А. С. Иванов

# РУКОВОДСТВО ПО ЛАЗЕРОТЕРАПИИ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Санкт-Петербург
СпецЛит

**А. С. Иванов**

# РУКОВОДСТВО ПО ЛАЗЕРОТЕРАПИИ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

2-е издание,
исправленное и дополненное

Санкт-Петербург
СпецЛит
2014

УДК 616-006-085.849.19:577.123
И20

Автор:

*Иванов Александр Сергеевич* — доктор медицинских наук, профессор кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии им. А. А. Лимберга Северо-Западного государственного медицинского университета им. И. И. Мечникова и кафедры челюстно-лицевой хирургии и стоматологии ФГБВОУ ВПО «Военно-Медицинская академия им. С. М. Кирова» МО РФ

Рецензенты:

*Пономаренко Геннадий Николаевич* — доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой курортологии и физиотерапии ФГБВОУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» МО РФ;

*Гребнев Геннадий Александрович* — доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой челюстно-лицевой хирургии и стоматологии ФГБВОУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» МО РФ

**Иванов А. С.**

И20 Руководство по лазеротерапии стоматологических заболеваний. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : СпецЛит, 2014. — 102 с. — ISBN 978-5-299-00610-0

Второе издание руководства посвящено современному популярному и широко применяемому физиотерапевтическому фактору — лазерному излучению. Последовательно, шаг за шагом, автор знакомит читателя с историей появления лазерного излучения, его физическими особенностями, влиянием на биологические объекты и человека, проводит сравнительный анализ результатов своих исследований с результатами исследований других ученых. В работе описаны методики лечения многих стоматологических заболеваний, а также применение лазерного излучения в челюстно-лицевой хирургии и пластической хирургии лица.

Книга иллюстрирована таблицами, графиками, рисунками. Предназначена для врачей-физиотерапевтов, стоматологов, челюстно-лицевых хирургов, пластических хирургов, курсантов академий и университетов последипломного образования, ординаторов, стоматологов-интернов, студентов стоматологических и лечебных факультетов медицинских академий и университетов.

**УДК 616-006-085.849.19:577.123**

**ISBN 978-5-299-00610-0**

© ООО «Издательство «СпецЛит»», 2014

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . . 4
Физическая терминология . . . . . 5
Условные сокращения . . . . . 7
**Глава 1.** История создания, строение и виды лазеров . . . . 8
**Глава 2.** Применение лазеров в медицине . . . . . 23
**Глава 3.** Биологическое действие лазерного излучения . . . . 31
**Глава 4.** Лазерные устройства, применяемые в стоматологии, челюстно-лицевой и пластической хирургии . . . . . 47
**Глава 5.** Техника безопасности при работе с лазерными медицинскими установками и дозиметрия лазерного излучения . . 54
**Глава 6.** Показания, противопоказания и осложнения при применении лазерного излучения . . . . . 61
**Глава 7.** Методики лазерного лечения в стоматологии, челюстно-лицевой и пластической хирургии . . . . . 65
Заключение . . . . . 90
Conclusion . . . . . 93
Литература . . . . . 96
Приложение . . . . . 101

# Глава 1

# ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ, СТРОЕНИЕ И ВИДЫ ЛАЗЕРОВ

Начало XX в. было отмечено многими величайшими достижениями человеческого ума. 7 мая 1895 г. на заседании Русского физико-химического общества А. С. Попов продемонстрировал изобретенное им устройство связи — радио. В этом же году В. Рентген обнаружил новый вид излучения, а в 1896 г. А. А. Беккерель — явление радиоактивности (рис. 1).

В 1897 г. Дж. Дж. Томсоном был открыт электрон, а в следующем году он измерил его заряд. Макс Планк 14 апреля 1900 г. на заседании Немецкого физического общества привел вывод формулы для испускательной способности черного тела. Ученый опирался на совершенно новые идеи, ставшие фундаментом квантовой теории одной из основных физических теорий XX в.

Герберт Уэллс в романе «Война миров» (1897) первым предугадывает появление лазерных лучей. В погоне за жизненным пространством марсиане высаживаются на Землю и предпринимают попытку завоевать ее, истребляя людей. В их арсенале мощное оружие — тепловой луч. Г. Уэллс так описывает происходящее: «Густой черный дым поднимался вверх и смешивался с клубами пара над рекой. Прикосновение теплового луча, скользившего по Уэйбриджу, вызывало вспышки ослепительного белого пламени, за ко-

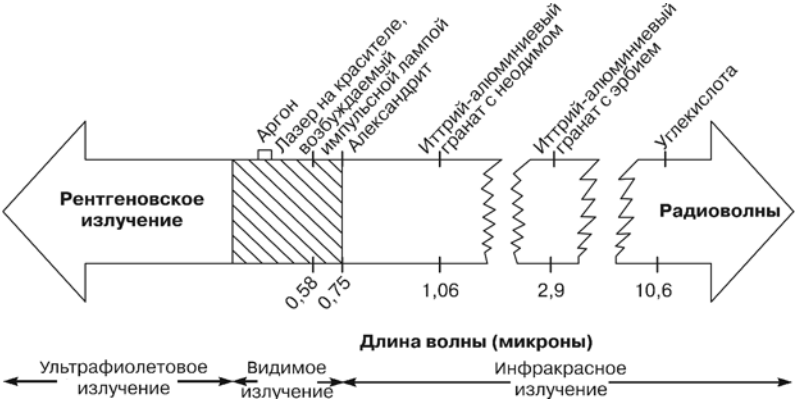


*Рис. 1.* Электромагнитный спектр

торыми следовала пленка языков огня. Ближайшие дома все еще стояли не тронутыми, ожидая своей участи, сумрачные, тусклые, окутанные паром, а позади них метался огонь... Вдруг белые вспышки теплового луча стали приближаться ко мне. От его прикосновения рухнули охваченные пламенем дома, деревья с громким треском обратились в огненные столбы. Луч скользил вверх и вниз по береговой тропинке, сметая разбегавшихся людей, и, наконец, опустился до края воды, ярдах в пятидесяти от того места, где я стоял. Потом перенесся на другой берег, к Шаппертону, и вода под ним закипела и стала обращаться в пар».

Г. Уэллс не касается устройства и принципа работы «генератора теплового луча», ограничивается только осторожными замечаниями: «Многие полагают, что марсиане как-то концентрируют интенсивную теплоту внутри абсолютно не проводящей тепло камеры. Эту конденсированную теплоту они бросают параллельными лучами на тот предмет, который они избрали целью, при посредстве полированного параболического зеркала из неизвестного вещества, подобно тому как зеркало маяка отбрасывает снопы света».

Среди многих достижений физики того времени необходимо выделить квантовую радиофизику, возникшую на стыке радиотехники, квантовой механики и оптики, приведшую к созданию квантовых генераторов оптического диапазона. Альберт Эйнштейн опубликовал в 1905 г. специальную теорию относительности, а в 1919 г. он уже сформулировал принципы получения лазерного излучения. В своих работах по квантовой теории света А. Эйнштейн выделил четыре вида фотоэффекта:

— **внешний** (испускание электронов под действием электронов — фотоэлектронная эмиссия);

— **внутренний** (увеличение электропроводимости полупроводников и диэлектриков под воздействием света — фотопроводимость);

— **вентильный** (возбуждение электродвижущей силы (ЭДС) на границе между металлом и полупроводником или между разнородными полупроводниками);

— **фотоионизация газов**.

Писатель А. Толстой в романе «Гиперболоид инженера Гарина» (1926) описал световой луч, больше похожий на луч современного мощного лазера (рис. 2).

Световые лучи от угольных пирамидок попадают на поверхность гиперболического зеркала А и, отразившись от него, фокусируются на поверхности гиперболического зеркала В, изготовленного из фантастического тугоплавкого материала, названного шамонитом. От зеркала В лучи отражаются в виде идеального «лучевого

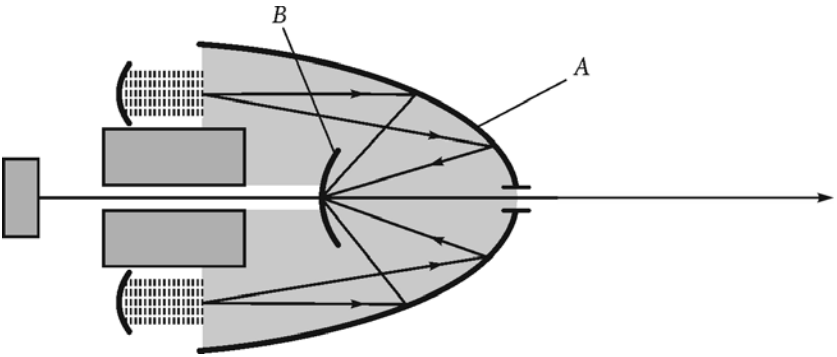


*Рис. 2.* Строение гиперболоида

*А, В* — гиперболические зеркала

шнура». О применении лучей света против большевиков можно прочесть у А. Беляева в романе «Прыжок в ничто» (1934).

Все эти открытия производили ошеломляющее впечатление и многих повергли в замешательство, так как открытия никак не укладывались в рамки существовавшей физики, требовали пересмотра ее основных представлений. Едва начавшись, новый век возвестил о рождении новой физики, обозначил невидимую грань, за которой осталась прежняя физика, получившая отныне название «классическая».

В 1939 г. преподаватель Московского энергетического института В. А. Фабрикант в своей диссертации доказал возможность получения принципиально новых источников света и радиоволн небывалой силы путем когерентного излучения фотонов.

Американские физики Е. Парселл и Р. Паунд в 1950 г. впервые наблюдали лазерное вынужденное излучение в виде коротких радиоимпульсов.

В 1951 г. В. А. Фабриканту с сотрудниками было выдано свидетельство на изобретение способа «усиления электромагнитного излучения за счет использования вынужденного испускания». Вскоре этот способ усиления излучения был реализован. Однако вначале он был использован отнюдь не в оптическом диапазоне, а в диапазоне сверхвысоких частот. Этот прибор был назван мазером (от англ. microwave — микроволновый или начальных букв Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation — стимулирует микроволновое излучение). В мае 1952 г. на общесоюзной конференции по радиоспектроскопии Н. Г. Басов и А. М. Прохоров сообщили о принципиальной возможности создания усилителя генера-

тора излучения в СВЧ-диапазоне. Они назвали его «молекулярным генератором», поскольку предполагалось использовать в качестве активной «среды» пучок молекул аммиака. Аналогичное предложение об использовании вынужденного испускания для усиления и генерации СВЧ-излучения было высказано американским физиком Ч. Таунсом.

В 1954 г. был создан «молекулярный генератор», названный вскоре лазером. Термин «лазер» произошел за счет замены в термине «мазер» буквы M на букву L (от англ. light — свет). Его разработали и создали независимо и практически одновременно два коллектива ученых — советские ученые, работавшие в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР под руководством Н. Г. Басова и А. М. Прохорова, и американские ученые, работавшие в Колумбийском университете в США под руководством Ч. Таунса. Созданный ими молекулярный генератор на пучке молекул аммиака генерировал излучение на длине волны 1,25 см. В 1955 г. в журнале «Доклады Академии наук СССР» (т. 101, № 1) была опубликована статья Н. Г. Басова и А. М. Прохорова «Теория молекулярного генератора и молекулярного усилителя мощности».

Позже В. А. Фабрикант предложил прибор, который усиливал свет в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах. Ученые Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР (ФИАН) добились усиления световых волн с помощью генераторов с рубиновым кристаллом и минералом флюоритом. Приборы, усиливающие свет, получили название лазеров. Так же как и в предыдущем случае, название состоит из первых букв английской фразы, означающей «усиление света посредством стимулированного излучения» — Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

Появление лазера означало, что родилось новое направление в науке и технике, и предыдущее название «квантовая радиофизика» заменили на термин «квантовая электроника».

За фундаментальные исследования в квантовой электронике, увенчавшиеся созданием мазера, а затем и лазера, Н. Г. Басов, А. М. Прохоров и Ч. Таунс в 1964 г. были удостоены Нобелевской премии по физике.

Создание лазеров позже чем мазеров было связано с тем, что тогда не были предложены резонаторы для оптического диапазона длин волн, конкретные системы и методы инверсной населенности энергетических уровней атомов в оптическом диапазоне.

В 1955 г. Н. Г. Басов и А. М. Прохоров обосновали применение оптической накачки для создания инверсной населенности уровней электронов в атоме. В 1956 г. Н. Бломберген (США) выступил с предложением создать малошумящий усилитель на твердом теле. В 1957 г. Н. Г. Басов выдвинул идею использования полупроводни-

ков для создания квантовых генераторов. При этом он предложил использовать в качестве резонатора специально обработанные поверхности самого полупроводникового образца.

В том же 1957 г. В. А. Фабрикант и Ф. А. Бутаева наблюдали эффект оптического квантового усиления в опытах с электрическим разрядом в газовой смеси, состоящей из паров ртути, водорода, гелия. В 1958 г. А. М. Прохоров и независимо от него А. Шавлов и Ч. Таунс, а также Р. Дикке теоретически обосновали возможность распространения нового метода усиления и генерации излучения на более короткие волны — вплоть до волн оптического диапазона. Одновременно они выдвинули идею применения в оптическом диапазоне не объемных, а открытых резонаторов. Объемный СВЧ-резонатор представляет собой полость с проводящими стенками, причем линейные размеры полости должны быть порядка длины волны излучения. Использование объемных резонаторов в оптическом диапазоне неприемлемо уже потому, что объем таких резонаторов должен быть порядка всего 1 мкм. В отличие от объемных СВЧ-резонаторов, резонаторы для лазеров (выше называли их оптическими резонаторами) не имеют боковых стенок, а сохранены только торцовые отражатели, фиксирующие в пространстве ось резонатора. Линейные размеры открытых резонаторов могут быть существенно больше длины волны излучения.

В 1959 г. вышла в свет работа Н. Г. Басова, Б. М. Вула, Ю. М. Попова с теоретическим обоснованием идеи полупроводниковых лазеров и условий их создания. В 1960 г. появилась обстоятельная статья Н. Г. Басова, О. Н. Крохина, Ю. М. Попова, где были всесторонне рассмотрены принципы создания и теория квантовых усилителей и генераторов в инфракрасном и видимом диапазонах. Интенсивные теоретические и экспериментальные исследования, проводившиеся в СССР и США, вплотную подвели учёных и инженеров в конце 1950-х гг. к созданию лазера. Успех выпал на долю американского физика Т. Меймана. В 1960 г. появилось сообщение о том, что ему удалось получить с помощью кристалла рубина генерацию излучения в оптическом диапазоне.

Удивительные свойства кристаллов рубина преобразовывать свет были известны еще в Древней Индии. У индусов существует легенда о камнях, сияющих ярче самого солнца. Она описана в романе «Лезвие бритвы» фантаста И. Ефремова (1963). Действие происходит за тысячу лет до нашей эры. В одном из индийских храмов в руки воинов Александра Македонского попала таинственная корона, украшенная необычными, по-особому ограненными камнями. Согласно преданию монахов, ее передали людям боги. Надевать корону могли только святые, ибо если в яркий солнечный день она окажется на голове смертного, то человек погиб-

нет от таинственного излучения. Считая себя непобедимым и бессмертным, Александр Македонский надел корону и вышел из храма на освещенную ярким полуденным солнцем площадь. Воины с ликованием встречали своего полководца, на голове которого блистала корона богов. Вдруг Александр Македонский пошатнулся и упал. Вскоре он умер.

Трудно предположить, что было истинной причиной смерти полководца, но определенная ценность легенды состоит в том, что в ней, пожалуй, впервые было описано свойство кристаллов генерировать качественно новый вид излучения.

Первый лазер выглядел весьма необычно — это был кубик рубина размером $1 \times 1 \times 1$ см с двумя посеребренными противоположными гранями; в дальнейшем он станет активным элементом лазеров на рубине. Для твердотельных лазеров его изготовляли в форме цилиндра с зеркальными покрытиями на торцах. В 1960 г. американским физикам А. Джавану, В. Беннету, Д. Эрриоту удалось получить генерацию когерентного оптического излучения в электрическом разряде смеси неона и гелия. Это послужило появлению первого газового (гелий-неонового) лазера, широко применяемого сегодня. Позже была получена генерация уже в десяти различных газовых смесях на сорока рабочих переходах, перекрывающих спектр от 0,6 до 12 мкм.

В 1962—1963 гг. в СССР и США одновременно были созданы полупроводниковые лазеры. Ж. Алферов (2012) отмечает, что фундаментальным достижением в конструировании этого вида лазеров является использование в качестве излучателей гетероструктур арсенида галлия, галлий-алюминий-мышьяка, германий-кремния.

Сразу же после появления первых образцов газовые лазеры привлекли к себе особое внимание исследователей. Генерируемое ими излучение обладало более высокой когерентностью, чем излучение твердотельных, а тем более полупроводниковых лазеров. К сожалению, выходная мощность первых газовых лазеров была очень низкой. Ситуация, однако, изменилась в 1966 г., когда К. Пател создал первый лазер на смеси углекислого газа и азота ($CO_2$ лазер). Сохраняя высокую когерентность излучения, присущую газовым лазерам, $CO_2$ лазеры в то же время позволяли получать высокую выходную мощность в непрерывном режиме и при этом характеризовались относительно большим коэффициентом полезного действия.

Так начался новый период в развитии оптики. Его называют «лазерным периодом».

## Строение и виды лазеров

Несмотря на многообразие, все лазеры имеют одну и ту же принципиальную схему, которая содержит всего три основных узла: активный элемент, устройство накачки (генератор), оптический резонатор (рис. 3).

**Активный элемент** — «сердце лазера». У одних лазеров он представляет собой кристаллический или стеклянный стержень цилиндрической формы. У других — это отпаянная стеклянная трубка, внутри которой находится специально подобранная газовая смесь. У третьих — кювета со специальной жидкостью. Активный элемент твердотельного лазера отдаленно похож на кекс с изюмом. Роль кекса (по-научному его именуют матрицей или основой) играет кристалл диэлектрика или стекло. «Изюминками» являются атомы, или точнее ионы, специально вводимые в виде примеси в кристалл в процессе его изготовления. Их называют активными центрами. Лазер на рубине — это лазер, в котором активным элементом служит кристалл розового рубина. Здесь основа — окись алюминия ($Al_2O_3$), а активные центры — ионы хрома ($Cr^{3+}$).

У полупроводниковых лазеров (активный элемент — кристаллик полупроводника или контакт из двух проводников разного типа) активных центров нет; лазерное излучение рождается здесь в результате соответствующих изменений состояния электронного коллектива.

**Лазеры могут быть: твердотельные, жидкостные, газовые на атомных переходах, ионные, молекулярные, электроионизационные, газодинамические, химические, плазменные, полупроводниковые — инжекционные, полупроводниковые — беспримесные**.

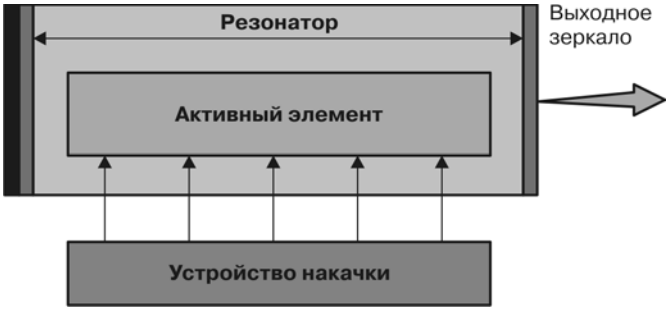


*Рис. 3.* Схема устройства лазера

Активными средами в лазерах могут быть: диэлектрические кристаллы и стекла, жидкости (органические красители, хелатные, апротонные), газовые смеси, содержащие атомы и молекулы, разряженная горячая плазма, газовые смеси из молекул, высокоионизационная холодная плазма, два полупроводника разного типа, чистые полупроводники.

В лазерах применяют следующие **способы накачки**: оптический, с использованием самостоятельного электрического разряда, электрического пучка или инжекцией носителей, электрическим полем; электроионизационный, тепловой, химический, рекомбинационный.

В лазере на гранате с неодимом активным элементом является кристалл алюмоиттриевого граната ($Y_3AI_5O_{12}$), в котором в качестве активных центров введены ионы неодима ($Nd^{3+}$).

В гелий-неоновом лазере ($\lambda = 0{,}63$ мкм) активный элемент — газоразрядная трубка, где под давлением около 1 мм рт. ст. находится смесь гелия и неона, парциальное давление неона в 5—10 раз меньше чем гелия. Активными центрами являются здесь атомы неона.

В $CO_2$ лазере в газоразрядной трубке находится смесь, состоящая из углекислого газа ($CO_2$), молекулярного азота ($N_2$) и разных небольших добавок в виде гелия, паров $H_2O$ и т. д.; активные центры — молекулы $CO_2$.

Из жидкостных лазеров наиболее широко применяются лазеры на органических кристаллах. Красители — сложные органические соединения, способные сильно люминесцировать и притом в достаточно широкой полосе частот. В лазерах чаще всего используют краситель родамин. Активный элемент таких лазеров — кювета с растворителем (водой, спиртом, бензолом и т. д.), в котором растворен краситель; активные центры — молекулы красителя.

В твердотельных лазерах применяется оптическая накачка. Параллельно активному стержню помещается газоразрядная лампа-вспышка. С помощью специального отражателя световая энергия, испускаемая лампой, собирается на активном стержне. Она частично поглощается в нем, что и приводит к возбуждению активных центров. Оптическая накачка используется также в лазерах на красителях. В поперечном разрезе отражатель — это эллипс. Испускаемые лампой-вспышкой световые лучи, отразившись от эллиптической поверхности отражателя, собираются на активном стержне.

В газовых лазерах оптическая накачка, как правило, не применяется. Здесь обычно используют возбуждение с помощью электрического разряда в газе — как в газоразрядных лампах дневного света. В гелий-неоновом лазере возбуждение активных центров (атомов неона) происходит при столкновениях частиц в тлеющем разряде. Образующиеся в разряде быстрые электроны возбуждают

атомы гелия, которые, в свою очередь, передают энергию возбуждения атомам неона. Передача энергии от одних частиц к другим совершается при их столкновениях друг с другом. Следует отметить, что способы накачки газовых лазеров довольно разнообразны. В частности, широко применяется возбуждение активных центров за счет энергии, освобождающейся при определенных химических реакциях (химические лазеры).

Для того чтобы последовавшее за возбуждением высвечивание активных центров происходило в каком-то определенном направлении, предложен **оптический резонатор**. Он представляет собой систему специальных зеркал; активный элемент находится внутри системы зеркал, т. е. внутри оптического резонатора. В простейшем случае резонатор образован всего двумя плоскими взаимно параллельными зеркалами; они находятся на торцах активного стержня или у выходных концов газоразрядной трубки. Одно из зеркал может быть полностью отражающим, зато другое должно частично пропускать излучение. Это второе зеркало называют выходным, именно сквозь него и выходит лазерный луч. Луч направлен перпендикулярно плоскости зеркал, т. е. параллелен оси активного стержня или оси газоразрядной трубки. Доля световой энергии, проходящей через выходное зеркало (коэффициент пропускания зеркала), различна для разных лазеров. У гелий-неоновых лазеров она обычно составляет всего около 1 %, а у лазеров на гранате с неодимом может быть 50 % и больше.

Основополагающими для квантовой электроники являются следующие работы А. Эйнштейна: «Испускание и поглощение излучения по квантовой теории», «К квантовой теории излучения». Ученый показал, что существуют два различных процесса испускания света атомами и молекулами вещества. Наряду с «обычным» самопроизвольным процессом испускания, должен наблюдаться процесс испускания под воздействием излучения, уже имеющегося в окружающей среде. А. Эйнштейн назвал этот процесс индуцированным (вынужденным) испусканием. Именно это испускание и лежит в основе работы лазера.

Известно, что энергия атома (энергия молекул) квантуется. Иными словами, энергия атома (молекулы) не изменяется непрерывно, а принимает лишь некоторые определенные значения. Этим значениям энергии соответствуют так называемые энергетические уровни. Принято говорить: атом или молекула находится на таком-то энергетическом уровне. Переход атома или молекулы с одного энергетического уровня на другой совершается скачком, при этом поглощается или, напротив, испускается соответствующая порция излучения — квант света, или фотон (рис. 4).

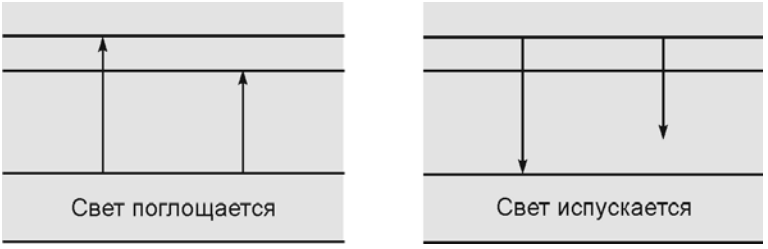


*Рис. 4.* Схема спонтанного испускания излучения:

*горизонтальные линии* — энергетические уровни атома; *стрелки* — квантовые переходы атома с одного уровня на другой. При переходе снизу вверх происходит поглощение фотонов, а сверху вниз — рождение фотонов с соответствующей энергией

При переходе атома на более высокий энергетический уровень фотон поглощается (энергия фотона идет на возбуждение атома). Если же атом переходит на более низкий уровень, происходит испускание фотона (высвобождающаяся энергия возбуждения атома идет на рождение фотона).

Энергия поглощенного или испущенного фотона равна разности энергий уровней атома, между которыми произошел данный переход. Напомним, что энергия фотона равна $h\nu$, где $\nu$ — частота света, $h$ — постоянная Планка ($h = 6{,}6 \times 10^{-34}$Дж·с). Рассмотрим простую физическую модель, где вещество представлено атомами, имеющими только два энергетических уровня. Обозначим энергию этих уровней через $E_1$ и $E_2$ , причем $E_1 < E_2$. На вещество падает свет, состоящий из фотонов, каждый из которых имеет энергию $E_2 - E_1$. Частота такого света равна $(E_2 - E_1)$. Пусть какой-то из атомов находится на нижнем уровне $E_1$. Этот атом может поглотить фотон с энергией $E_2 - E_1$ и совершить скачок с уровня $E_1$ на уровень $E_2$ (рис. 5, см. цв. вкл.).

Это есть единичный акт поглощения света веществом. Атом, находящийся на верхнем энергетическом уровне, под воздействием фотона возвратится на уровень $E_1$. При этом родится еще один фотон, имеющий энергию $E_2 - E_1$. Это есть единичный акт вынужденного испускания света. Его «вынуждает» или, лучше сказать, инициирует фотон, играющий в данном случае роль своеобразного «спускового механизма», который «сталкивает» атом с верхнего энергетического уровня на нижний.

Существенно, что рождающийся фотон (назовем его вторичным) будет точной копией первичного фотона, инициировавшего переход атома с уровня $E_2$ на уровень $E_1$. Оба фотона имеют одну и ту же энергию, одно и то же направление движения (импульс).