

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ИССЛЕДОВАНИИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

МОДУЛЬ 1. СТРУКТУРНЫЕ МЕТОДЫ АТТЕСТАЦИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Лекция 7.

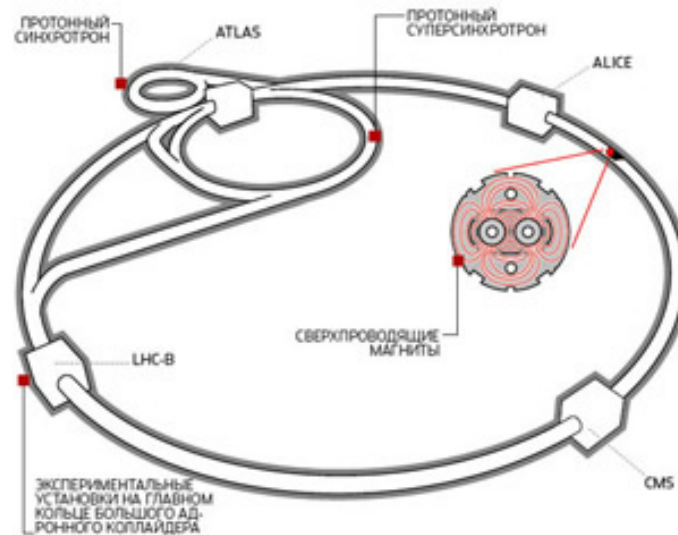
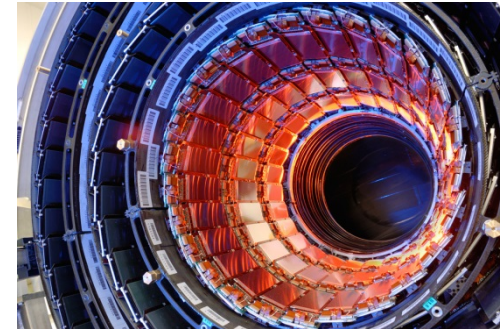
Синхротронное излучение. Теория синхротронного излучения. Источники синхротронного излучения. Спектроскопия на источниках СИ.

Структурные исследования с СИ: дифрактометрия, топография и томография, рентгенодифракционное кино, малоугловое рассеяние.

Технологические применения синхротронного излучения.

Экспериментальные методы исследования конденсированного состояния с использованием нейтронных пучков

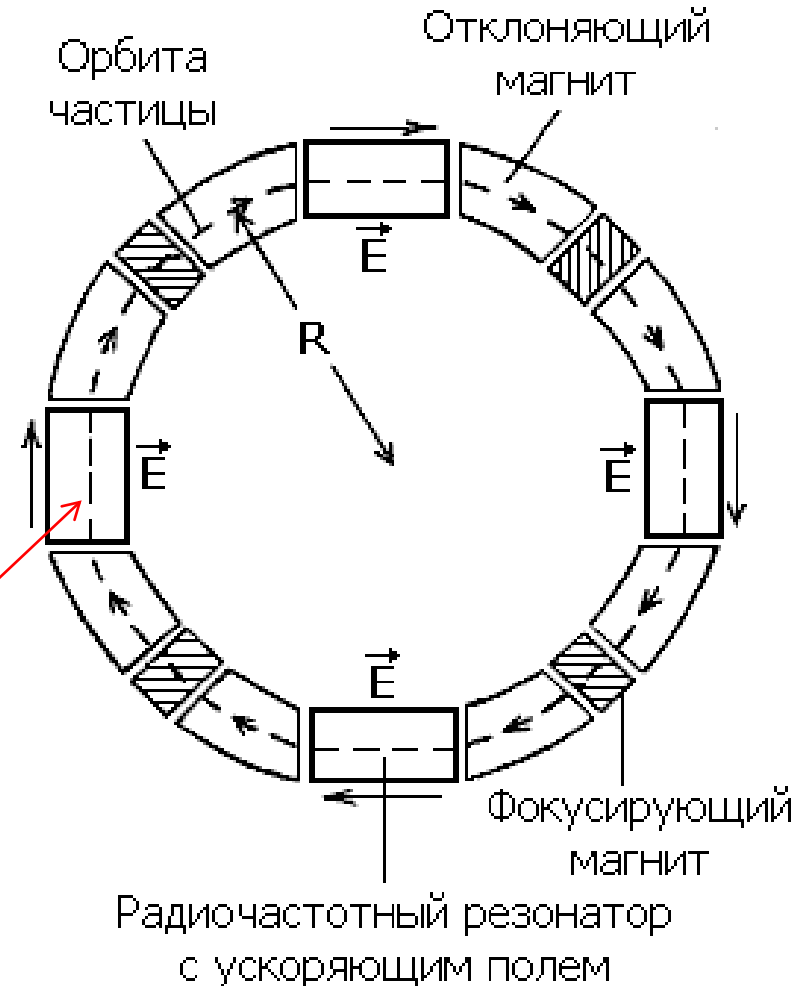
Большой адронный коллайдер



Встречные протонные пучки, разогнанные до 99,89% скорости света, пересекаются в выделенных зонах камеры ускорителя, где располагаются системы магнитов, которые будут сводить протоны с круговых путей и направлять их навстречу друг другу.

Синхротрон – кольцевой циклический ускоритель заряженных частиц, в котором частицы движутся по орбите неизменного радиуса за счёт того, что темп нарастания их энергии в ускоряющих промежутках **синхронизован** со скоростью нарастания магнитного поля на орбите.

Как лёгкие заряженные частицы (**электроны, позитроны**), так и тяжёлые (**протоны, ионы**) частицы движутся по одной и той же замкнутой траектории, многократно проходя прямолинейные промежутки с ускоряющим электрическим полем

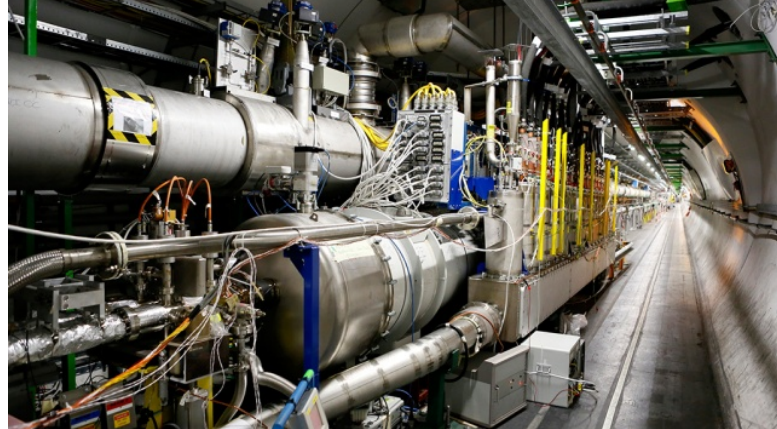


Частицы, увеличивающие свою энергию, удерживаются на фиксированной орбите с помощью нарастающего поля мощных отклоняющих (в том числе и сверхпроводящих) кольцевых магнитов. Для удержания частиц на орбите постоянного радиуса темп нарастания поля **синхронизован** с темпом нарастания энергии частиц

Когда скорость частицы близка к скорости света, соотношение между кинетической энергией частицы E и радиусом траектории R имеет в системе СИ вид

$$E = cqHR$$

где H – величина напряженности магнитного поля, c – скорость света в вакууме, q – заряд частицы. Поэтому максимально достижимая энергия частицы пропорциональна радиусу траектории и величине магнитного поля.



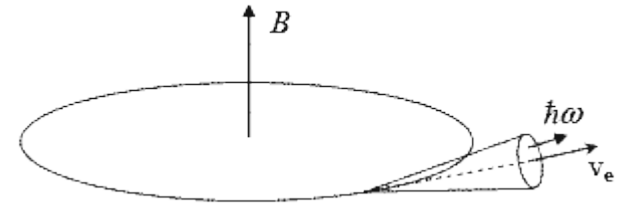
В самых современных ускорителях, в этой связи, используются электромагниты с катушкой из сверхпроводящего материала, работающие при температуре жидкого гелия.

Синхротроны используют как для ускорения тяжелых заряженных частиц (**протонов**, ионов), так и для ускорения **электронов**.

Однако в случае электронов при высоких энергиях становятся существенными потери ими энергии на **излучение** при криволинейном движении по орбите.

Синхротронное излучение

первоначально наблюдалось от электронов в циклических ускорителях, в частности в Синхротроне, откуда оно и получило название.



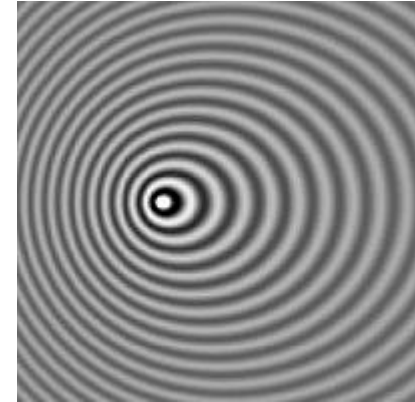
При приближении скорости частицы к релятивистскому пределу **излучение** сосредоточено в направлении мгновенной скорости в узком **конусе** с углом раствора

Мощность синхротронного излучения P для релятивистской частицы зависит от её массы m энергии E и радиуса траектории R следующим образом :

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \sim \frac{1}{R^2} \left(\frac{E}{mc^2} \right)^4$$

Таким образом, если электроны и протоны одинаковых энергий, двигаются по орбитам одного радиуса, то потери энергии на **синхротронное излучение** у **электронов** будут в $(m_p/m_e)^4 \sim 10^{13}$ раз **больше**.

Эффект Доплера

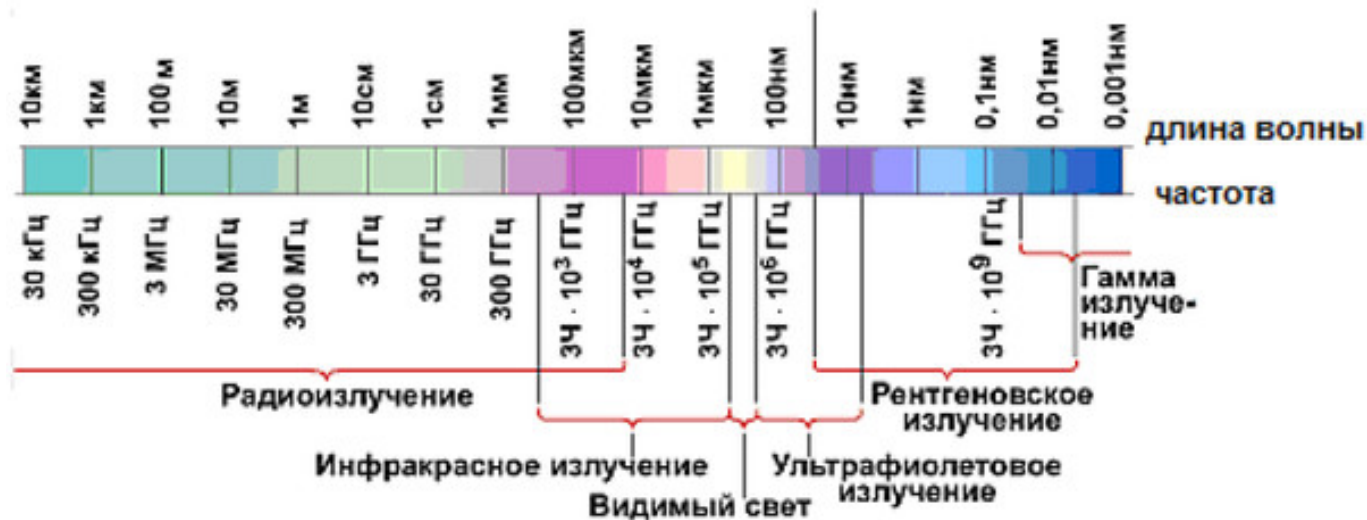


Источник волн перемещается налево. Тогда слева частота волн становится выше (больше), а справа — ниже (меньше), другими словами, если источник волн догоняет испускаемые им волны, то длина волны уменьшается. Если удаляется — длина волны увеличивается.

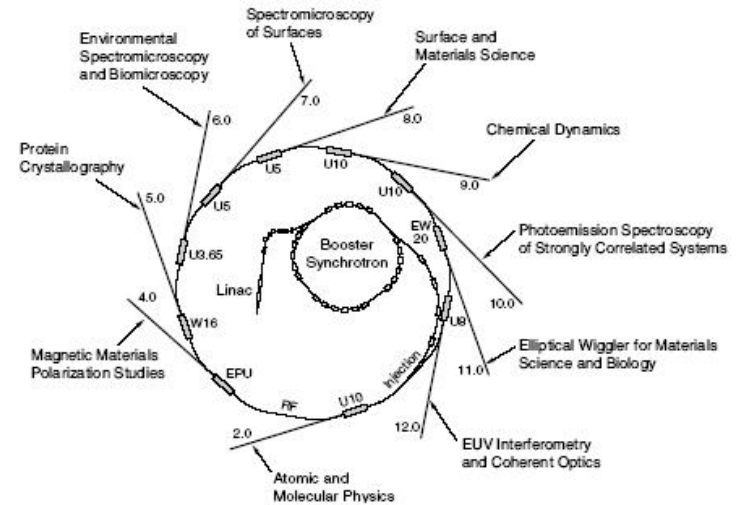
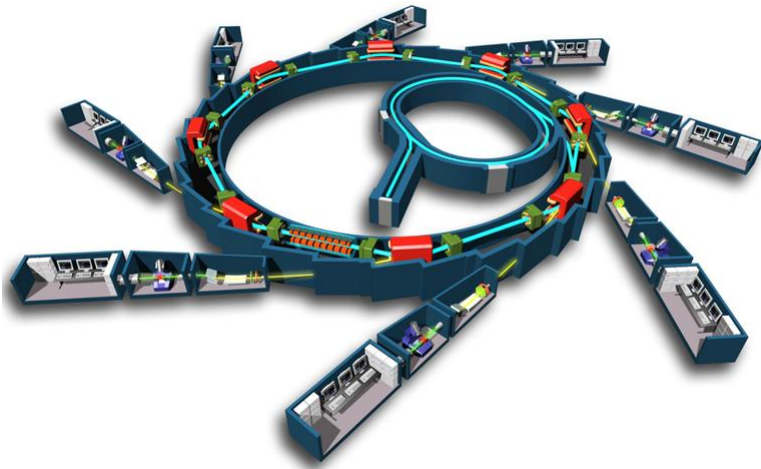
Благодаря чрезвычайно высокой скорости излучателей-электронов, движущихся по направлению к наблюдателю, частота принимаемого им электромагнитного излучения резко **возрастает** за счет эффекта Доплера.

Синхротронное излучение на шкале электромагнитных волн занимает громадный спектральный диапазон, перекрывая **инфракрасную, видимую, ультрафиолетовую и рентгеновскую области.**

Интенсивность синхротронного излучения в 10-100 тысяч раз больше, чем у традиционных источников света.



Общая схема построения источника синхротронного излучения



Яркий, коллимированный и стабильный пучок синхротронного излучения, который при необходимости можно настроить на любую длину волны, обеспечивает применение **синхротронного излучения** в **медицине, микромеханике, микроэлектронике, материаловедении, биологии.**

Высокая интенсивность!

микромеханика

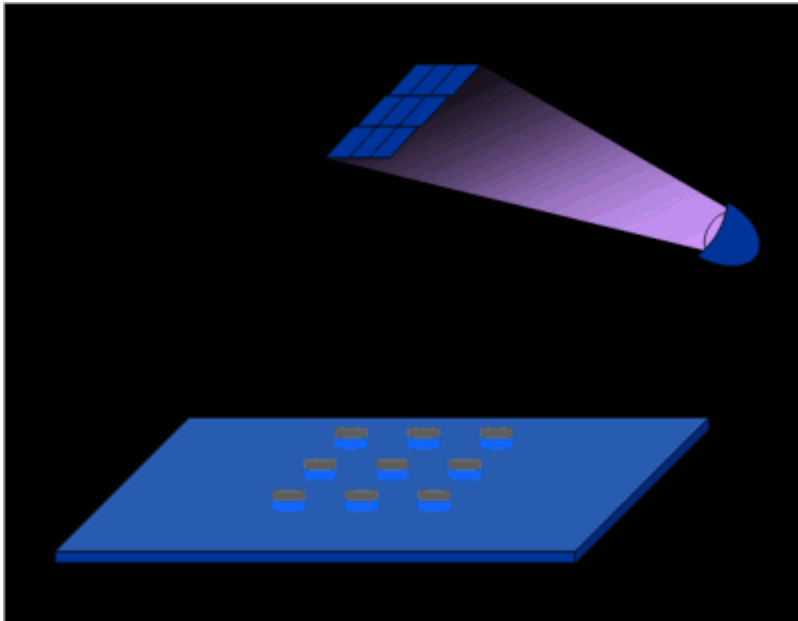


Интенсивный пучок СИ можно использовать в качестве "микрорезца" для размерной обработки материалов и изготовления различных деталей, механизмов и устройств микроскопических размеров.

Типичный размер изделий, изготавливаемых по этой технологии, порядка нескольких микрон, что и определяет первую из возможных областей применения: медицина, механические устройства, поддерживающие жизнедеятельность организма (насосы в кровеносной системе, например!).

Малая длина волны!

микроэлектроника



Технология рентгеновской литографии на основе синхротронного излучения –

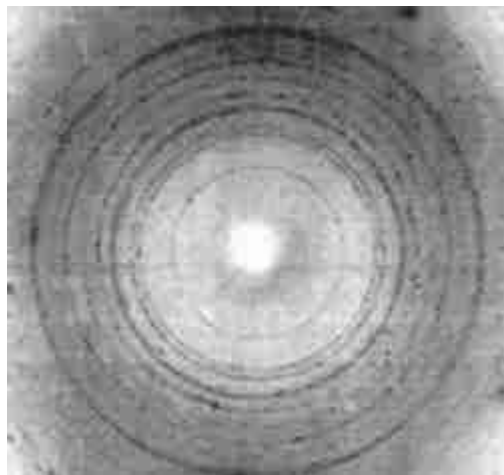
позволяет на один-два порядка уменьшить размеры нынешних элементов электронных схем и резко увеличить быстродействие вычислительной техники.

Growing oligos are protected by an acid-labile group

Высокое быстродействие!

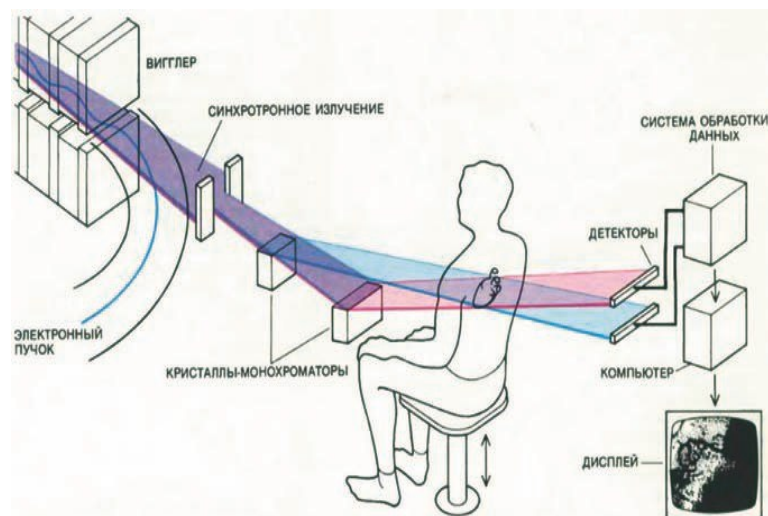
При энергии электрона 2,5 ГэВ частота следования вспышек синхротронного излучения в окне канала большого кольца-накопителя составляет 2,4 ГГц, что соответствует длительности временного промежутка между вспышками 400 нс.

материаловедение

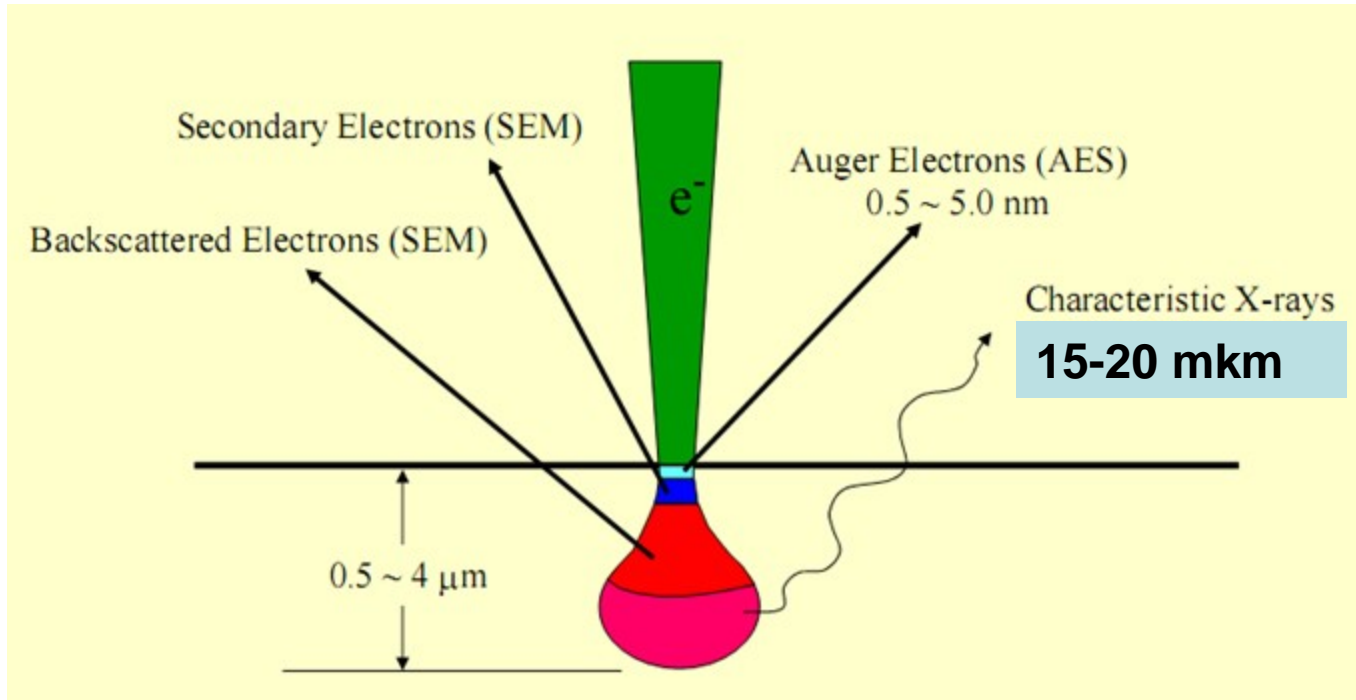


Для получения материалов с заданными свойствами необходимо эффективно влиять на процессы их формирования. СИ позволяет исследовать кинетику структурных превращений при полимеризации, информацию о структуре можно получить за доли секунды.

биология

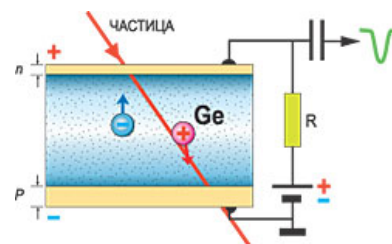
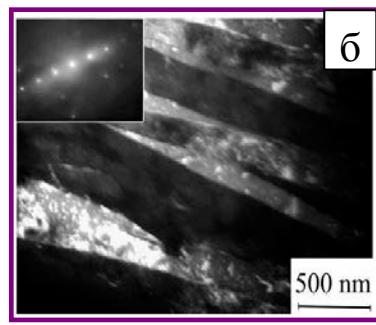
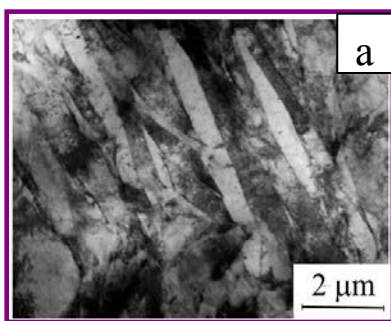
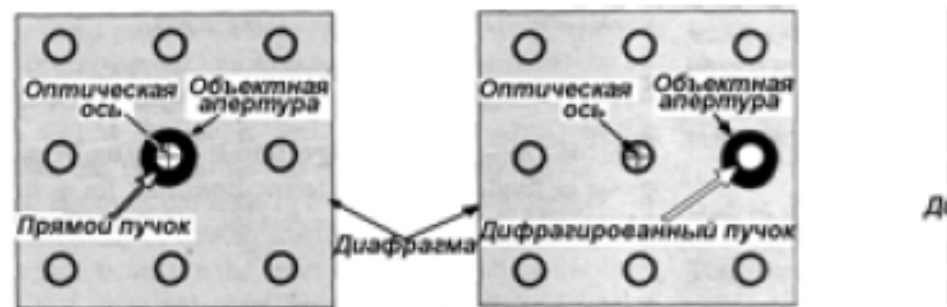
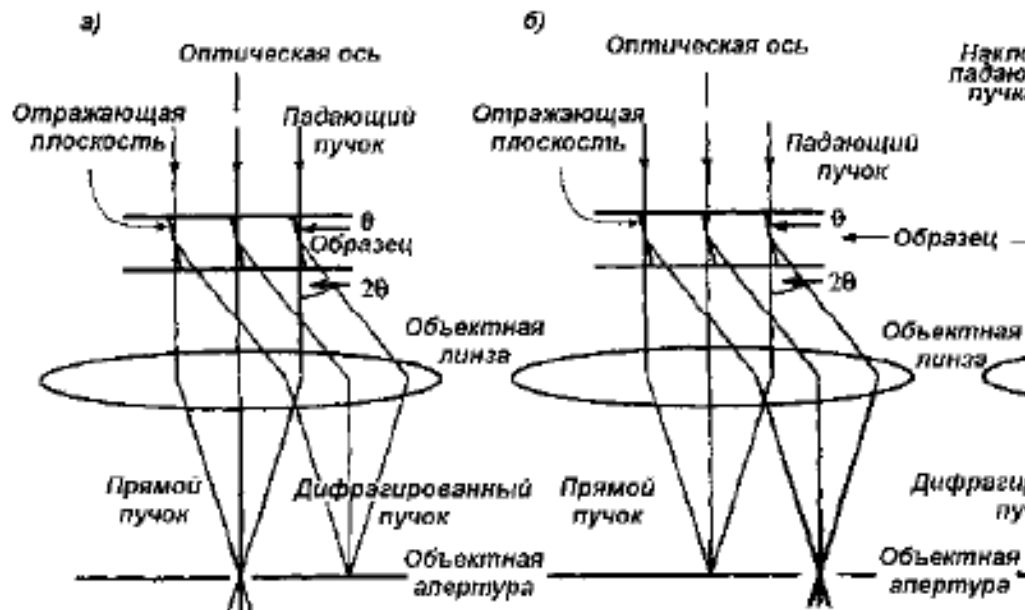
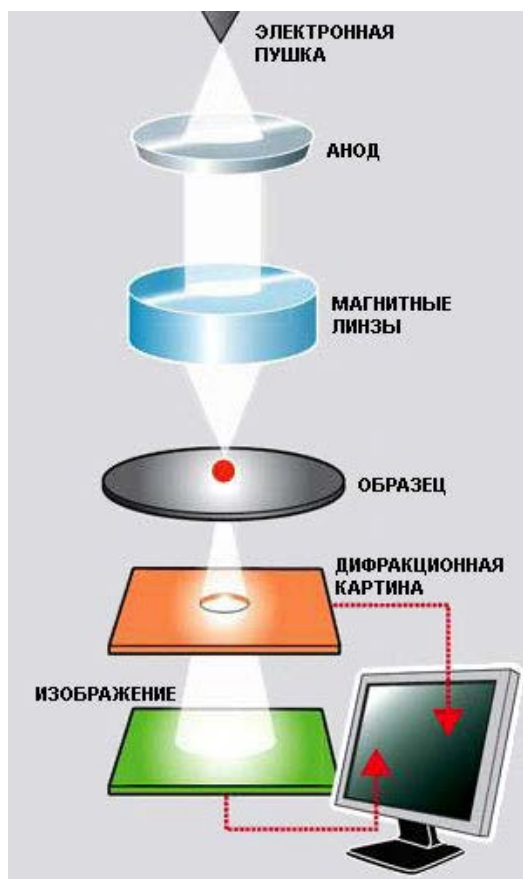


Пациент просвечивается двумя монохроматическими пучками рентгеновского излучения, энергия одного из которых немного ниже, а второго – немного выше k -края полосы поглощения контрастного вещества (йода), вводимого внутривенно. Второй пучок будет интенсивно поглощаться атомами йода, находящегося в кровотоке. компьютерное вычитание двух снимков даст четкую картину кровеносных сосудов.



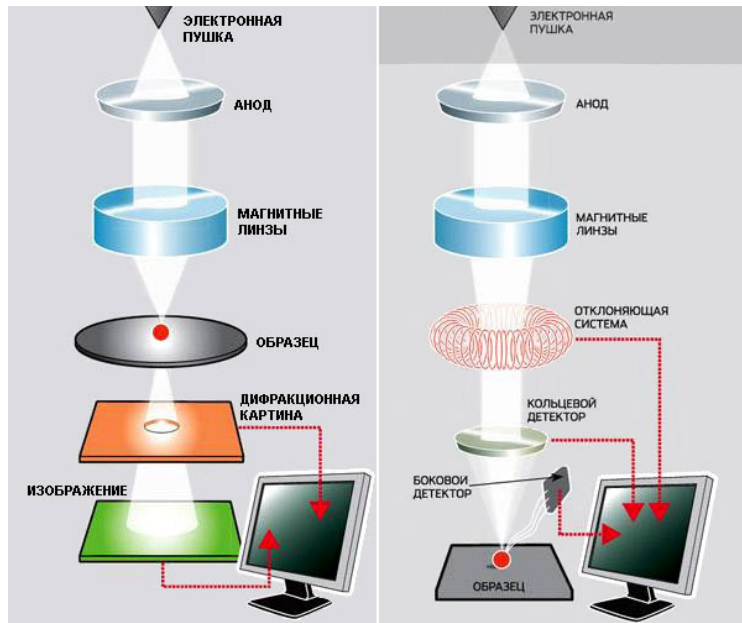
Просвечивающий электронный микроскоп

Дифракция прошедших электронов!



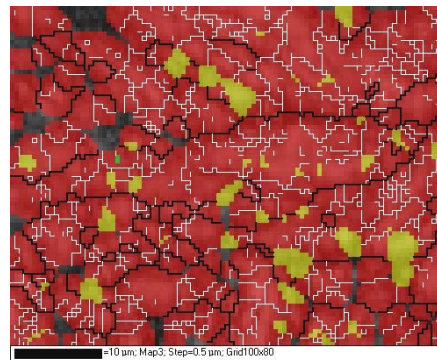
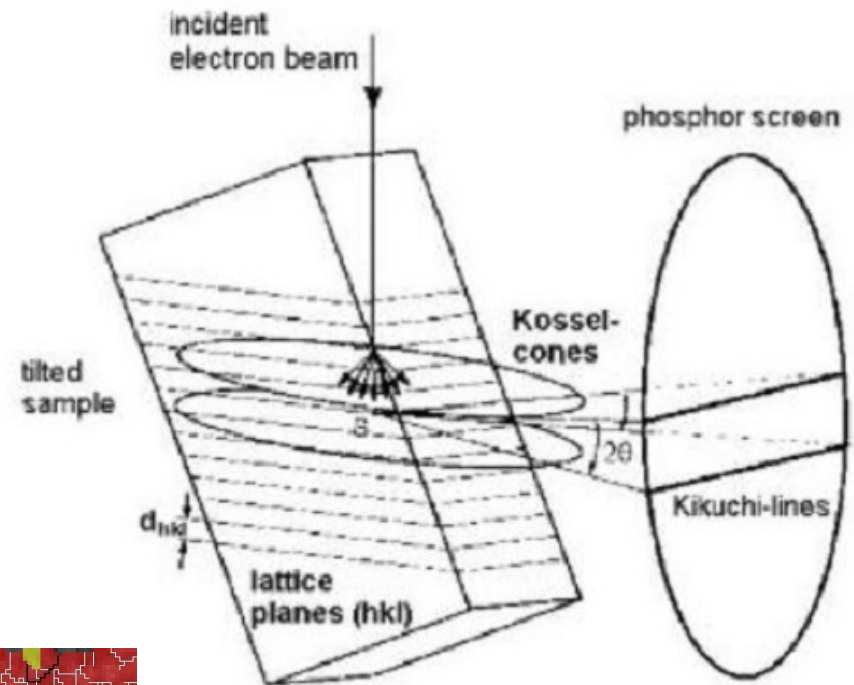
Ионизационный счетчик

Сканирующий электронный микроскоп

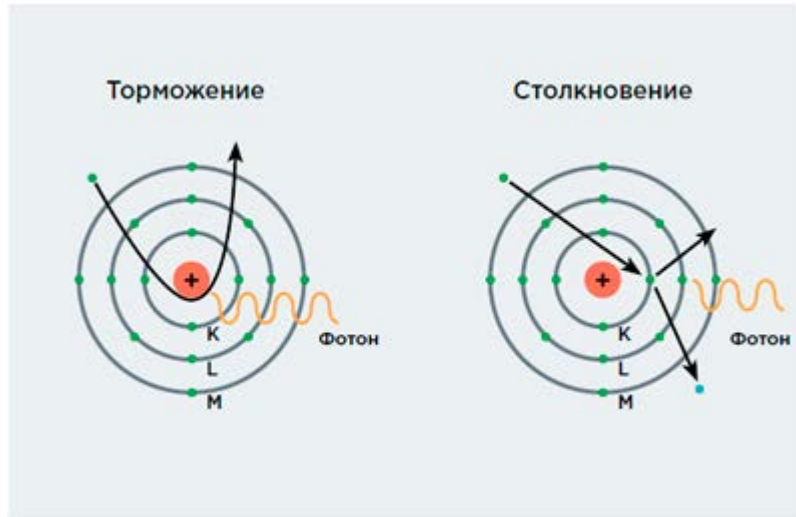
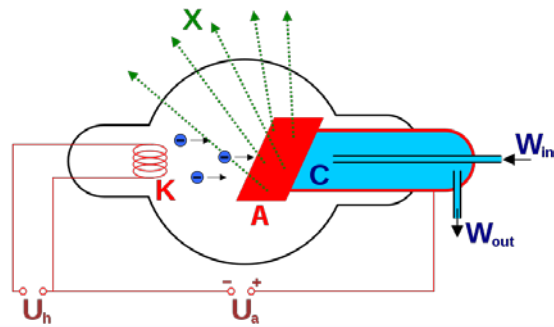


Дифракция отражённых (обратнорассеянных) электронов

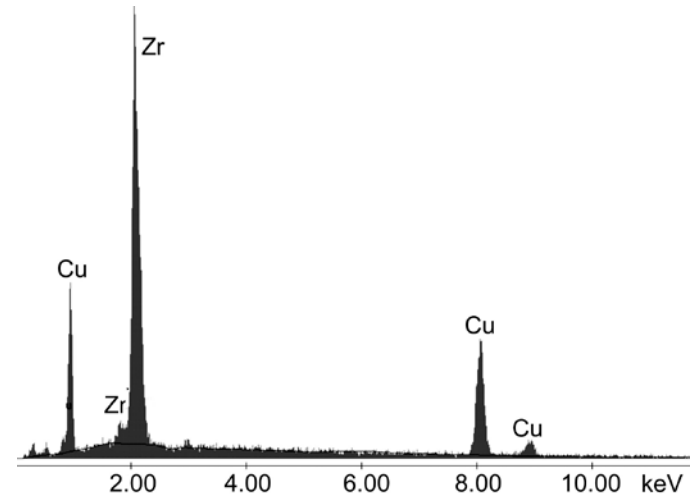
Линии Кикучи!



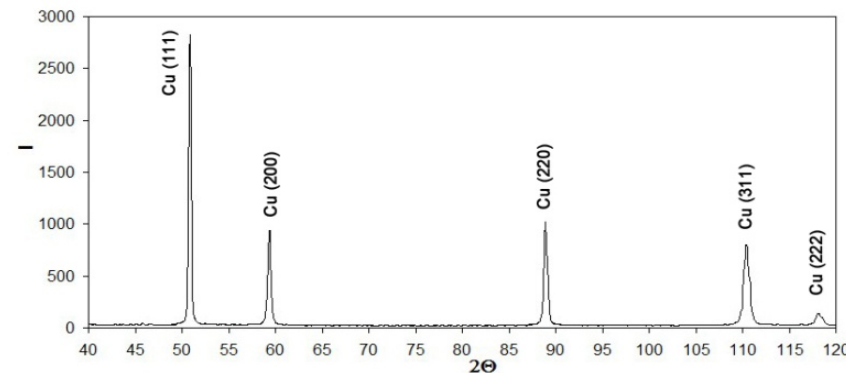
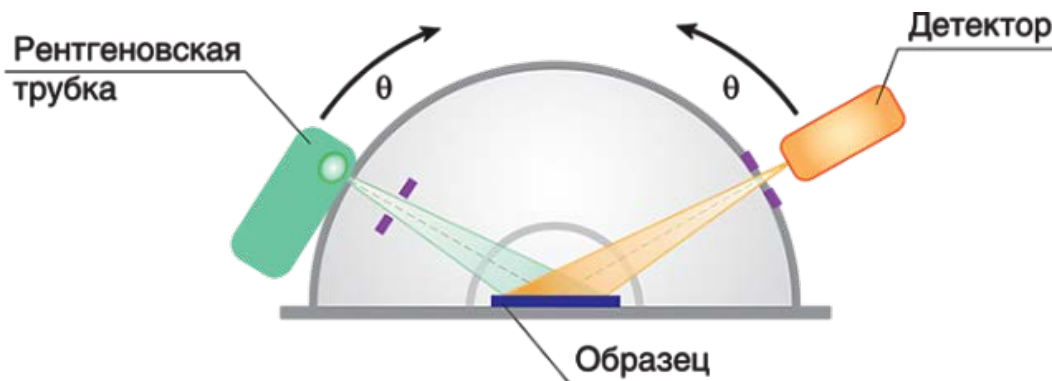
Рентгеновское излучение !!!



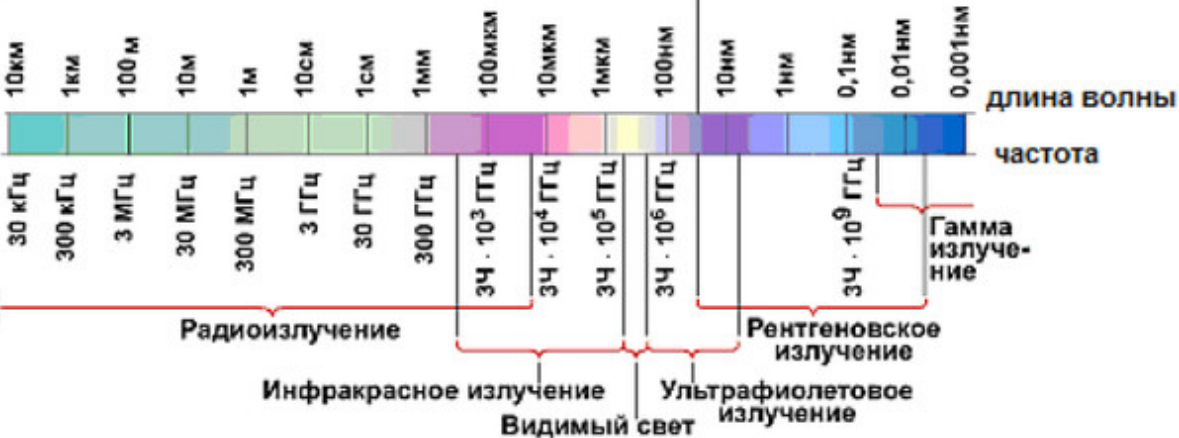
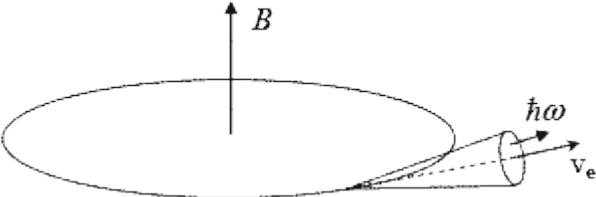
Рентгено-флуоресцентный (спектральный) анализ



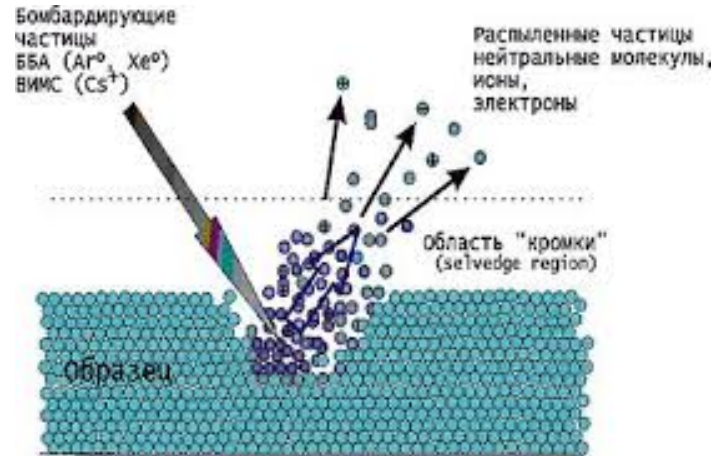
РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ и РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ



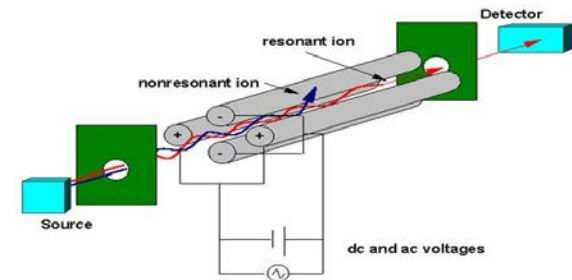
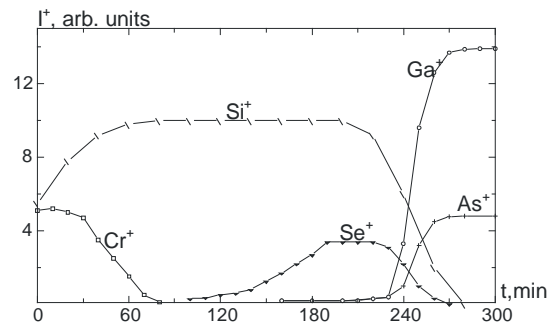
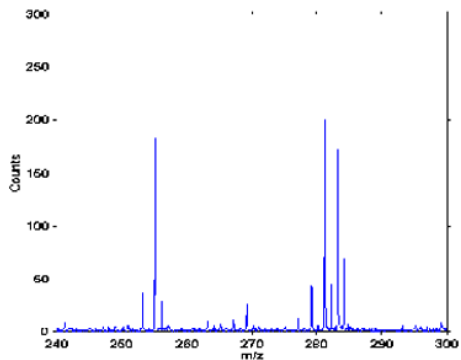
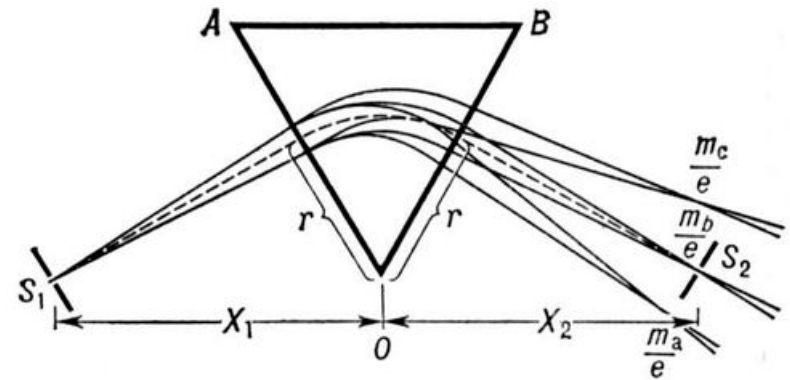
Синхротронное излучение



Масс-спектрометрия вторичных ионов



масс-спектрометры!!!



Ультразвуковая дефектоскопия

