

**Мультимедийная презентация  
к лекции по дисциплине «Судебная фотография и  
видеозапись»**

**Световые и оптические явления.  
Геометрическая оптика.  
Основы теории цвета.**

Автор разработки:  
доцент кафедры НД  
Владимир Геннадьевич БУЛГАКОВ



Естественнонаучные основы  
галогеносеребряной фотографии  
(часть 1)



# Рекомендуемая литература:



1) Зотчев В.А., Булгаков В. Г., Курин А.А. и др.

Судебная фотография и видеозапись: Учебник - 2 изд. – Москва, 2011.

Издательство: Щит-М. – 816 с.

# Рекомендуемая литература:

МИНИСТЕРСТВО ВНУТРЕННИХ ДЕЛ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЛГОГРАДСКАЯ АКАДЕМИЯ



*В. А. Зотчев, В. Г. Булгаков, А. А. Курин*

## **СУДЕБНАЯ ФОТОГРАФИЯ И ВИДЕОЗАПИСЬ**



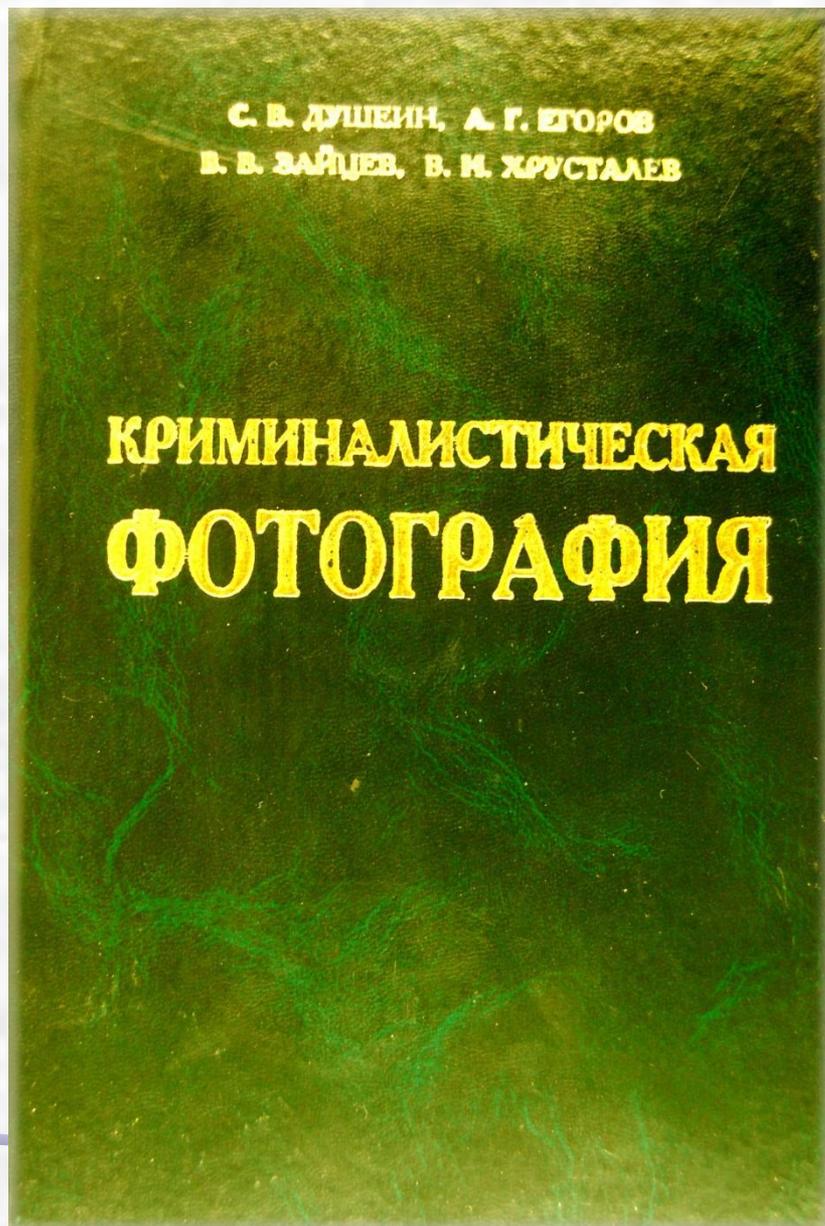
2) Зотчев В.А.,  
Булгаков В.Г., Курин  
А.А. Судебная  
фотография и  
видеозапись. –  
Волгоград, 2005.

## Рекомендуемая литература:



3) Дмитриев Е.Н.  
Судебная  
фотография: Курс  
лекций. – Москва,  
2009.

## Рекомендуемая литература:



4) Душеин С.В и др.  
Криминалистическая  
фотография. – Саратов,  
2003.

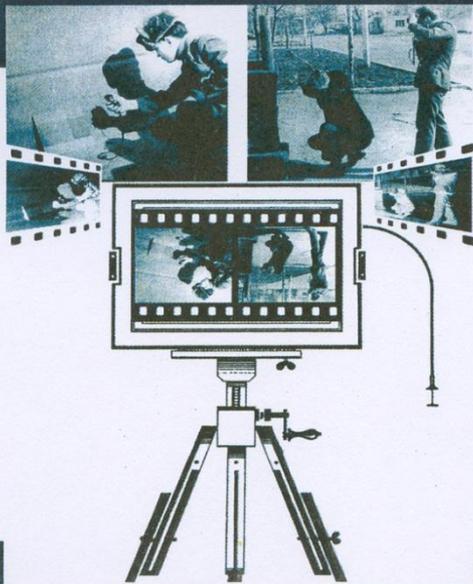
# Рекомендуемая литература:



МИНИСТЕРСТВО ВНУТРЕННИХ ДЕЛ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОЛГОГРАДСКАЯ АКАДЕМИЯ

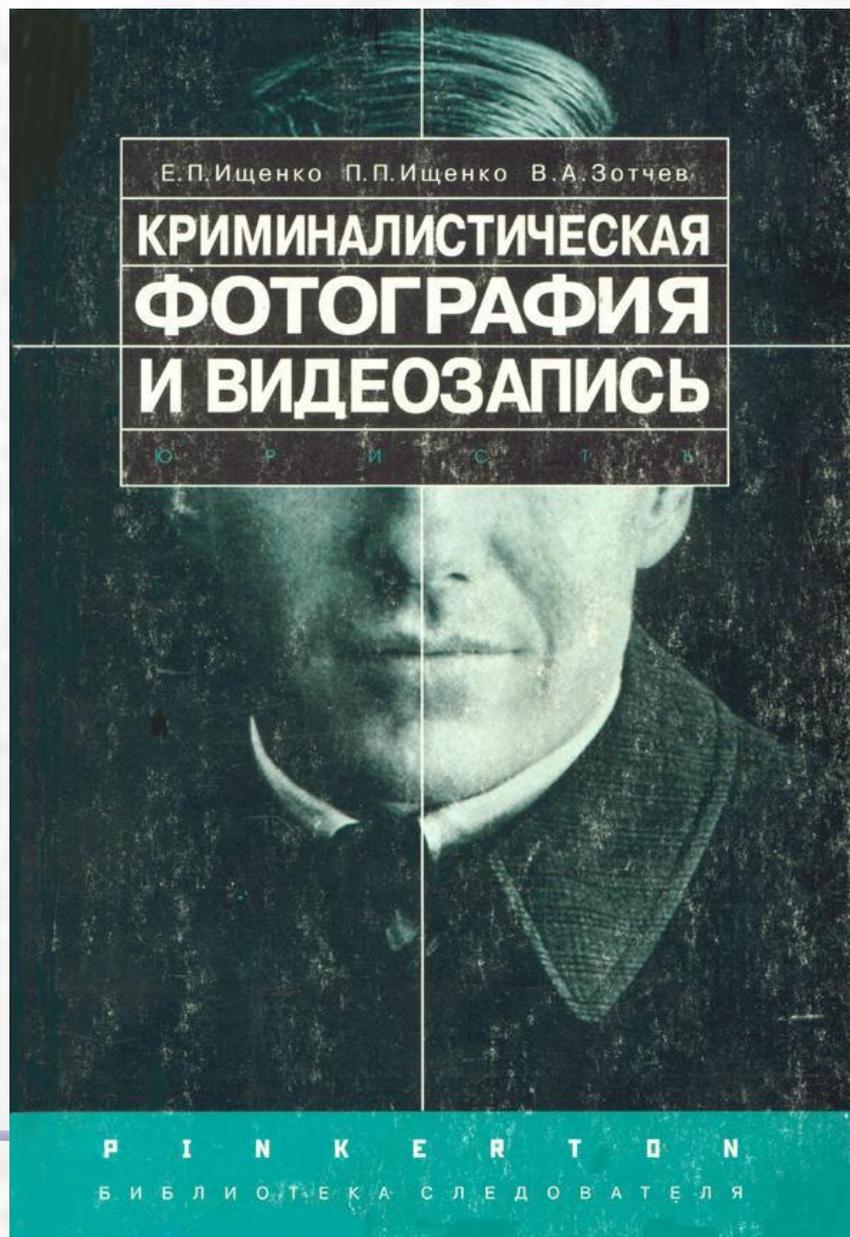
## КРИМИНАЛИСТИЧЕСКАЯ ФОТОГРАФИЯ

*ОСНОВЫ КРИМИНАЛИСТИЧЕСКОЙ ФОТОГРАФИИ.  
ФОТОГРАФИРОВАНИЕ НА МЕСТЕ ПРОИСШЕСТВИЯ  
И ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДРУГИХ  
СЛЕДСТВЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ*



5) Криминалистическая  
фотография: Курс  
лекций: в 2 ч. Ч. 1.  
Волгоград, 2004.

## Рекомендуемая литература:



б) Ищенко Е.П., Ищенко П.П., Зотчев В.А.  
Криминалистическая фотография и видеозапись. – М.: Юристъ, 1999.

## **Рекомендуемая литература (дополнительная):**

- Криминалистика. Т. 1 / Под ред. Р. С. Белкина, И. М. Лузгина. М., 1978.**
- Криминалистическая экспертиза. Вып. 3. Раздел 4: Судебная фотография. М., 1969, 3-10.**
- Судебная фотография / Под ред. А.В. Дулова. Минск, 1975, с. 5-15, 174-186.**
- Фомин А. В. Общий курс фотографии. М., 1981. с. 3-15.**
- Чибисов К. В. Очерки по истории фотографии. М., 1987.**
- Чибисов К. В. Общая фотография. М., 1988, с. 9-29.**

Фотография – рисование светом (фото – свет, графо – пишу, греч.), то есть фиксация изображений с помощью физико-химических свойств света.

Фотография была изобретена свыше 150 лет назад и сегодня она стала совершенным техническим средством регистрации информации. 7 января 1839 г. – день изобретения фотографии.

Фотография - это совокупность методов и способов получения изображений на специальных светочувствительных материалах или устройствах (фотопленка, ПЗС-матрица).

## Учебные вопросы:

- ▶ 1. Свет в фотографии. Особенности его взаимодействия с объектом.
- ▶ 2. Свойства объектов фотографирования.
- ▶ 3. Действие света на светочувствительные вещества и световоспринимающие устройства.
- ▶ 4. Основные законы фотохимии.

# Учебный вопрос № 1

## Свет в фотографии. Особенности его взаимодействия с объектом

Свет представляет собой один из видов электромагнитных колебаний с большой частотой ( $\nu$ ) и малой длиной волны ( $\lambda$ ). Он испускается и поглощается телами отдельными прерывистыми порциями определенной величины – квантами или фотонами. Величина энергии фотона  $\varepsilon$  зависит от частоты света (числа колебаний световой волны за единицу времени):

$$\varepsilon = h \cdot \nu \quad ,$$

где:  $\nu$  – частота световой волны;  $h$  – постоянная Планка.

Кроме частоты колебаний, свет характеризуется и определенной длиной волны:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} ,$$

где:  $\lambda$  – длина волны;  $c$  – скорость распространения света в пустоте;  $\nu$  – частота колебаний. Длина волны измеряется в нанометрах (в миллионных долях миллиметра - нм),  $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ .

Все электромагнитные излучения составляют спектр электромагнитных волн, где видимый свет занимает сравнительно узкий участок

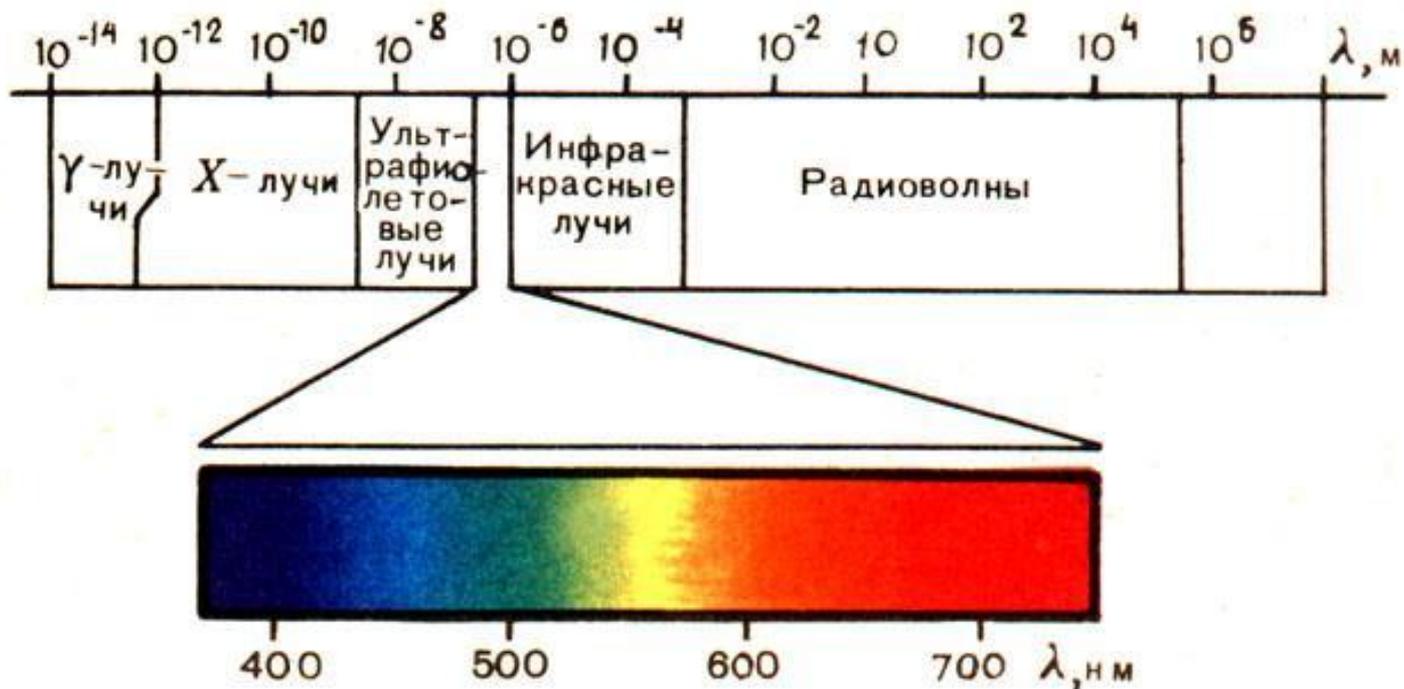


Рис. 1. Спектр электромагнитных колебаний.

Свет сложного спектрального состава, содержащий в себе все видимые лучи, воспринимается как белый свет. Проанализировать состав белого света можно при помощи призмы. Впервые этот опыт был произведен Ньютоном.

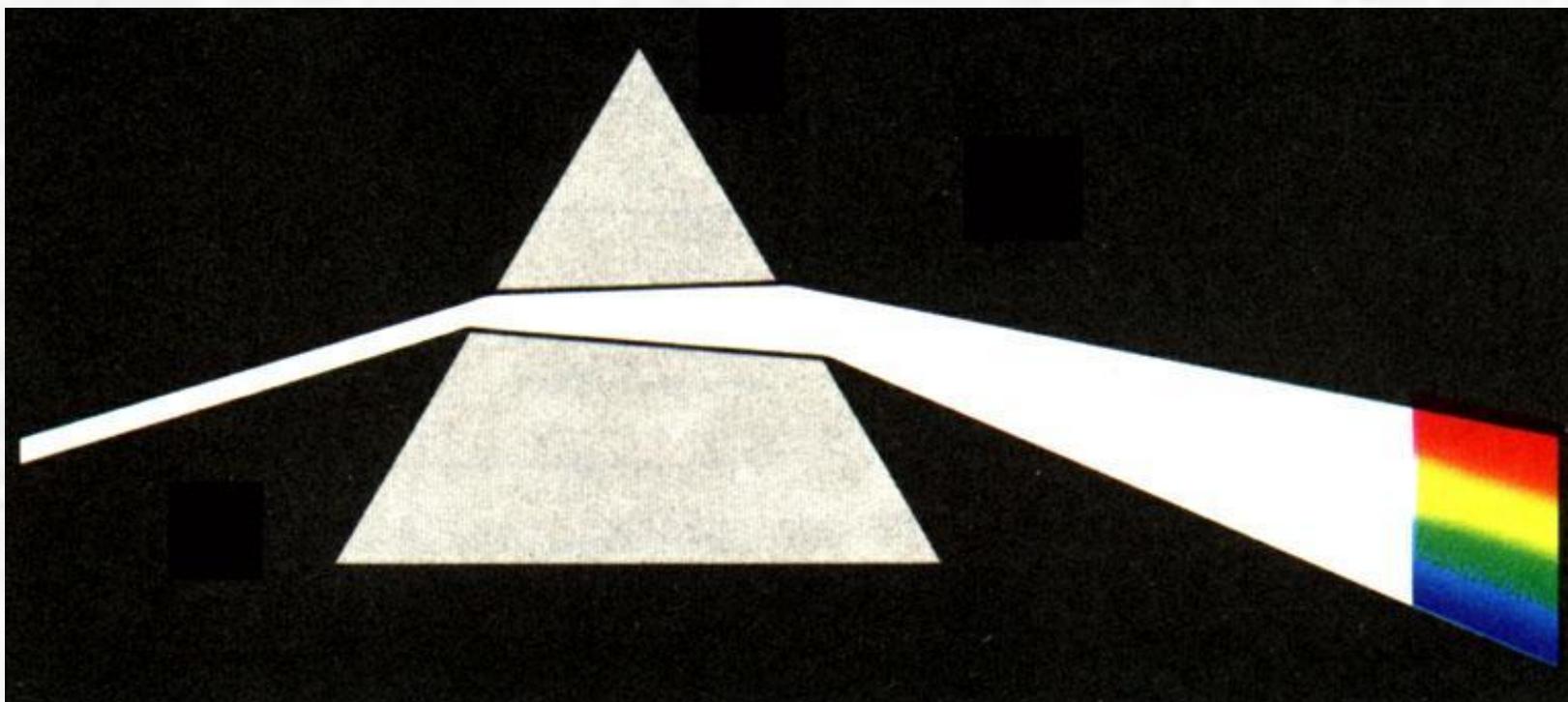


Рис. 2. Спектр видимого света.

В спектре присутствуют непрерывно переходящие один в другой следующие цветовые оттенки:

красный	620-720 нм,
оранжевый	580-620 нм,
желтый	560-580 нм,
зеленый	500-560 нм,
голубой	470-500 нм,
синий	430-470 нм,
фиолетовый	380-430 нм.



Максвеллом предложена трехцветная теория зрения, которая лежит в основе современной цветной фотографии. Согласно ей, все цветовые оттенки, существующие в природе, получают, смешивая в различных пропорциях излучения трех спектральных зон видимого спектра: синего, зеленого и красного. Эти цвета называются первичными или основными.

Если смешать только два первичных цветовых пучка, то получим один из трех вторичных цветов:

красный и зеленый дают желтый цвет,  
красный и синий – пурпурный,  
зеленый и синий – голубой.

Эти цвета называются дополнительными к основным (полученными в результате смешения двух основных).



При оптическом смешении трех основных цветов в определенной пропорции получается белый свет. Такой процесс называется аддитивным синтезом цвета.

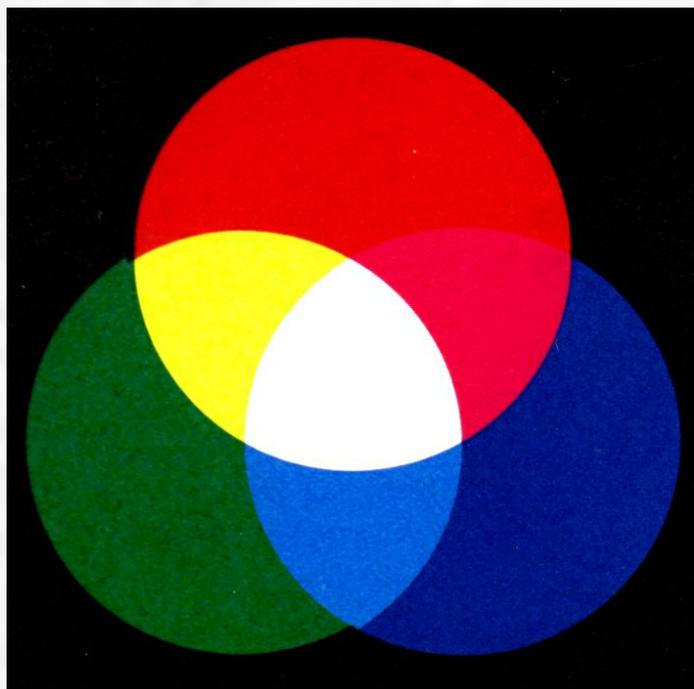
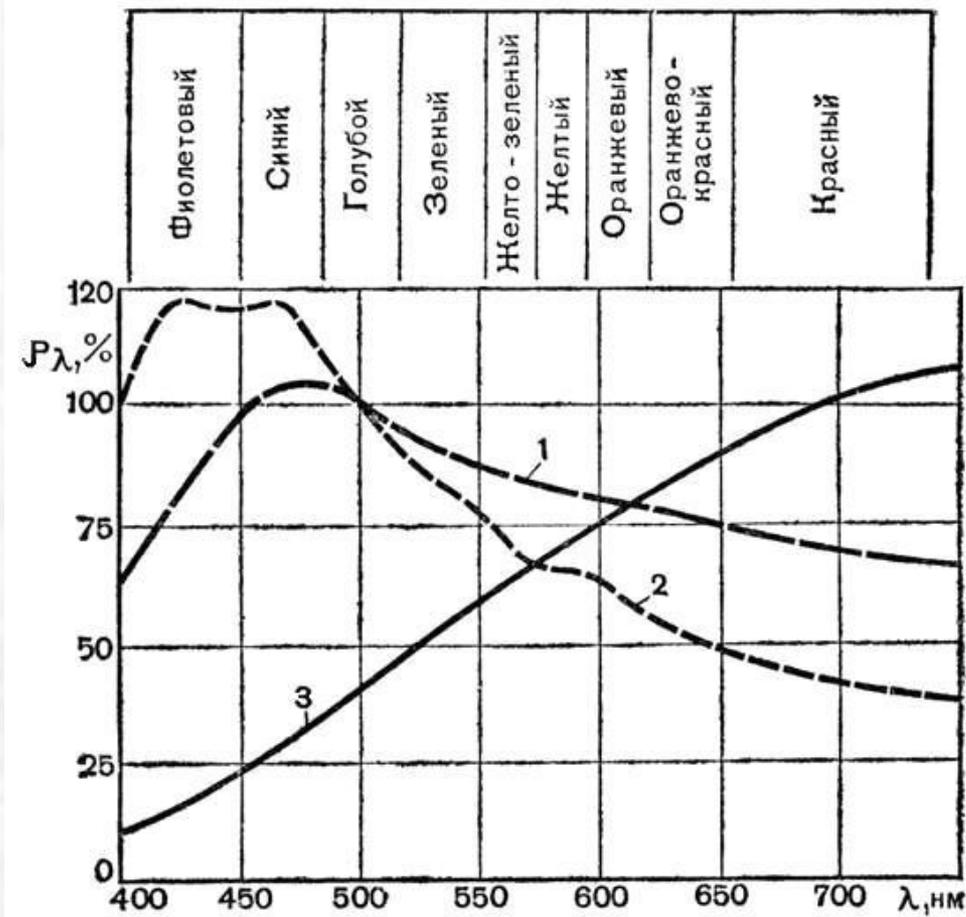


Рис. 3. Аддитивный синтез цвета.

В фотографии используют различные источники света, осветительные приборы:

- 1) источники естественного освещения (солнце);
- 2) источники искусственного освещения (лампы накаливания; люминесцентные лампы; импульсные лампы и др.).

Одни из них излучают свет в нагретом состоянии, другие в холодном. Помимо различной интенсивности все они имеют и неодинаковый спектральный состав излучения.



Естественный свет, как по интенсивности, так и по спектральному составу отличается от искусственного, создаваемого источниками различного типа.

Рис. 4. Спектральное распределение энергии излучения различных источников света: 1- солнца; 2- голубого неба; 3 – ламп накаливания.



В спектре ламп накаливания преобладают красные лучи, люминесцентных газоразрядных ламп и солнца – напротив, синие и голубые (фиолетовые) лучи.

Свет ламп накаливания имеет более теплый, желтый оттенок, а свет газоразрядных ламп - более холодный из-за преобладания лучей синего-голубой части спектра.



В фотографии распределение энергии излучения по спектру выражают посредством цветовой температуры.

**Цветовая температура** характеризует спектральный состав света источника и показывает, до какой температуры необходимо нагреть абсолютно черное тело в градусах абсолютной шкалы ( $^{\circ}\text{K}$ ), чтобы спектральный состав излучаемого им света соответствовал спектральному составу данного источника.

Чем выше цветовая температура источника света, тем больше излучается коротковолновых лучей, и, наоборот, при понижении ее в излучении начинают преобладать длинноволновые лучи и свет источника начинает приобретать красноватый оттенок.

## Приближенные значения цветových температур источников света, наиболее часто используемых в фотографии

Источник излучения	Цветовая температура, °К
Лампа накаливания	2850 (больше ИК- лучей)
Импульсная лампа-вспышка	5500
Солнце в полдень	6000 (больше коротковолновых лучей – УФ. Ф, С, Г)
Голубое небо	7000-10000
Лампа люминесцентная типа ЛД	6750

## Физическая модель абсолютно черного тела

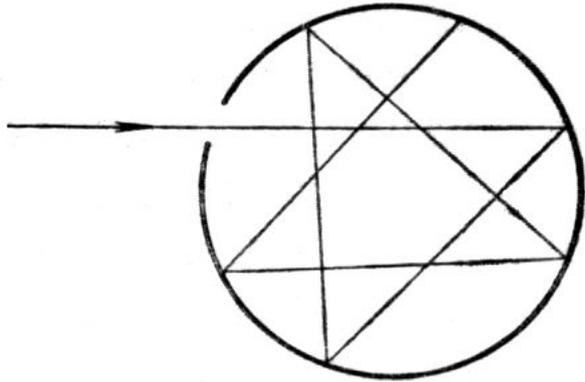


Рис. 5. Физическая модель абсолютно черного тела.

Абсолютно черным телом называется тело, которое поглощает все падающие на него лучи. В природе естественных абсолютно черных тел не существует, модель близкого к нему по свойствам тела делают искусственно в виде особого прибора, например полого вычерченного внутри шара.

## Основные световые величины:

**Мощность излучения ( $F$ )** – это количество световой энергии, переносимой оптическим излучением в единицу времени в данном направлении.

**Световой поток ( $\Phi$ )** – это величина световой энергии, оцениваемая по производимому зрительному ощущению. Единицей измерения светового потока называется люмен (лм).

**Эффективным световым потоком ( $\Phi_{\text{эф}}$ )** называется та часть лучистого потока, которая при взаимодействии с приемником вызывает какой-либо полезный эффект.

**Фотоактиничный световой поток ( $\Phi_{\lambda}$ )** характеризует величину энергии той спектральной области светового потока, который, воздействуя на светочувствительное вещество, вызывает фотографический эффект (образование скрытого, видимого изображения) на светочувствительных приемниках.

## Основные световые величины:

**Освещенность (E)** – это величина светового потока, приходящаяся на единицу освещаемой поверхности. От точечного источника с силой света (I) освещенность изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния (по закону обратных квадратов):

$$E = \frac{I}{L^2},$$

где: E – освещенность; I – сила света в данном направлении; L – расстояние от источника света до освещаемой поверхности в метрах. Единица измерения – люкс (лк).

**Количество освещения или экспозиция (H)** – это величина световой энергии, приходящейся на единицу освещаемой поверхности в единицу времени. Выражается произведением освещенности на продолжительность действия света:

$$H = E \cdot t,$$

где: H – экспозиция; E – освещенность в лк; t – время освещения в сек.



## Учебный вопрос № 2.

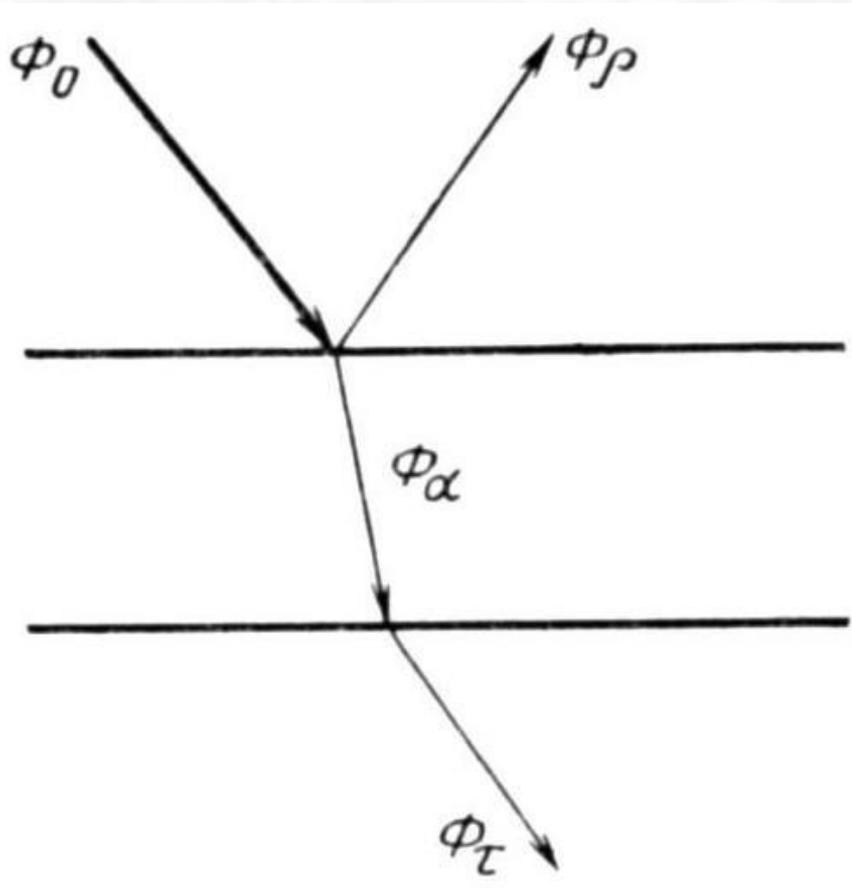
### Свойства объектов фотографирования

**Свойства объектов фотографирования подразделяют на пространственные и световые.**

**Пространственные свойства** выражают определенную совокупность линейных размеров объекта, его длину, ширину, высоту (глубину), рельеф (фактуру). Совокупность всех параметров характеризует его объемность (глубину пространства), а проекция, на какую либо плоскость – форму.

**Световые (оптические) свойства** объекта определяют, как световой поток взаимодействует с объектом.

При взаимодействии света с предметом происходит:



- Отражение от поверхности тела,
- Поглощение,
- Пропускание.

Рис. 6. Взаимодействие светового потока с объектом

Доля отраженного телом света характеризуется коэффициентом отражения  $\rho$ , доля поглощенного света – коэффициентом поглощения  $\alpha$ , доля пропущенного – коэффициентом пропускания  $\tau$ .

$$\rho = \frac{\Phi_{\rho}}{\Phi_o}$$

$$\alpha = \frac{\Phi_{\alpha}}{\Phi_o}$$

$$\tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi_o}$$

Поскольку  $\Phi_o = \Phi_{\rho} + \Phi_{\alpha} + \Phi_{\tau}$ , то очевидно, что

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

где:  $\Phi_o$  - падающий световой поток,  $\Phi_{\rho}$  - отраженный световой поток,  $\Phi_{\alpha}$  – поглощенный световой поток,  $\Phi_{\tau}$  – пропущенный световой поток.

# Пространственное распределение отраженного от различных поверхностей и пропущенного различными средами света

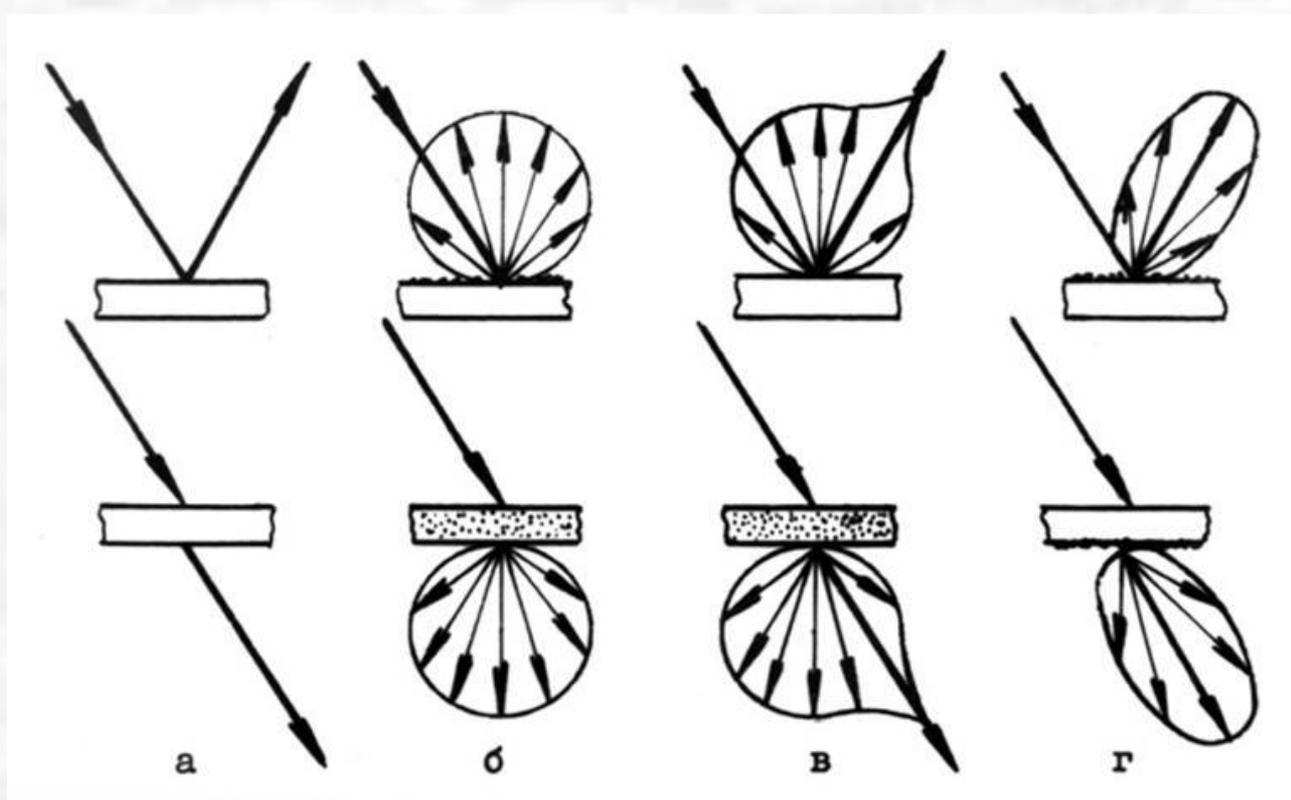


Рис. 7. Распределение отраженного и пропущенного света в пространстве: а – направленное; б – рассеянное; в – смешанное; г - направленно-рассеянное.

В фотографии для характеристики свойств предметов используют - яркость и оптическую плотность.

**Яркость (V)** - это величина зрительного ощущения, вызываемого светящейся или отражающей в данном направлении свет поверхностью.

**Оптическая плотность (D)** – характеризует прозрачность такой среды (степень поглощения света). Ее выражают десятичным логарифмом непрозрачности – величины, обратной коэффициенту пропускания ( $1/\tau$ ).

$$D = \lg \frac{1}{\tau} .$$

За единицу оптической плотности принята плотность такой среды, которая ослабляет световой поток в 10 раз:  
 $D = \lg 10 = 1$ .

**Контраст объекта** выражает зрительно наблюдаемое соотношение яркостей или оптических плотностей. При съемке различают общий контраст и контраст смежных участков.

**Общий контраст** – для непрозрачных объектов

$$K_{\text{общ}} = \frac{B_{\text{max}}}{B_{\text{min}}}$$

где:  $K_{\text{общ}}$  – общий контраст;  $B_{\text{max}}$  - наибольшее значение яркости;  $B_{\text{min}}$  - наименьшее значение яркости.

Для прозрачных объектов –  $\Delta D = D_{\text{max}} - D_{\text{min}}$ .

**Контраст деталей** – характеризуется отношением яркостей смежных участков для непрозрачных объектов или разностью оптических плотностей – для прозрачных.

Интервал яркостей (оптических плотностей) нередко выражается через **градацию яркостей**.

**Градация** - это последовательное возрастание яркостей объекта или последовательность зрительно воспринимаемых яркостей.

Воспроизведение градации оригинала на фотоизображении – одна из основных задач фотографического процесса.

## Спектральные свойства объекта

Окраска предметов, освещенных одним и тем же источником света, бывает весьма разнообразной, что объясняется зависимостью коэффициентов преломления и отражения от длины волны. Красная книга, например, воспринимается красной потому, что она отражает лучи только красной области спектра.

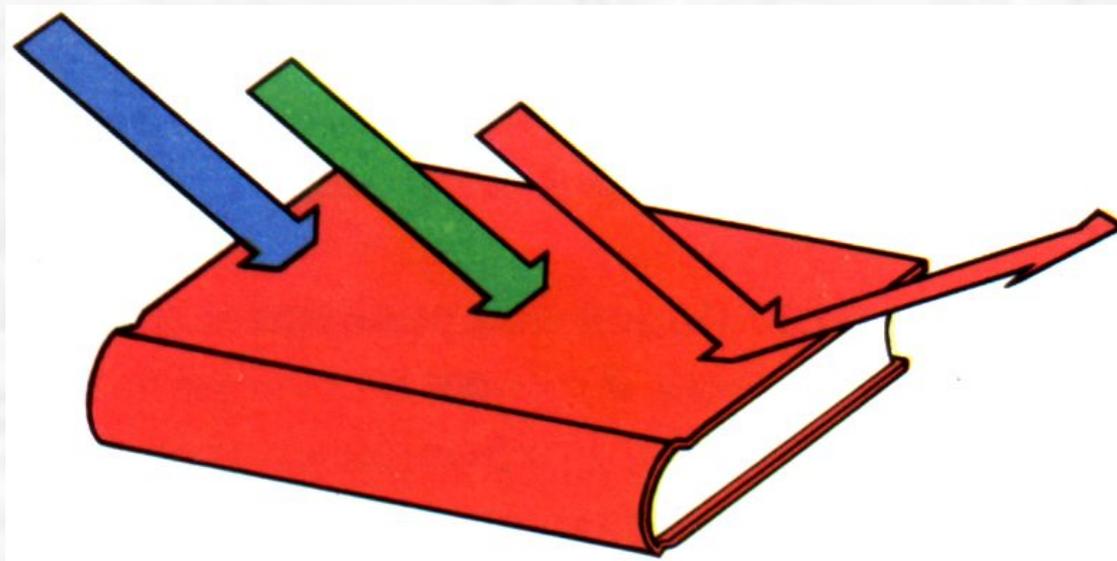


Рис. 8. Восприятие цветных объектов.

Для цветных объектов действие света сложного спектрального состава характеризуют монохроматические коэффициенты отражения, поглощения и пропускания.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\Phi_{\rho_{\lambda}}}{\Phi_{O_{\lambda}}}$$

$$\alpha_{\lambda} = \frac{\Phi_{\alpha_{\lambda}}}{\Phi_{O_{\lambda}}}$$

$$\tau_{\lambda} = \frac{\Phi_{\tau_{\lambda}}}{\Phi_{O_{\lambda}}}$$

Распределение монохроматических коэффициентов по спектру излучения дает представление о световых свойствах окрашенных объектов и выражается зависимостью изменения этих коэффициентов от длины волны падающего света в виде кривых отражения, поглощения или пропускания.



## Учебный вопрос № 3.

### Действие света на светочувствительные вещества и световоспринимающие устройства

В основе **светочувствительности** лежит явление внутреннего фотоэффекта как в галогеносеребряной (традиционной), так и цифровой технологии фотографии.

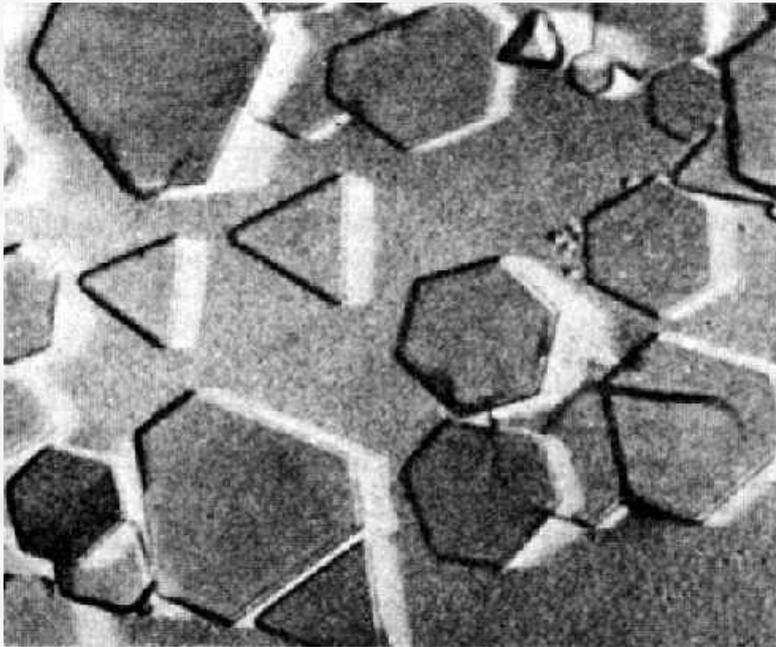
В галогеносеребряной фотографии в результате фотохимической реакции происходит разложение вещества и изменение его химического состава.

## Светочувствительные вещества галогеносеребряной фотографии

Наибольшее применение в фотографии нашли лишь соли серебра: **хлорид серебра ( $\text{AgCl}$ )**, **бромид серебра ( $\text{AgBr}$ )** и **йодид серебра ( $\text{AgI}$ )**, обладающие светочувствительностью к коротковолновой (сине-фиолетовой) части видимого спектра и называемые галогенидами серебра.

Они обладают не только способностью изменяться под действием света, но и усиливать эти изменения в присутствии веществ-восстановителей.

## Физические и химические свойства галогенидов серебра



Представляют собой плоские микрокристаллы ионного типа, имеющие форму треугольников, усеченных треугольников, шестиугольников, квадратов и т.д., наблюдаемые при больших увеличениях

Рис. 9. Увеличенное изображение микрокристаллов галогенидов серебра

# Внутренняя структура галогенидов серебра

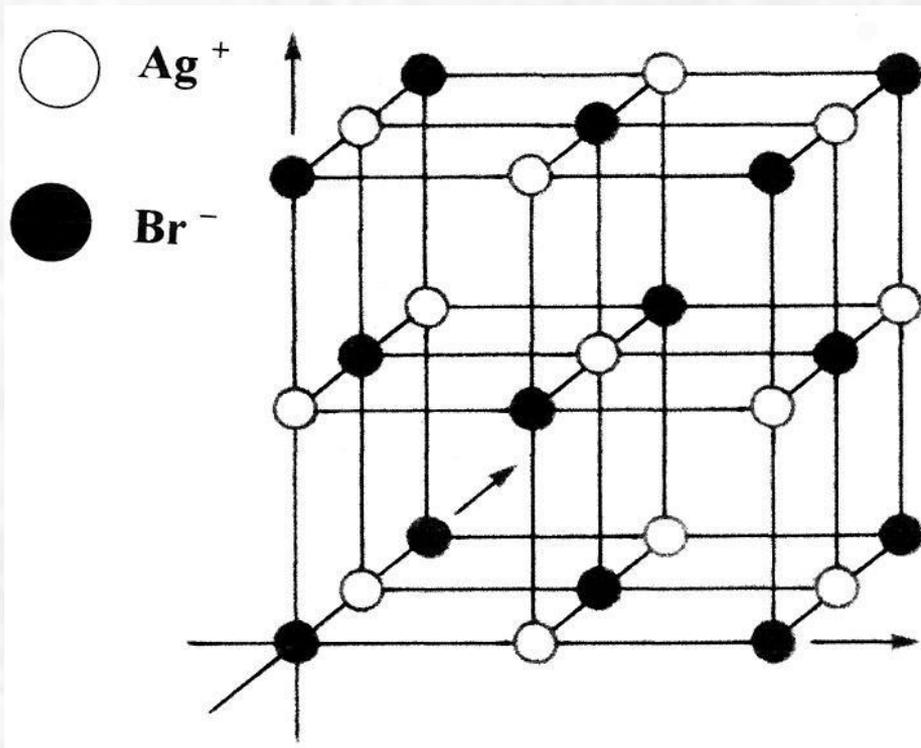


Рис. 10. Кристаллическая решетка галогенида серебра.

Представляет пространственную кристаллическую решетку – геометрический образ, показывающий расположение атомов в кристалле.

Кристаллическая решетка микрокристаллов галогенидов серебра относится к простейшим – кубической, гранецентрированной.

Каждый ион в узлах кристаллической решетки удерживается в состоянии относительно равновесия за счет сил межатомного взаимодействия - притяжения разноименных и отталкивания одноименных зарядов

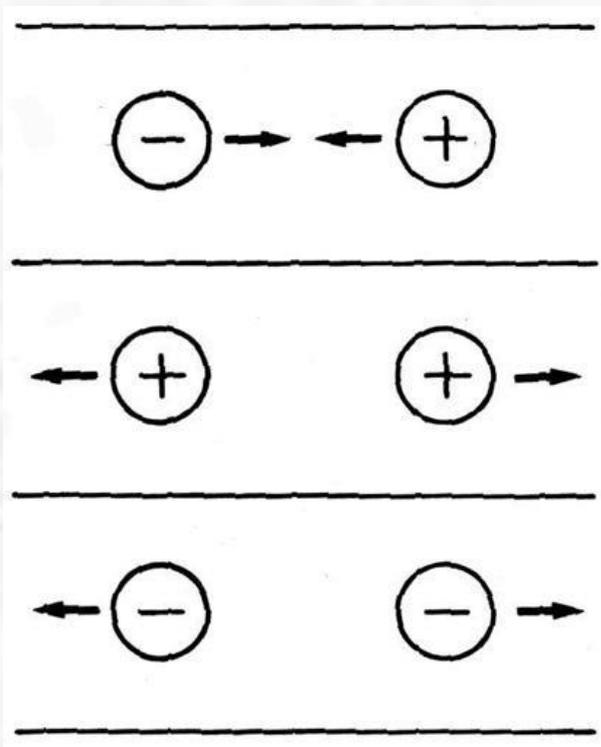


Рис. 11. Притяжение и отталкивание заряженных частиц по закону Кулона.



Если кристаллическая решетка вещества идеальна, т.е. последовательность чередования ионов не нарушена, то энергия в кристалле распределена в среднем равномерно между всеми ионами. Свет, взаимодействуя с таким веществом, не вызывает фотохимических превращений.

**Вещество с идеальной кристаллической решеткой не обладает светочувствительностью.**



# Дефекты кристаллической решетки галогенидов серебра

Нарушения кристаллической решетки (дефекты) весьма разнообразны:

- **протяженные**, если затрагивают несколько последовательных ионов (линейные, плоские, объемные).
- **точечные**, если затрагивают только один ион;

Дефекты могут быть:

- **собственными**,
- **примесными**, если образованы посторонними атомами, молекулами на поверхности или внутри кристалла.

# Точечными дефектами являются вакансии и межузельные ионы или атомы

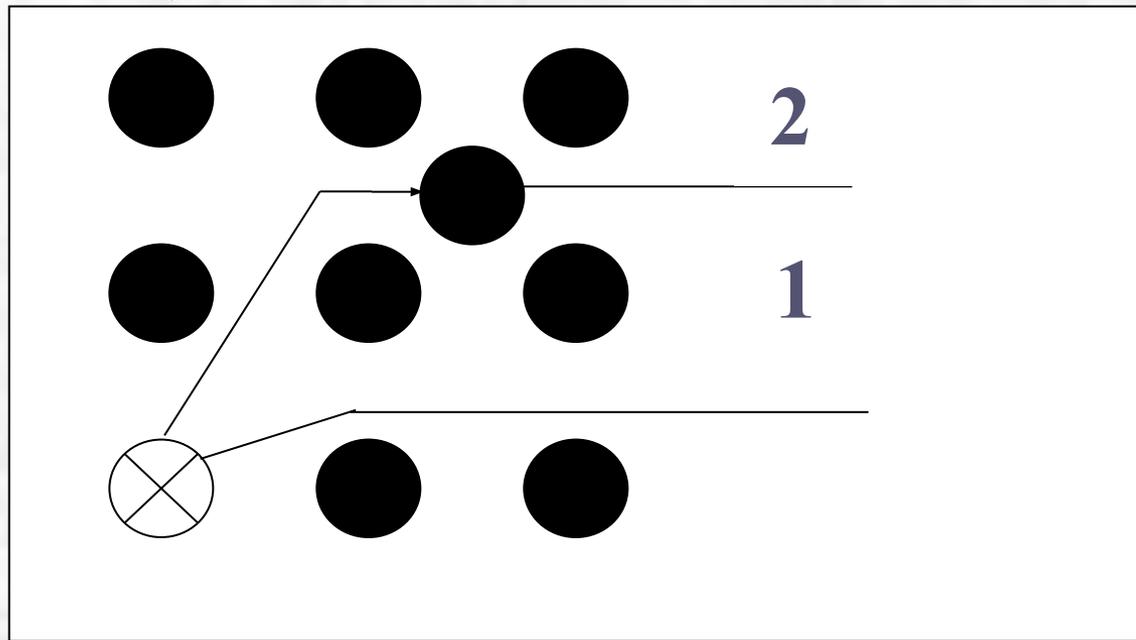


Рис. 12. Точечные дефекты в решетке кристалла галогенида  
серебра:

1 – вакансия; 2 – межузельный атом.

## Протяженные дефекты

Протяженными дефектами являются **дислокации (смещение, сдвиг)**. Дислокации образованы из-за частичного сдвига одного ряда атомов или ионов относительно соседнего.

**Линейные** – это одномерные нарушения кристаллической решетки.

**Плоские** – простираются в двух измерениях на расстояния, соизмеримые с размерами кристалла, а в третьем составляют несколько параметров решетки.

**Объемные (трехмерные) дефекты** – это пустоты, поры и включения.

## Дефекты кристаллической решетки – центры светочувствительности

Основное назначение дефектов кристаллической решетки – удерживать частицы, попадающие в них и потерявшие часть энергии. Чем больше энергии теряется, тем более устойчивое положение приобретает частица в этом месте. Дефекты кристаллической решетки галогенидов являются энергетическими ловушками (потенциальными ямами) для электронов. Они имеют неодинаковую «глубину». Менее глубокие - вакансии, межузельные атомы. Более глубокие - дислокации и примесные атомы. Они являются **центрами светочувствительности (ЦС)**.

## Потенциальные ямы разной глубины

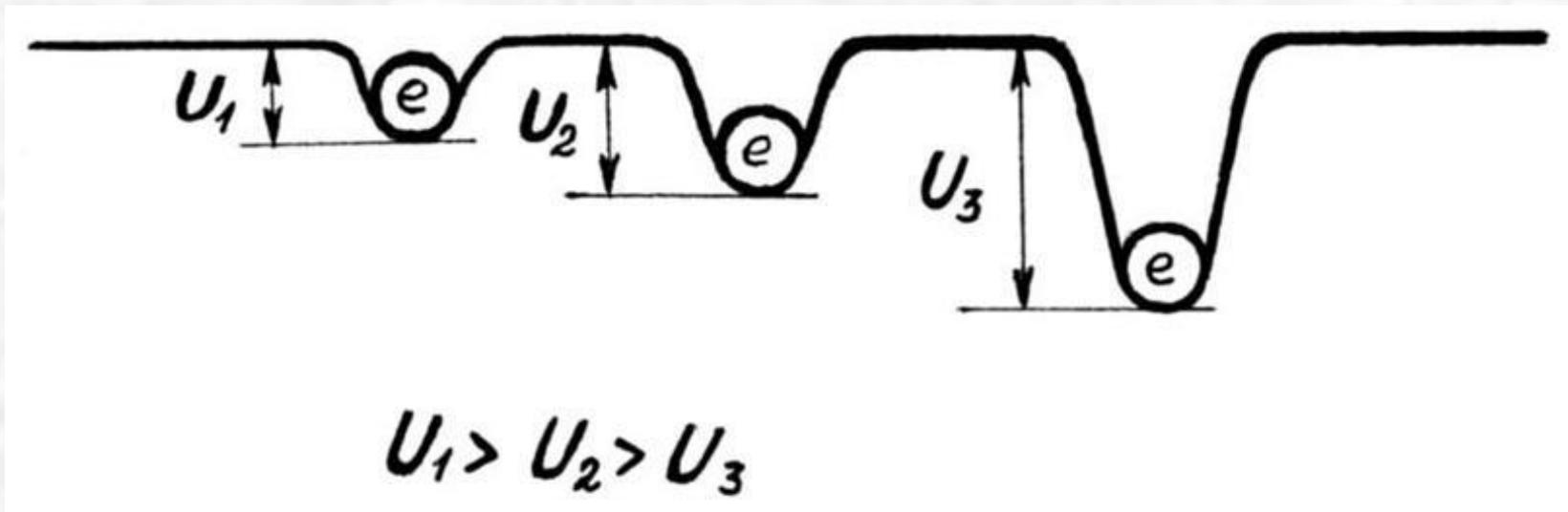


Рис. 13. Заряженные частицы в потенциальных ямах различной глубины

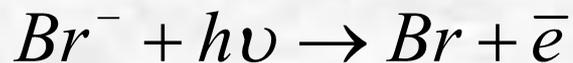
# Образование скрытого изображения

Механизм образования скрытого (невидимого) изображения предложен английскими учеными Р. Герни и Н. Мотт в 1938 г.

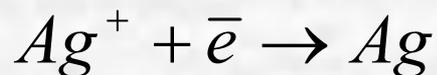
Под действием энергии света происходит разложение светочувствительного вещества - микрокристалла галогенида серебра с образованием металлического серебра. Фотохимическая реакция протекает в две последовательные стадии: электронную и ионную.

# Образование скрытого изображения

1. Электронная стадия:



2. Ионная стадия:



Суммарная фотохимическая реакция:

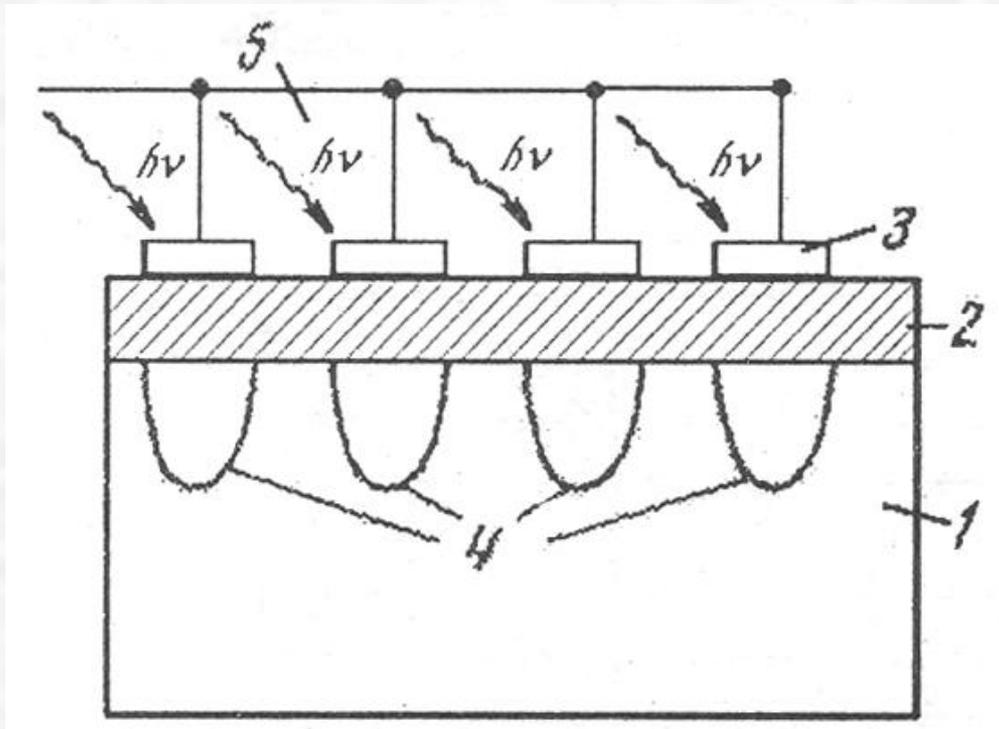


## Образование скрытого изображения

Если в центре скрытого изображения (ЦСИ) образовались:

- 1) несколько атомов серебра, то изображение не получится (данная группировка будет нестабильна и подвергнется распаду);
- 2) около 10 атомов серебра, то получится довольно **стабильный субцентр скрытого изображения**;
- 3) около 20 атомов серебра, то получится частица, достигшая критических размеров и способная к восстановлению экспонированного микрокристалла в проявляющем растворе – так называемый **центр проявления**.

## Преобразование падающего на светочувствительное устройство светового потока в электрический сигнал



- 1 – полупроводниковый материал р-типа, например Si;
- 2 – слой диэлектрика SiO<sub>2</sub>;
- 3 – прозрачные металлические электроды (площадью 5×5 мкм);
- 4 – потенциальные ямы;
- 5 – приложенное напряжение.

Рис. 14. Светочувствительное устройство ПЗС-матрица.

Преобразование падающего на светочувствительное устройство светового потока в электрический сигнал

К светочувствительному элементу ПЗС прикладывается напряжение, под действием которого в слое кремния под электродом образуется область пространства с пониженной энергией – потенциальная яма, в которой скапливаются выбиваемые из светочувствительного оксидного слоя под действием света электроны.

Скорость, с которой электроны попадают в потенциальную яму, зависит от интенсивности света.

Элемент ПЗС ведет себя при этом как конденсатор, который в зависимости от количества падающего на него света заряжается в большей или меньшей степени.



## Учебный вопрос № 4.

### Основные законы фотохимии

**Первый закон** связывает фотохимические превращения в веществе с поглощением света и характеризует качественную сторону фотохимических процессов (1818 г. сформулирован русским ученым Ф. И. Гротгусом).

**Химические превращения в веществе могут вызывать только те лучи, которые этим веществом поглощаются. Галогениды серебра поглощают не все лучи видимой зоны спектра (обладают ограниченной цветочувствительностью).**

Их природная чувствительность ограничивается лишь ультрафиолетовыми, фиолетовыми и сине-голубыми лучами.

**Второй закон** дает количественную оценку фотохимическим превращениям в веществе (1855 г., Р. В. Бунзен и Н. Е. Роско).

**Величина фотохимического эффекта в светочувствительном веществе определяется количеством освещения — экспозицией, т. е. произведением интенсивности света на время его воздействия:**

$$H = E_1 \cdot t_1 = E_2 \cdot t_2 = E_3 \cdot t_3 = E \cdot t = \text{const}$$

Этот закон называют законом взаимозаместимости для освещенности и времени.

**Третий закон** устанавливает связь между поглощением света веществом и фотохимической реакцией и носит название закона квантовой эквивалентности. Он был сформулирован А. Эйнштейном в 1912 г. на основе квантовой теории света в виде закона о фотохимическом эквиваленте.

**В фотохимическом превращении каждый поглощенный веществом квант излучения делает способной к реакции одну отдельную молекулу этого вещества.**



## Список использованной литературы:

1. Фомин А.В. Общий курс фотографии. – М., 1987.
2. Тамицкий Э. Д., Горбатов В. А. Учебная книга по фотографии. – М., 1977.
3. Ищенко Е.П., Ищенко П.П., Зотчев В.А. Криминалистическая фотография и видеозапись. – М., 1999.
4. Булгаков В.Г., Колотушкин С.М. Компьютерные технологии в криминалистической фотографии: Учебное пособие. – Волгоград: ВЮИ МВД России, 2000.
5. Душеин С.В., Егоров А.Г., Зайцев В.В. и др. Криминалистическая фотография: Учебник. – Саратов: СЮИ МВД России, 2003.
6. Надеждин Н.Я. Цифровая фотография. Практическое руководство. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
7. Зотчев В.А., Булгаков В.Г., Сафонов А.А. Криминалистическая фотография. Часть 1. Курс лекций. – Волгоград: ВА МВД России, 2004.
8. Зотчев В.А., Булгаков В.Г., Курин А.А. Судебная фотография и видеозапись: Учебник. – Волгоград: ВА МВД России, 2005.
9. Татарников О. Матрицы для цифровых фотоаппаратов // Компьютер-Пресс, № 1. 2007.
10. [http ://www.ZOOM Cnews.ru.htm](http://www.ZOOM Cnews.ru.htm).