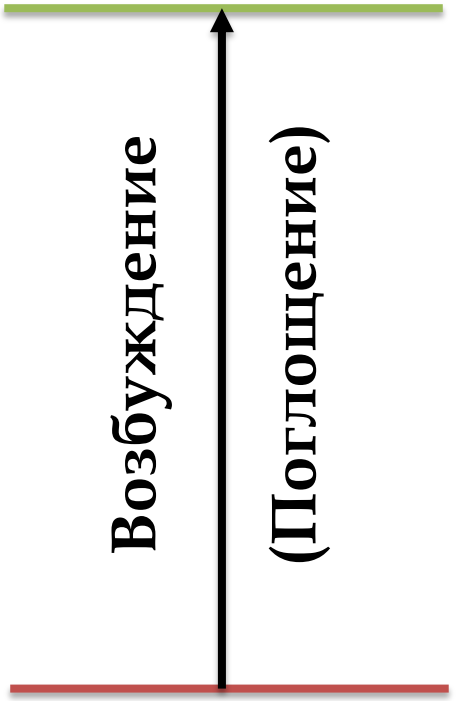

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E_1}$$

# Настоящая молекула



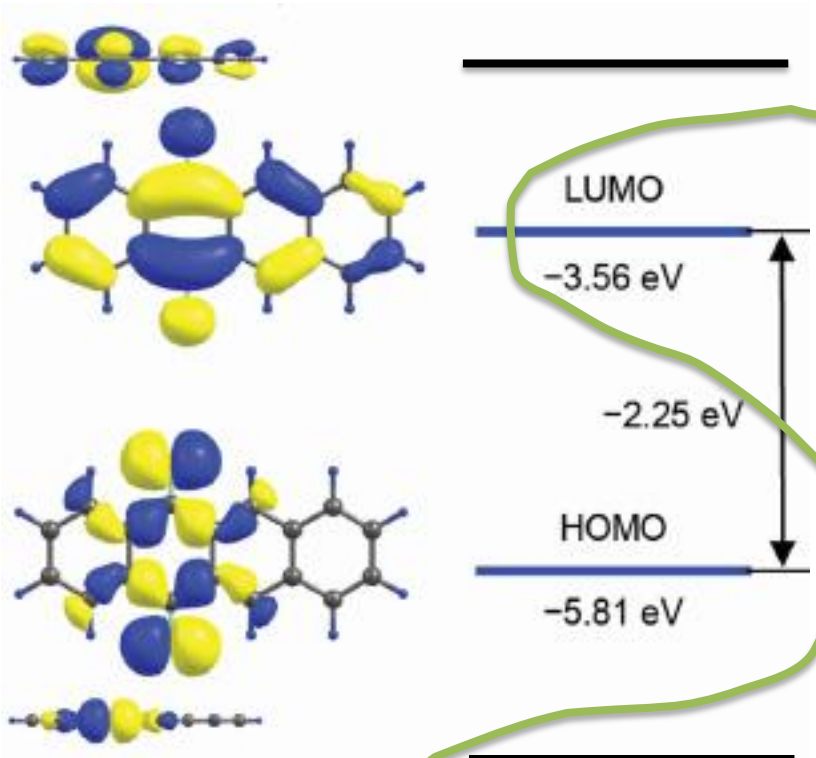







$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E_1}$$

# Настоящая молекула





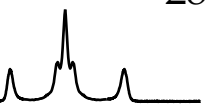

E

$$E_2 \approx E_1$$

?

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E_2}$$

# Люминесценция



**Переход молекулы из возбужденного состояния в основное (= релаксация), при котором выделившаяся энергия расходуется на рождение фотона (= кванта света), называется люминесценцией.**

# Люминесценция

**«Будем называть люминесценцией избыток над температурным излучением тела в том случае, если это избыточное излучение обладает конечной длительностью примерно $10^{-10}$ секунд и больше»**
С. И. Вавилов, 1948 г.

НЕ тепловое излучение

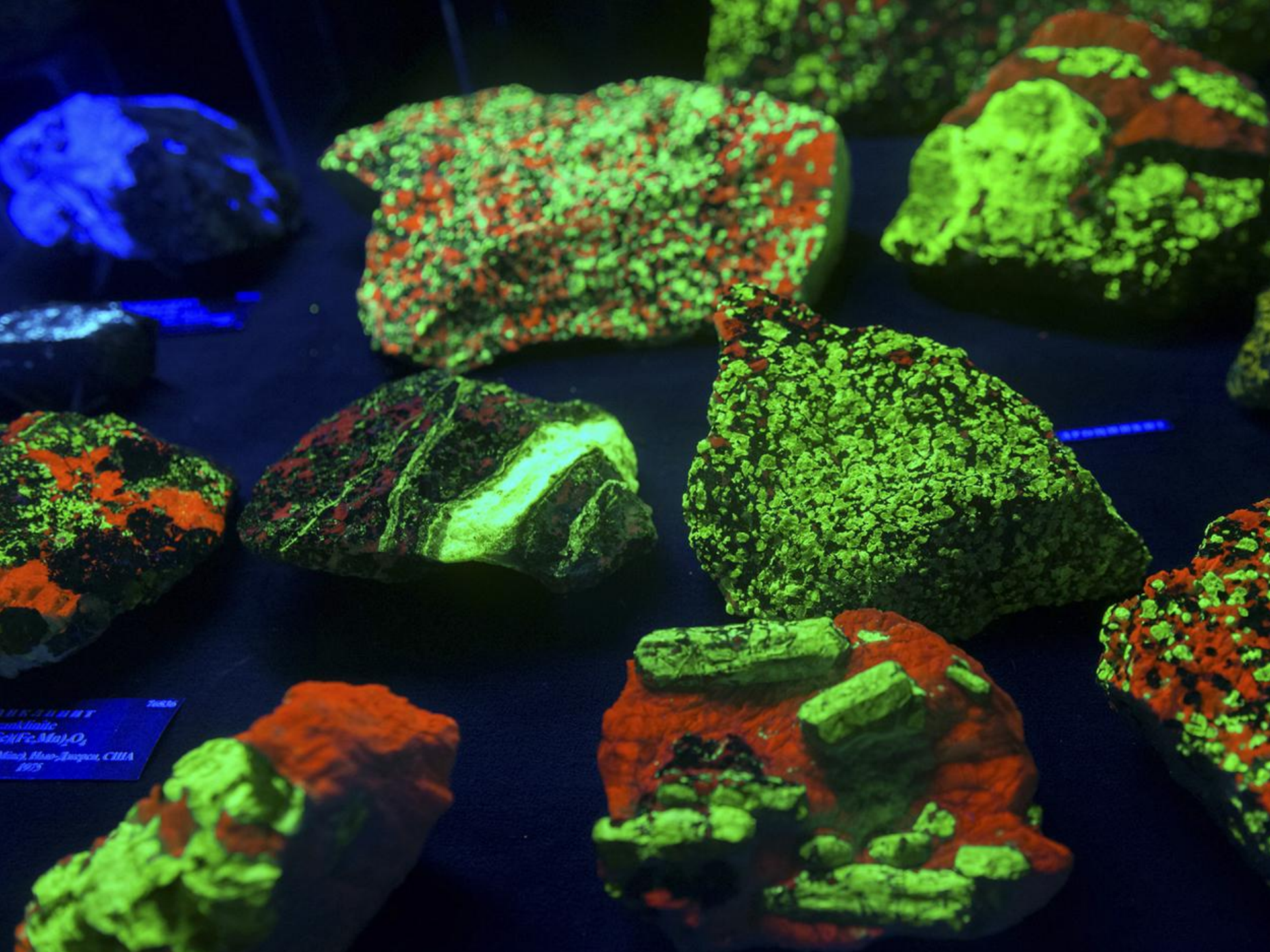
НЕ рассеяние, НЕ отражение, НЕ комбинационное рассеяния и т.д.: длительность меньше колебания световой волны (которая $<10^{-10}$ с)

# Люминесценция

**Переход молекулы из возбужденного состояния в основное (= релаксация), при котором выделившаяся энергия расходуется на рождение фотона (= кванта света), называется люминесценцией.**

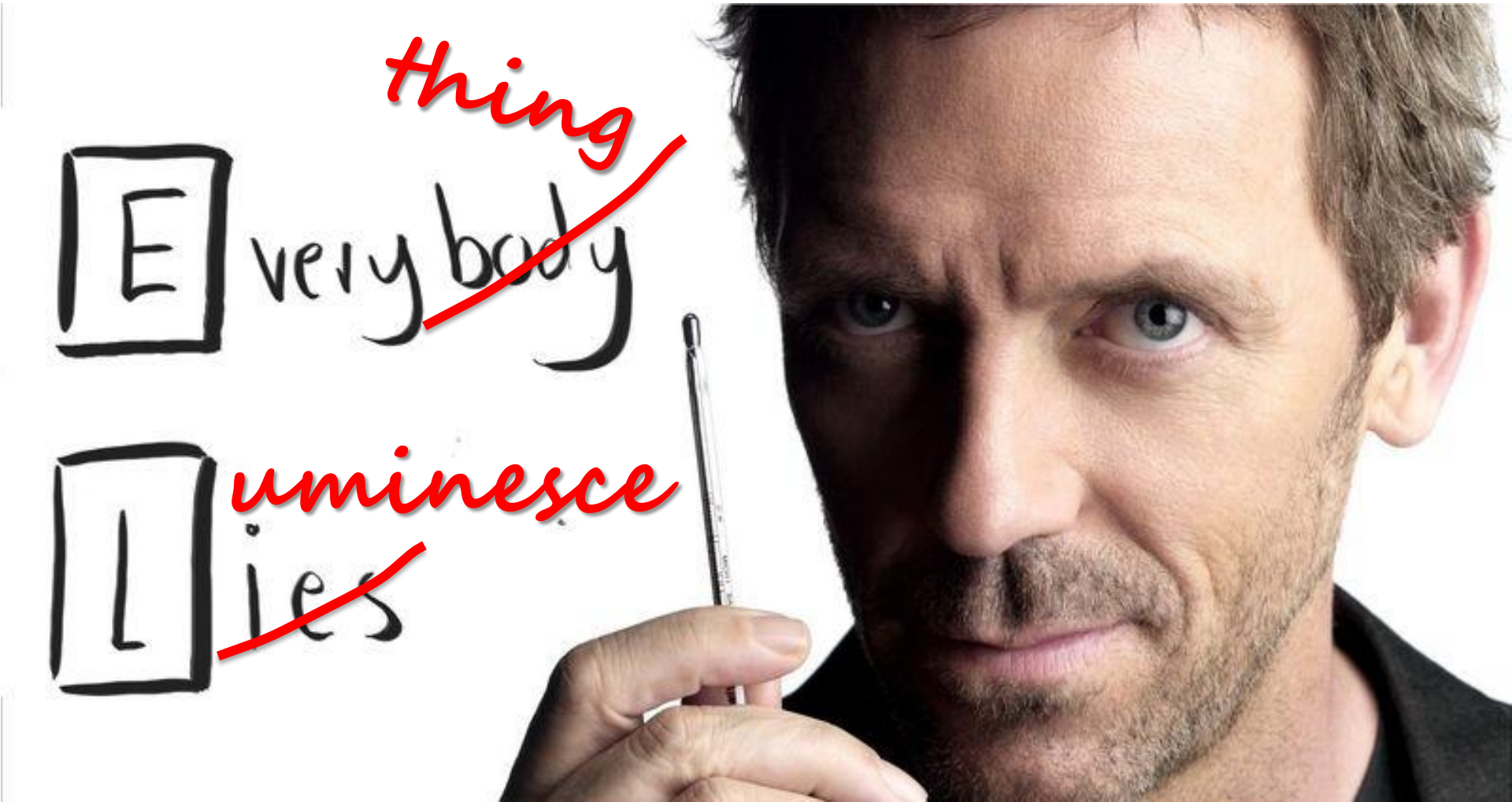
Как перевести молекулу в возбужденое состояние

Как заставить ее релаксировать излучательно



# Все люминесцирует.

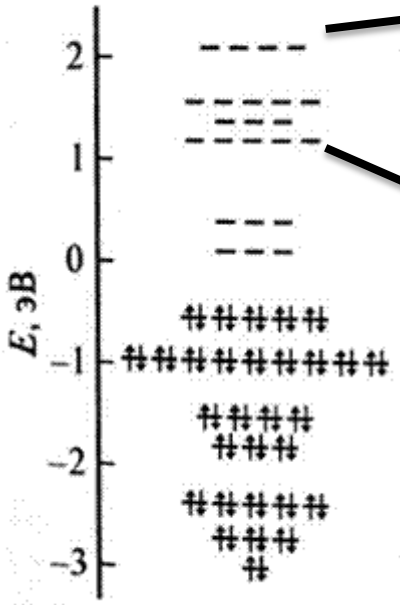
**(Кроме того, что не люминесцирует)**

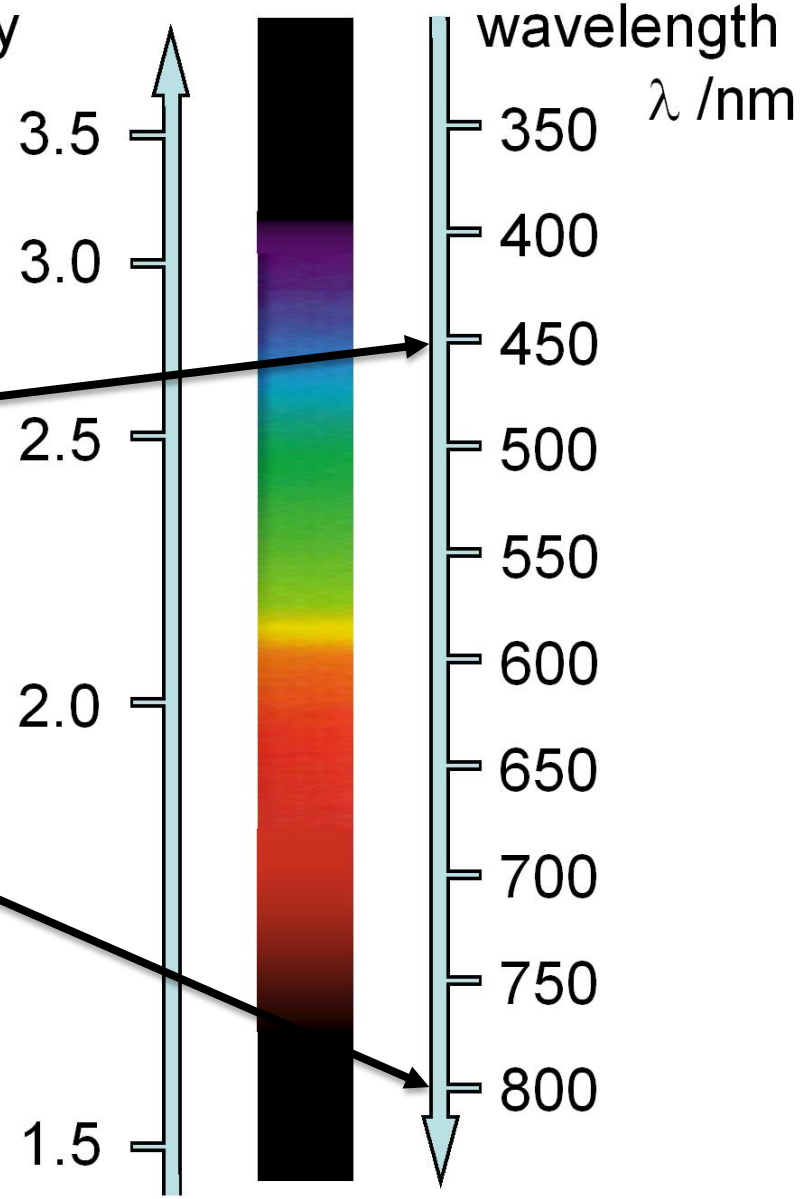


# Все люминесцирует.

**(Кроме того, что не люминесцирует)**

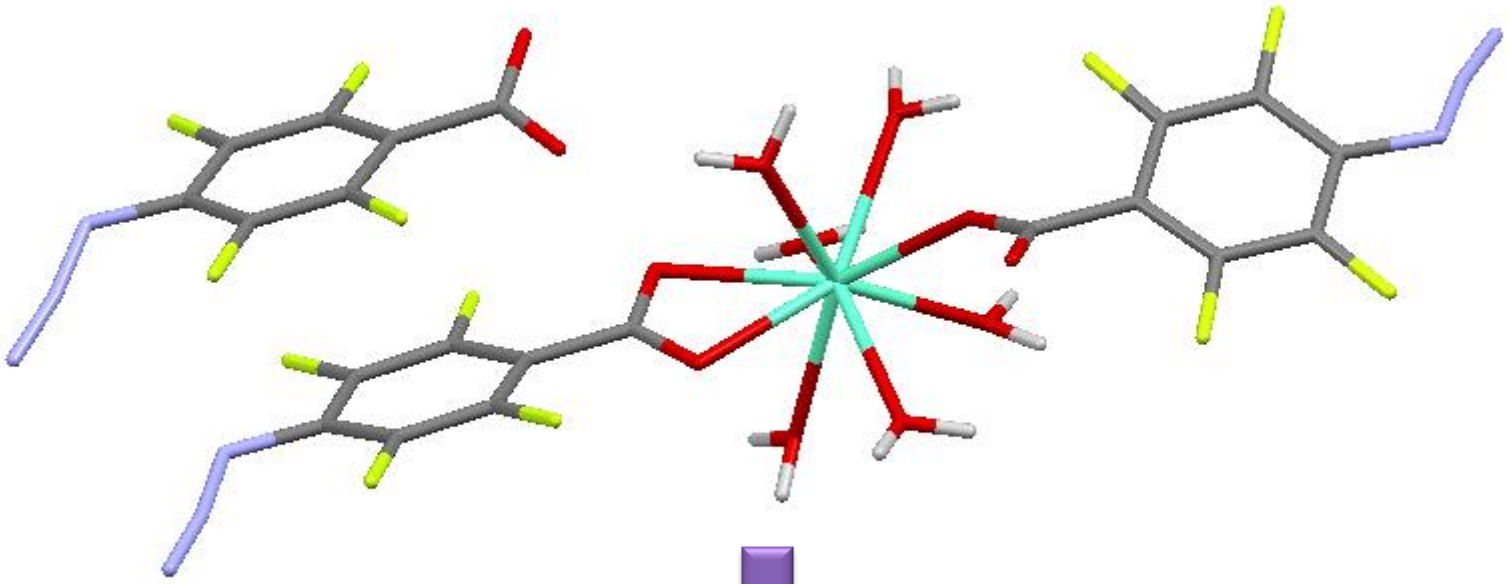
**Например, уголь отлично поглощает**



# Конкурирующие процессы

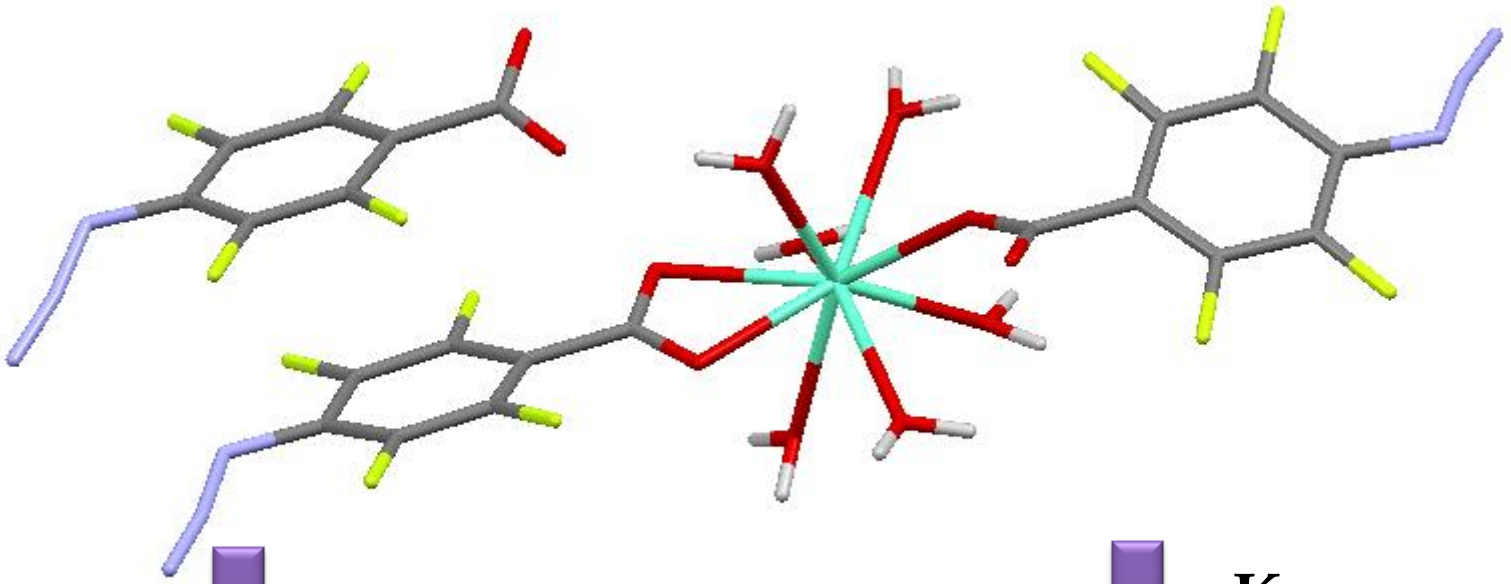
# Разложение



**Азотный лазер**

**БДЫЩ!!!!**

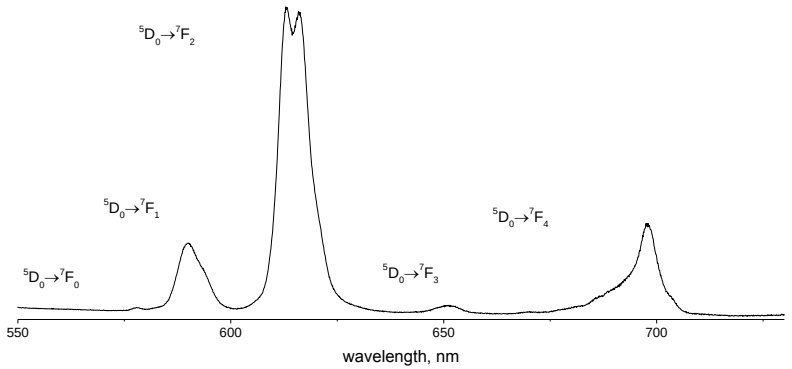
# Разложение



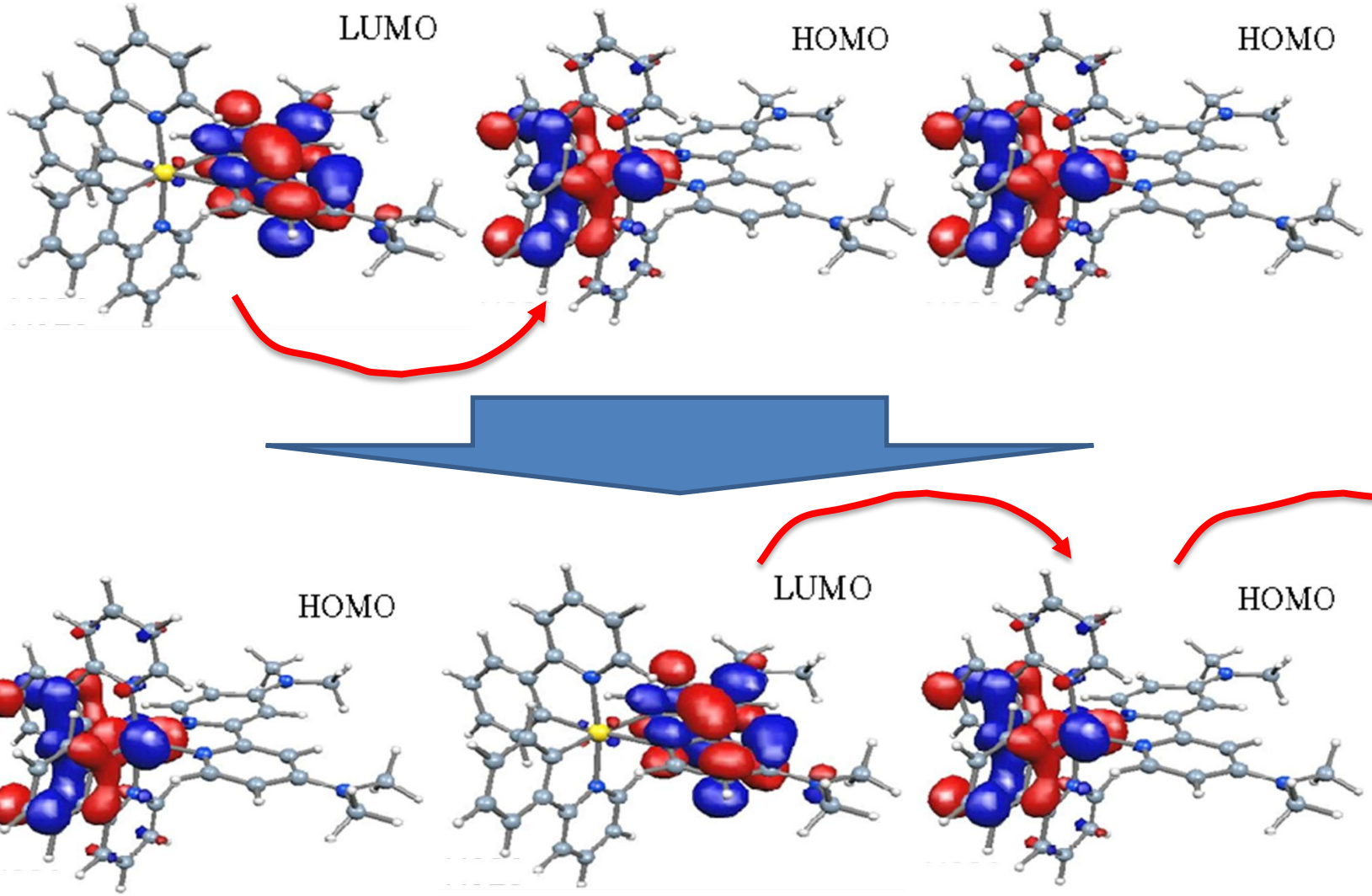
**Азотный лазер**

**Ксеноновая лампа**

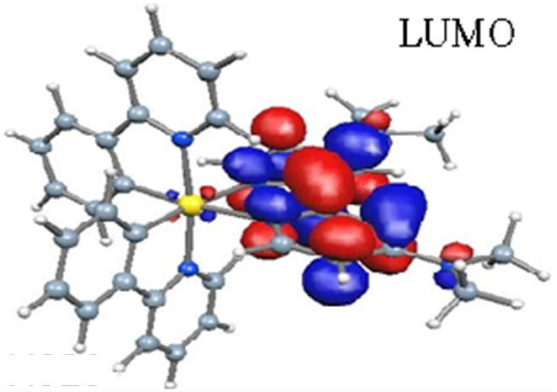
**БДЫЩ!!!!**



# Гашение



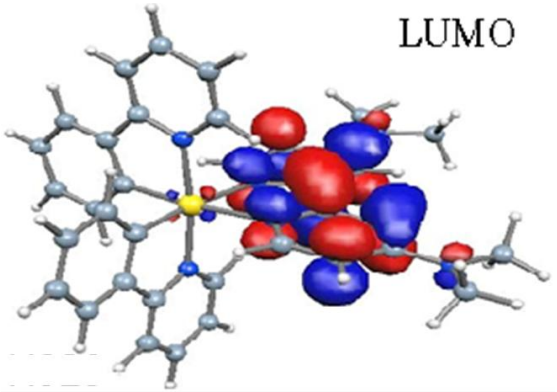
# Гашение




Другая молекула

Другая молекула

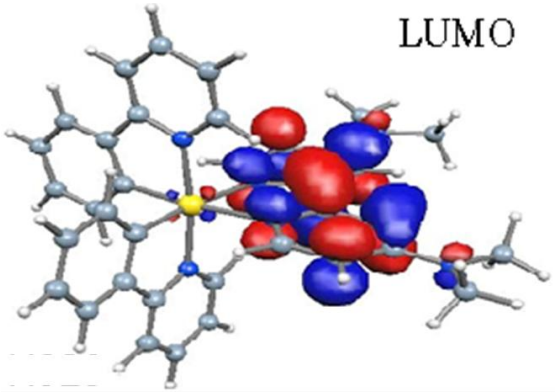
Люминесценция!!!

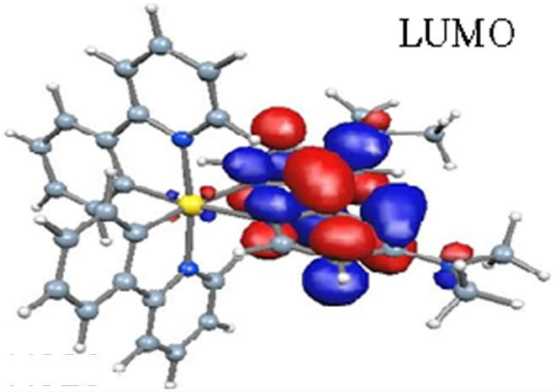



Другая молекула

Другая молекула

# Гашение

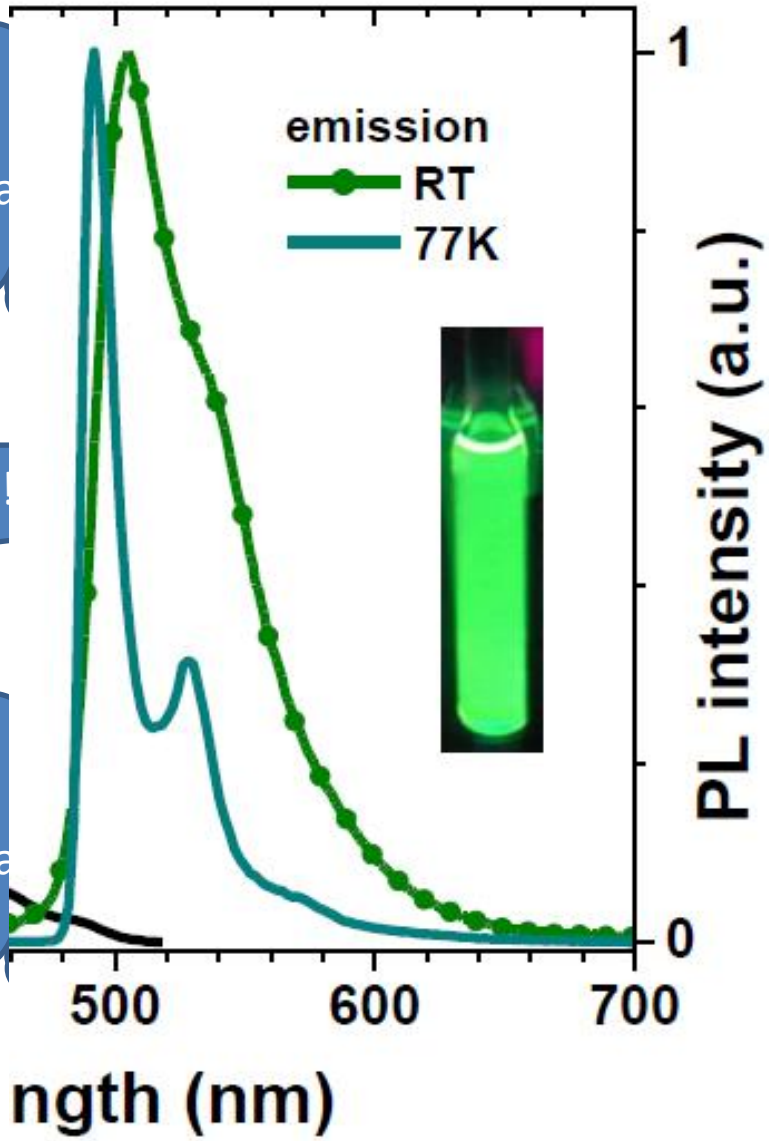


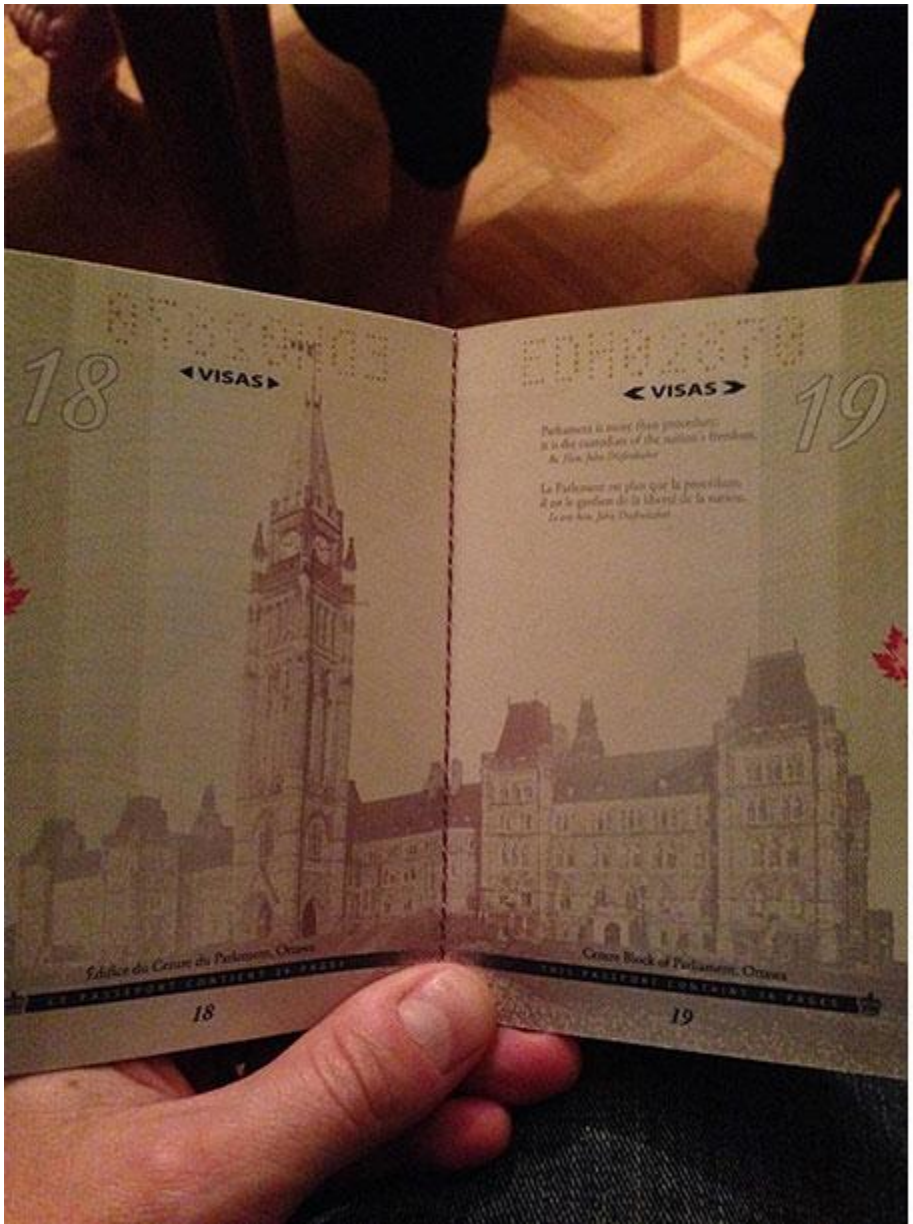

Другая молекула

Люминесценция!

Другая молекула

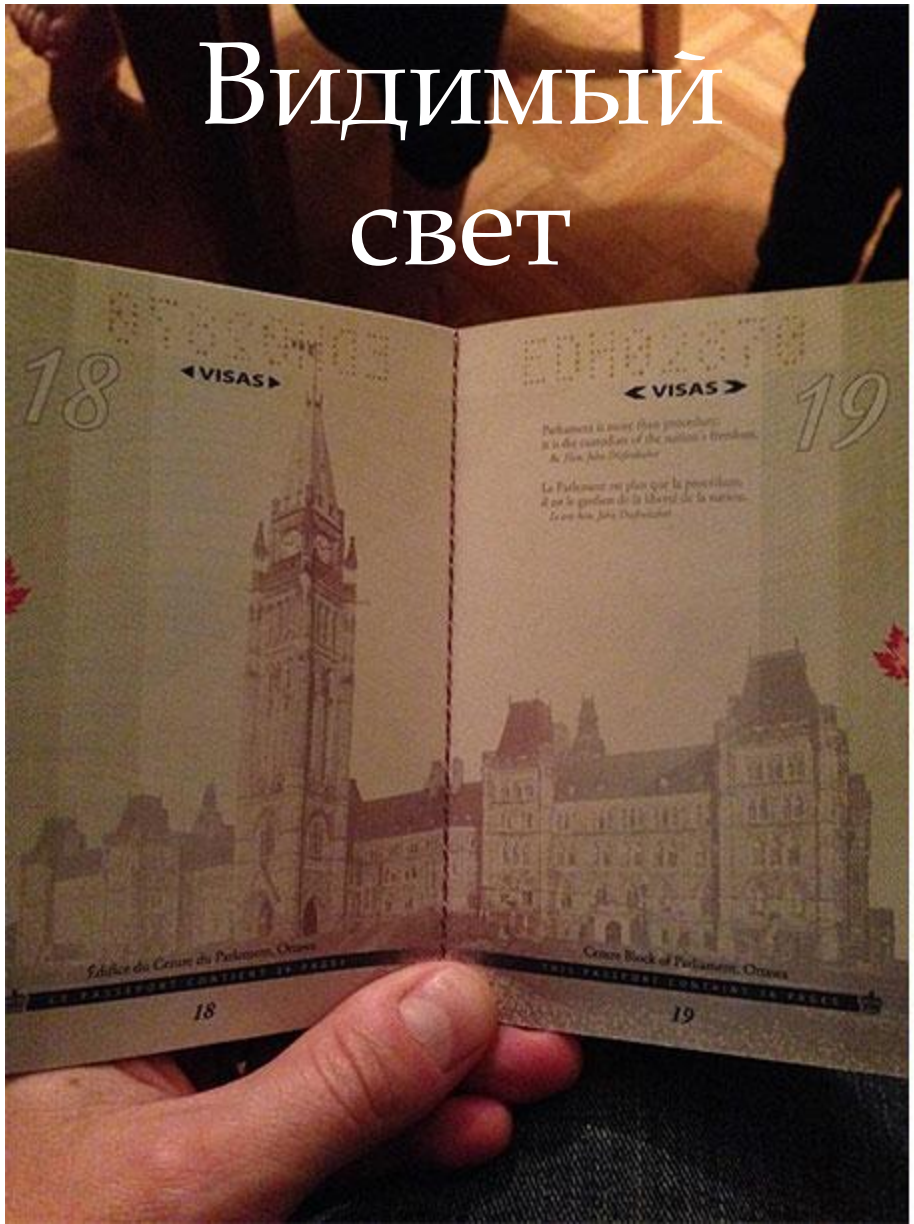


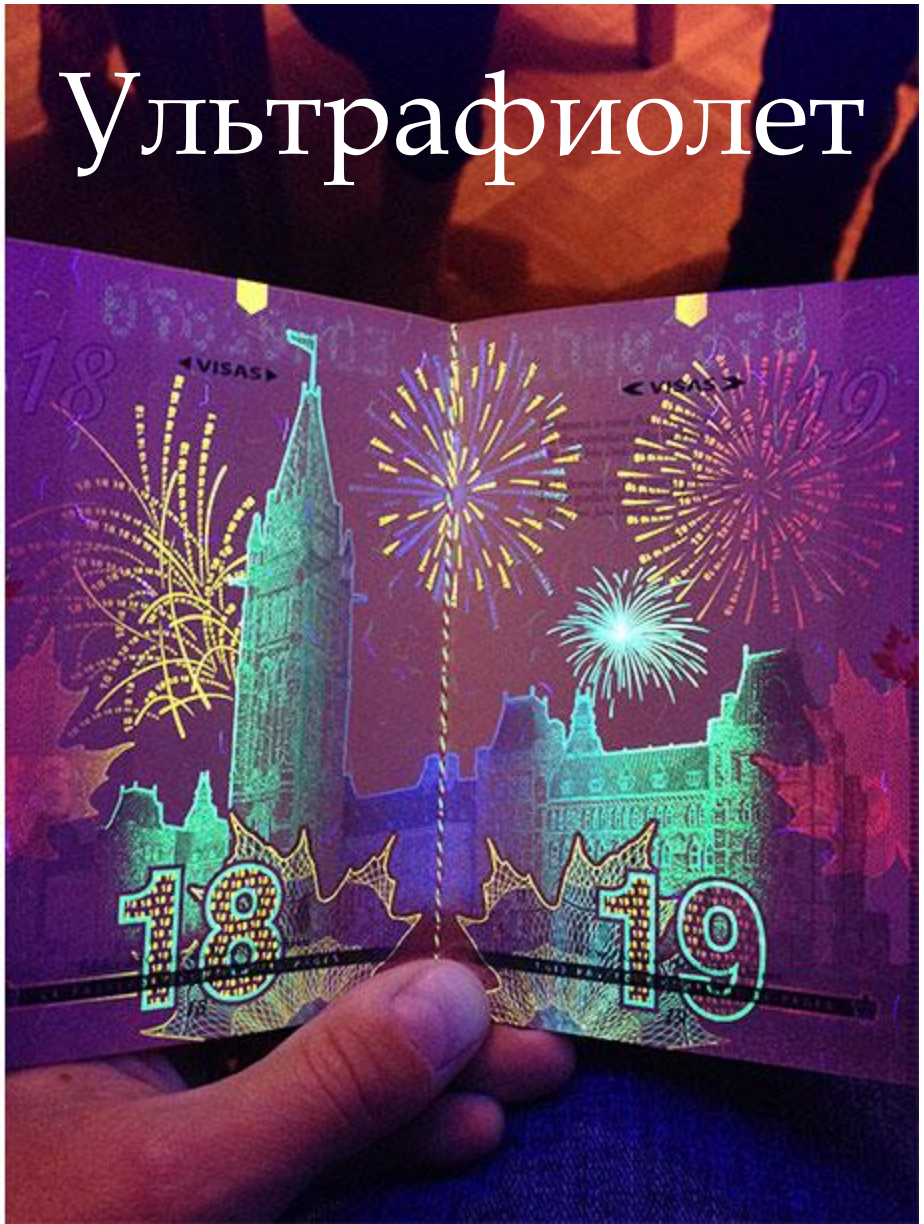
# Возбуждение




Видимый свет

# Возбуждение



# Виды люминесценции

**фотолюминесценция –** под действием света

**(био)хемилюминесценция –** использует энергию химических реакций;

**электролюминесценция –** при пропускании электрического тока

# Фотолюминесценция

# Защитные метки

## ЕВРОпий


$Eu^{2+}$

$Eu^{3+}$

# Защитные метки

## ЕВРОпий

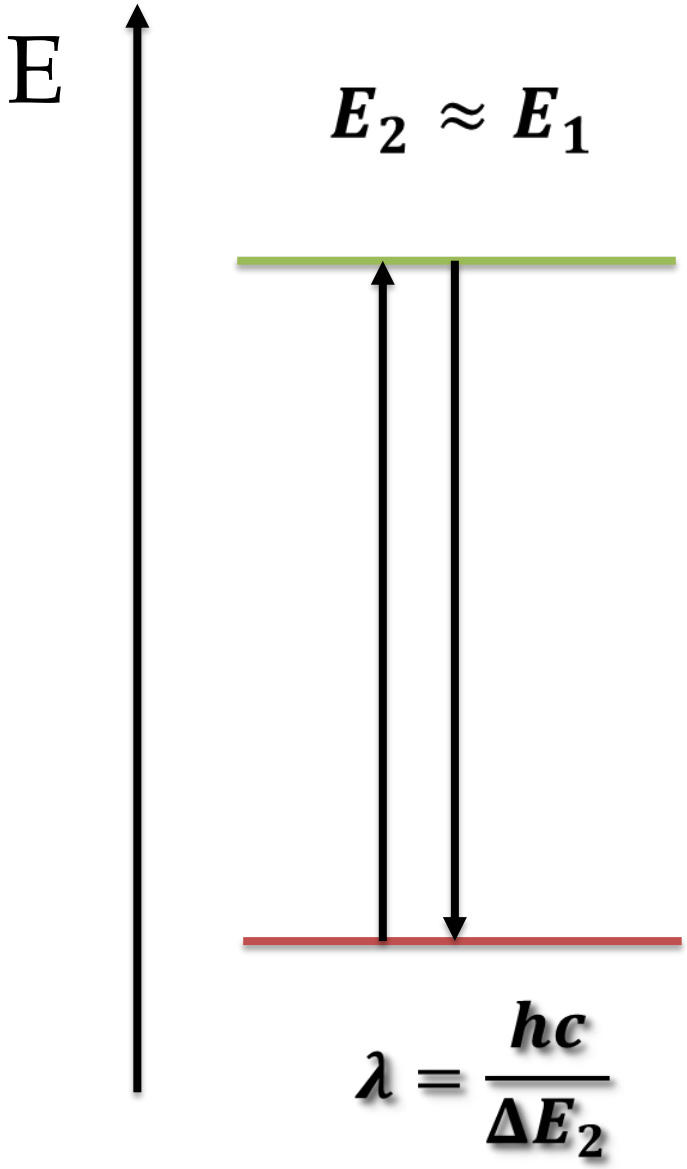

$Eu^{2+}$

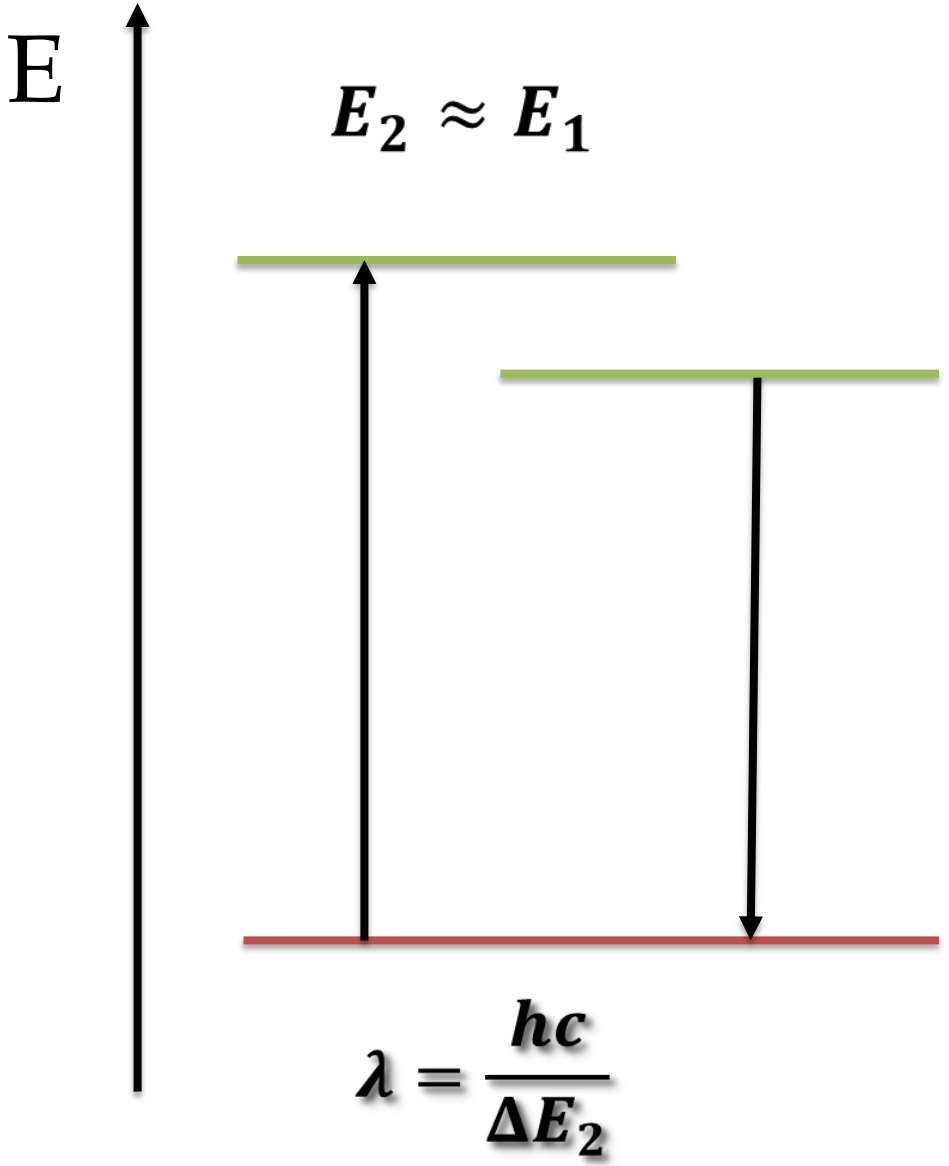
Нетоксичность
Нерастворимость
Стабильность
……

$Eu^{3+}$

Белый цвет

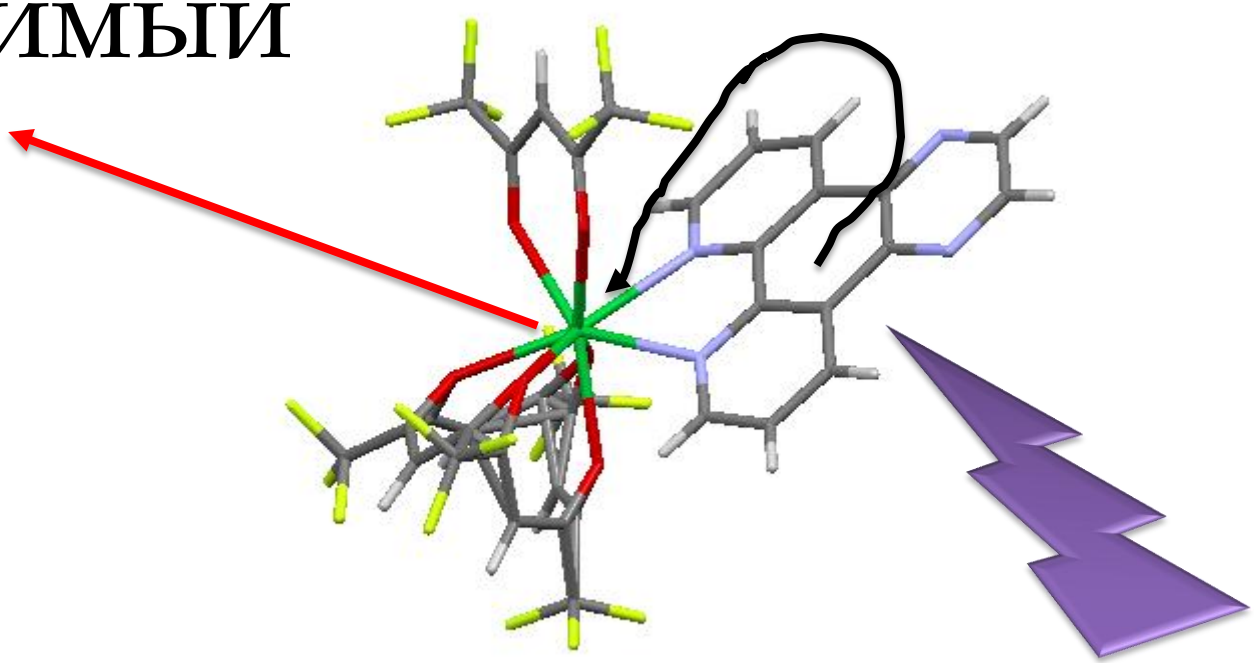
# Почему краска невидимая



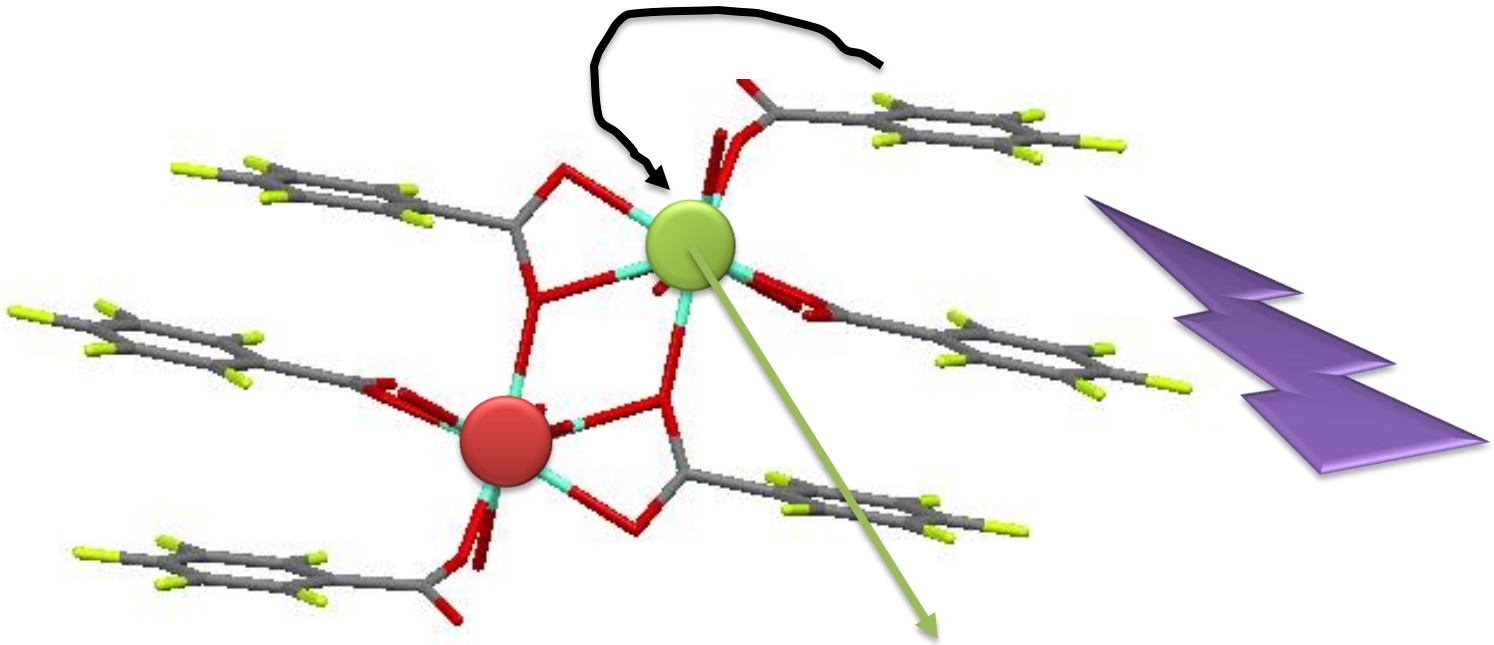
# Это как вообще

видимый

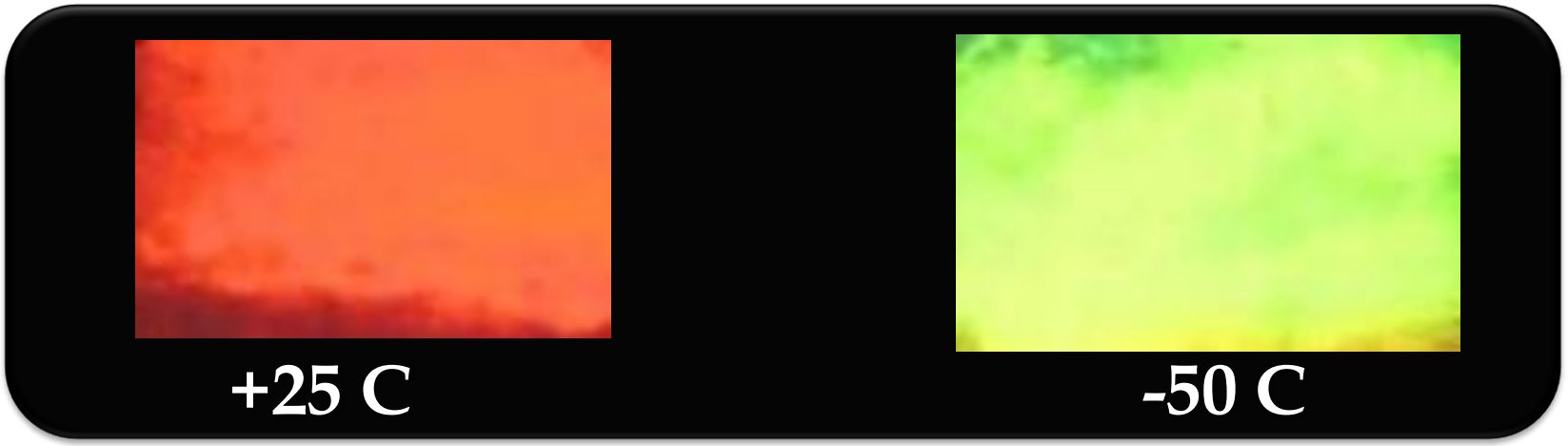


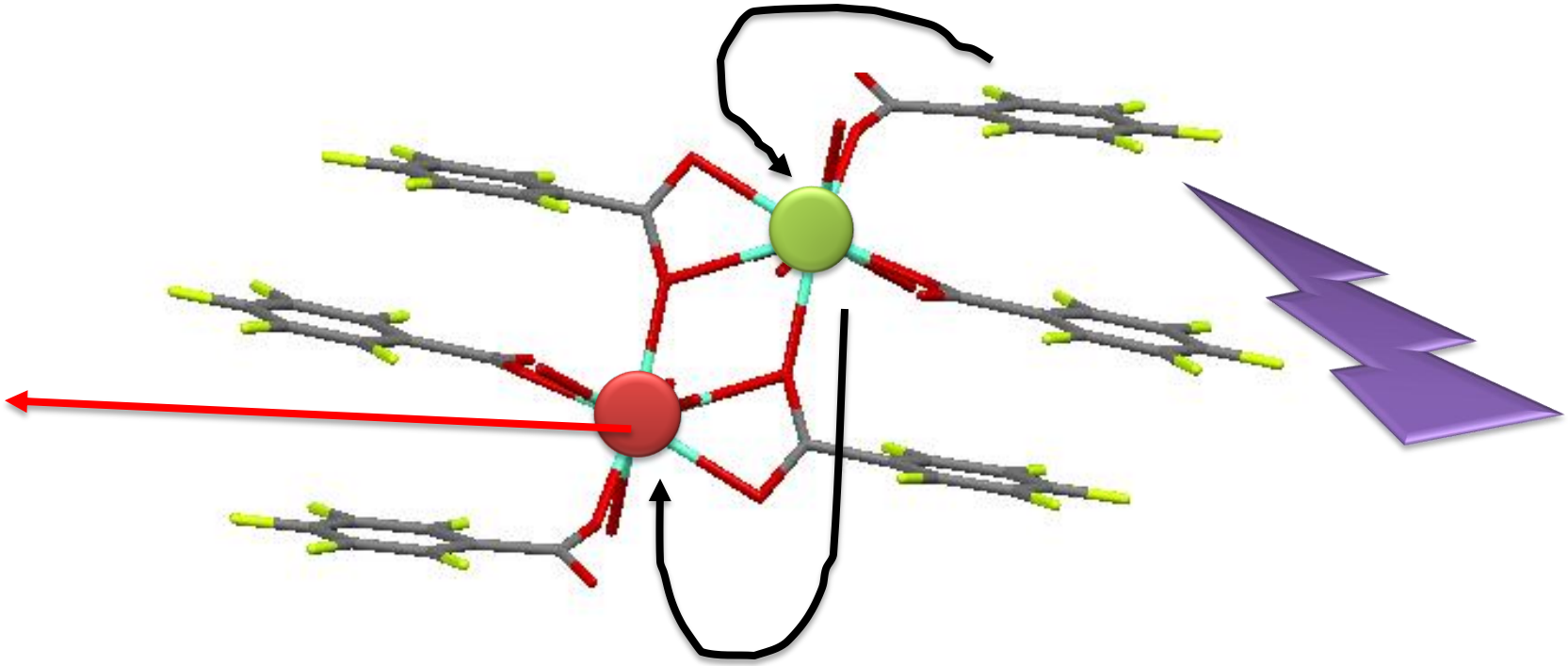
уф

# «Хитрые» метки

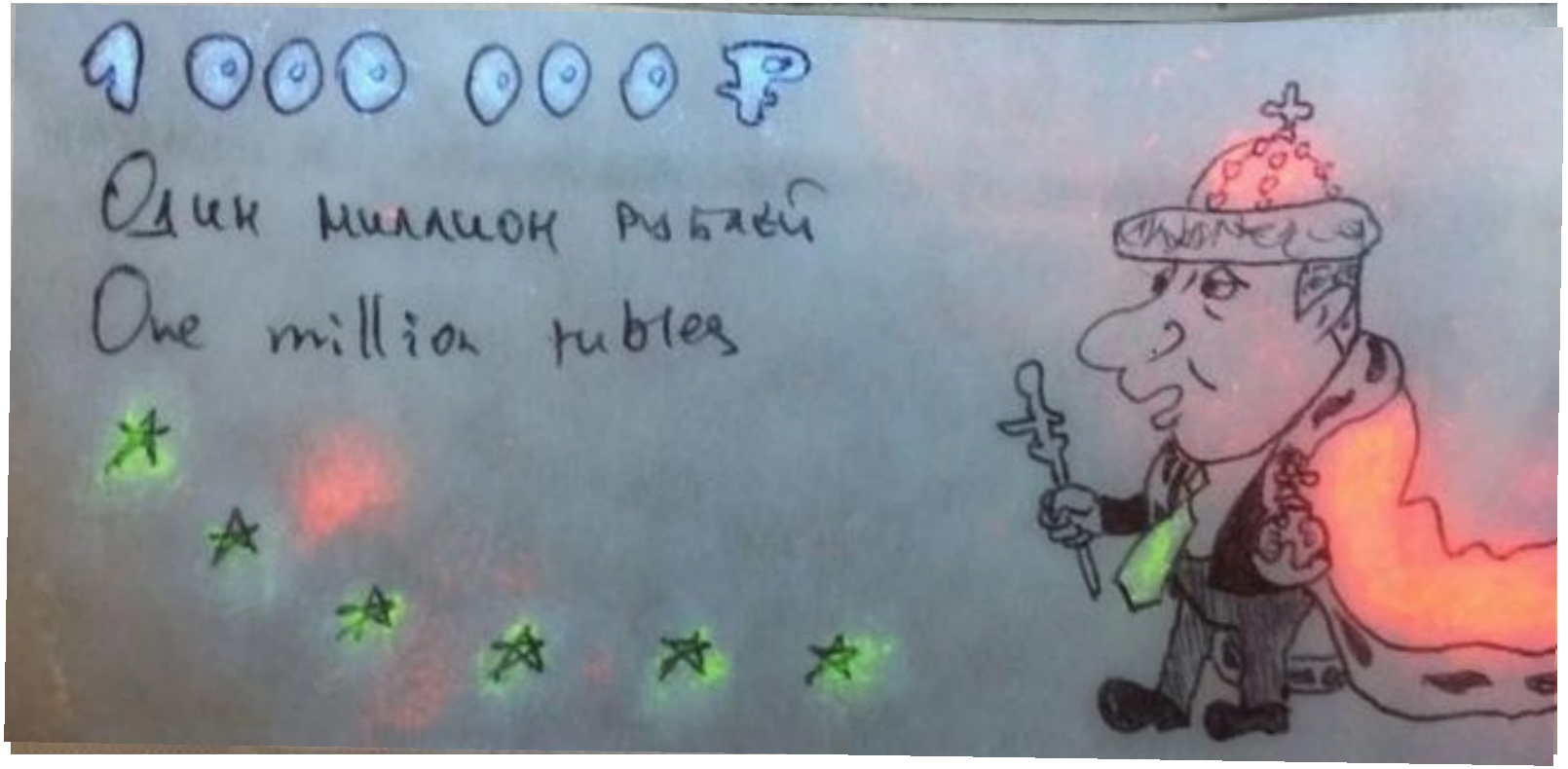


# «Хитрые» метки



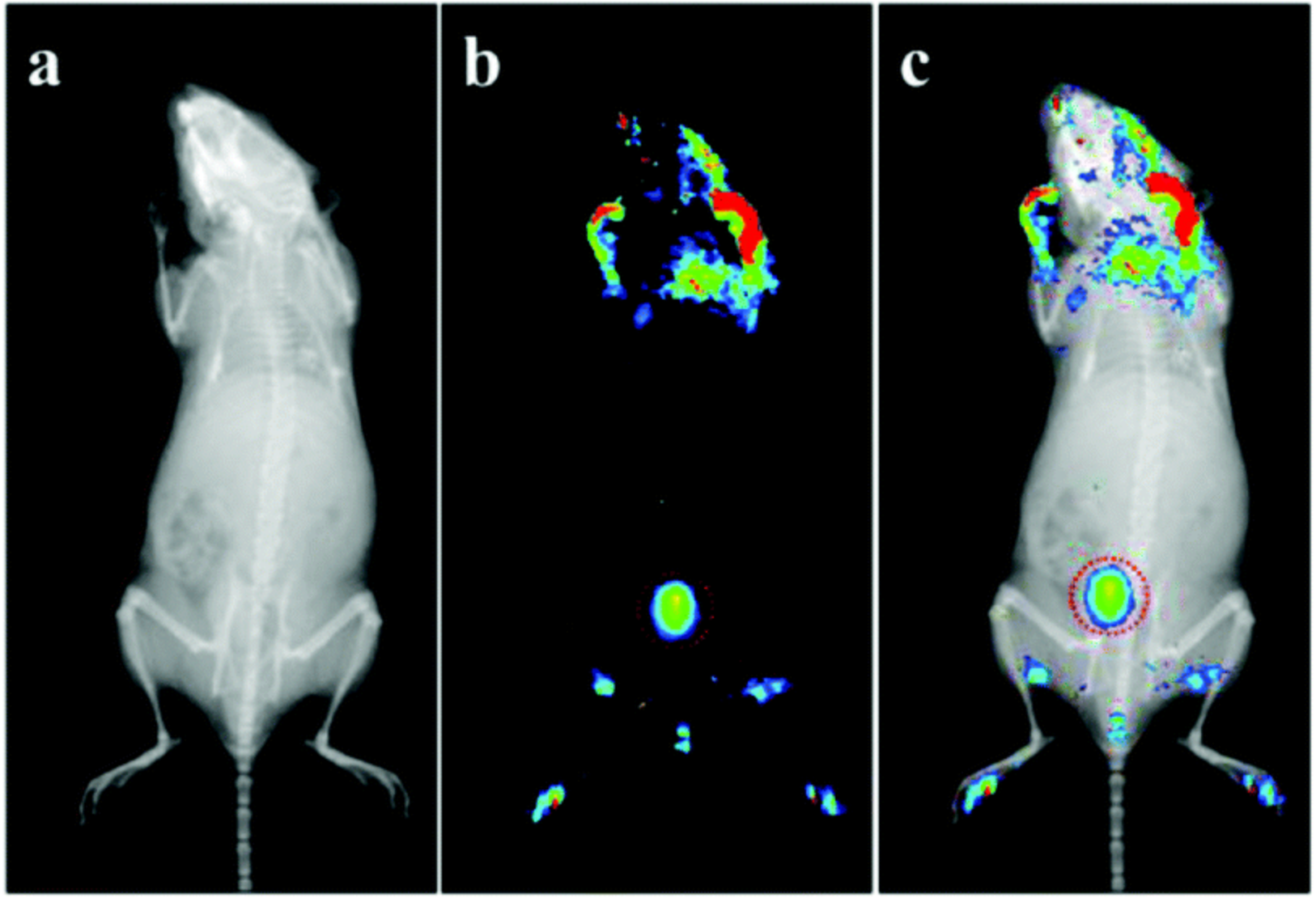
# Люминесцентные метки

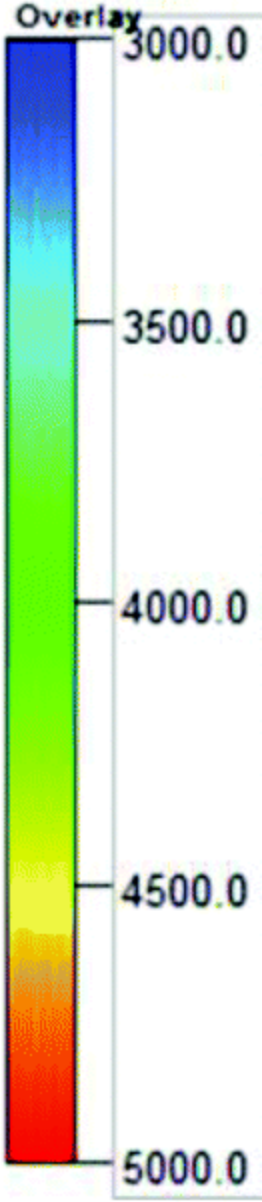



300 K + УФ

# Биовизуализация

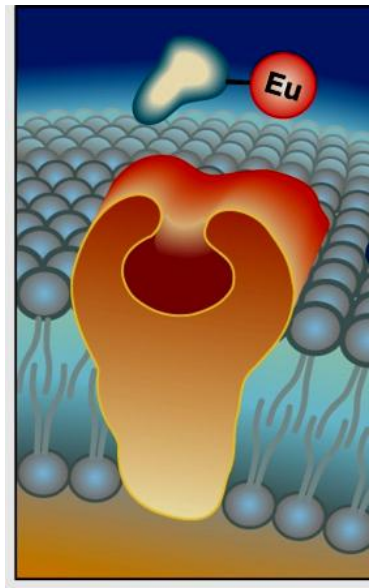
микроскоп люм. микроскоп наложение



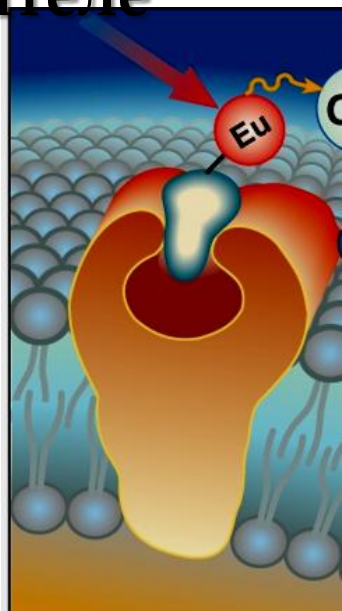



# Требования

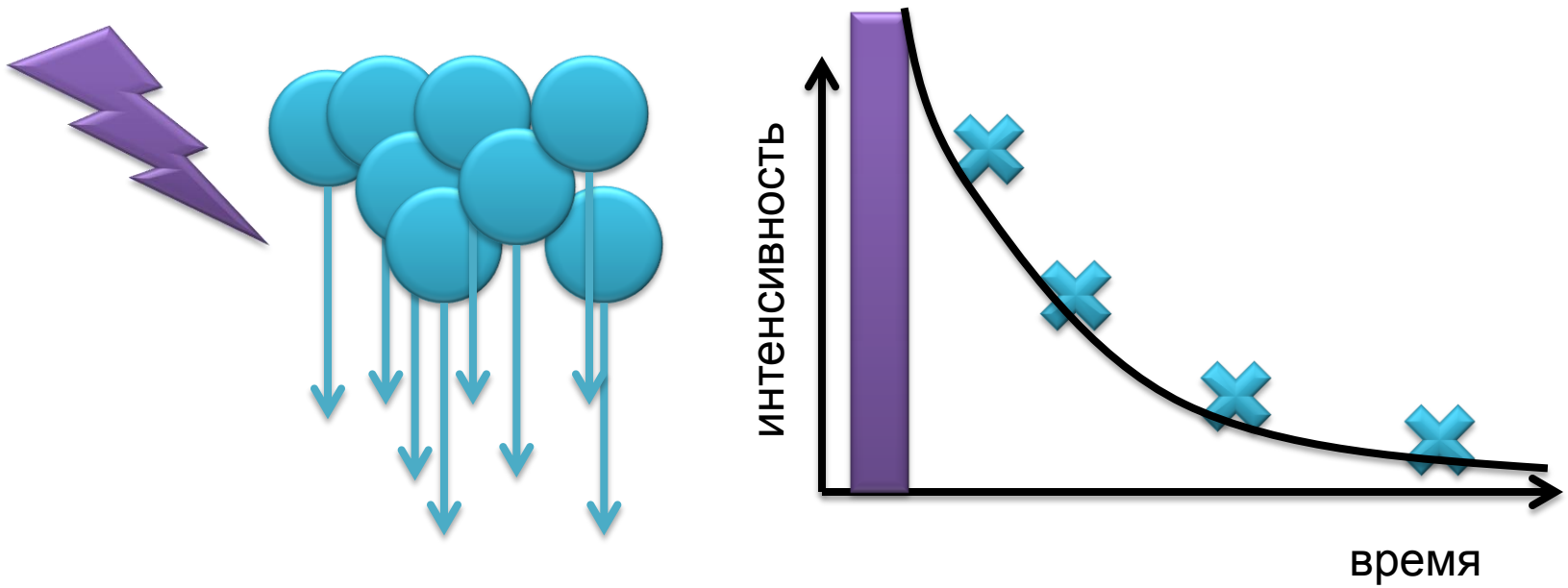
- **Длинные времена жизни: отсекаем автофлуоресценцию**
- **Узкие полосы: эффективный сбор излучения узкощелевыми фильтрами**
- **Большая разница длин волн возбуждения и эмиссии: высокое спектральное разрешение**
- **НЕТОКСИЧНОСТЬ**
- **Растворимость в воде/биоинертном растворителе**



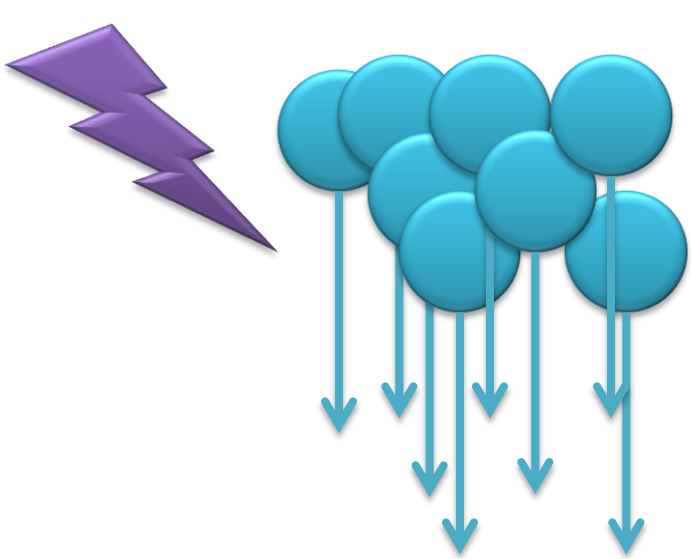

- **Стабильность в (водном) растворе**
- **Высокое поглощение**

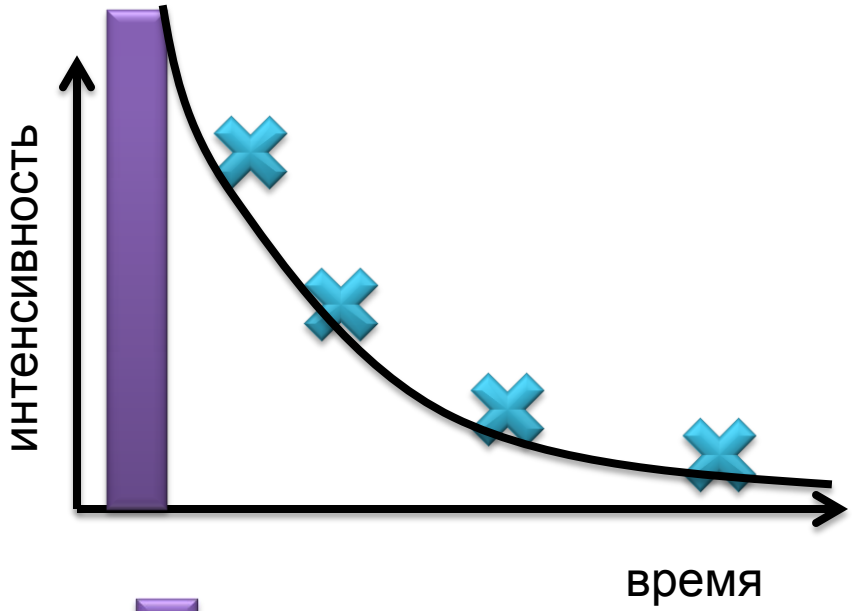


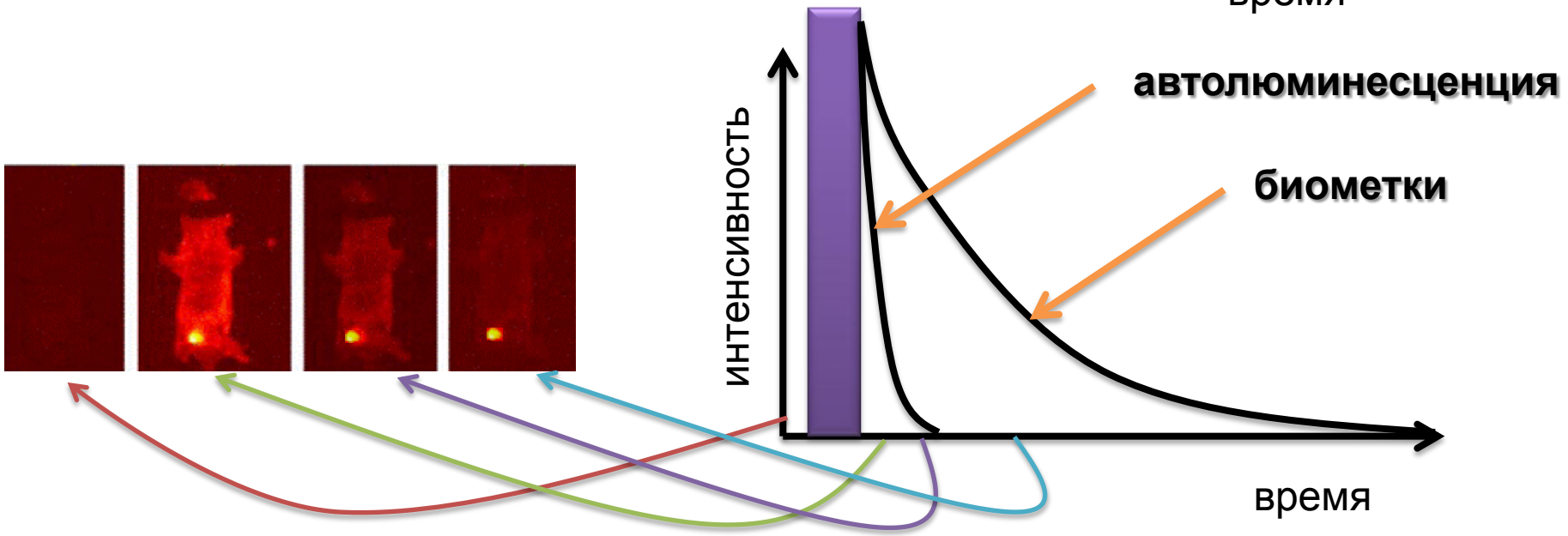
# Люминесценция с задержкой



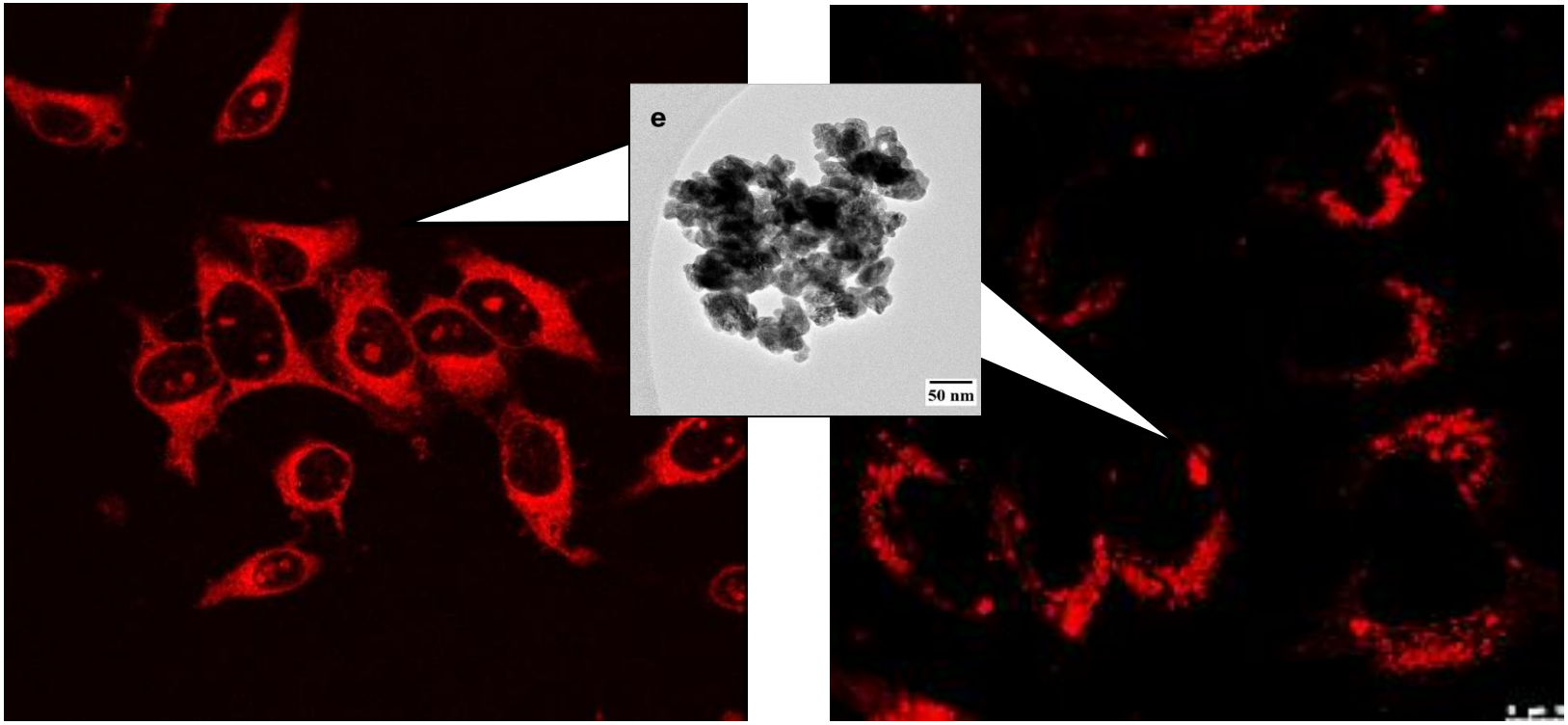
# Люминесценция с задержкой

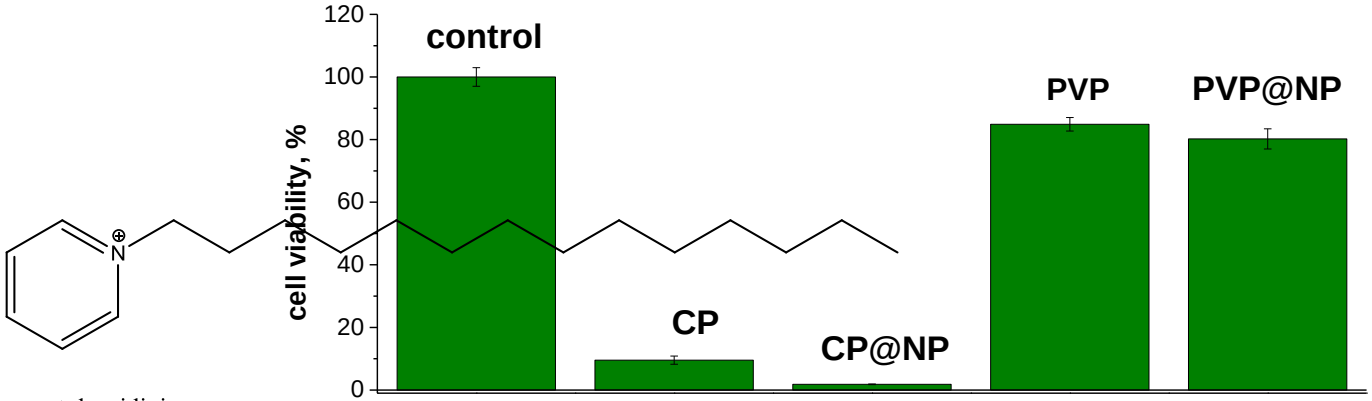




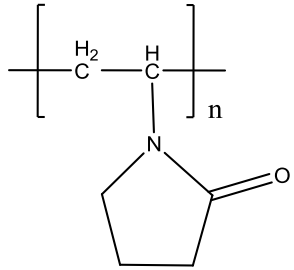



# Клеточки




cetylpyridinium




polyvinylpyrrolidone

# Электролюминесценция

# Строение органического светодиода

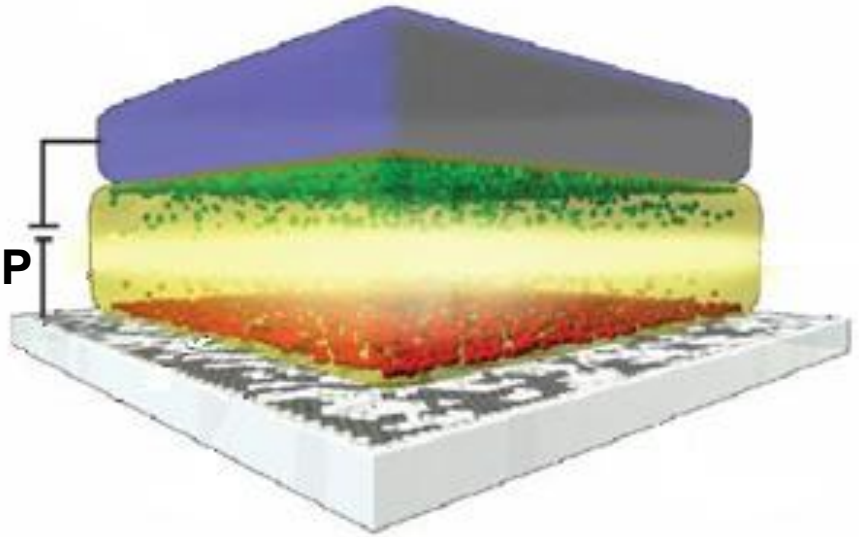
**Катод**

**ETL**

**ЛЮМИНОФОР**

**HTL**

**Анод**



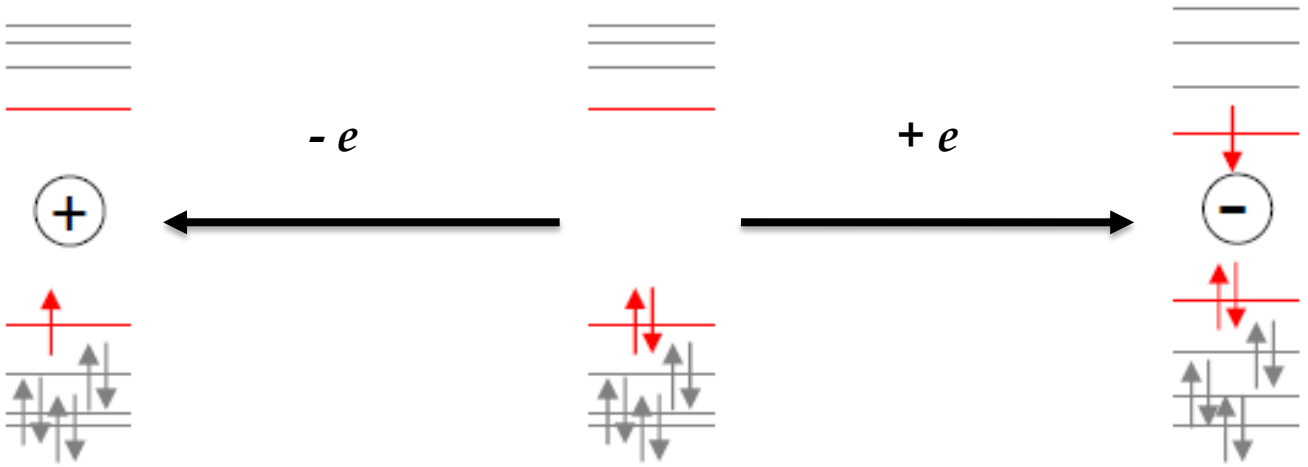
**ETL – электронпроводящий слой**

**HTL – дыркопроводящий слой**

# Требования

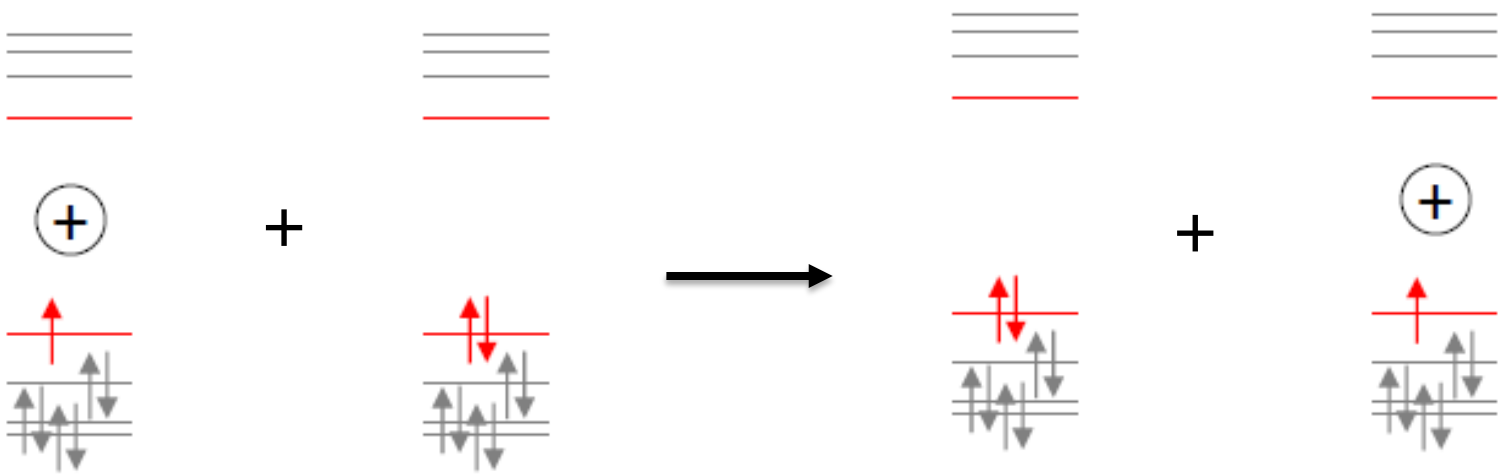
- **Вовлеченность триплетного состояния в процессы переноса**
- **Растворимость в ~~воде/биоинертном~~ пленкообразующем растворителе**
- **~~Высокое поглощение~~ Высокая подвижность носителей заряда**
- **Термическая стабильность**
- **Оптическая стабильность**

# Носители заряда

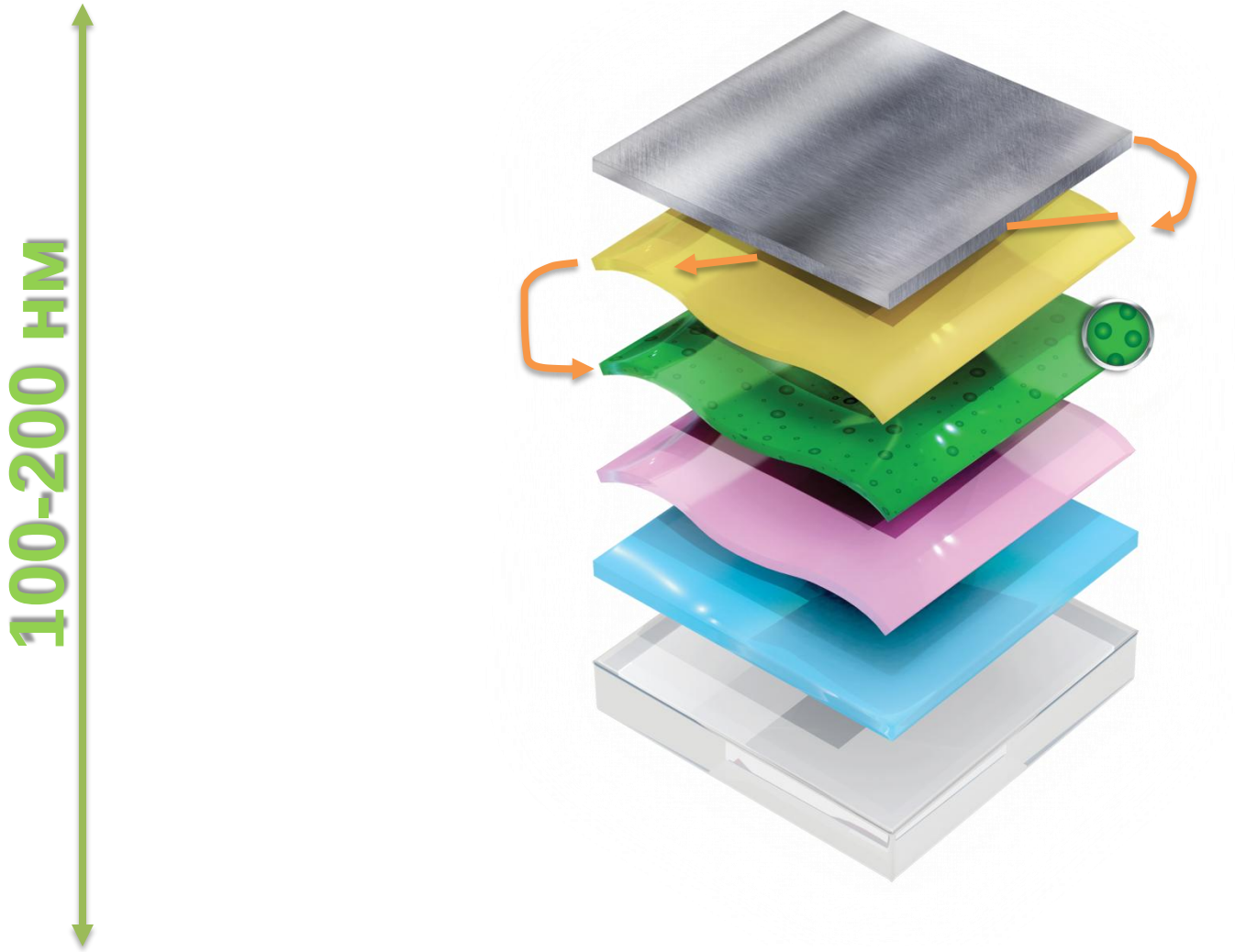



**дырка** **электрон**

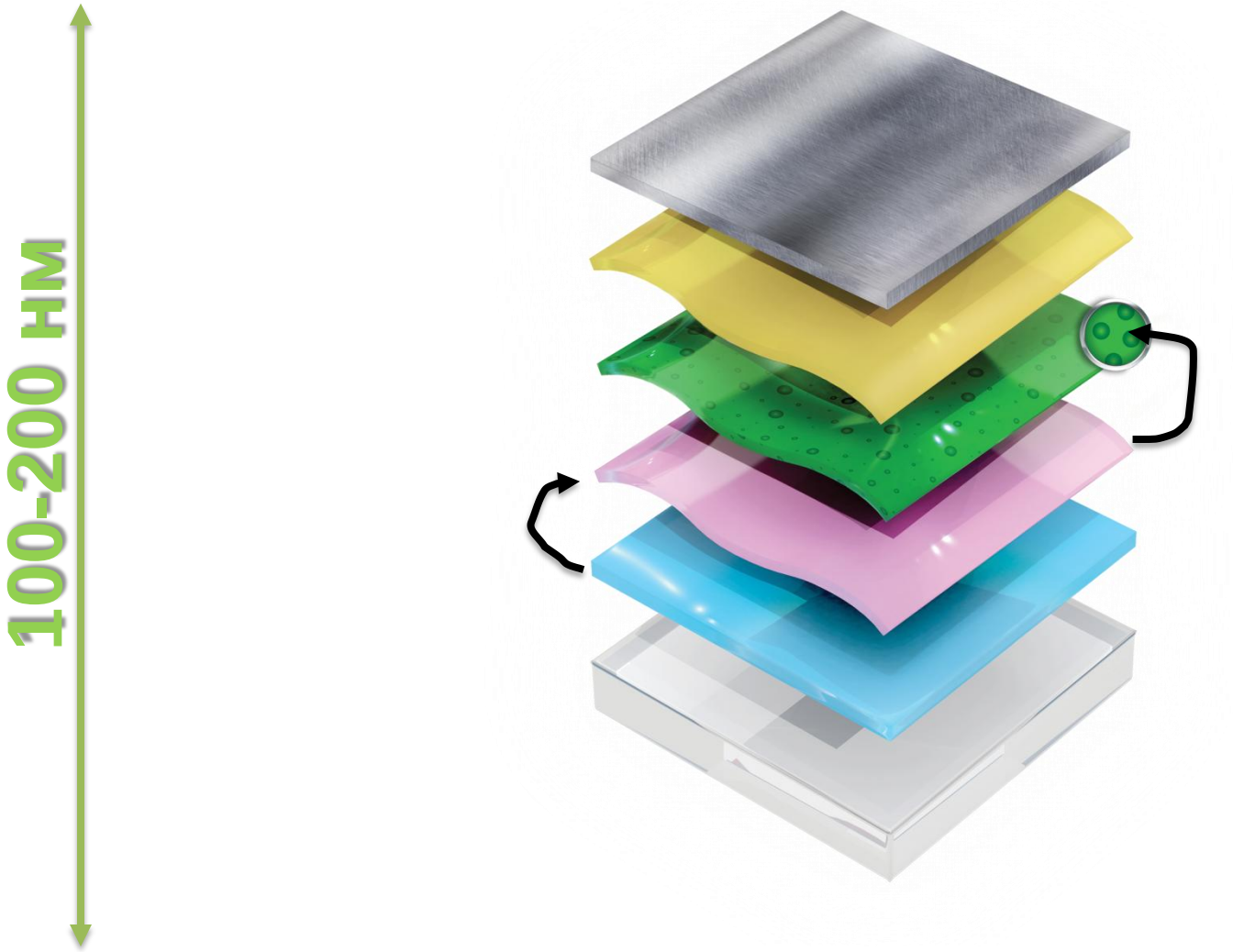
# Транспорт заряда



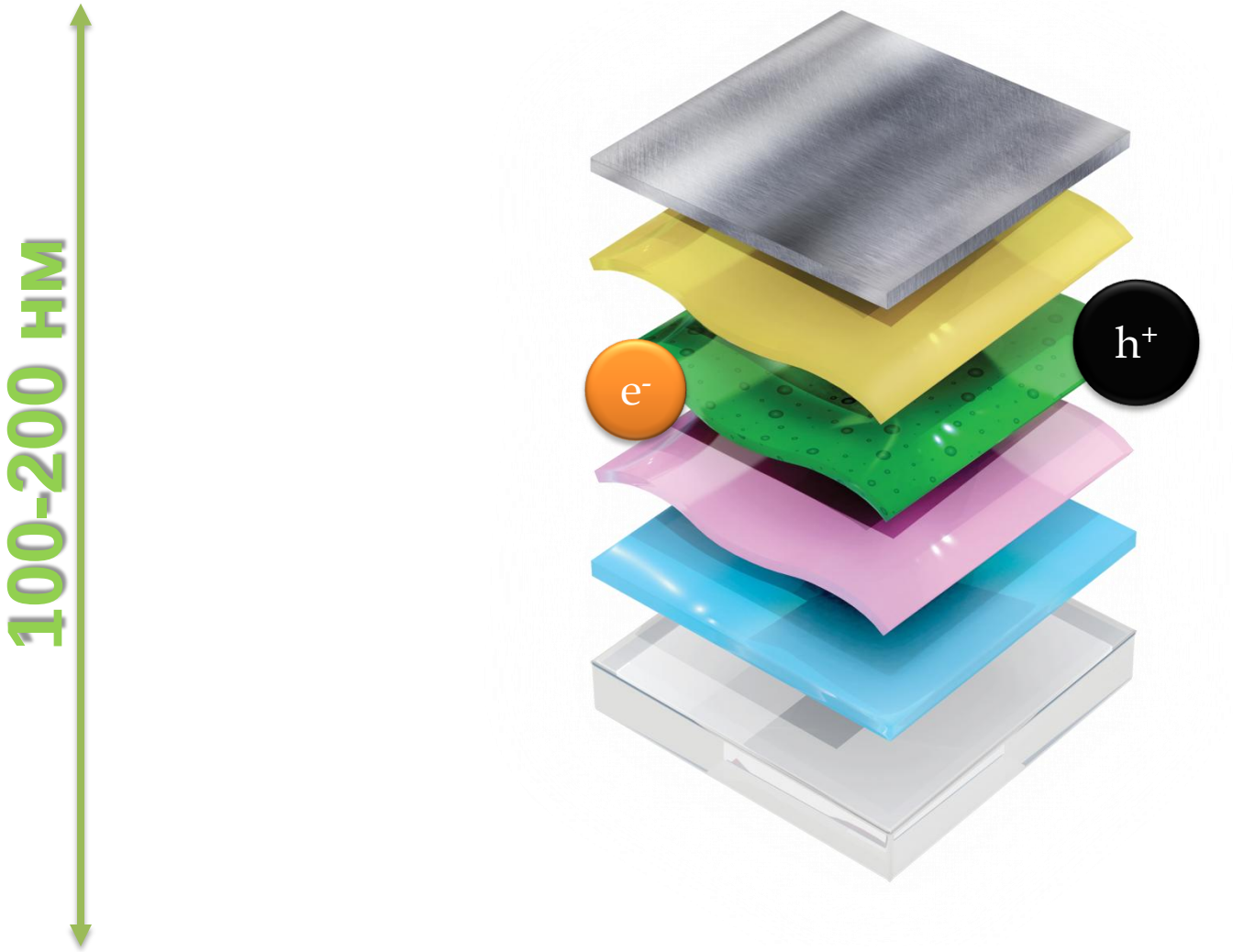
# Текут электроны



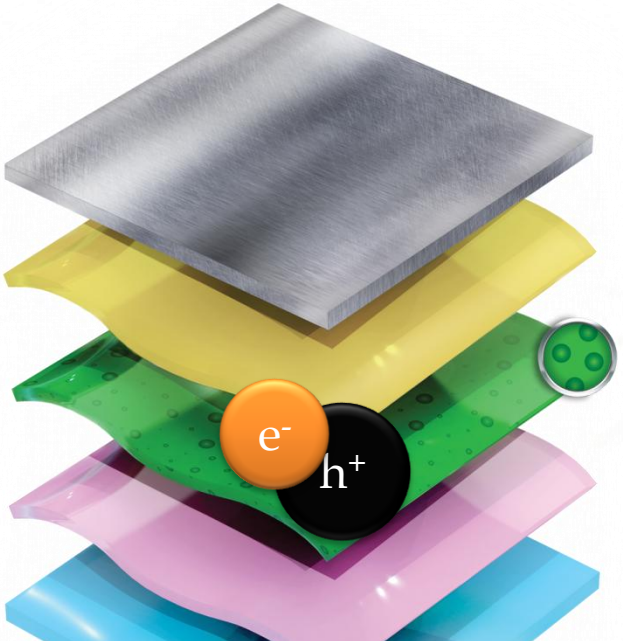
# Текут дырки



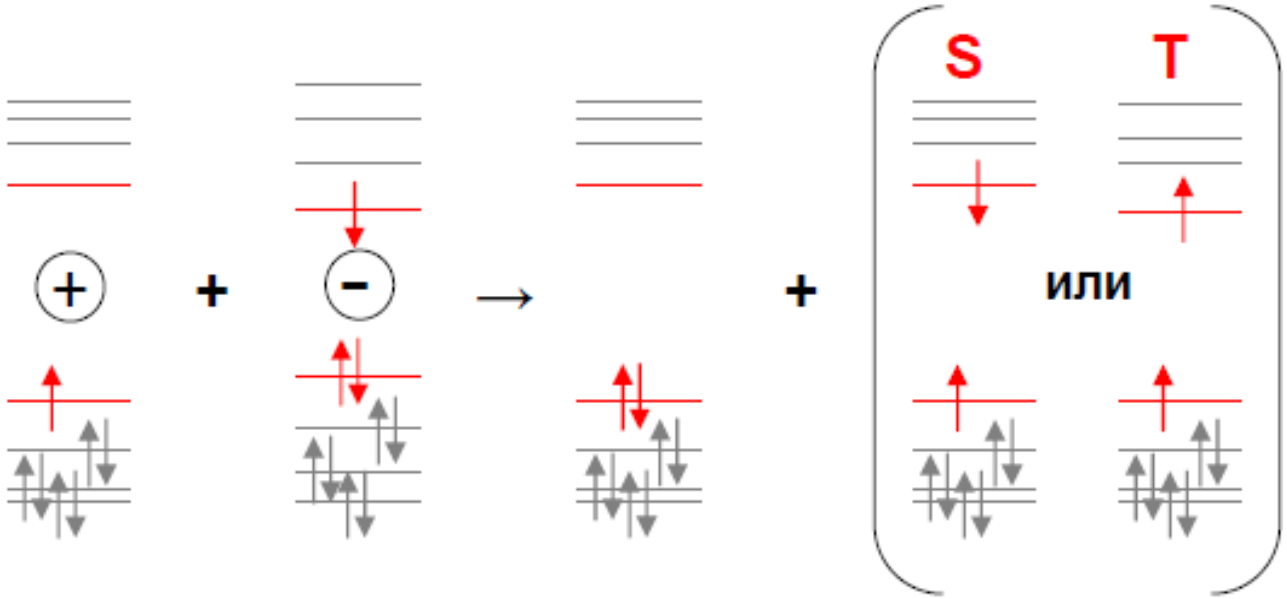
# Текут дырки



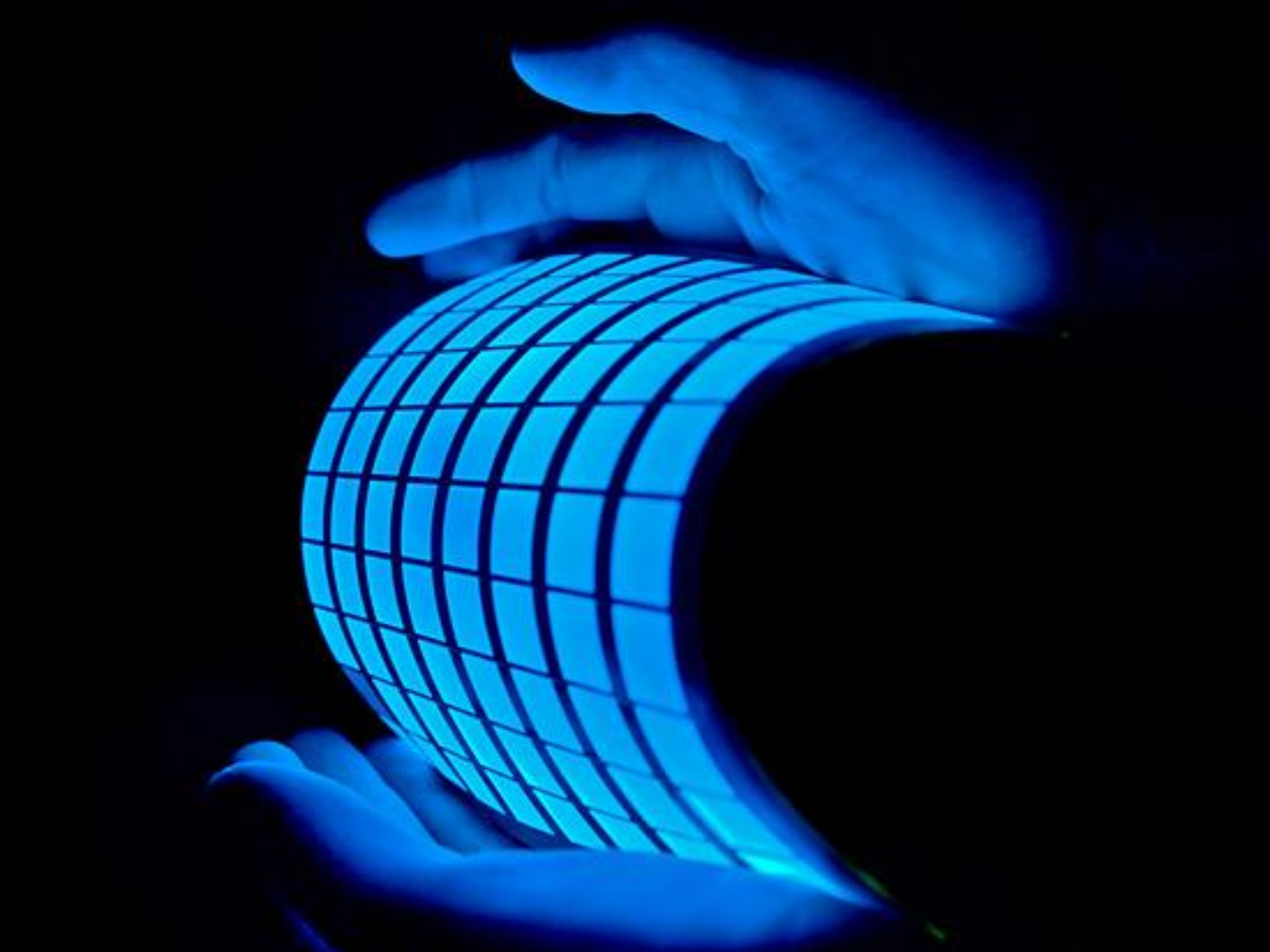
# Текут дырки



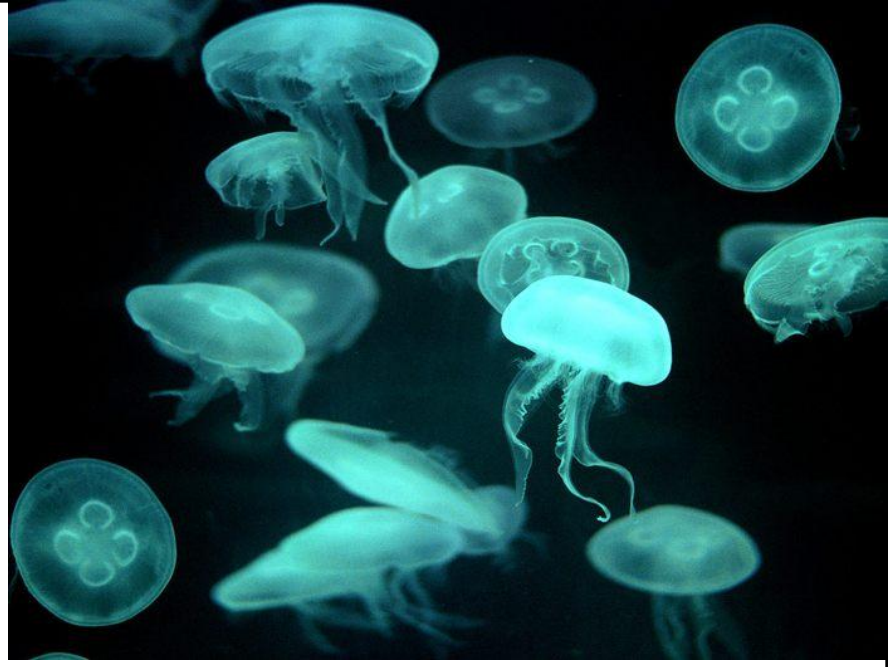

1 : 3




Weather
5°C
Feels like -4°
Weekly
MON
TUE



LUMINESCENCE
group



Спасибо!