

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Факультет: Машиностроительные технологии (МТ)
Кафедра: Электронные технологии в машиностроении (МТ 11)



МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Физико-химические основы нанотехнологий

Сидорова

Светлана

Владимировна

канд. техн. наук,

доцент кафедры МТ 11

МГТУ им. Н. Э. Баумана



Модуль 2

«Методы анализа наноматериалов и наносистем»

Лекция 1.5

«Методы анализа наноразмерных материалов»

Методы анализа наноразмерных материалов



1. Зондовые методы микроскопии
2. Сканирующая электронная микроскопия
3. Просвечивающая электронная микроскопия
4. Люминесцентная микроскопия
5. Дифракционные методы
6. Рентгеновская спектроскопия
7. Электронная спектроскопия
8. Терагерцовая спектроскопия
9. Фемто- и наносекундная спектроскопия
10. Рамановская спектроскопия
11. Магнито-резонансные методы
12. Масс-спектрометрия
13. Наногравиметрия

МЕТОДЫ СПЕКТРОСКОПИИ



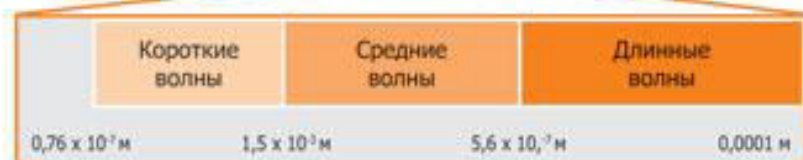
МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Спектроскопия — разделы физики и аналитической химии, посвящённые изучению спектров взаимодействия излучения (в том числе, электромагнитного излучения, акустических волн и др.) с веществом.



Энергия	3×10^4	20	0,5	0,3	2×10^{-4}	7×10^{-7}
Длина волны	6×10^{12}	8×10^8	$3,8 \times 10^7$	$7,6 \times 10^7$	0,0001	0,3
Частота	5×10^{18}	5×10^{15}	$7,9 \times 10^{14}$	$3,9 \times 10^{14}$	3×10^{11}	109

Гамма излучение Рентгеновское излучение Ультрафиолетовое излучение Видимое излучение Инфракрасное излучение Микроволновое излучение Радиоволны



Попадая в призму под определённым углом свет расщепляется на лучи с разной длиной волны (спектр).

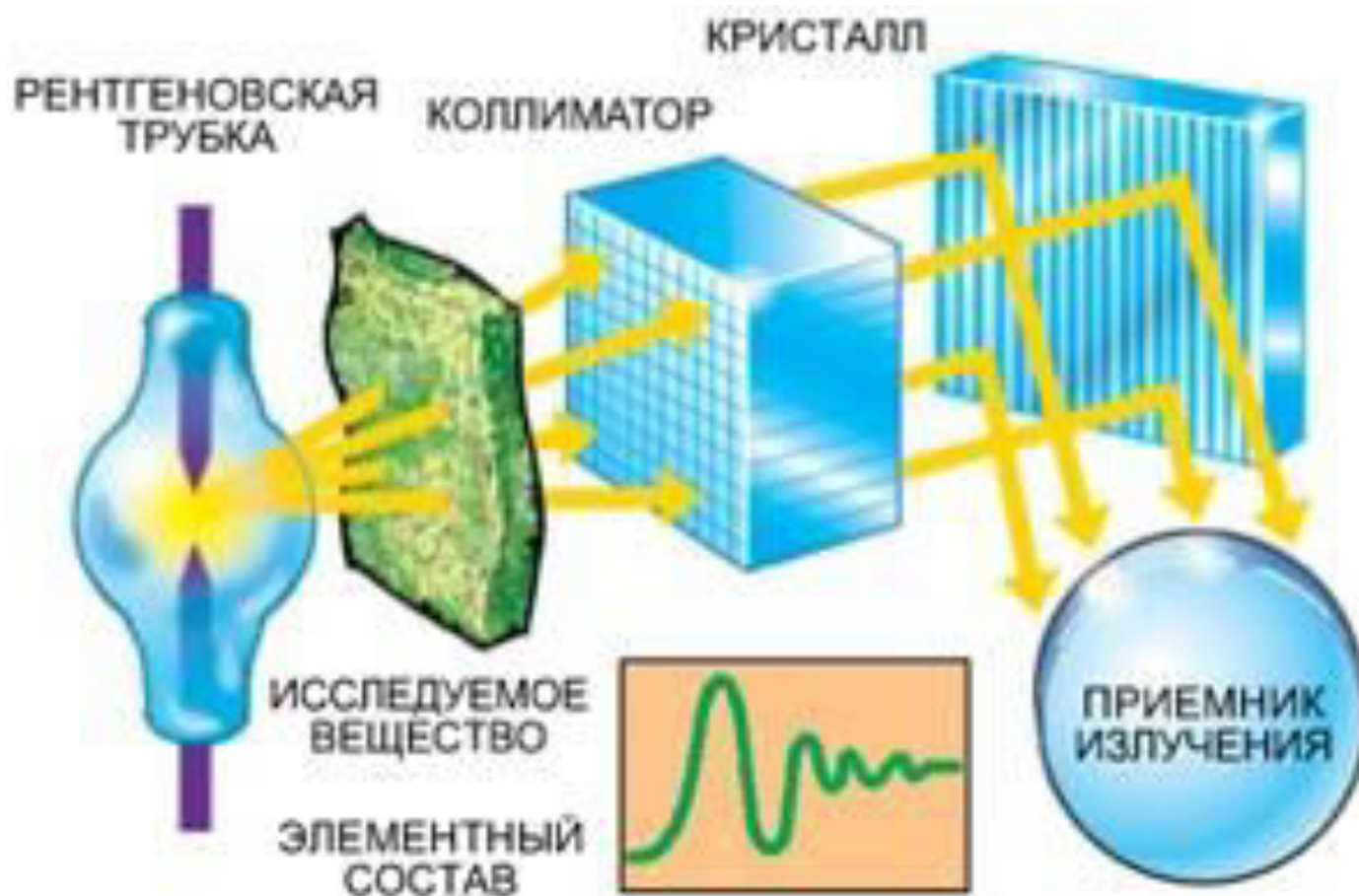
Прямая задача спектроскопии — предсказание вида спектра вещества исходя из знаний о его строении, составе и прочего.

Обратная задача спектроскопии — определение характеристик вещества (не являющихся непосредственно наблюдаемыми величинами) по свойствам его спектров (которые наблюдаются непосредственно и напрямую зависят как от определяемых характеристик, так и от внешних факторов).

Рентгеновская спектроскопия



Рентгеновская спектроскопия — методика изучения состава вещества по спектрам **поглощения** (абсорбции) или **испускания** (эмиссии) квантов света с длиной волны в рентгеновском диапазоне.

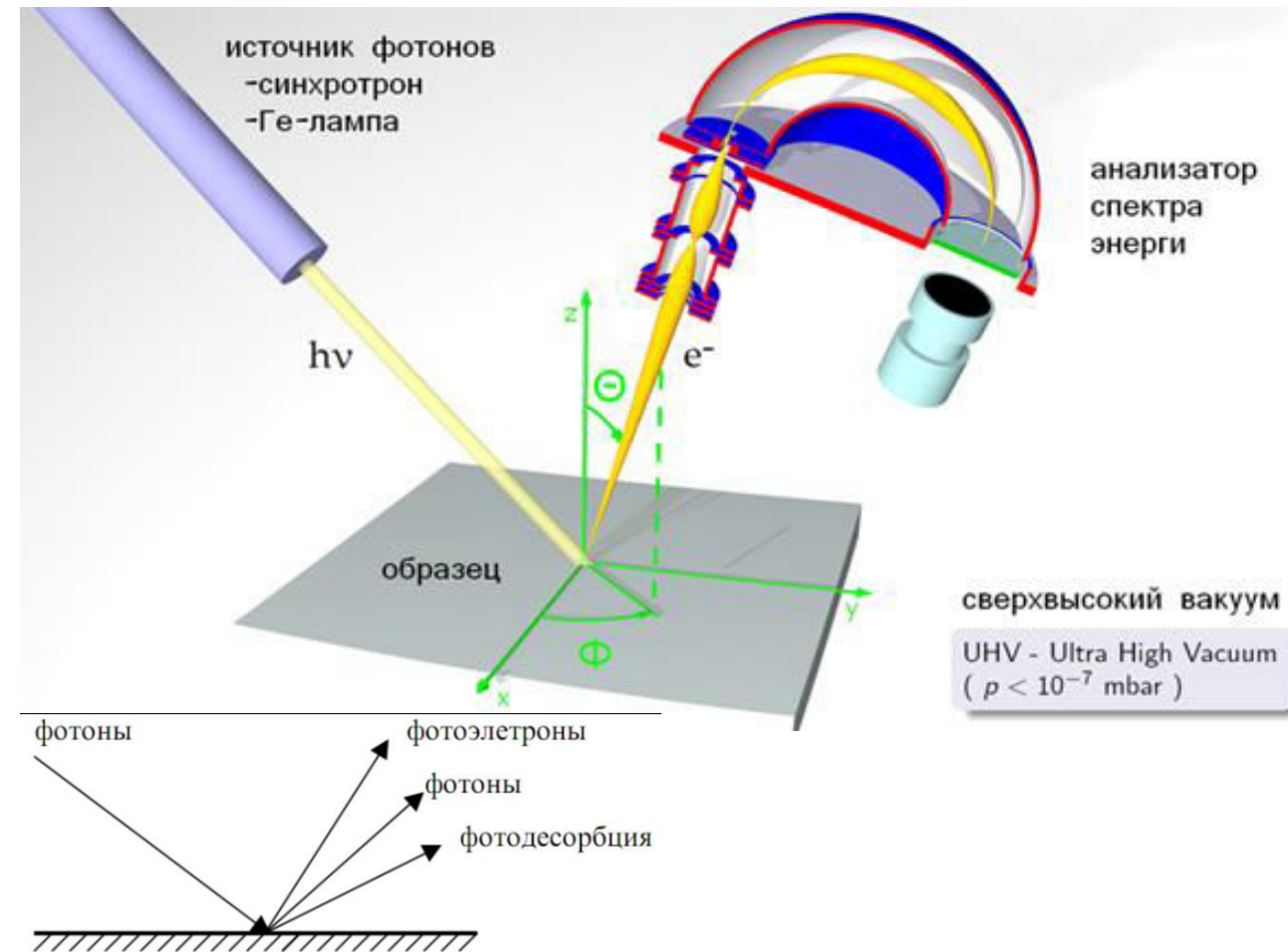


- Информация о вакантных возбужденных состояниях химических соединений или зонах проводимости в полупроводниках.
- Межатомные расстояния, причем даже для *аморфных тел*, к которым неприменима методика рентгеновской дифракции.

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия



Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (сокр., РФЭС; ЭСХА иначе электронная спектроскопия для химического анализа) — разновидность фотоэлектронной спектроскопии, в которой для возбуждения фотоэлектронов используется рентгеновское излучение, и которая служит для зондирования глубоких (остовных) электронных уровней.

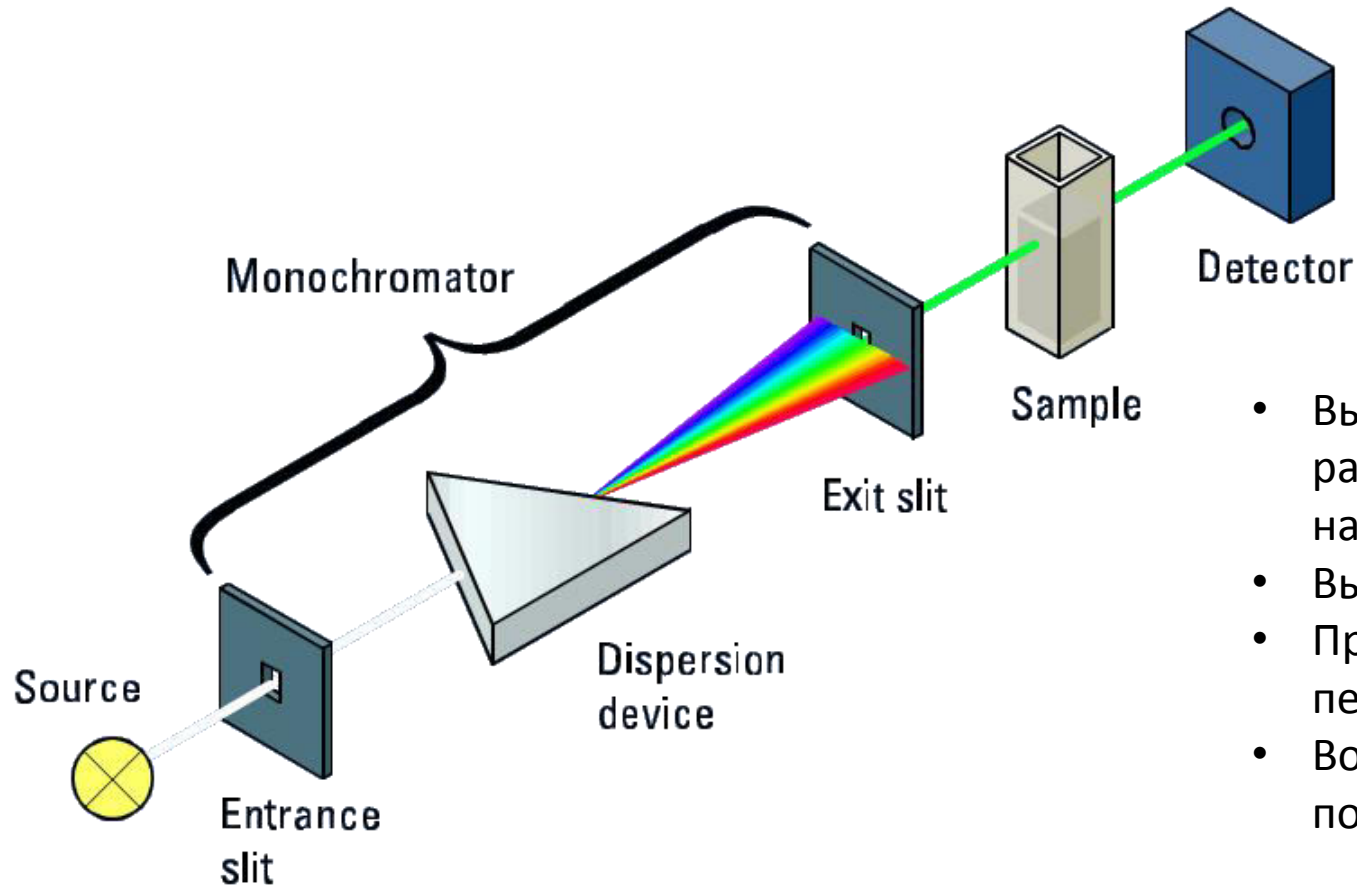


- Качественный и количественный химический анализ состава сверхтонких (3-5 нм) поверхностных слоев вещества и тонких пленок.
- Послойный анализ распределения элементов в приповерхностных слоях с использованием травления ионами инертных газов.
- Исследование электронной структуры вещества и межатомной химической связи.
- Определение химического состава твердых поверхностей, энергии связи.

Электронная спектроскопия



Электронная спектроскопия (сокр., ЭОС иначе Оже-спектроскопия) — метод анализа строения вещества по энергетическим спектрам электронов, возникающих в результате оже-эффекта, проявляющегося при облучения образца высокоэнергетическими пучками γ -квантов, ионов или электронов.



- Высокое пространственное разрешение –до нескольких нанометров.
- Высокая чувствительность.
- Пригодна для всех элементов периодической таблицы, кроме H и He.
- Возможно исследование только поверхностного слоя 1-2 нм.

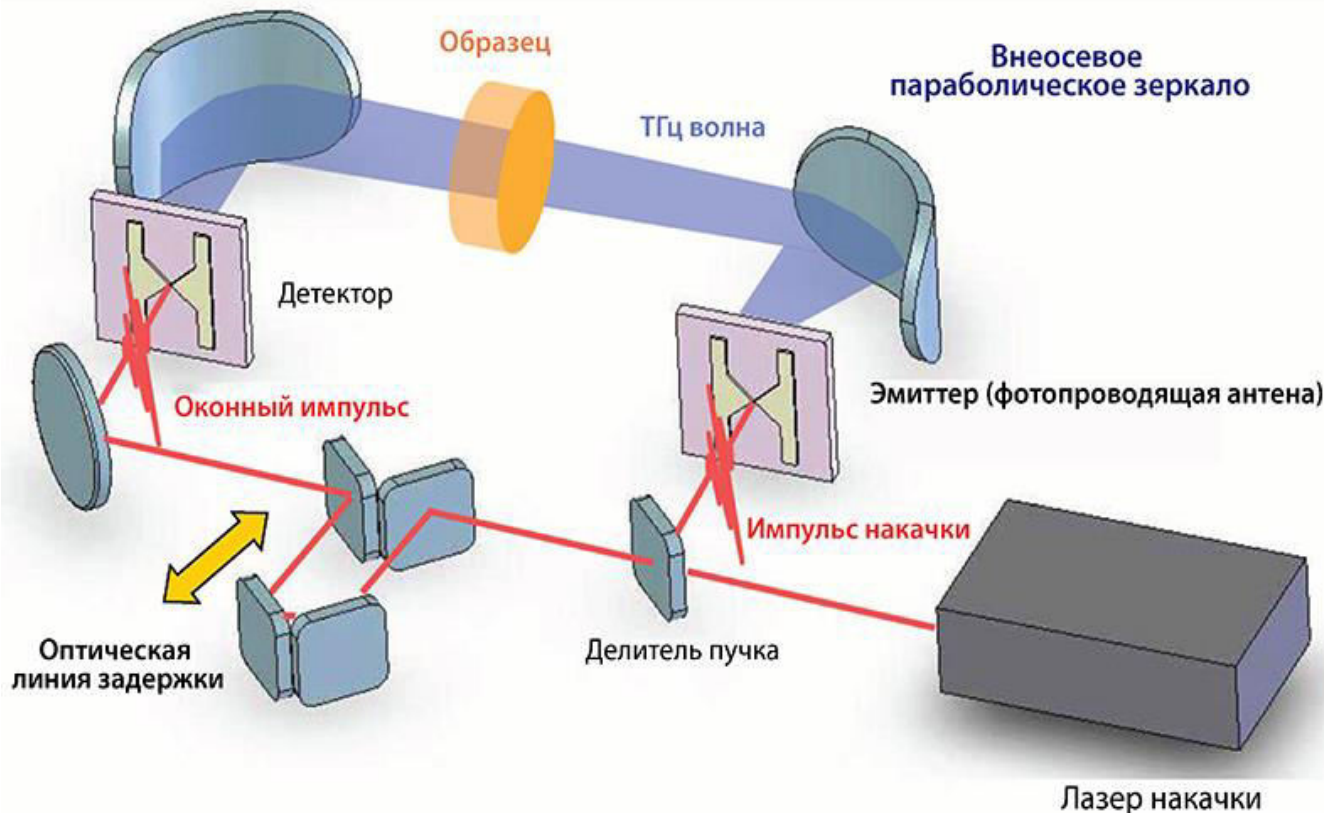
Терагерцовая спектроскопия



МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Терагерцовая спектроскопия (ТГц-спек.) занимается изучением частотного интервала, занимающего часть электромагнитного спектра между инфракрасным (ИК) и микроволновым диапазонами.

Терагерцовая область электромагнитных частот находится в пределах 0,3 до 10ТГц, т.е. $0,3 \cdot 10^{12}$ – $10 \cdot 10^{12}$ Гц (длина волны 1 мм – 30 мкм).

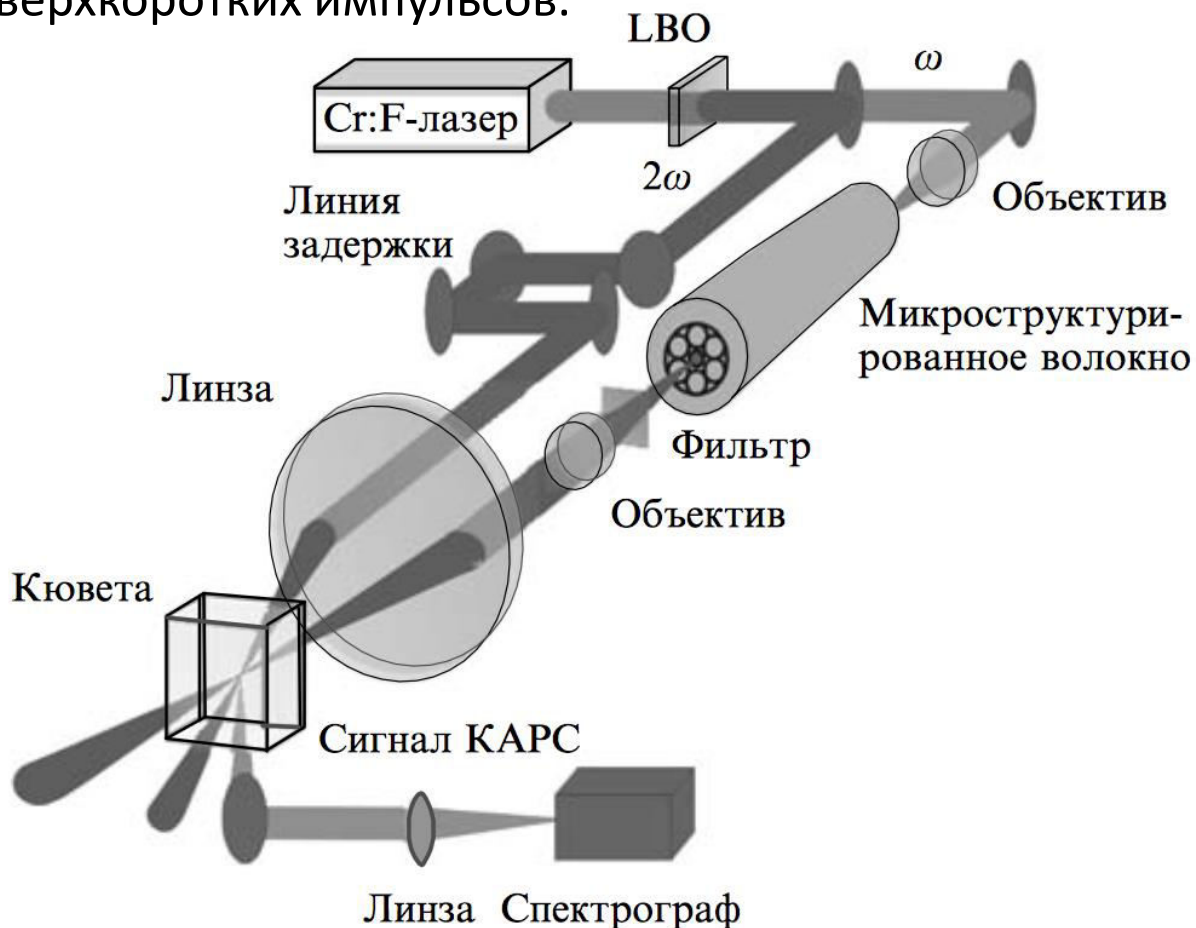


ТГц-излучение — не ионизирующее, легко проходит сквозь большинство диэлектриков, но сильно поглощается проводящими материалами и некоторыми диэлектриками.

Фемто- и наносекундная спектроскопия



Фемтосекундная спектроскопия – совокупность методов исследования вещества с помощью световых импульсов фемтосекундной (10^{-15} - 10^{-12} с) длительности; сочетает возможности диагностики вещества методами обычной оптической спектроскопии (в т. ч. лазерной спектроскопии) с использованием сверхкоротких импульсов.



Фемтосекундные лазерные импульсы позволяют изучать динамические картины быстропротекающих процессов, имеющих важное значение практически для всех областей знаний.

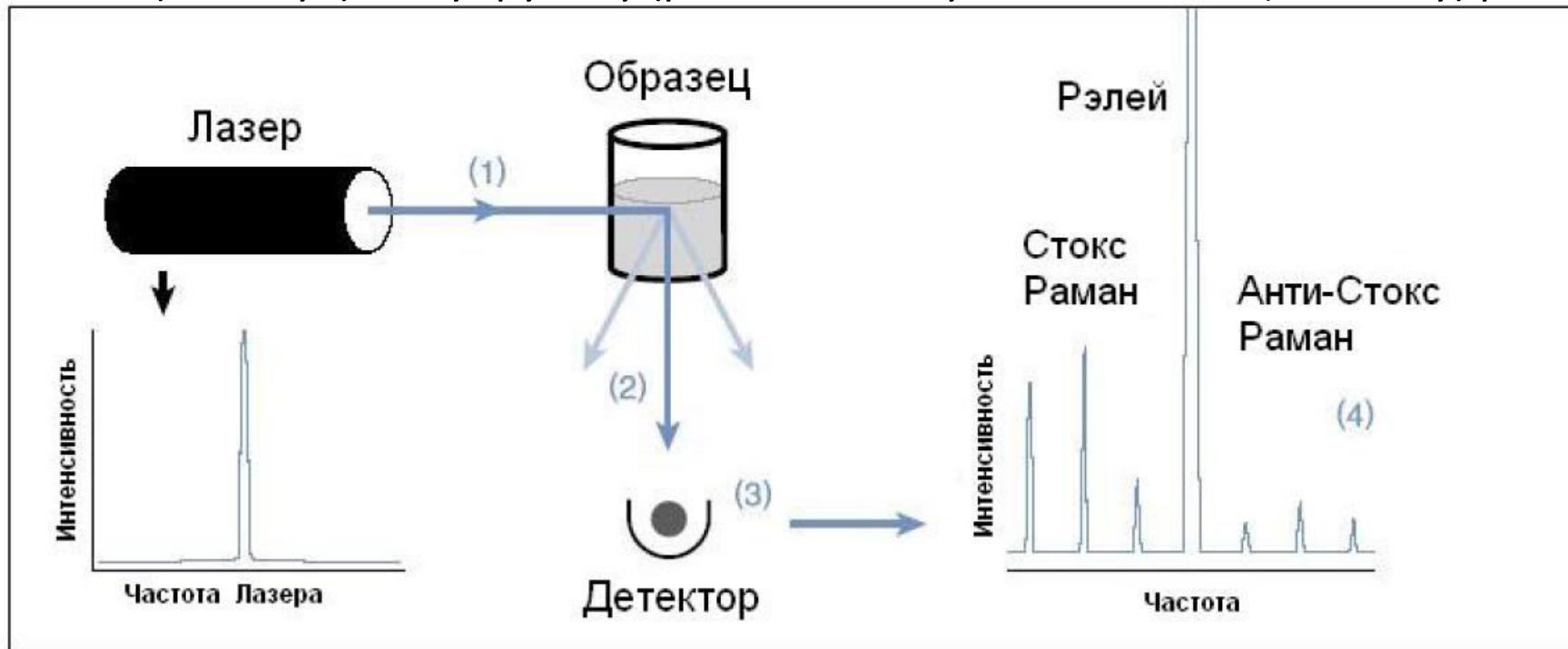
- Релаксация колебательного и электронного возбуждений.
- Внутреннее движение молекул.
- Элементарные стадии химических реакций.
- Релаксация фотовозбуждённых электронов в полупроводниках.
- Первичная стадия преобразования света в фотосинтезирующих и зрительных пигментах.

Рамановская спектроскопия (нелинейно-оптические методы)



МГУ
им. Н.Э. Баумана

Рамановская спектроскопия — вид спектроскопии, в основе которой лежит способность исследуемых систем (молекул) к неупругому (рамановскому или комбинационному) рассеянию монохроматического света.



- (1) Лазерный луч возбуждает образец
- (2) Луч рассеивается во всех направлениях
- (3) Частично свет попадает на детектор, который регистрирует Раман-спектр
- (4) На спектре представлен свет на начальной частоте лазера (или рэлеевской) и спектральные особенности, характерные для каждого уникального образца.

Через образец исследуемого вещества пропускают луч с определенной длиной волны, который при контакте с образцом рассеивается. Полученные лучи с помощью линзы собираются в один пучок и пропускаются через светофильтр, отделяющий слабые (0,001 % интенсивности) рамановские лучи от более интенсивных (99,999 %) рэлеевских. «Чистые» рамановские лучи усиливаются и направляются на детектор, который фиксирует частоту их колебания.

Рамановская спектроскопия

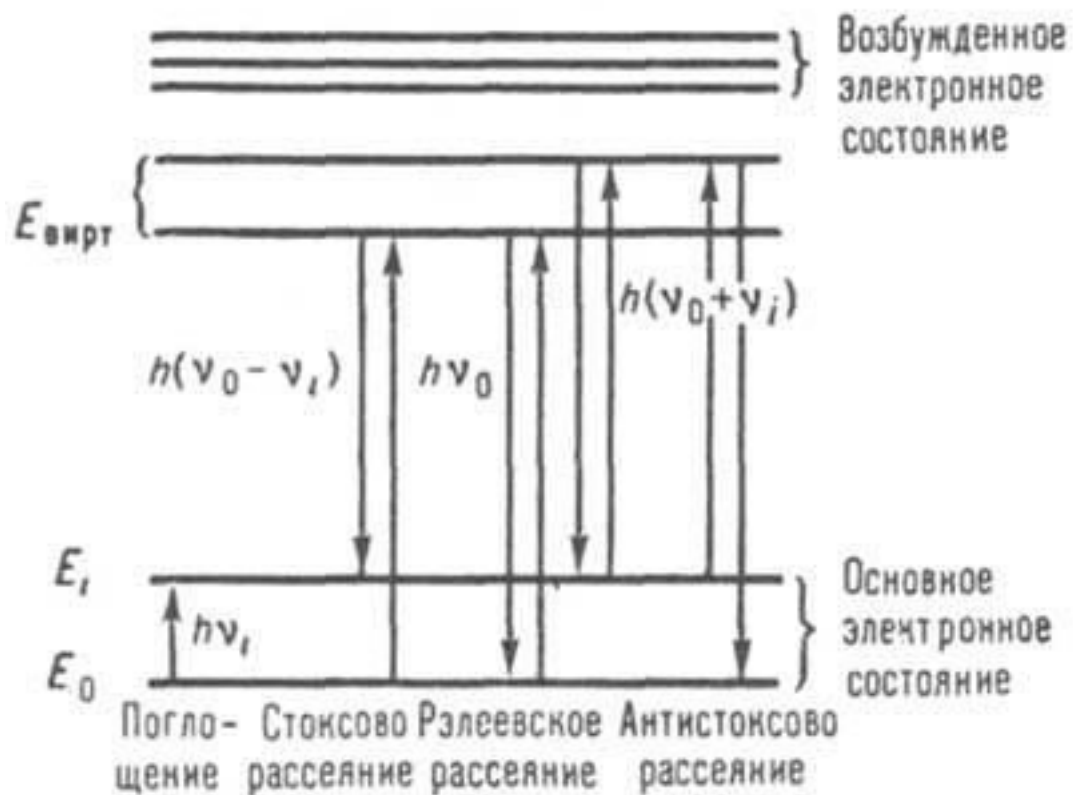


Схема энергетических уровней, иллюстрирующая основные принципы КР. Энергия возбуждающего света $h\nu_0$, линии КР имеют частоты $\nu_0 \pm \nu_i$.

- простота использования, поскольку практически не требуется пробоподготовка;
- получаемая спектральная информация может использоваться как для идентификации, так и для количественного анализа;
- могут анализироваться различные вещества: твердые частицы, жидкости, иногда газы; твердые, жидкие, газово-жидкие включения; споры, клетки и другие биологические субстанции размером от 1-10 мкм;
- метод исследования – неразрушающий;
- отсутствует контакт с изучаемым образцом;
- быстрый анализ – (первые минуты для большинства измерений);
- локальный анализ
- для анализа требуется малое количество препарата (от 10^{-9} г);
- успехом применяются в фармацевтике, полимерной промышленности, нефтехимии, криминалистике, геологии, исследовании темных образцов и водных растворов.