

### ИЗЛУЧЕНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ АТОМАМИ И МОЛЕКУЛАМИ ВЕЩЕСТВА

В статье представлены законы поглощения света и их графики. Определены зависимости коэффициента пропускания от толщины и концентрации окрашенных растворов, а также спектры поглощения некоторых веществ.

**Ключевые слова:** поглощение света, монохроматический свет, оптическая плотность, коэффициент пропускания

#### Актуальность статьи:

Огромное количество явлений происходит с изменением энергии атомов и молекул и эффективное их использование для практики оказывается возможным только с неперменным учетом его молекулярной (атомной) природы. Интенсивность света, распространяющегося в среде, может уменьшаться из-за поглощения и рассеяния его молекулами (атомами) вещества. Световая волна, проходя через вещество, возбуждает вынужденные колебания электронов в атомах, на поддержания которых затрачивается энергия волны, волна постепенно затухает. Данный процесс называется ослаблением света. Определенная часть энергии волны при этом переходит в другие виды, свойственные процессам, который сопровождают колебательное движение электронов. Это повышение интенсивности теплового движения атомов и молекул, а также процессы ионизации возбуждение атомов, фотохимические реакции и др.

#### Основная часть:

Таким образом, переход энергии световой волны в другие виды внутренней энергии вещества называется поглощением света. Закон поглощения в однородной среде для параллельного пучка монохроматического света был установлен П.Бугером.

$$I_d = I_0 e^{-\kappa d} \quad (1)$$

График изменения интенсивности в зависимости от толщины слоя среды, который проходит свет имеет экспоненциальный вид (рисунок 1):

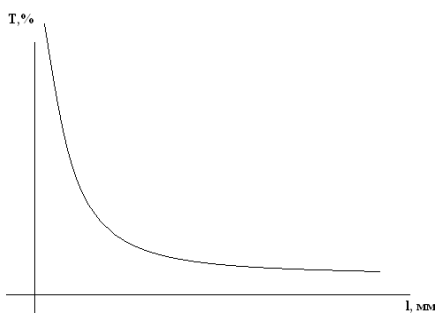


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента пропускания от толщины

Коэффициент пропорциональности  $\kappa$  называется показателем поглощения и характеризует поглощательную способность вещества и зависит от химической природы и состояния, а также от длины волны света. У металлов показатель поглощения весьма высок (порядка  $10^3 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ ). Объясняется наличием в металлах свободных электронов, вынужденные колебания которых легко возбуждаются и имеет значительную амплитуду. Что вызывает быстрое расходование энергии световой волны, значительная часть которой передается отраженной волне, и падающая волна затухает при самой малой глубине проникания света.

У диэлектриков показатель поглощения невелик (порядка  $10^{-3} \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$ ), однако у них наблюдается селективное поглощения света в определенных интервалах длин волны, в которых показатель поглощения резко возрастает. Это связано с тем, что в диэлектриках нет свободных электронов и значительное поглощение света происходит только в резонансных колебаниях, то есть при частотах световой волны, близких к собственным частотам (или кратным им) колебаний электронов в атомах или атомов в молекулах диэлектрика. Данное явление объясняет, например, линейчатые спектры газов в атомарном состоянии.

Закон Бугера выполняется:

- 1) используется монохроматический свет;
- 2) молекулы растворенного вещества в растворе распределены равномерно;
- 3) при изменении концентрации характер взаимодействия между растворенными молекулами не меняется;
- 4) в процессе измерения не происходят химические превращения молекул под действием света;
- 5) интенсивность падающего света должна быть достаточно низка чтобы концентрация невозбужденных молекул практически не уменьшалась в ходе измерения.

Исследуя поглощение монохроматического света растворами окрашенных веществ, А.Бер показал, что показатель поглощения  $\kappa$  прямо пропорционален концентрации  $C$  вещества в растворе:

$$\kappa = \chi C, \quad (2)$$

Где:  $\chi$  - показатель поглощения для раствора единичной концентрации [1].

Фотоэлектроколориметр используется для:

1. Определения зависимости коэффициента пропускания от толщины слоя вещества подчиняющийся закону Бугера: в каждом последующем слое одинаковой толщины поглощается одинаковая часть потока энергии падающей на него световой волны независимо от его абсолютной величины;
2. Определения зависимости коэффициента пропускания от концентрации окрашенного раствора по закону Бера (для разбавленных растворов).

В итоге получаем экспоненциальную кривую (рисунок 2).

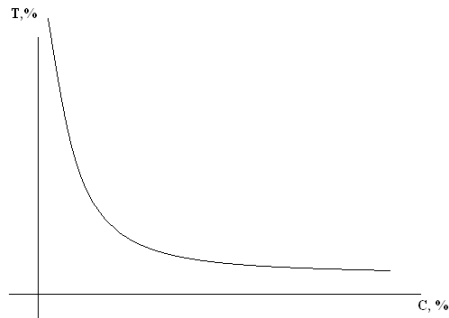


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента пропускания от концентрации окрашенного раствора

Формула закона Бугера – Ламберта -Бера:

$$I_d = I_0 e^{-\chi C d} \quad (3)$$

Оптическая плотность раствора:

$$D = \chi C d \quad (4)$$

Закон Бугера - Ламберта – Бера используют для фотометрического определения концентрации окрашенных веществ. Для этого непосредственно измеряют потоки падающего и прошедшего через раствор монохроматического света (концентрационная колориметрия), в количественном анализе обычно определяют оптическую плотность раствора, представляющую десятичный логарифм величины, обратной коэффициенту пропускания,

$$D = \lg \frac{1}{T} = \lg \frac{I_0}{I} \quad (5)$$

Тем самым оптическая плотность показывает поглощательную способность вещества. Поглощение тем больше, чем больше отношение  $I_0 / I$ , то есть чем больше оптическая плотность. Для оценки количество поглощенной световой энергии удобнее воспользоваться другим выражением закона поглощения света, в которое входит величина пропускания (Т). Пропускание непосредственно измеряется фотометром и отражает относительную интенсивность света, прошедшего через систему без поглощения:

$$T = \frac{I}{I_0}, \quad (6)$$

Где:  $I_0$ - интенсивность падающего света, а  $I$ - интенсивность света, пропущенного объектом.

Пропускание легко определяется, исходя из измерений отношения интенсивность света, падающего на фотоэлемент или фотоумножитель без объекта ( $I_0$ ) и с объектом ( $I$ ). Измерения пропускания проводятся на спектрофотометре (прибор с монохроматором) или фотометре (с использованием светофильтров). Измерив пропускание, можно определить долю поглощенного системой света  $\frac{I-I_0}{I_0} = (1 - T)$ . Эта величина может изменяться от 0- поглощение отсутствует ( $T=1$ ) до единицы (полное поглощение всего падающего света ( $T=0$ ). Поглощение также может быть выражено в процентах – от 0 до 100% соответственно.

Зная интенсивность падающего света и долю поглощения, можно вычислить количество света, поглощаемого системой за единицу времени ( $I_{\text{погл}} = I_0 - I$ ).

$$I_{\text{погл}} = I_0(1 - T) \quad (7)$$

Для выяснения количество поглощаемой в единицу времени энергии связанной с концентрацией веществ, его поглощающей способностью и длиной оптического пути необходимо найти связь пропускания и поглощения с оптической плотностью объекта (D):

$$D = \lg \frac{I_0}{I} = -\lg T; T = 10^{-D} \quad (8)$$

поскольку  $D = \varepsilon \cdot c \cdot l$ , то  $T = 10^{-\varepsilon \cdot c \cdot l}$

Графическая зависимость пропускания от концентрации изображается кривой на рис.2. из графика видно, что пропускание уменьшается не прямо пропорционально концентрации, а более резко (по экспоненциальному закону). Так, при увеличении оптической плотности образца от 1 до 2 (то есть при измерении концентрации в два раза) пропускание уменьшается в 10 раз, при изменении  $D$  от 1 до 3 пропускание уменьшается в 100 раз и т.д.

Исходя из соотношении (8), можно также найти зависимость поглощения (1-T) от концентрации и длины оптического пути:

$$(1 - T) = 1 - 10^{-D} = 1 - 10^{-\varepsilon c l} \quad (9)$$

Графически эта зависимость изображена кривой на рис.2. из графика видно, что в отличие от оптической плотности доля поглощенного света лишь в самом начальном участке (при  $D \leq 0,1 - 0,2$ ) линейно увеличивается с увеличением концентрации, то есть пропорциональна концентрации.

Вещества неодинаково поглощают свет различной длины волны. Кривая зависимости оптической плотности вещества от длины волны поглощаемого света называется спектром поглощения. Обычно спектры поглощения молекул имеют непрерывный характер, но обнаруживают максимумы на той длине волны света, где имеется максимальное поглощение квантов света.

Спектры поглощения некоторых биологически важных соединений, ответственных за поглощение в видимой и ультрафиолетовой областях. Кривые спектров поглощения имеют иногда довольно сложный вид, характерный для данного вещества. Существуют также области, где вещество не поглощает света (например, белки в видимой части спектра -400-800 нм). Селективный, избирательный характер поглощения связан с тем что, за поглощение в ультрафиолетовой и видимой областях ответственны определенные группы, входящие в состав сложных молекул и называемые хромофорными группами. Свойство поглощать свет определенной длины волны связано с особенностями строения этих групп, которые, как правило, представляют собой системы с сопряженными двойными связями (часто циклические, ароматические системы).

Селективность поглощения хромофоров сложных молекул по своей природе аналогична селективности поглощения отдельных атомов вещества. Как известно, это свойство атомов поглощать излучение строго определенной длины волны связано с существованием строго определенных энергетических уровней, на которых могут находиться электроны в атоме. Переход между уровнями совершается при поглощении только таких дискретных порций (квантов) излучения, величина которых соответствует расстоянию между электронными уровнями (по шкале энергии). Поэтому спектр поглощения атомов состоит из ряда линий, положение которых в спектре (длины волны или частота) соответствует энергии поглощаемого кванта, то есть расстоянию между электронными уровнями в атоме [2, 3].

Кроме этого, по положению максимумов на шкале длин волн можно определить длину волны света, преимущественно поглощаемого этим веществом. Знание длины волны поглощаемого света позволяет определить энергию поглощаемых квантов. А по величине энергии поглощаемых квантов можно рассчитывать расположение электронных и колебательных энергетических уровней молекулы, а также переходы молекул из одного энергетического состояния в другое. Кроме того величина оптической плотности дает сведения о концентрации вещества в исследуемой пробе. По величине максимумов поглощения на основании оптической плотности можно делать заключения о концентрации вещества в исследуемом объекте.

Фотометрический анализ спектров поглощения основан на измерениях интенсивности полос поглощения, которая определяется числом переходов в единицу времени молекул поглощающего вещества из основного энергетического состояния в данное возбужденное. Измерение интенсивности сводится к определению доли энергии падающего излучения, поглощенной веществом, то есть спектрофотометрический анализ проводится на основе закона Бугера - Ламберта - Бера.

#### **Заключение:**

Изучение спектров поглощения какого-либо фотобиологического процесса позволяет выяснить, какое вещество ответственно в данном процессе за поглощение света. Это достигается в результате сравнения спектров исследуемого процесса и спектров известных веществ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ливенцев Н.М. Курс физики. - М.: 1974. - 394 с.
- 2 Б.Н.Треусов, В.Ф.Антонов и др. Биофизика. - М.: 1968. - 323 с.
- 3 А.Н.Ремизов, А.Г.Максина, А.Я.Потапенко. Медицинская и биологическая физика. - М.: 2012. - 564 с.

**Б.М. Адибаев, Н.М. Алмабаева, Г.Е. Байдуллаева, А.О. Бопанова**  
*С.Ж. Асфендияров атындағы ҚазҰМУ*

#### **ЗАТТАРДЫҢ АТОМДАРЫ МЕН МОЛЕКУЛАЛАРЫНЫҢ СӘУЛЕ ШЫҒАРУ ЖӘНЕ ЖҰТЫЛУ ЭНЕРГИЯЛАРЫ**

**Түйін:** Бұл мақалада жарықтың жұтылу заңдары және олардың сызбалары көрсетілген. Өткізгіштік коэффициентінің заттың қалыңдығы мен боялған ерітінділердің концентрациясына тәуелділігі, кейбір заттардың жұтылу спектрлері анықталған

**Түйінді сөздер:** жарықтың жұтылуы, монохроматты жарық, оптикалық тығыздық, өткізгіштік коэффициенті

**B.M. Adibaev, N.M. Almbayeva, G.E. Baidullaeva, A.O. Bopanova**  
*Asfendiyarov KazNMU*

#### **RADIATION AND ABSORPTION OF ENERGY BY ATOMS AND MOLECULES OF MATTER**

**Resume:** In the article are presented the laws of light absorption and their graphs. Were determined dependences of transmittance, concentration of stained solutions and also absorption spectra of some substances.

**Keywords:** light absorption, monochromatic light, optical density, transmittance