

Е. Н. ПЕТРОВА¹, К. Г. КОРОТКОВ¹, А. Ю. ГРИШЕНЦЕВ¹

¹ *Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики.*

ЭЛЕКТРОФОТОННОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ ВОЛОС ЧЕЛОВЕКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.

Исследована динамика изменения параметров свечения волос человека под действием электромагнитного поля. Представлена модель электронного возбуждения атомов биологических полимеров на примере молекул волос человека.

Введение

Изучение волос под действием различных факторов является актуальной задачей, в частности для дерматологии и косметологии [1-3]. В то же время, в большинстве литературных источников волосы рассматриваются как инертная ткань, состоящая из кератинизированных клеток, не имеющих биологической активности [3]. Результаты экспериментов показали, что электрооптические характеристики волос имеют временную динамику и реагируют на воздействия электромагнитного поля и газового разряда [4]. В данной статье рассматривается исследование волос с использованием техники газоразрядной визуализации (ГРВ), заключающейся в эмиссии заряженных частиц и оптическом излучении биообъекта, вызванных электромагнитным полем и усиленных газовым разрядом с визуализацией за счет компьютерной обработки данных.

Задачи исследований

Изучение временной динамики изменения электропроводящих свойств волос человека под действием электрического поля.

Построение концептуальной модели динамики изменения параметров свечения волос в электромагнитном поле на базе модели туннельной проводимости биологических полимеров.

Методика исследований

Для исследований использовались мужские и женские волосы, не подвергавшиеся химическим воздействиям (окрашивание, осветление, химическая завивка). Волосы срезались с затылочной части головы испытуемых на расстоянии около 2 см от кожи. Образцы волос, измерения на которых проводились сразу после среза, были названы «свежими». Волосы, для которых временной интервал между срезом и измерениями превышал 20 дней, были названы «выдержанными».

Экспериментальная установка, предназначенная для исследования газоразрядного свечения образца волос, и процесс подготовки образцов волос описаны в [1]. В экспериментах использовались следующие параметры работы программно-аппаратного ГРВ комплекса: режим съемки – динамический; экспозиция напряжения – 5 секунд; интервал между экспозициями – 1 минута; амплитуда электрических импульсов – 3 кВ; длительность импульса – 10 микросекунд; частота следования импульсов – 1 кГц; частота следования кадров – 20 кадров в секунду.

При проведении расчетов анализировалась динамика изменения параметров, описывающих газоразрядное свечение волос: площади и интенсивности свечения [1, 5]. Статистический анализ данных производился в программах “GDV SciLab”, “Excel” и “Statistica”. Для получения одной экспериментальной точки снималась серия снимков длительностью 5 секунд (100 bmp картинок), и значения рассчитанных параметров усреднялись по 100 кадрам. Погрешность всех измерений определялась величиной доверительного интервала с достоверностью $p > 95 \%$.

Результаты исследований

Было исследовано более 20 образцов волос мужчин и женщин в возрасте 17 – 55 лет. В результате исследований было установлено, что наблюдается динамика изменения параметров стимулированного свечения волос под воздействием процедуры измерения. На рисунке 1 представлены графики динамики изменения интенсивности газоразрядного свечения «свежих» образцов волос в течение нескольких дней. Каждая экспериментальная точка на графике соответствует усредненному по одной серии (5 секунд с частотой 20 кадров в секунду – 100 bmp картинок) значению интенсивности свечения волос. 5 экспериментальных точек, соединенных линиями, соответствуют пяти сериям измерений, снятых с интервалом 1 мин. Время проведения каждого эксперимента приведено на графике.

Представленные на графиках динамические изменения являются характерными для большинства исследованных «свежих» образцов волос. На графиках наблюдается резкий спад исследуемых параметров в первые часы после среза волос, однако после приложения к волосам электромагнитного поля через определенный временной интервал, наблюдается увеличение регистрируемого сигнала. После каждой паузы в измерениях сигнал снижается, однако под влиянием процесса измерения он возрастает до величины, характерной для каждого образца волос. Аналогичные результаты были получены при исследовании волос оптико-корреляционным методом лазерной спекл-интерферометрии [6].

Также было установлено, что динамика параметров стимулированного свечения волос зависят от времени, прошедшего после среза. Чем больше времени проходит после среза волос, тем меньше изменение параметров свечения волос под действием электрического поля и газового разряда. Сравнительный график динамики изменения интенсивности свечения волос под действием

электрического поля для «свежих» и «выдержанных» образцов волос приведен на рисунке 2.

Моделирование электрофотонного возбуждения молекул волос

Приведенные экспериментальные данные позволяют выдвинуть гипотезу об электрофотонном возбуждении биологических полимеров волос человека под действием электромагнитного поля. Пучок волос, исследуемый методом ГРВ, подвергается воздействию переменного электромагнитного поля напряженностью 0.6 – 2.5 МВ/м и электронно-фотонного излучения в видимом и УФ диапазонах в момент возникновения лавинного разряда. В результате молекулы биологических полимеров, входящие в состав волоса человека, претерпевают трансформацию электронной энергии, которая в соответствии с [7], связана не только с переносом электрона, но и с миграцией энергии электронного возбуждения, которая не сопровождается отрывом электрона от молекулы донора.

Наличие легирующих примесей в молекулах биологических полимеров волос обеспечивает возникновение туннельного эффекта. При концентрациях $10^{25} - 10^{25}$ атомов на m^3 примесные состояния в молекулах перестают быть изолированными друг от друга [8]. Они начинают перекрываться и сливаться с зоной проводимости или валентной зоной; уровень Ферми в таком случае фактически смещается в одну из зон.

Рассмотрим случай, когда электрон находится в области I (рис. 3), где его энергия E меньше, чем энергия потенциального барьера U_0 , отделяющего область I от области II. Определим вероятность преодоления электроном области II, т.е. преодоления потенциального барьера шириной a . Согласно классической физике эта вероятность равна нулю, так как $E < U_0$ и в области II кинетическая энергия электрона должна быть отрицательна, что невозможно. В квантовой механике движение электрона описывается волновой функцией $\Psi(x,t)$,

которая, подобно плоской волне, падающей на потенциальный барьер U_0 в точке $x = x_0$, частично отражается, а частично проходит сквозь него [7].

Стационарные уравнения Шредингера для областей I и II:

$$-\frac{\hbar}{2m} \frac{d^2\Psi_1(x)}{dx^2} = E\Psi_1(x), \quad -\frac{\hbar}{2m} \frac{d^2\Psi_2(x)}{dx^2} = (E - U_0)\Psi_2(x), \quad (1)$$

где $\Psi_1(x)$ и $\Psi_2(x)$ определяют волновую функцию стационарного состояния с энергией E , m – масса электрона, x – координата. Волновые векторы k_1 и k_2 определим как:

$$k_1 = \sqrt{2mE/\hbar} = mV_1/\hbar = 2\pi/\lambda_1, \quad k_2 = \sqrt{2m(E - U_0)/\hbar} = mV_2/\hbar = 2\pi/\lambda_2, \quad (2)$$

где λ_1 и λ_2 — длины волн в областях I и II, V – скорость электрона.

С учетом (2) система (1) будет иметь вид:

$$\frac{d^2\Psi_1(x)}{dx^2} + k_1^2\Psi_1(x) = 0, \quad \frac{d^2\Psi_2(x)}{dx^2} + k_2^2\Psi_2(x) = 0. \quad (3)$$

В общем виде для областей I и II каждая из функций $\Psi_1(x)$ и $\Psi_2(x)$ может быть представлена в виде суммы экспонент $\exp(\pm ik_1x)$, $\exp(\pm ik_2x)$. Присоединив к каждому из этих частных стационарных временной множитель $\exp(-iEt/\hbar) = \exp(-i\omega t)$, получим $\exp[i(xk - \omega t)]$, что соответствует распространению плоской волны. Из условия непрерывности волны и ее первой производной во всей области движения следует:

$$\Psi_1(x_0) = \Psi_2(x_0); \quad \left. \frac{d\Psi_1}{dx} \right|_{x=x_0} = \left. \frac{d\Psi_2}{dx} \right|_{x=x_0}. \quad (4)$$

В области I

$$\Psi_1(x) = A_1 \exp(ik_1x) + B_1 \exp(-ik_1x), \quad (5)$$

где $\exp(ik_1x)$ соответствует волне, набегающей по оси x на барьер слева направо, а $\exp(-ik_1x)$ описывает отраженную волну от барьера.

В области II при $(E - U_0) < 0$ коэффициент k_2 становится чисто мнимым $k_2 = ik$. Отсюда решение уравнение Шредингера для области II приобретает вид:

$$\Psi_2 = A_2 \exp(-ik_2x) + B_2 \exp(ik_2x) = B_2 \exp(ik_2x) = B_2 \exp(-kx), \quad (6)$$

где при достаточной ширине барьера в силу граничных условий можно пренебречь растущей экспонентой $A_2 \exp(kx)$. Существует вполне определенная вероятность найти частицу в области x , классически недоступной области II [9], которая равна:

$$|\Psi_2|^2 = B_2^2 \exp(-2kx) = B_2^2 \exp[-2x\sqrt{2m(U_0 - E)}/\hbar]. \quad (7)$$

С учетом спектра поглощения можно оценить высоту барьера как $U_0 - E = h\nu = h/\lambda$, относительная вероятность найти электрон на расстоянии x от границы барьера в области II убывает экспоненциально с показателем:

$$P_{II} = \exp\left(-\frac{2}{\hbar} x \sqrt{2m(U_0 - E)}\right). \quad (8)$$

Используя спектр поглощения триптофана в УФ диапазоне 280 нм (рис. 4) [10], можно оценить вероятность нахождения электрона в области II (в соответствии с (8)), на расстоянии $x = 0,1$ нм, от границы барьера.

$$\begin{aligned} P_{II} &= \exp\left(-\frac{2}{\hbar} x \sqrt{2m(U_0 - E)}\right) = \\ &= \exp\left(-\frac{2}{1.055 * 10^{-34}} * 1.0 * 10^{-10} * \sqrt{2 * 0,91 * 10^{-30} * \frac{6.62 * 10^{-34} * 3 * 10^8}{2.8 * 10^{-7}}}\right) = 0.12 \end{aligned} \quad (9)$$

Вероятность нахождения электрона в области II имеет значение порядка 12%, что представляет значительную величину с учетом числа ударов электрона о границы потенциальной «ямы» в единицу времени.

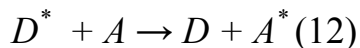
Используя условие сшивки, аналогичные (4) можно определить вероятность P_{III} , нахождения электрона в области III, которая пропорциональна $|\Psi_a|^2$ и при $ka \gg 1$ составляет:

$$P_{III} = \exp(-2ka) = \exp[-2a\sqrt{2m(U_0 - E)}/\hbar]. \quad (10)$$

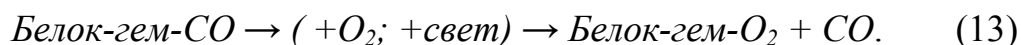
Величина P_{III} определяет прозрачность барьера. Если электрон совершает осцилляторные движения в потенциальной «яме», ударяясь с определенной частотой (ω) о ее стенки, то можно показать, что вероятность его выхода из «ямы» в единицу времени будет равна (формула Гамова):

$$W_0 = v \exp[-2a\sqrt{2m(U_0 - E) / \hbar}]. \quad (11)$$

Рассмотрим процессы, происходящие в молекулах биологических полимеров при отрыве электрона от молекулы донора D и прикреплении к молекуле акцептора A . Общая схема электронного возбуждения в белках имеет вид:

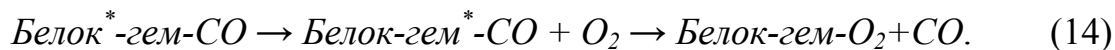


Скорости электронного переноса (туннелирования) имеют значения порядка $10^{-5} - 10^{-12}$ с. При поглощении кванта энергии в присутствии кислорода происходит отщепление CO от карбомиоглобина:



Разрыв связи гем—CO происходит в следствие фотодиссоциации или распада этого соединения в возбужденном состоянии. Энергии поглощенного кванта оказывается достаточно не только для перевода молекулы в возбужденное состояние, но и для повышения запаса ее колебательной энергии на величину, превышающую глубину минимума потенциальной кривой $U^*(R)$ возбужденного состояния (рис. 5).

Фотохимическая реакция отщепления CO от гемма вызывается светом, поглощенным гемом, и достаточно эффективна при длинах волн около 410 нм и в области 280 нм, где до 40 % энергии поглощают ароматические группы белка, возбуждение приводит к такому же эффективному распаду связи гем CO. Это свидетельствует о миграции энергии от белка на гем. Затем эта энергия растрчивается на фотохимическое отщепление оксида углерода:



Последнее состояние в цепочке реакции по миграции энергии (14) является метастабильным, и сохраняет устойчивость длительное время.

Выводы

На основании полученных результатов и развитых представлений можно сделать следующие выводы:

1. Биологические полимеры, входящие в состав волос человека, под действием электромагнитного поля переходят в возбужденное состояние, что стимулирует перенос электронов от донора к акцептору и процессы химического окисления биологических полимеров.
2. Развитые представления позволяют построить концептуальную модель динамики изменения параметров свечения волос под действием электромагнитного поля.
3. Как экспериментальные данные, так и концептуальные представления свидетельствуют о зависимости изменения электронных процессов в биологических полимерах волос от их физико-химического состояния. В «свежих» волосах идут процессы окисления в присутствии воды, вследствие чего происходит экспериментально наблюдаемое изменение параметров свечения под действием электрического поля. В «выдержанных» волосах данного процесса не происходит из-за деструктуризации биологических полимеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коротков К.Г., Нечаев В.А., Петрова Е.Н., Вайншелбойм А., Коренюгин Д.Г., Шигалев В.К.* Исследование ГРВ свечения волос // Приборостроение. 2006. № 2. С. 51-56.
2. *Скальный А.В., Быков А.Т.* Эколого-физиологические аспекты применения макро- и микроэлементов в восстановительной медицине. Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. 198 с.
3. *Clarence R. Robbins.* Chemical and Physical Behavior of Human Hair. Springer-Verlag, New York. 1994.
4. *Vainshelboim A. L., Hayes M. T., Korotkov K. G., Momoh K. S.* GDV Technology Applications for Cosmetic Sciences // IEEE 18th Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2005). Dublin, Ireland. June 2005.
5. *Коротков К. Г.* Основы ГРВ Биоэлектрографии. Л.: Изд-во СПбГУИТМО. 2001. 360 с.
6. *Коротков КГ, Малюгин ВИ, Кизеветтер ДВ, Петрова ЕН, Вайншелбойм А, Матраверс П.* Временная динамика реакции волос на лазерное излучение и электромагнитное поле // Материалы X международного конгресса по биоэлектрографии. 2006. С. 57-61.
7. *Рубин А. Б.* Биофизика. М: Наука. 2004. Том 1. 463 с.
8. *Charles A. Wert, R.M. Thomson.* Physics of solids. Illinois. McGraw-Hill Book Company. New-York. 1964. P. 343.

9. *Шайтан КВ.* Каким образом электрон движется по белку // Соросовский Образовательный Журнал. 1999, № 3. С. 58.

10. *Владимиров ЮА.* Инактивация ферментов ультрафиолетовым облучением // Соросовский Образовательный Журнал. 2001, Том 7, № 2. С.21.

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем

Поступила в редакцию

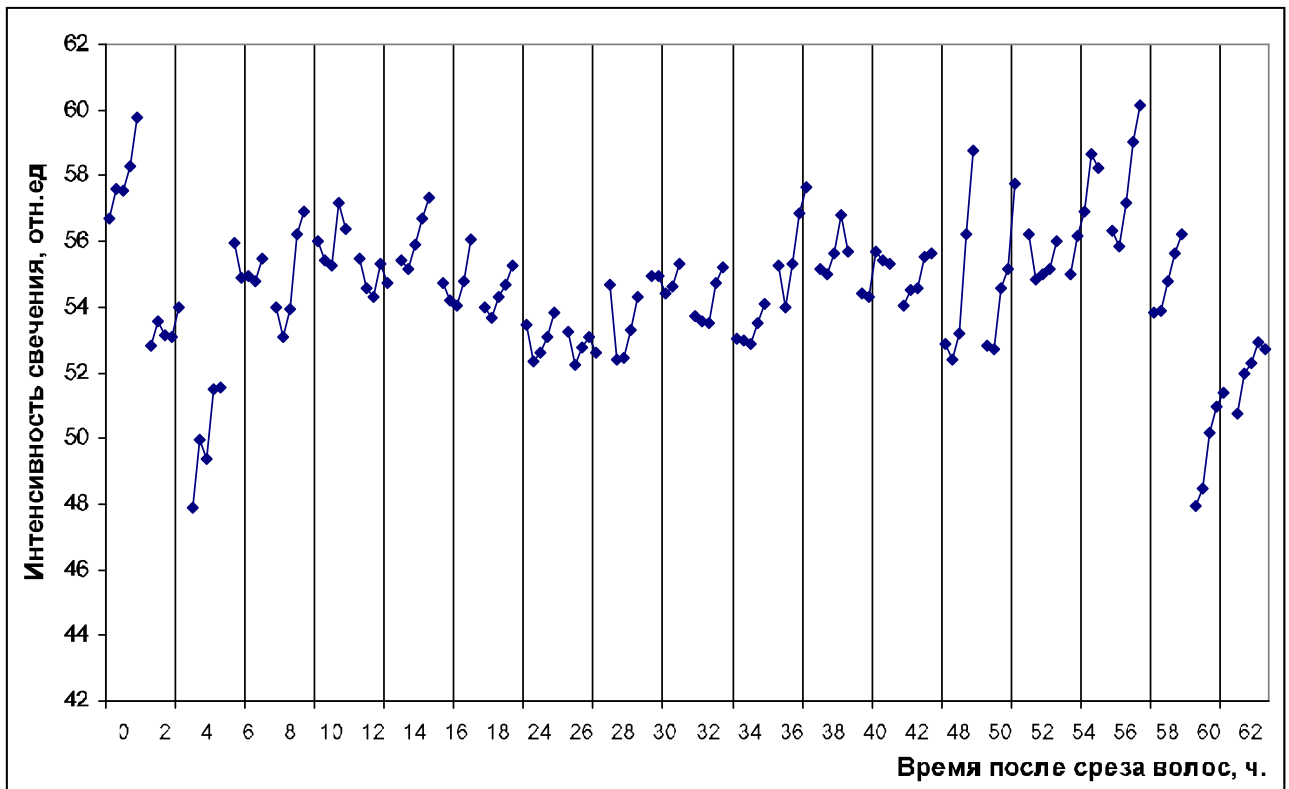


Рисунок 1. График динамики изменения интенсивности газоразрядного свечения «свежих» образцов волос под действием электрического поля.

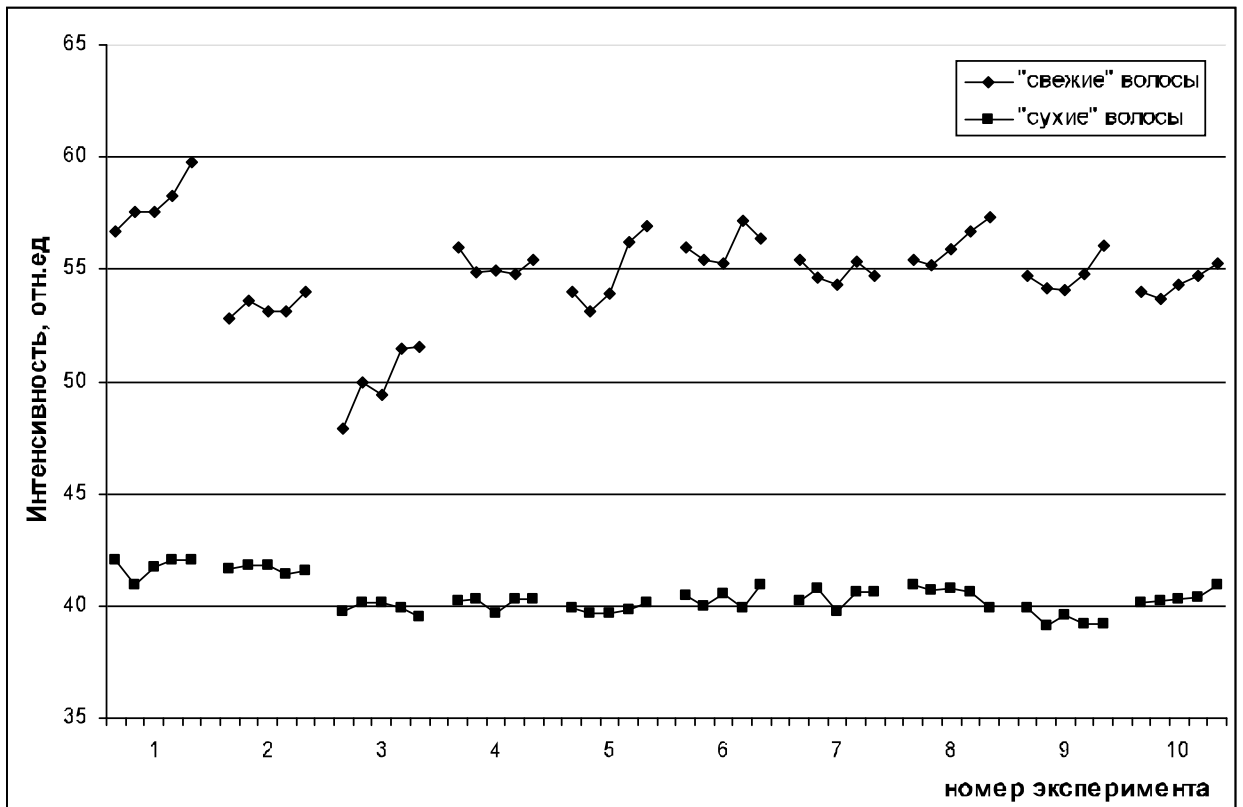


Рисунок 2. Графики сравнения динамики изменения интенсивности свечения «свежих» и «выдержанных» образцов волос под действием электрического поля .

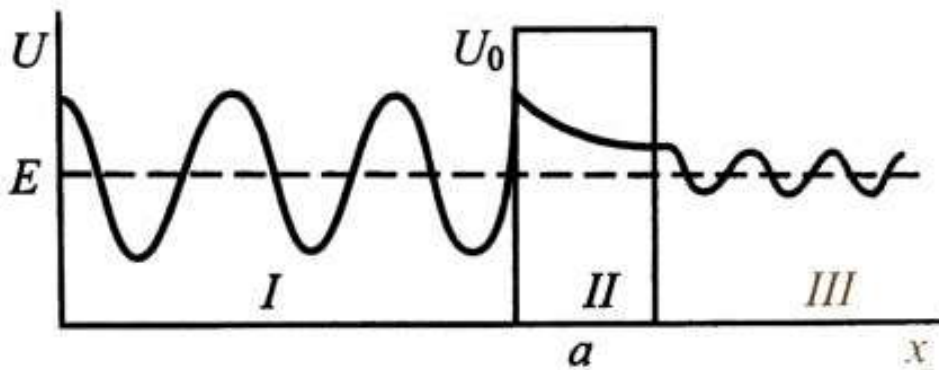


Рисунок 3. Механизм туннелирования электрона [7].

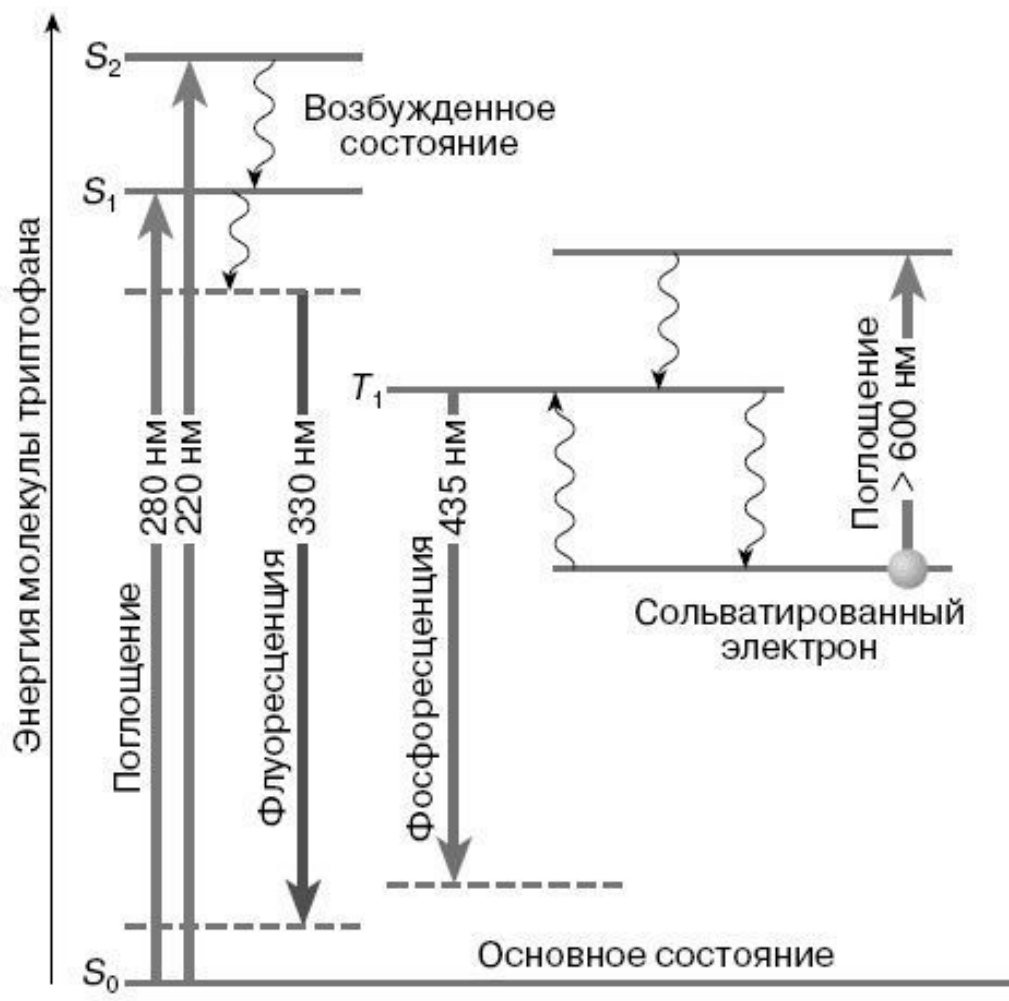


Рисунок 4. Спектры молекулы триптофана [10].

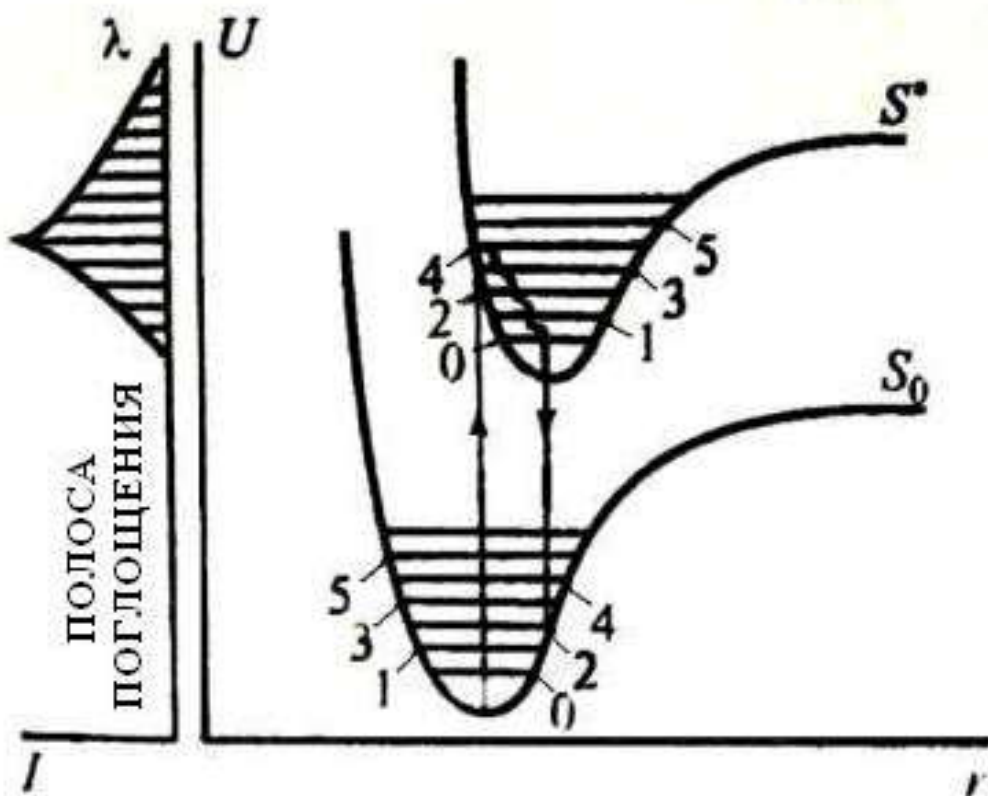


Рисунок 5. Кривые потенциальной энергии основного S_0 и синглетного S^* состояний двухатомной молекулы. U – потенциальная энергия; r – межъядерное расстояние; I – интенсивность поглощения; λ – длина волны; 0 – 5 – колебательные подуровни ядерных состояний [9].