Федеральное Агентство по образованию

Астраханский Государственный Университет

Реферат

**на тему: Фотометрия**

Выполнила:

Студентка группы ДХМ311

Шамаева Амина

Проверила:

Садомцева О. С.

Астрахань 2007

**Содержание**

Введение

1. Теория фотометрического метода

2. Основной закон фотометрии

3. Закон Бугера-Ламберта

4. Закон Бэра

5. Методы фотометрического анализа

6. Основные приёмы фотометрических измерений

7. Аппаратура

**Введение**

Фотометрия, раздел прикладной физики, занимающийся измерениями света. С точки зрения фотометрии, свет – это излучение, способное вызывать ощущение яркости при воздействии на человеческий глаз. Такое ощущение вызывает излучение с длинами волн от ~0,38 до ~0,78 мкм, причем самым ярким представляется излучение с длиной волны ок. 0,555 мкм (желто-зеленого цвета). Поскольку чувствительность глаза к разным длинам волн у людей неодинакова, в фотометрии принят ряд условностей. В 1931 Международная комиссия по освещению (МКО) ввела понятие «стандартного наблюдателя» как некоего среднего для людей с нормальным восприятием. Этот эталон МКО – не что иное, как таблица значений относительной световой эффективности излучения с длинами волн в диапазоне от 0,380 до 0,780 мкм через каждые 0,001 мкм. Яркость, измеренная в соответствии с эталоном МКО, называется фотометрической яркостью или просто яркостью.

***Фотометрические величины***. Поток световой энергии измеряется в люменах. Определить световой поток в 1 лм невозможно, не обращаясь к светящимся телам, и основной мерой света долгое время была «свеча», которая считалась единицей силы света. Настоящие свечи уже более века не используются в качестве меры света, так как с 1862 стала применяться специальная масляная лампа, а с 1877 – лампа, в которой сжигался пентан. В 1899 в качестве единицы силы ответа была принята «международная свеча», которая воспроизводилась с помощью поверяемых электрических ламп накаливания. В 1979 была принята несколько отличающаяся от нее международная единица, названная канделой (кд). Кандела равна силе света в данном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частоты 540Ч1012 Гц (l = 555 нм), энергетическая сила светового излучения которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср.

Протяженный источник света или освещенный предмет характеризуется определенной яркостью (фотометрической яркостью). Если сила света, испускаемого 1 м2 такой поверхности в данном направлении, равна 1 кд, то ее яркость в этом направлении равна 1 кд/м2. (Яркость большинства тел и источников света в разных направлениях неодинакова.)

***Виды фотометрических измерений***. Основные виды фотометрических измерений таковы: 1) сравнение силы света источников; 2) измерение полного потока от источника света; 3) измерение освещенности в заданной плоскости; 4) измерение яркости в заданном направлении; 5) измерение доли света, пропускаемой частично прозрачными объектами; 6) измерение доли света, отражаемой объектами.

***Общие методы фотометрии.*** Существуют два общих метода фотометрии: 1) визуальная фотометрия, в которой при выравнивании механическими или оптическими средствами яркости двух полей сравнения используется способность человеческого глаза ощущать различия в яркости; 2) физическая фотометрия, в которой для сравнения двух источников света используются различные приемники света иного рода – вакуумные фотоэлементы, полупроводниковые фотодиоды и т.д. При обоих методах для того, чтобы результаты имели универсальную значимость, условия наблюдения (или работы приборов) должны быть такими, чтобы фотометр реагировал на разные длины волн в точном соответствии со «стандартным наблюдателем» МКО. Важно также, чтобы световой выход лампы не изменялся в ходе измерений. Для стабилизации и измерения тока и напряжения в таких условиях обычно требуется довольно сложная электрическая аппаратура. В самых точных фотометрических измерениях приходится стабилизировать ток через лампу с точностью до (2 – 3)Ч10–3%.

***Визуальная фотометрия***. История визуальной фотометрии начинается с П.Бугера (1698–1758), замечательного ученого, который в 1729 изобрел способ сравнения двух потоков света и сформулировал почти все основные принципы фотометрии. И.Ламберт (1728–1777) далее систематизировал теорию фотометрии, и дальнейшее ее развитие шло в основном по линии совершенствования методов. В настоящее время визуальная фотометрия применяется ограниченно – при измерении весьма слабых световых потоков, когда трудно однозначно интерпретировать результаты физической фотометрии.

***Физическая фотометрия***. Начало физической фотометрии положили Ю.Эльстер и Г.Гейтель, открывшие в 1889 фотоэффект. В 1908 Ш.Фери разработал электрический фотометр, чувствительность которого к разным длинам волн была близка к чувствительности человеческого глаза. Но лишь в 1930-х годах, после усовершенствования вакуумных фотоэлементов и изобретения селенового фотодиода, физическая (электрическая) фотометрия стала широко применяемым методом, особенно в промышленных лабораториях.

1. **Теория фотометрического метода**

Метод анализа, основанный на переведении определяемого компонента в поглощающее свет соединение с последующим определением количества этого компонента путём измерения светопоглощения раствора полученного соединения, называется фотометрическим.

По окраске растворов окрашенных веществ можно определять концентрацию того или иного компонента или визуально, или при помощи фотоэлементов – приборов, превращающих световую энергию в электрическую. В соответствии с этим различают фотометрический визуальный метод анализа, называемый часто колориметрическим, и метод анализа с применением фотоэлементов – собственно фотометрический метод анализа. Фотометрический метод является объективным методом, поскольку результаты его не зависят от способностей наблюдателя, в отличие от результатов колориметрического – субъективного метода.

Фотометрический метод анализа – один из самых старых и распространённых методов физико-химического анализа. Его распространению способствовали сравнительная простота необходимого оборудования, особенно для визуальных методов, высокая чувствительность и возможность применения для определения почти всех элементов периодической системы и большого количества органических веществ. Открытие всё новых и новых реагентов, образующих окрашенные соединения с неорганическими ионами и органическими веществами, делает в настоящее время применение этого метода почти неограниченным.

Фотометрический метод анализа может применяться для большого диапазона определяемых концентраций. Его используют как для определения основных компонентов различных сложных технических объектов с содержанием до 20 -30% определяемого компонента, так и для определения микропримесей в этих объектах при содержании их до 10-3 – 10-4 %. Комбинирование фотометрических методов с некоторыми методами разделения – хромотографическим, экстракционным позволяет на 1-2 порядка повысить чувствительность определения, доведя его до 10-5 .

В некоторых случаях фотометрический метод может быть применён для одновременного определения в растворе в растворе нескольких ионов, хотя его возможности ограничены.

Очень ценно использование фотометрических методов для решения многих теоретических вопросов аналитической и физической химии.

Способность химического соединения, неорганического иона и органической группировки поглощать лучистую энергию определённых длин волн используется в фотометрическом анализе. Среди неорганических веществ сравнительно немного соединений, обладающих собственной окраской: это соединения марганца (VII), хрома (VI), меди (II) и др.

Каждое вещество обладает способностью поглощать лучистую энергию в виде квантов энергии, соответствующих определённым длинам волн. Линии или полосы поглощения располагаются в ультрафиолетовой, видимой или инфракрасной областях спектра. Эти полосы и линии могут быть использованы для качественного и количественного фотометрического анализа.

**2. Основной закон фотометрии**

Если световой поток интенсивности I0 падает на кювету, содержащую исследуемый раствор, то часть этого потока Iк отражается от стенок кюветы и поверхности раствора, часть его Iа поглощается молекулами вещества, содержащегося в растворе, и расходуется на изменение электронной, вращательной и колебательной энергии этих молекул, часть Iа1 поглощается молекулами самого растворителя.

Если в растворе присутствуют твёрдые частицы в виде мутей или взвесей, то часть световой энергии Ir отражается и от этих частиц и, наконец, часть энергии It проходит через кювету. На основании закона сохранения энергии можно написать уравнение:

I0 = Iк + Iа + Iа1+Ir + It (1)

При анализе прозрачных растворов в уравнении (1) член Ir равен 0. при работе на протяжении всего исследования с одним растворителем член Iа1 можно считать постоянным. Кроме того, растворители всегда подбирают так, чтобы они сами в исследуемой области спектра обладали минимальным поглощением, которым можно пренебречь. При использовании одной и той же кюветы значение отражённого светового потока Iк очень мало и им можно пренебречь. Поэтому уравнение (1) можно упростить:

I0 = Iа + It (2)

Непосредственными измерениями можно определить интенсивность падающего светового потока (I0) и прошедшего через анализируемый раствор (It). Значение Iа может быть найдено по разности между I0 и It ; непосредственному же измерению эта величина не поддаётся.

На основании многочисленных экспериментов П. Бугером, а затем и И.Ламбертом был сформулирован закон, устанавливающий, что слои вещества одинаковой толщины, при прочих равных условиях, всегда поглощают одну и ту же часть падающего на них светового потока.

**3. Закон Бугера-Ламберта**

Два раствора одного и того же соединения различной концентрации одинаковы по оттенкам цвета, но различаются по интенсивности окраски. Интенсивность окраски измеряют по ослаблению энергии светового потока определённой длины волны. Интенсивность входящего светового потока обозначают обычно I0 , а интенсивность ослабленного поглощением светового потока через I.

Величину поглощения света можно выражать разницей этих двух величин, или их отношением. Для различных фотометрических исследований наиболее удобно выражать интенсивность светопоглощения величиной:

(3)



Эта величина называется оптической плотностью и постоянно применяется в различных расчётах. Удобство применения именно этой функции обусловлено прямой пропорциональностью между оптической плотностью и концентрацией, а также толщиной слоя раствора окрашенного соединения.

Рассмотрим поглощение света раствором вещества, находящегося в кювете с параллельными стенками. Толщину слоя поглощающего свет раствора обозначим через b, а интенсивность светового потока, входящего через раствор, через I0 . разделим длину, занимаемую раствором в кювете, на b участков. Когда свет пройдёт через первый участок поглощающего свет раствора, интенсивность света ослабится в n раз и в конце первого участка будет равна

(4)



где n – число больше единицы.

Конец первого участка является в то же время началом второго. Во второй участок раствора попадает, таким образом, поток света с интенсивностью I1 . при прохождении света через второй участок снова произойдёт ослабление света в такой же степени, т.е. в n раз. Таким образом, в конце второго участка интенсивность светового потока равна:

(5)



Принимая во внимание уравнение (4), получим:

(6)



Таким образом, когда поток света пройдёт через всю толщину (т.е. согласно условию через b участков), интенсивность выходящего потока равна

(7)



Отсюда

(8)



или, логарифмируя и вводя полученное значение в уравнение (3), находим выражение, связывающее оптическую плотность D с толщиной слоя:

(9)



где lgn – постоянная величина, характерная для данного вещества. Как видно из уравнения (9), численное значение lg n можно найти, установив оптическую плотность раствора в кювете длиной 1 см (b=1).

Зависимость между оптической плотностью и толщиной слоя, выражаемая уравнением (9), называется законом Бугера – Ламберта. Зависимость (8) можно также вывести из величины поглощения в бесконечно малом слое, интегрированием на всю толщину кюветы. Для этого, аналогично сказанному выше, рассмотрим поглощение монохроматического света телом с параллельными стенками. Бесконечно тонкий слой поглощает долю энергии входящего в него параллельного монохроматического пучка света, пропорциональную толщине слоя db. Тогда относительное уменьшение интенсивности светового потока пропорционально толщине слоя db, через который прошёл световой поток:



(10)



где k – коэффициент, характеризующий поглощение света данным телом и зависящий от свойств данного тела. Этот коэффициент в широких пределах не зависит от интенсивности светового потока, только при очень больших её значениях k перестаёт быть постоянным и наблюдается зависимость k от I, т.е. возникает нелинейность поглощения и k перестаёт быть пропорциональным I. Проинтегрировав уравнение (10), получим:

(11)



Логарифмируя уравнение (10), получим:

(12)



Постоянный коэффициент k аналогичен величине lg n из уравнения (9), т.е. k=lg n.

Из рассматриваемого закона вытекает:

отношение интенсивности светового потока, прошедшего через слой раствора, к интенсивности падающего светового потока не зависит от абсолютной интенсивности падающего светового потока;

если толщина слоя раствора увеличивается в арифметической прогрессии, интенсивность светового потока, прошедшего через него, уменьшается в геометрической прогрессии.

**4. Закон Бэра**

Ослабление интенсивности светового потока при прохождении через раствор зависит от количества поглощающих свет центров на пути светового потока. Рассмотрим поглощение света раствором окрашенного соединения при условии, что состав и структура этого соединения не меняется с изменением его концентрации. Примером такого раствора может быть хромат калия; для постоянства pH при разбавлении к раствору прибавляют тетраборат натрия.

Если налить немного этого раствора в высокий цилиндр и измерять поглощение света сверху, т.е. в полном слое. Согласно условию, общее количество поглощающих свет центров остаётся постоянным при разбавлении раствора, поэтому общее светопоглощение также не изменяется. При разбавлении раствора в n раз концентрация раствора уменьшится в n раз, а толщина слоя в цилиндре во столько же раз соответственно увеличится, поэтому общая оптическая плотность не изменится. Следовательно:

(13)



где k – коэффициент пропорциональности, обозначаемый обычно через .



Пусть раствор, концентрация которого С1 , при толщине слоя b1 имеет такую же оптическую плотность, как и раствор того же вещества при большей толщине слоя b2 . Очевидно, во втором растворе концентрация С2 вещества меньше, чем в первом растворе в отношении:

С1: С2 = b2 : b1 (14)

С1 b1 =С2 b2 (15)

Эту зависимость установил в 1852 г Бэр и экспериментально проверил её измерениями оптической плотности газообразного хлора при различных давлениях.

Объединяя уравнения (9) и (14), можно написать:

(16)



Эта зависимость называется законом Бугера – Ламберта – Бэра и применяется при различных расчётах в фотометрическом анализе. Если концентрация С выражена в молях на литр, а толщина слоя b – в сантиметрах, то коэффициент называют молярным коэффициентом поглощения; он представляет собой постоянную величину, зависящую от длины волны падающего света, природы растворённого вещества, температуры раствора, и соответствует светопоглощению молярного раствора анализируемого вещества.



Также нужно сказать, что источниками ошибок при фотометрии могут быть отклонения от закона Бугера – Ламберта – Бэра и особенности возникающей окраски. Отклонения от закона Бугера – Ламберта – Бэра могут быть вызваны и посторонними веществами, присутствующими в растворе.

**5. Методы фотометрического анализа**

Определение концентрации окрашенного вещества фотометрическим методом практически сводится к определению интенсивности светового потока до и после поглощающего раствора (соответственно I0 и It ). Абсолютное определение интенсивности этих световых потоков возможно только при помощи фотоэлементов. При определении по абсолютной интенсивности светового потока источник света, кювета с исследуемым раствором и приёмник света располагаются на одной прямой. Это так называемый метод однолучевой фотометрии.

Условия определения концентрации вещества этим методом также описываются законом Бугера – Ламберта – Бэра:



Поскольку фототок пропорционален интенсивности падающего света, то



где i0 – фототок, пропорциональный интенсивности света I0

it -фототок, пропорциональный интенсивности света It

Метод однолучевой фотометрии очень прост, но требует постоянства начального светового потока. В фотометрическом анализе однолучевая фотометрия используется в методе пропорциональных отклонений.

При измерении по методу сравнения интенсивностей световой поток от источника света пропускают через две параллельные кюветы, содержащие сравниваемые растворы; лучи, прошедшие через кюветы, попадают на самостоятельные приёмники света. Это так называемый метод двулучевой фотометрии. Сравнение интенсивности световых потоков можно проводить и визуально, человеческий глаз способен улавливать разницу в интенсивностях окрасок в пределах 10 – 15%.

В фотометрическом анализе применяются реакции различных типов. Для определения неорганических компонентов чаще всего используют реакции образования (иногда - разрушения) окрашенных комплексных соединений. Большинство металлов и неметаллов способны к образованию различных комплексных соединений, в том числе окрашенных, или, во всяком случае, способны к взаимодействию с окрашенными комплексами. Поэтому область применения фотометрических методов анализа практически не имеет ограничений; в настоящее время известны достаточно простые фотометрические методы определения почти всех элементов или их соединений. Для фотометрического определения органических компонентов чаще всего используют реакции синтеза окрашенных соединений. Реакции синтеза удобно применять и для определения некоторых неорганических компонентов, например сульфидов или нитритов. Значительно реже применяют в фотометрическом анализе реакции окисления – восстановления. Ряд фотометрических методов основан на каталитическом эффекте. Чувствительность фотометрических методов, основанных на обычных реакциях образования окрашенных соединений, имеет естественный предел. Поэтому если необходимо значительное повышение чувствительности, определяемый компонент вводят в некоторую систему в качестве катализатора. В результате каждая частица определяемого компонента приводит к образованию большого количества частиц продукта реакции.

Таким образом, центральное место в фотометрическом анализе занимает химическая реакция. Время, затрачиваемое на анализ, чувствительность метода, его точность и избирательность зависят от выбора химической реакции и оптимальных условий образования окрашенного соединения. Правильное измерение светопоглощения имеет большое значение. Однако выбор того или другого способа измерения поглощения света обусловлен, как правило, не особенностями анализируемого материала или выбранной реакцией, а общими условиями работы той или другой лаборатории.

***Приборы:***

поглощение света измеряют при помощи приборов с фотоэлементом. Такие приборы называют фотоэлектроколориметрами (ФЭК). В отличии от визуального способа, с помощью ФЭК можно непосредственно измерить ослабление интенсивности первоначального светового потока. Поэтому нет необходимости каждый раз готовить стандартный раствор. Обычно при работе с ФЭК перед выполнением анализов составляют калибровочный график по серии стандартных растворов. Калибровочным графиком пользуются для многих определений, что очень удобно для массовых однотипных анализов. Если поглощение света измеряют с помощью ФЭК, такой способ называют фотоколориметрическим анализом.

наиболее совершенным, хотя и более сложным прибором является спектрофотометр. В спектрофотометре ослабление интенсивности светового потока измеряется также с помощью фотоэлементов. Однако в спектрофотометре имеется призма или дифракционная решётка, а также щель. Это позволяет выделить узкий участок спектра, именно тот, с которым «оптически реагирует» окрашенное соединение. Известно очень мало «серых веществ», поглощающих свет равномерно во всех участках спектра. Большинство же окрашенных веществ поглощает преимущественно какой-нибудь один участок спектра. Поэтому измерение при длине волны, соответствующей максимуму спектра поглощения, увеличивает чувствительность. Кроме того, облегчается определение одного окрашенного соединения в присутствии другого, иначе окрашенного; в частности, при работе со спектрофотометром значительно улучшаются результаты фотометрического определения с применением окрашенных реактивов.

**6. Основные приёмы фотометрических измерений**

***Метод градуировочного графика***.

В соответствии с законом Бугера – Ламберта – Бэра график в координатах А – с должен быть линеен и прямая должна проходить через начало координат. Для построения такого графика достаточно одной экспериментальной точки. Однако градуировочный график обычно строят не менее чем по трём точкам, что повышает точность и надёжность определений. При отклонениях от закона Бугера – Ламберта – Бэра, т. е. при нарушении линейной зависимости A от c, число точек на графике должно быть увеличено. Применение градуировочных графиков является наиболее распространённым и точным методом фотометрических измерений. Основные ограничения метода связаны с трудностями приготовления эталонных растворов и учётом влияния так называемых третьих компонентов, т.е компонентов, которые находятся в пробе, сами не определяются, но на результат влияют.

***Метод молярного коэффициента поглощения***.

При работе по этому методу определяют оптическую плотность нескольких стандартных растворов Aст, для каждого раствора рассчитывают и полученное значение ε усредняют. Затем измеряют оптическую плотность анализируемого раствора Ax и рассчитывают концентрацию cx по формуле:



Ограничением метода является обязательное подчинение анализируемой системы закону Бугера – Ламберта – Бэра, по крайней мере, в области исследуемых концентраций.

***Метод добавок***.

Этот метод применяют при анализе растворов сложного состава, так как он позволяет автоматически учесть влияние «третьих» компонентов. Сущность его заключается в следующем. Сначала определяют оптическую плотность Ax анализируемого раствора, содержащего определяемый компонент неизвестной концентрации cx , а затем в анализируемый раствор добавляют известное количество определяемого компонента (сст) и вновь измеряют оптическую плотность Ax+ct .

Оптическая плотность Ax анализируемого раствора равна:

(17)



А оптическая плотность анализируемого раствора с добавкой стандартного:

(18)



Сравнение уравнений (17) и (18) даёт:



Отсюда находим концентрацию анализируемого раствора:



Концентрацию анализируемого вещества в методе добавок можно найти также по графику в координатах Ax+ст=f(cст). Уравнение (18) показывает, что если откладывать Ax+ct как функцию сст , то получится прямая, экстраполяция которой до пересечения с осью абсцисс даст отрезок, равный - cx .

**7. Аппаратура**

В любой фотометрической аппаратуре различаются следующие основные узлы:

источник света;

монохроматизатор света;

кюветы;

узел определения интенсивности света.

Узел источника света состоит из собственного источника света, стабилизатора напряжения и в некоторых случаях контрольных приборов – амперметра и вольтметра для контроля постоянства силы тока и напряжения. В некоторых простейших конструкциях колориметров, например, КОЛ-52, фотометр ФМ и др., стабилизаторы и контрольные приборы отсутствуют. В качестве источников света в зависимости от используемой области спектра применяют различные приборы. Для получения света далёкой ультрафиолетовой области 220-230 нм используют водородную лампу или лампу накаливания для области близкого ультрафиолета и видимой части спектра 320 – 800 нм. В иностранных спектрофотометрах для этой цели применяют вольфрамовые и дейтериевые разрядные лампы.

Для получения света видимой области спектра применяют обычные лампы накаливания. Для получения света инфракрасной области спектра применяют глобар-стержень из карбида кремния или штифт Нернста – стержень из смеси окислов редкоземельных элементов. Эти стержни при накаливании их электрическим током до 1200 – 20000С испускают интенсивный поток инфракрасных лучей. При всех фотометрических измерениях необходим устойчивый поток световых лучей. Это обеспечивается в первую очередь стабильным режимом накаливания. Поэтому лучшие модели фотометрических приборов обязательно снабжены стабилизатором напряжения, налагаемого на источник лучистого потока. Контроль за работой стабилизатора целесообразно вести путём измерения силы тока, проходящего через осветитель, или напряжения, которое на него подаётся. В некоторых случаях, когда эти приборы отсутствуют в фабричных моделях, их подсоединяют дополнительно. Кроме того, за стабильностью работы осветителя можно наблюдать и при помощи узла определения интенсивности света.

Монохроматизация света может быть осуществлена при помощи:

светофильтров

призм

дифракционных решёток

Светофильтрами называются среды, способные пропускать лишь определённые области спектра. Обычно в фотоколориметрах используются в качестве светофильтров стёкла.

Зная максимум поглощения вещества, можно выбрать такой светофильтр, который пропускал бы только лучи, поглощаемые раствором, и задерживал бы все остальные. Чаще всего удаётся только приблизительно выделить при помощи светофильтра нужную область спектра.

В некоторых конструкциях, например в монохроматоре СФ-9, применяется двойная Монохроматизация. Сначала световой поток монохроматизируется при помощи кварцевой призмы, а затем более тонкая Монохроматизация достигается при помощи дифракционной решётки. В узел монохроматизации входят также ряд линз для усиления пучка света, диафрагмы для выделения узкого пучка монохроматического света, зеркала и призмы для изменения направления светового ручка и другие детали, не имеющие принципиального значения. Сюда же относятся механизмы для поворота призм и решёток. В некоторых конструкциях они связаны с самописцами для записи фототоков, благодаря чему в процессе измерения оптической плотности получают одновременно спектрофотометрическую кривую зависимости оптической плотности от длины волны.

Узел ***кювет*** наименее сложный по устройству. Кюветы должны быть изготовлены из материала, хорошо пропускающего лучи света, интенсивность которых измеряется. Для лучей видимой области спектра – это стекло, для ультрафиолетовых лучей – кварц. При работе с инфракрасными лучами применяют кюветы со стенками из плавленого хлорида серебра, часто вместо растворов исследуемых веществ применяют таблетки из этих веществ с бромидом калия. Кюветы бывают самых разнообразных форм: прямоугольные, цилиндрические, в виде пробирок, кюветы с быстрым удалением исследуемого раствора и другие.

***Фотоумножители***. Значительное повышение чувствительности фотоэлементов может быть достигнуто применением фотоумножителей. В этом приборе пучок света, попадая через окошко на катод 1, выбивает из него электроны, которые под влиянием наложенного напряжения отбрасываются на катод 2, выбивая из него новые электроны; возросшее число электронов попадает на катод 3 и так далее. В результате поток электронов в фотоумножителе сильно возрастает. Спектральная характеристика фотоумножителя зависит от природы катода, а чувствительность достигает 6000 – 10000 мкА/лм.

В узел оценки интенсивности светового потока входят также различного типа диафрагмы для ослабления светового потока (оптическая компенсация).

