

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Система фотометрических величин и единиц обеспечивает возможность числовой характеристики параметров излучения в оптическом диапазоне. Эта система охватывает величины и единицы, выработанные применительно к видимому излучению и получившие название световых (обозначаются индексом v), а также величины и единицы, выработанные для энергетических измерений как в видимой, так и в невидимой части излучения оптического диапазона, называемые энергетическими (обозначается индексом e).

В качестве основной единицы, к которой привязывают единицы измерений и энергетических и световых величин, является единица мощности ватт (Вт).

Энергетические и световые величины измеряются в различных единицах. Между ними установлена связь, позволяющая проводить соответствующие пересчёты.

Энергетические величины.

Поток излучения Φ_e - средняя мощность, переносимая оптическим излучением за время, значительно большее периода электромагнитных колебаний.

Спектральный состав излучения характеризуется спектральным распределением потока излучения – функцией, описывающей зависимость монохроматического излучения $\Phi_e(l)$ от длины волны.

Произведение $\Phi_e(l) dl$ определяет мощность, переносимую потоком в интервале длин волн $d\lambda$.

**Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.**

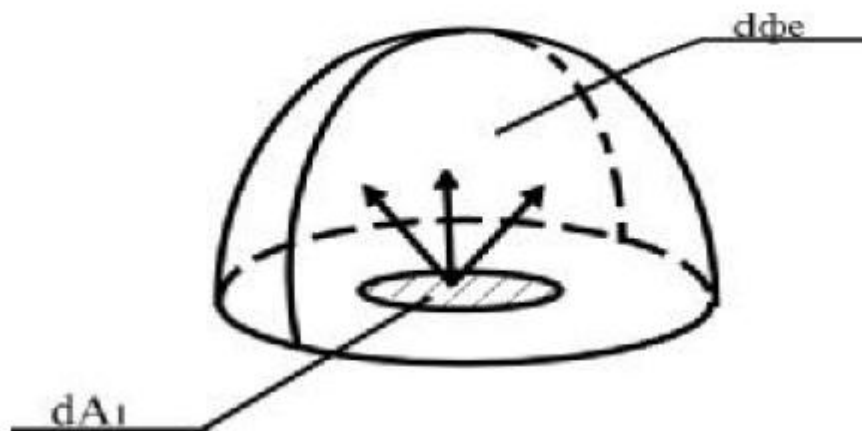
$$\Phi_e = \int_0^{\infty} \Phi_e(\lambda) d\lambda \quad [\text{Вт}] \quad (1)$$

Энергия излучения Q_e – энергия, переносимая излучением

$$Q_e = \int_0^t \Phi_e(t) dt \quad [\text{Дж}] \quad (2)$$

Энергетическая светимость M_e - отношение потока излучения, испускаемого малым элементом поверхности в полусферу к площади этого элемента dA_1 .

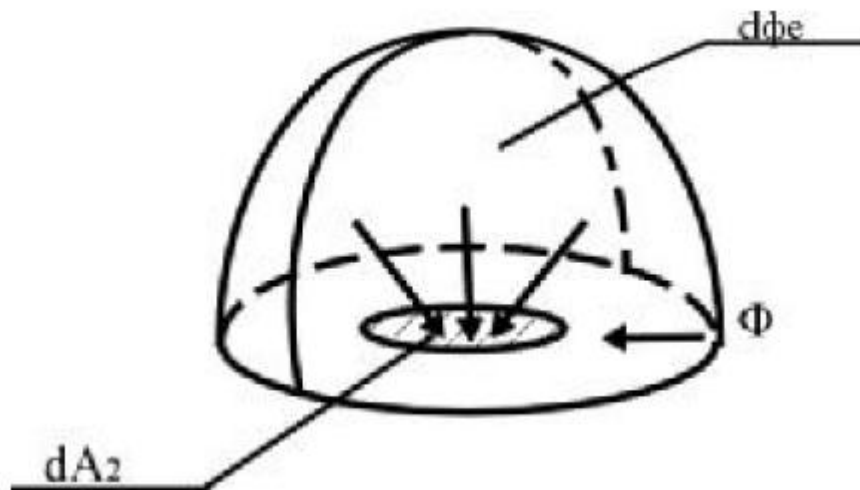
Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.



$$M_e = \frac{d\Phi_e}{dA_1} \quad \left[\frac{Вт}{м^2} \right] \quad (3)$$

Энергетическая освещенность (облученность) E_e – отношение потока излучения $d\Phi_e$, падающего на малый элемент поверхности, к площади этого элемента dA_2 .

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.



$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA_2} \quad \left[\frac{Bm}{m^2} \right] \quad (4)$$

Сила излучения I_e - отношение потока излучения $d\Phi_e$, распространяющегося от источника в определённом направлении внутри малого телесного угла, к этому телесному углу $d\Omega_1$.

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega_1} \quad \left[\frac{Bm}{sr} \right] \quad (5)$$

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Понятие силы излучения относится к точечному источнику излучения (размеры которого малы по сравнению с расстоянием, на котором рассматривается его действие).

Телесный угол представляет собой часть пространства, ограниченного конической поверхностью произвольной формы с вершиной в точке расположения источника излучения. Единицей измерений телесного угла являетсястерадиан (ср.), представляющий собой телесный угол, вершина которого расположена в центре сферы радиусом 1 м и который вырезает на поверхности сферы площадь в один квадратный метр.

Для малых телесных углов:

$$d\Omega = \frac{dA}{l^2} \cos \alpha \quad (6)$$

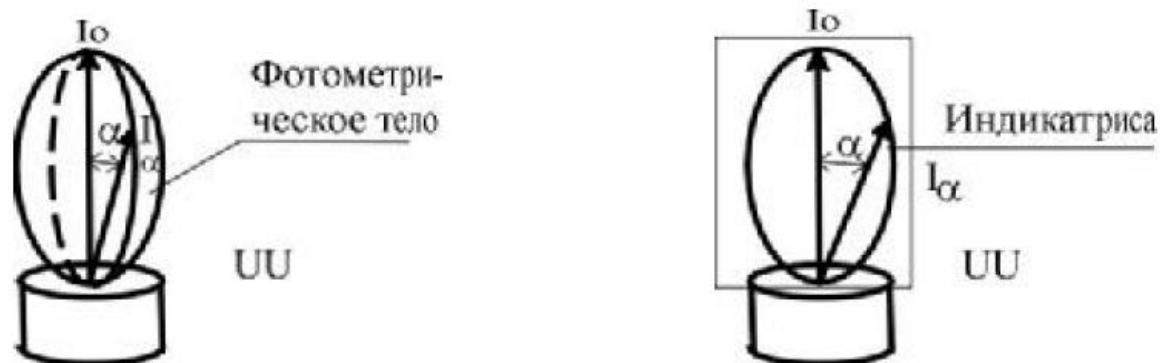
Для любых телесных углов:

$$\Omega = 2\pi (1 - \cos \varphi) \quad (7)$$

Если из точки, в которой расположен источник излучения в различных направлениях откладывать значения силы излучения, то поверхность, на которой лежат концы векторов \vec{I} называют фотометрическим телом излучателя.

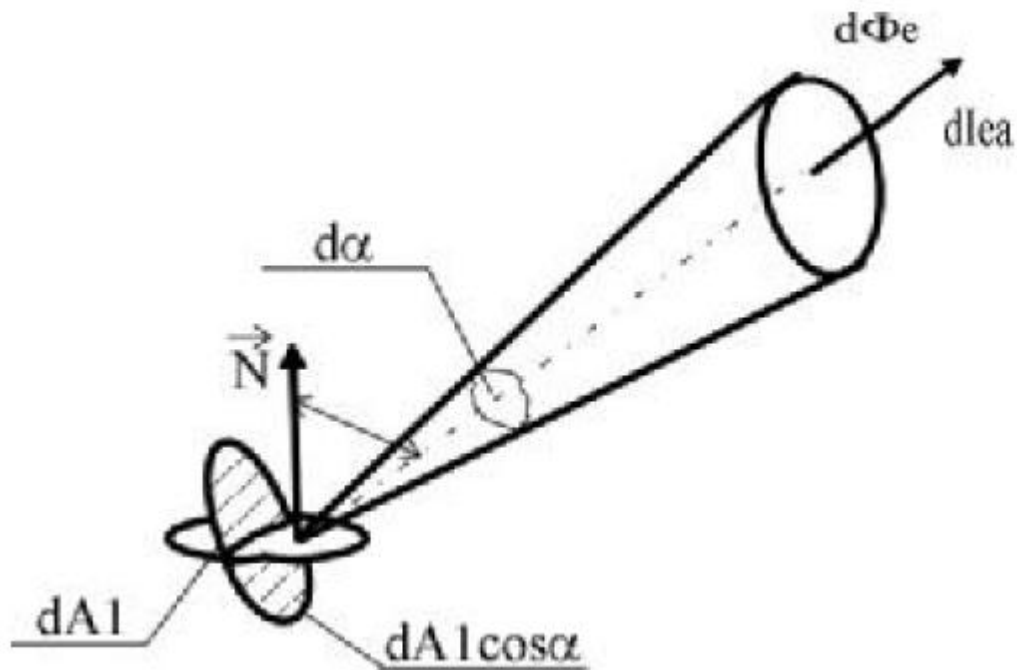
В произвольной плоскости, проходящей через центр источника излучения, распределение величины \vec{I} характеризуется индикатрисой излучения.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.



Энергетическая яркость L_e излучающей поверхности dA_1 в данном направлении α - отношение измеренной в этом направлении энергетической силы света к видимой площади излучающей поверхности.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.



$$L_{e\alpha} = \frac{dI_{e\alpha}}{dA_1 \cos \alpha} \quad \frac{Вт}{ср \cdot м^2} \quad (8)$$

$$L_{e\alpha} = \frac{d^2\Phi_{e\alpha}}{dA_1 d\Omega \cos \alpha} \quad (9)$$

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Энергетическая яркость описывает распределения потока излучения по телесному углу и по излучающей поверхности.

Световые величины.

При оценке мощности излучения по производимому им световому ощущению, т.е. по реакции человеческого зрения на воздействие потока излучения, пользуются световым потоком и соответствующими световыми величинами. Определение световых величин аналогичны определениям соответствующих энергетических величин.

Переход от энергетических величин к световым.

Человеческий глаз неодинаково чувствителен к излучению различных длин волн. Если для некоторого излучателя измерить поток излучения в бесконечно малом диапазоне длин волн $\lambda \dots \lambda + \Delta\lambda$ и световой поток в том же диапазоне, то отношение значения светового потока $\Phi_{v\lambda}$ к значению потока излучения $\Phi_{e\lambda}$ будет характеризовать световую эффективность.

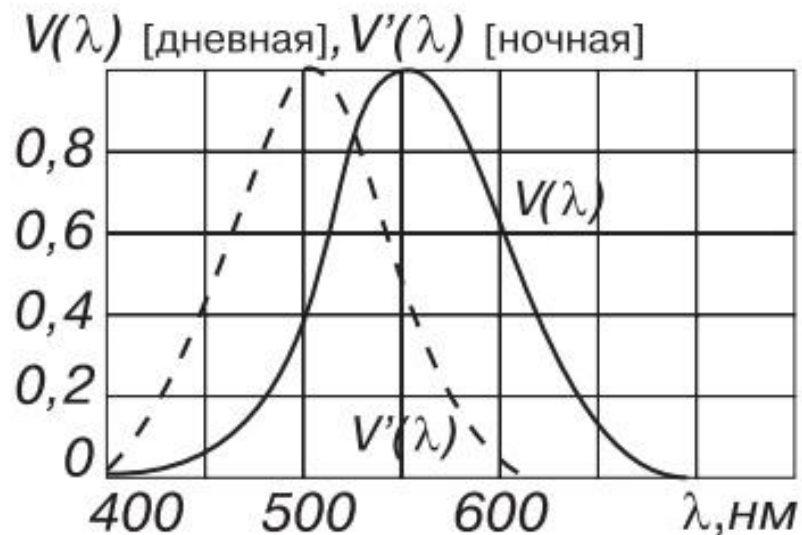
$$K(\lambda) = \frac{\Phi_{v\lambda}}{\Phi_{e\lambda}} \quad \left[\frac{\text{лм}}{\text{Вт}} \right] \quad (10)$$

Отношение K_λ для какой либо длины волны излучения к максимальному значению $K_{\lambda m}$ называется относительной спектральной световой эффективностью (для поля зрения 4°).

**Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.**

$$\overset{\circ}{V}(\lambda) = \frac{K_{\lambda}}{K_{\lambda_m}} \quad (11)$$

Кривая относительной спектральной чувствительности глаза ($\lambda_m = 0,555\text{мкм}$)



$$\Phi_v = \int_{0,38}^{0,76} K(\lambda) \Phi_e(\lambda) d\lambda = 683 \int_{0,38}^{0,76} \overset{\circ}{V}(\lambda) \Phi_e(\lambda) d\lambda \quad [\text{лм}] \quad (12)$$

**Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.**

Световой поток	$\Phi_v = 683 \int_{0,38}^{0,76} V(\lambda) \Phi_e(\lambda) d\lambda$	Лм. (люмен)
Световая энергия	$Q_v = \int_0^t \Phi_v(t) dt$	Лм. · с
Сила света	$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}$	Кд. (канделла)
Светимость	$M_v = \frac{d\Phi_v}{dA_1}$	$\frac{\text{лм}}{\text{м}^2}$
Освещённость	$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA_2}$	Лк. (люкс)
Яркость	$L_{v\alpha} = \frac{dI_{v\alpha}}{dA_1 \cos \alpha}$	$\frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

За единицу светового потока принята независимая величина – люмен, равная 1/683 Вт на длине волны 0,555 мкм.

За единицу силы света принята канделла. Единица силы света менялась неоднократно, что было обусловлено необходимостью использования для единых фотометрических эталонов наиболее стабильных и воспроизводимых источников излучения. Вначале единица силы света воспроизводилась парафиновыми свечами, затем пламенными излучателями, потом металлическими поверхностями, нагреваемыми до температуры плавления платины и, наконец, электрическими лампами накаливания. Каждый последующий излучатель обеспечивал более надёжную воспроизводимость по сравнению с предшествующими.

Решением XVI Генеральной конференции мер и весов (1979 г) за единицу силы света принята канделла, представляющая собой силу света в данном направлении от источника, испускающего монохроматическое излучение с длиной волны 0,555 мкм сила излучения которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср.

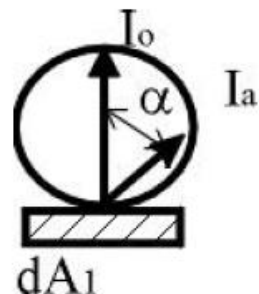
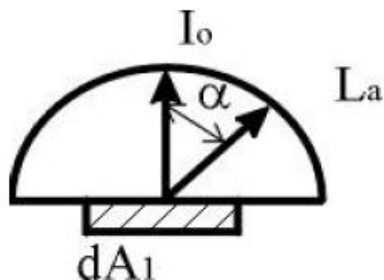
С учётом данного определения, а также того, что $1 \text{ лм} = 1/683 \text{ Вт}$ при $\lambda=0,555 \text{ мкм}$, единица силы света определяется как сила света точечного равномерного источника, световой поток от которого в пределах телесного угла ср равен 1 лм.

$$1 \text{ кд} = \frac{1 \text{ лм}}{1 \text{ ср}}$$

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.

Закон Ламберта.

Для плоских источников с яркостью, одинаковой во всех направлениях, справедлив закон Ламберта, согласно которому сила излучения пропорциональна косинусу угла α



$$L_\alpha = L_0 = \text{const}$$

$$L_\alpha = \frac{I_\alpha}{dA_1 \cos \alpha}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$I_\alpha = L_\alpha dA_1 \cos \alpha$$

$$I_0 = L_0 dA_1$$

$$I_\alpha = I_0 \cos \alpha$$

(5)

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Фотометрические характеристики сред и поверхностей.

Отражение, поглощение и пропускание энергии излучения.

С потоком излучения Φ_e , распространяющимся в любой среде могут происходить следующие количественные изменения:

1. Рассеяние части потока в результате отражения от частиц, имеющих показатель преломления отличающийся от показателя преломления среды.
2. Поглощение части потока излучения средой с преобразованием в другие виды энергии (тепло, генерация носителей тока, эмиссия электронов и ионов).
3. Пропускание части потока через среду.
4. Поглощение части потока излучения средой с преобразованием в излучение другого спектрального состава (люминесценция).
5. Изменение спектрального состава излучения, что является следствием селективного поглощения энергии излучения средой.

Кроме того может иметь место изменение поляризации отраженного и пропущенного потоков, изменение направления распространения.

В отсутствии рассеяния излучения средой (оптически однородная среда) между падающим на среду потоком Φ_0 , отраженным от поверхности $\Phi_{отр}$, поглощенным в среде потоком $\Phi_{погл}$ и прошедшем потоком через среду $\Phi_{пр}$ сохраняется баланс:

$$\Phi_0 = \Phi_{отр} + \Phi_{погл} + \Phi_{пр}.$$

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Уравнение баланса можно записать следующим образом:

$$1 = \Phi_{отр} / \Phi_0 + \Phi_{погл} / \Phi_0 + \Phi_{пр} / \Phi_0 = \rho + \alpha + \tau, \quad (1)$$

где ρ , α , τ , характеризующие относительные доли отраженного, поглощенного и прошедшего потоков излучения, называются соответственно **коэффициентами отражения, поглощения и пропускания**.

Проходящий через поглощающую среду поток излучения уменьшается по величине по экспоненциальному закону:

$$\Phi_{пр} = (\Phi_0 - \Phi_{отр}) \exp(-\kappa l), \quad (2)$$

где κ - **показатель поглощения**, характеризующий величину поглощения средой толщиной l и имеющий размерность $[m^{-1}]$, $(\Phi_0 - \Phi_{отр})$ - доля потока излучения, вошедшего в среду. Выражение (2) с учетом (1) можно записать в виде:

$$\tau = (1 - \rho) \exp(-\kappa l). \quad (3)$$

В том случае, когда на границе раздела двух сред не происходит отражения излучения (это имеет место при нормальном падении луча на оптически однородную среду), коэффициент отражения равен нулю. Для этого случая выражение (3) имеет вид:

$$\tau = \exp(-\kappa l).$$

Произведение (κl) называется **оптической плотностью D** (величина безразмерная). Оптическая плотность прямо связана с коэффициентом пропускания соотношением:

$$D = \kappa l = \ln(1/\tau).$$

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Отражение, пропускание излучения при падении на поверхность зависит от типа среды (оптически однородная, неоднородная) материала, состояния ее поверхности. Поток излучения может отражаться зеркально, диффузно, направленно-диффузно. Проходящий через оптически неоднородную среду параллельный пучок света может рассеиваться. Прохождение излучения через среду в любом случае описывается экспоненциальной функцией вида:

$$\tau = \exp(-\mu l),$$

где μ есть **показатель рассеяния**, имеющий размерность $[\text{м}^{-1}]$.

В том случае, когда излучение проходит через оптически неоднородную и поглощающую среду, прохождение излучения описывается законом:

$$\tau = \exp(-(\mu + \kappa)l),$$

где $(\mu + \kappa)$ есть **показатель ослабления**.

Отражение, поглощение, пропускание и ослабление проходящего через среду излучения как правило является различным в различных спектральных диапазонах измерений. Поэтому обычно указывается длина волны монохроматического излучения, при которой было проведено измерение. Соответственно коэффициенты отражения, поглощения, пропускания и показатели поглощения, ослабления, измеренные с использованием монохроматического излучения с длиной волны λ , называются **спектральными коэффициентами отражения** ρ_λ , **поглощения** α_λ , **пропускания** τ_λ и **показателями поглощения** κ_λ $[\text{м}^{-1}]$, **ослабления** $(\mu + \kappa)_\lambda$ $[\text{м}^{-1}]$.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.

Измерение основных фотометрических величин.

Зависимости спектральных коэффициентов (показателей) от длины волны (энергии кванта или частоты) называются **спектрами отражения** $\rho(\lambda)$, **поглощения** α_λ , $\kappa(\lambda)$, $D(\lambda)$, **пропускания** $\tau(\lambda)$, **ослабления** $(\mu + \kappa)(\lambda)$.

Коэффициент пропускания n последовательно расположенных сред τ_p равен произведению коэффициентов пропускания $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ каждой из них:

$$\tau_p = \tau_1 \tau_2 \dots \tau_n .$$

Оптическая плотность n последовательно расположенных сред D_p равна сумме оптических плотностей D_1, D_2, \dots, D_n каждой из них с толщинами l_1, l_2, \dots, l_n :

$$D_p = D_1 + D_2 + \dots + D_n = \kappa_1 l_1 + \kappa_2 l_2 + \dots + \kappa_n l_n .$$

Спектр пропускания n последовательно расположенных сред $\tau_p(\lambda)$ равен произведению спектров пропускания $\tau_1(\lambda), \tau_2(\lambda), \dots, \tau_n(\lambda)$ каждой из них:

$$\tau_p(\lambda) = \tau_1(\lambda) \tau_2(\lambda) \dots \tau_n(\lambda) .$$

Спектр поглощения n последовательно расположенных сред D_p равен сумме спектров поглощения $D_1(\lambda), D_2(\lambda), \dots, D_n(\lambda)$ каждой из них с толщинами

l_1, l_2, \dots, l_n :

$$D_p(\lambda) = D_1(\lambda) + D_2(\lambda) + \dots + D_n(\lambda) = \kappa_1(\lambda) l_1 + \kappa_2(\lambda) l_2 + \dots + \kappa_n(\lambda) l_n .$$

Взаимосвязь между интегральными и спектральными коэффициентами отражения, поглощения и пропускания:

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.

$$\rho = \frac{\int_{\lambda} \rho(\lambda) \Phi(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} \Phi(\lambda) d\lambda}$$

$$\alpha = \frac{\int_{\lambda} \alpha(\lambda) \Phi(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} \Phi(\lambda) d\lambda}$$

$$\tau = \frac{\int_{\lambda} \tau(\lambda) \Phi(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} \Phi(\lambda) d\lambda}$$

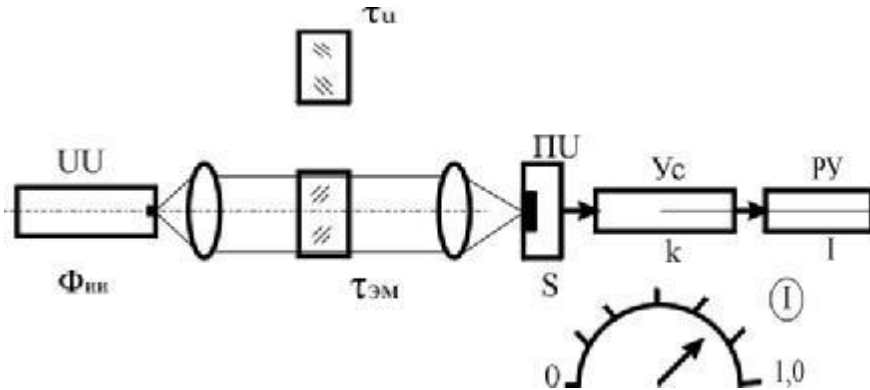
Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.

Измерение основных фотометрических величин.

Принципы построения объективных фотометров.

Приборы с одним оптическим каналом и пропорциональным методом измерения.

В таких приборах излучение источника распространяется по одному определенному оптическому пути. В оптический канал может быть установлен эталонный или исследуемый образец. При этом поток излучателя $\Phi_{ин}$ частично поглощается или рассеиваются и поток, достигающий приемника излучения изменяется. Измеряя поток на приемнике $\Phi_{ни}$ можно получить информацию о коэффициенте пропускания (отражения, рассеивания) образца.



При установке поочередно в оптический канал необходимого числа образцов с различным поглощением, производится градуировка регистрирующего устройства. После градуировки в оптический канал устанавливаются исследуемые образцы и измеряемая величина отсчитывается прямо по показаниям регистрирующего устройства, которые считаются эталонными. Очевидно, что показания регистрирующего устройства будут пропорционален коэффициенту пропускания образца.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

В общем случае:

$$I = \Phi_{\text{ин}} \cdot \tau \cdot S \cdot K = K \cdot \tau,$$

где $K = \Phi_{\text{ин}} S$ - постоянная прибора.

При градуировке: $I_{\text{эм}} = \tau_{\text{эм}} K_{t1}$

При измерении: $I_u = \tau_u K_{t2}$

$$\frac{I_u}{I_{\text{эм}}} = \frac{\tau_u}{\tau_{\text{эм}}} \frac{K_{t1}}{K_{t2}}$$

$$\tau_u = \frac{I_u}{I_{\text{эм}}} \tau_{\text{эм}} \frac{K_{t1}}{K_{t2}}$$

При постоянном во времени значении K измерение может производиться с той же точностью, с какой осуществлялась градуировка и делался отсчет.

Однако, величины $\Phi_{\text{ин}}$, S и K не остаются постоянными. При изменении K , одному и тому же значению τ будут соответствовать различные показания индикатора, что вызывает дополнительные погрешности измерения. Для уменьшения этих погрешностей величины $\Phi_{\text{ин}}$

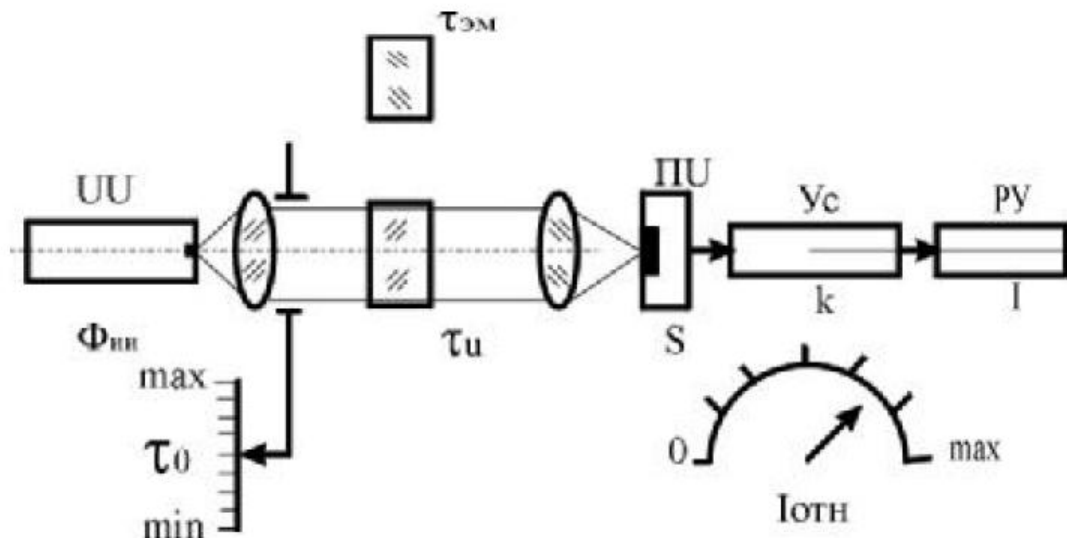
Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.

Измерение основных фотометрических величин.

, S и K по возможности стабилизируют. Но наиболее действенным путем повышения точности измерений является переход к такому построению прибора, при котором погрешности основных элементов меньше сказываются на точности измерений.

Приборы с одним оптическим каналом и регулируемым ослабителем. Компенсационный метод измерения.

В таких приборах в схему вводится ослабитель с переменным коэффициентом пропускания.



При градуировке в оптический канал поочередно вводятся эталонные образцы с различным поглощением. Изменяя пропускание ослабителя, добивается одного и того же

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

показания регистрирующего устройства. Механизм регулировки ослабителя связан с указателем шкалы, по которой производится отсчет $\tau_{эм}$.

После градуировки, в оптический канал вводится исследуемый образец и ослабителем добиваются такого же показания регистрирующего устройства, как и при градуировке. Отсчёт τ_u производится по шкале ослабителя, а электронная часть прибора используется только для чувствительной индикации совпадения (компенсации) потоков на приёмнике при градуировке и измерении. При этом относительная погрешность электронных узлов не столь существенна.

При достаточно высоком коэффициенте усиления абсолютная погрешность индикации может быть достаточно малой, однако коэффициент усиления и чувствительность схемы ограничены диапазоном работы электронного тракта.

Ослабитель и его шкала используется в качестве вторичного эталона, с которым сравнивается исследуемый образец. Ослабитель компенсирует изменение коэффициента пропускания исследуемого образца.

В общем случае:

$$I = \Phi_{ин} \cdot \tau_0 \cdot \tau_{обр} \cdot S \cdot k = K \cdot \tau_0 \cdot \tau_{обр}$$

$$K = \Phi_{ин} \cdot S \cdot k \text{ - постоянная прибора.}$$

**Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.**

При градуировке: $I_{эм} = \tau_{01} \tau_{эм} K_{t1}$

При измерении: $I_u = \tau_{02} \tau_u K_{t2}$

$$I_u = I_{эм}$$

$$\tau_{01} \tau_{эм} K_{t1} = \tau_{02} \tau_u K_{t2} \quad \tau_z = \frac{\tau_{01}}{\tau_{02}} = \tau_{эм} \frac{K_{t1}}{K_{t2}}$$

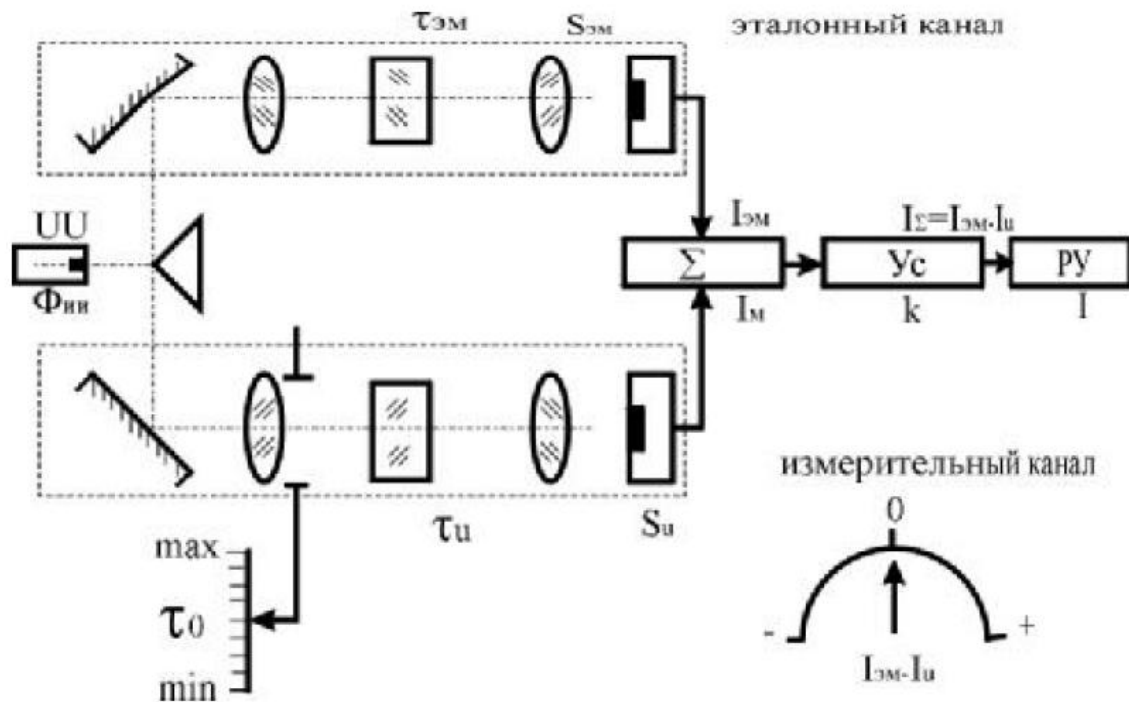
Основным источником погрешности схемы является нестабильность источника излучения.

Приборы с двумя оптическими каналами. Компенсационный метод измерения.

Полностью устранить влияние нестабильности источника излучения при одновременной регистрации лучистого потока, прошедшего через эталон и исследуемый образец. Для этого в прибор вводится второй оптический канал.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.

Измерение основных фотометрических величин.



Поток излучателя распределяется с помощью зеркал или призм поровну по двум каналам: измерительному и эталонному. В эталонном канале устанавливается эталон с постоянным поглощением, равным наибольшему измеряемому поглощению. В измерительном канале кроме исследуемого образца устанавливается ослабитель с переменным коэффициентом пропускания, который компенсирует изменение коэффициента пропускания исследуемого образца.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Приемники излучения в обоих каналах подключены к схеме сравнения, на выходе которых формируется разностный сигнал. При равенстве потоков в каналах сигнал на выходе схемы сравнения равен нулю. Таким образом электронные узлы прибора работают в качестве чувствительного индикатора нуля, чем, как отмечалось, значительно снижается влияние их нестабильности. Коэффициент усиления, а следовательно и чувствительность схемы могут быть очень большими. Влияние нестабильности источника излучения полностью исключается потому что приращение используемых потоков излучателя скажутся в равной степени в обоих каналах, а разность этих приращений при точной балансировке близка к нулю.

До установки исследуемого образца ослабитель находится в положении минимального пропускания и потоки на выходах каналов равны. При помещении исследуемого образца в измерительный канал, поток на его выходе уменьшается. Изменяя пропускание ослабителя, добиваются равенства потоков. При этом пропускание ослабителя увеличивается на величину поглощения в образце, т.е. происходит компенсация его коэффициента пропускания. По шкале ослабителя, которая является вторичным эталоном, определяется τ образца.

$$I_{\text{эт}} = \frac{1}{2} \Phi_{\text{шт}} \tau_{\text{эт}} S_{\text{эт}}$$

Эталонный канал:

**Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.**

Измерительный канал:
$$I_u = \frac{1}{2} \Phi_{\text{ин}} \tau_0 \tau_u S_u$$

$$I_u = I_{\text{эт}}$$

$$I_{\Sigma} = 0$$

$$\tau_0 \tau_u S_u = \tau_{\text{эт}} S_{\text{эт}} \qquad \tau_u = \frac{\tau_{\text{эт}}}{\tau_0} \cdot \frac{S_{\text{эт}}}{S_u}$$

Размещение ослабителя в измерительном (а не в эталонном) канале сделано для того, чтобы при равенстве потоков на выходах каналов режим работы приемников излучения оставался постоянным. Рабочая точка приемника эталонного канала неизменна, а рабочая точка приемника измерительного канала приводится к ней. Поэтому работа производится всегда в одной и той же рабочей точке, что облегчает подбор одинаковых параметров приемников.

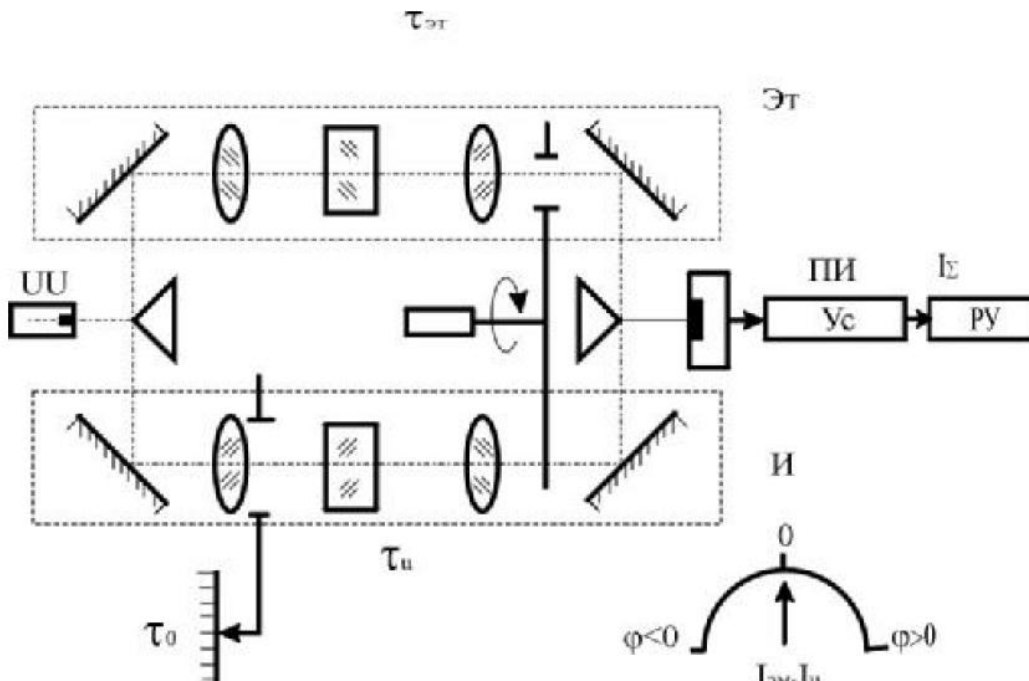
Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Приборы с двумя оптическими каналами и одним приемником излучения. Компенсационный метод измерения.

Использование двух приемников приводит к погрешностям, вызванных не идентичностью их характеристик. Более высокую точность обеспечивает двух канальная схема с одним приемником, на который поочередно поступают потоки из эталонного и измерительного каналов. Для этого используются различные коммутирующие устройства в частности, непрозрачный вращающийся диск с отверстиями. Когда непрозрачный участок диска перекрывает поток измерительного канала, на приемник поступает излучение эталонного канала и наоборот.

В схеме сравнения используется усилитель переменного тока, поэтому при равенстве потоков, сигнал на выходе отсутствует. Если потоки не равны, то ток приемника будет изменяться с частотой переключения каналов. Величина переменного сигнала будет пропорциональна разности потоков, а фаза определяется тем, поток какого канала больше. При переходе от $\Phi_{э\text{т}} < \Phi_{и}$ к $\Phi_{э\text{т}} > \Phi_{и}$, фаза изменится на 180° .

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.



$$\tau_u = \tau_{\text{эт}} \frac{1}{\tau_0}$$

Как и в предыдущем случае, электронная схема используется в качестве чувствительного индикатора нуля, регулируемый ослабитель – вторичного эталона.

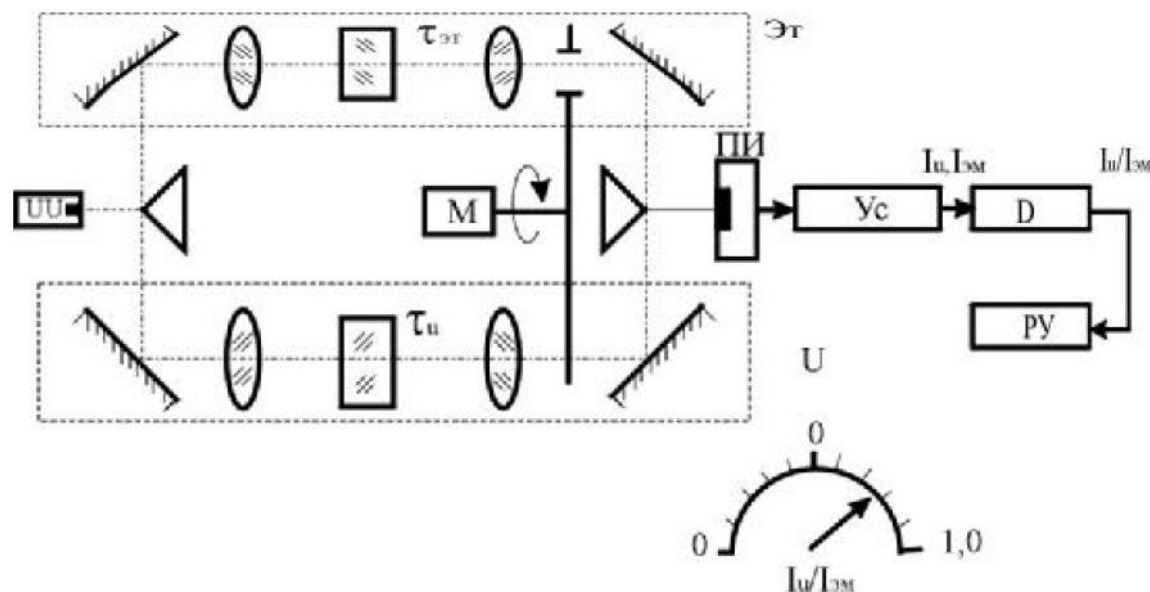
В рассмотренной схеме приняты практически все меры для устранения влияния основных погрешностей, связанных с нестабильностью излучателя, и приемника излучения.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Приборы с двумя оптическими каналами. Пропорциональный метод измерения.

Компенсационные методы обеспечивают минимальную погрешность измерению, однако, необходимость регулируемого ослабителя (компенсатора) увеличивает время измерения и усложняет схему прибора.

Для более простых случаев используют приборы с двумя оптическими каналами и одним приёмником излучения, но с применением пропорционального метода измерений. Из схемы исключается регулируемый ослабитель, а к выходу усилителя подключается делитель, формирующий сигнал, пропорциональный отношению пропускания измерительного и эталонного каналов.



**Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.**

В общем случае: $I = \Phi_{ин} \tau \cdot s \cdot k = \kappa \tau$

Для эталонного канала: $I_{э\text{т}} = \tau_{э\text{т}} \kappa$

Для измерительного канала: $I_u = \tau_u \kappa$

$$\frac{I_u}{I_{э\text{т}}} = \frac{\tau_u}{\tau_{э\text{т}}} \quad \tau_u = \tau_{э\text{т}} \frac{I_u}{I_{э\text{т}}}$$

Т.к измерение в обоих каналах происходит практически в одно и тоже время, нестабильность элементов схемы не сказывается на результат измерения. Основными источниками погрешностей являются неинформативные изменения пропускания эталонного и измерительного каналов, а также погрешность делителя.

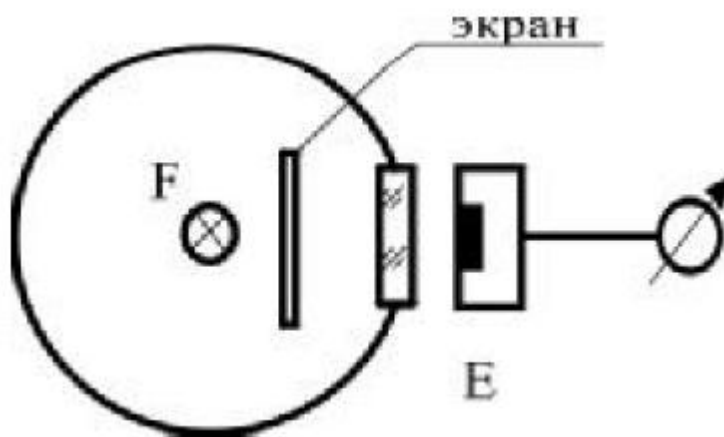
На практике используются все рассмотренные схемы в зависимости от требуемой точности и возможной сложности.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Измерение основных фотометрических величин.

Измерение потока излучения.

Измерение потока излучения выполняется на шаровом фотометре методом замещения, испытуемая и эталонная лампа размещаются последовательно в центре фотометрического шара. Выходное окно фотометрического шара закрыто молочным стеклом, за которым располагается приёмник излучения. От прямого попадания лучей выходное окно закрыто экраном окрашенным также, как и внутренние стенки шара. Освещённость выходного окна будет пропорциональна потоку излучения источника.



$E = k\Phi$, где k – коэффициент пропорциональности, постоянный для данного шара.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.

$$k = \frac{\rho}{4\pi R^2(1-\rho)}$$

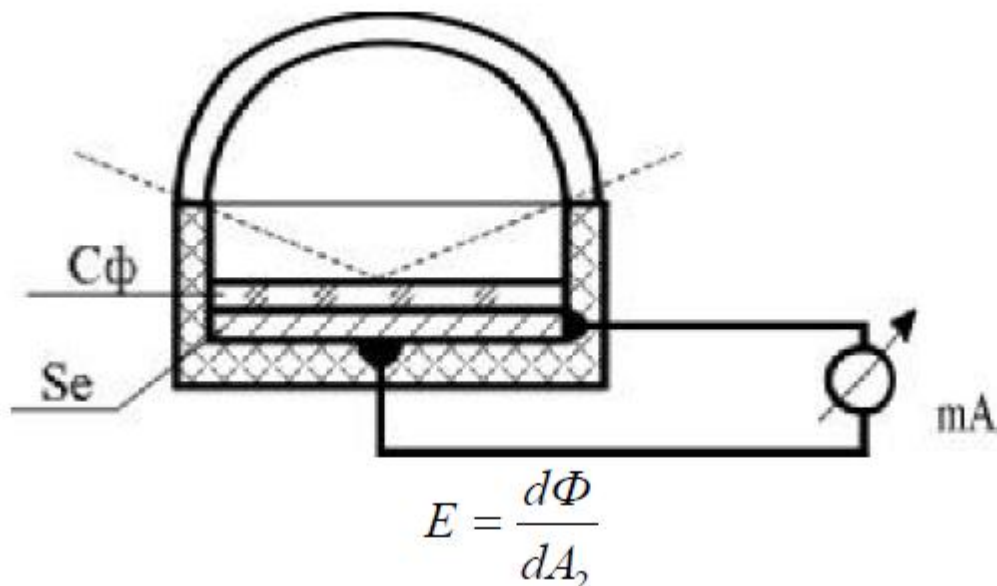
$$E_{эм} = k\Phi_{эм} \qquad \Phi_u = \frac{E_u}{E_{эм}}\Phi_{эм}$$

$$E_u = k\Phi_u$$

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Измерение освещённости.

Для измерения освещённости служит люксметр.



Градировка прибора производится с помощью эталонной лампы накаливания с цветовой температурой 2850 К, излучение которой должно падать на фотоэлемент по нормали к поверхности.

Спектральная чувствительность фотоэлемента отличается от спектральной чувствительности глаза, в связи с этим люксметр, отградуированный по эталонной лампе

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.

Измерение основных фотометрических величин.

будет давать другие показания при измерении освещённости, создаваемой источниками иного спектрального состава.

Для коррекции люксметра вводят поправочный коэффициент относительной актиничности.

Для уменьшения косинусной погрешности (при падении косых лучей на поверхность фотоэлемента) применяется насадка в виде полусферы из белой светорассеивающей пластмассы и непрозрачного пластмассового кольца.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.

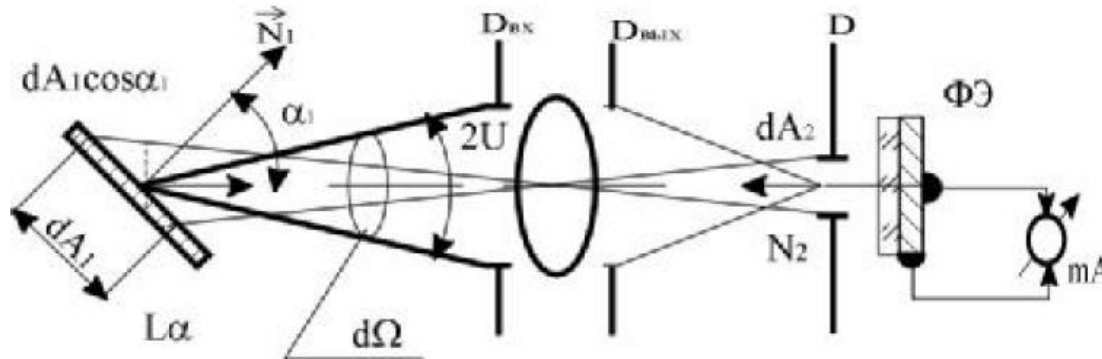
Измерение основных фотометрических величин.

Измерение яркости.

Измерение яркости основано на использовании прямой пропорциональности между яркостью пучка лучей и световым потоком, который переносится через два определённых участка поверхности (диафрагмы) площадью dA_1 и dA_2 .

Одной из главных частей яркомера является объектив, изображающий участок светящейся поверхности на светочувствительной поверхности фотоэлемента. Пучок, исходящий из центра поверхности в пределах апертурного угла, ограничивается оправой объектива и специальной диафрагмой перед фотоэлементом. Эти элементы формируют постоянную совокупность пучка лучей, переносящих световой поток от светящейся поверхности к фотоэлементу.

Фотоэлемент присоединён к электроизмерительному прибору, показания которого будут пропорциональны падающему световому потоку.



Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.

$$L_{\alpha} = \frac{d^2\Phi}{dA_1 d\Omega \cos \alpha_1}$$

Градуировка яркомера производится по эталону яркости, т.е. определяется отсчёт, соответствующий известной яркости.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.

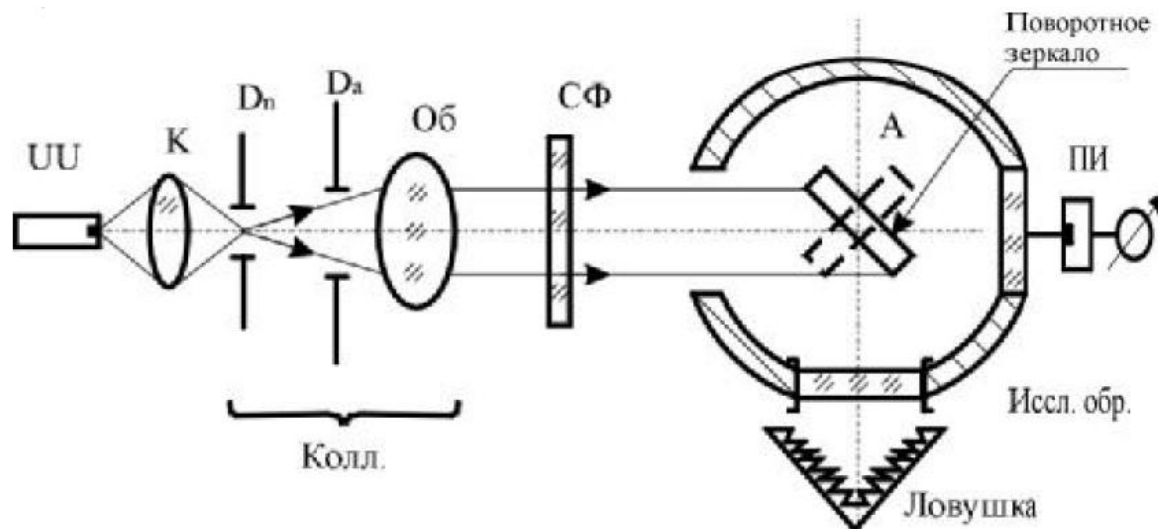
Измерение основных фотометрических величин.

Измерение коэффициентов отражения, пропускания, поглощения, рассеяния.

Фотометр сравнения.

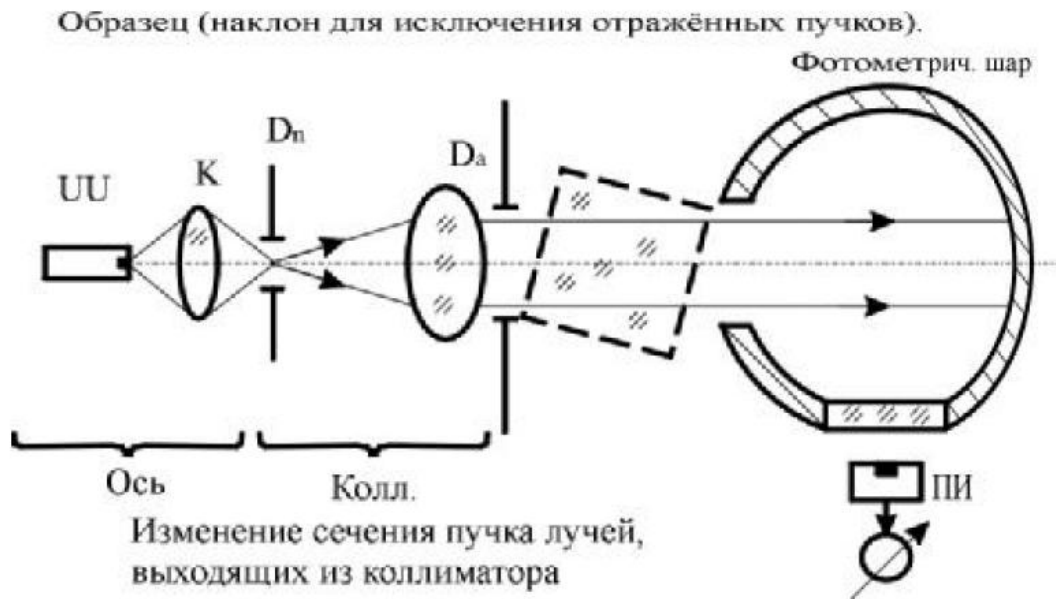
Служит для измерения коэффициентов пропускания и отражения прозрачных и диффузно рассеивающих материалов в видимой и ближней ИК области спектра.

Принцип действия основан на сравнении потоков излучения от одного и того же излучателя, падающих на внутреннюю стенку фотометрического шара и на образец.



С помощью поворотного зеркала поток излучения направляется поочередно либо на исследуемый объект, либо в зону А (при калибровке). Спектральный диапазон измерения определяется светофильтрами которые вводятся в пучок лучей направляемых на объект.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.



Коэффициент светопоглощения определяют методом основанным на измерении ослабления потока излучения при прохождении через образец. Метод заключается в определении коэффициента пропускания τ как отношение потока прошедшего через образец к падающему на него потоку. Измерение потока производится на шаровом фотометре.

В основу работы положен принцип уравнивания двух световых потоков за счёт диафрагмирования одного из них изменяемой апертурной диафрагмой, т.е. прибор построен по двухканальной схеме с регулируемым ослабителем.

Для измерения спектральных характеристик в приборе имеется набор сменных светофильтров.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Измерение коэффициента светорассеяния оптических систем.

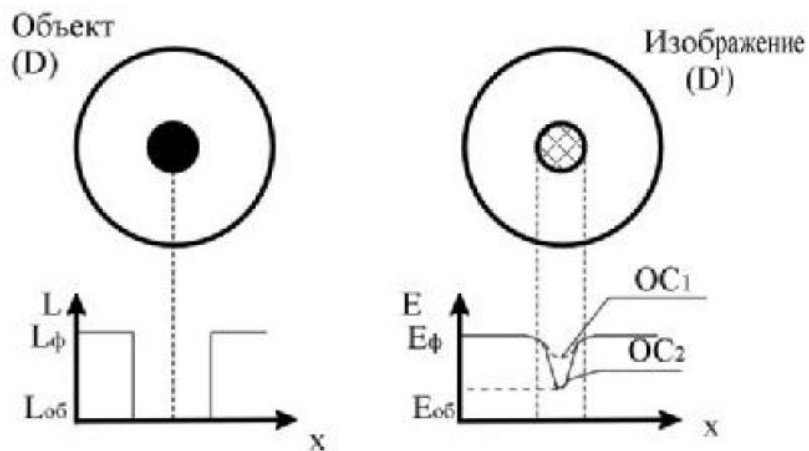
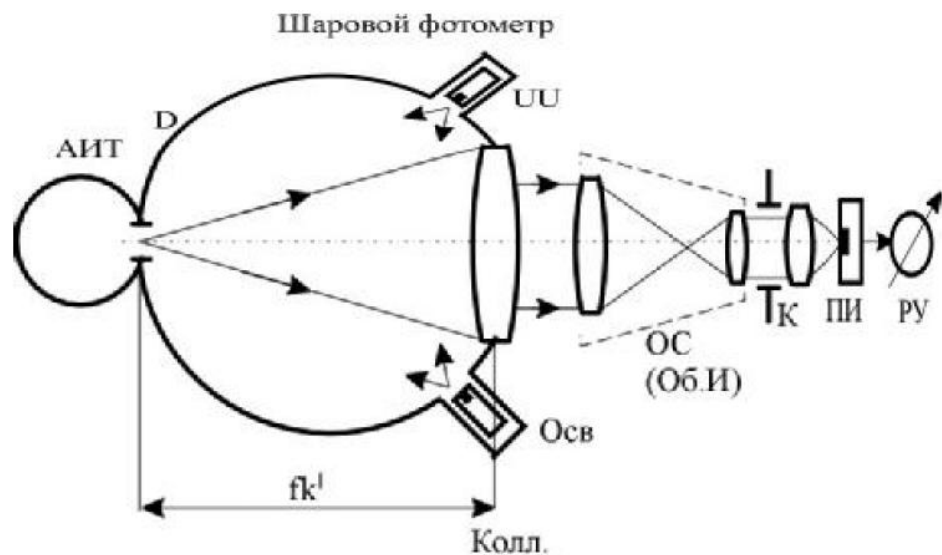
Качество изображения создаваемое оптической системой, тем совершеннее, чем точнее сохранен в нем контраст между отдельными точками изображаемого предмета. В реальных оптических системах контраст изображения уменьшается из-за дифракционных явлений, наличия аберрации и попадания на изображение постороннего света, являющегося частью всего прошедшего через оптическую систему светового потока, но не участвующего в построении изображения.

Источниками постороннего света в оптической системе являются сами оптические поверхности благодаря частичному отражению на них света, выколки, царапины, пузыри, свилю, плохо покрашенные грани линз, боковые грани призм, внутренние поверхности механических оправ из-за отражения ими лучей или за счет собственного теплового излучения, что особенно заметно при работе в ИК диапазоне. Свойство оптической системы создавать постороннюю засветку плоскости основного изображения называется светорассеянием и характеризуется величиной коэффициента светорассеяния, строго нормируемого для большинства оптических приборов.

Коэффициентом светорассеяния оптической системы называется отношение освещенности E , создаваемого системой изображения абсолютно черного несамоосвещающегося предмета, расположенного на равномерно ярком фоне, обеспечивающем равномерную в пределах полусферы засветку входного отверстия прибора, к освещенности E_{ϕ} изображения фона.

$$R = \frac{E}{E_{\phi}}$$

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.



Измерение коэффициента светорассеяния.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Если бы оптическая система не имела светорассеяния, в изображение предмета не попал бы не один луч света и это изображение действительно было бы черным. В действительности, из-за светорассеяния, в изображении предмета попадает часть светового потока, которая измеряется приемником излучения. Круговая засветка входного отверстия создается внутренней поверхностью полого шара через отверстие в его стенке. На оптической оси исследуемой оптической системы в противоположной стенке шара находится отверстие, диаметр которого изменяется сменными диафрагмами. Позади отверстия расположена светоловушка, выполненная в форме шара, окрашенного внутри черной глубокоматовой эмалью. Отверстие совместно со светоловушкой имитирует черный предмет.

При исследовании оптической системы в отверстие шара устанавливается коллиматорный объектив, с фокусным расстоянием, равным диаметру шара. Диаметр коллиматорного объектива должен быть больше диаметра входного отверстия исследуемой оптической системы.

В плоскости изображения черного предмета, образуемого исследуемой оптической системы, устанавливают диафрагму и приемник излучения, размеры светочувствительной площадки которого должны быть меньше на $\sim 10\%$ размеров изображения черного предмета.

Затем отверстие в задней стенке шара закрывают белой пробкой и производят второе измерение фототока, который будет пропорционален яркости стенок шара.

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

Измерение концентрации и состава вещества.

Измерение концентрации по поглощению.

Измерение концентрации растворов и газов основано на законе Бугера - Бэра, который устанавливает зависимость потока, прошедшего через однородный поглощающий слой раствора, от толщины слоя l и концентрации растворенного вещества C :

$$\Phi = \Phi_0 e^{-kcl}$$

где Φ_0 - начальный поток при концентрации $c=0$, k - коэффициент, зависящий от длины волны зондирующего излучения, природы растворенного вещества и температуры.

Произведя измерение потока после прохождения его через образец можно судить о концентрации вещества в растворе или концентрации газа.

В фотоэлектрических измерителях концентрации используется весь оптический диапазон. Измерители концентрации, работающие в видимой области спектра, часто называют фотоколориметрами, но не потому что они служат для измерения цвета, а потому, что растворы окрашены.

В измерителях концентрации часто используют не разложенное в спектр излучение. Однако, учитывая, что поглощение потока излучения не одинаково для различных длин волн максимальное поглощение имеет место в определённом спектральном диапазоне, с целью повышения чувствительности применяют селективное излучение. Выделение необходимого

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии. Измерение основных фотометрических величин.

спектрального интервала производится с помощью светофильтров а иногда, - монохроматоров.

Оптический тракт измерителей поглощения и концентрации строится, как правило, по двухканальной схеме с использованием компенсационного или пропорционального метода регистрации.

$$\Phi_1 = \Phi_0 e^{-kC_1 l_1}$$

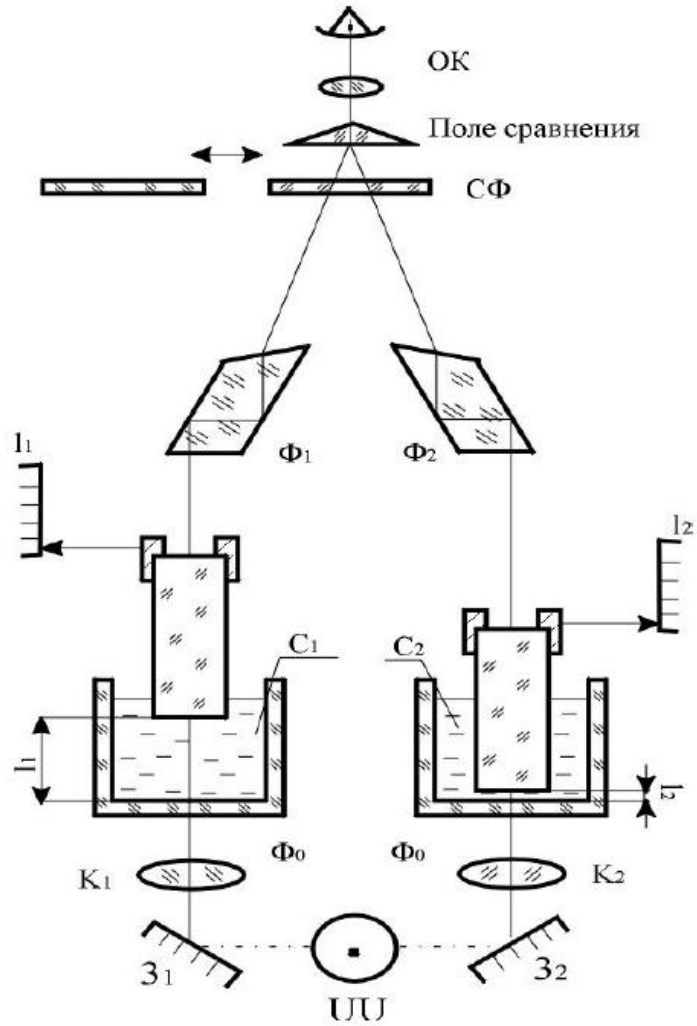
$$\Phi_2 = \Phi_0 e^{-kC_2 l_2}$$

$$\Phi_1 = \Phi_2$$

$$C_1 l_1 = C_2 l_2$$

$$C_1 = C_2 \cdot \frac{l_2}{l_1}$$

Световые измерения. Элементы теоретической фотометрии.
Измерение основных фотометрических величин.



Фотоколориметр.