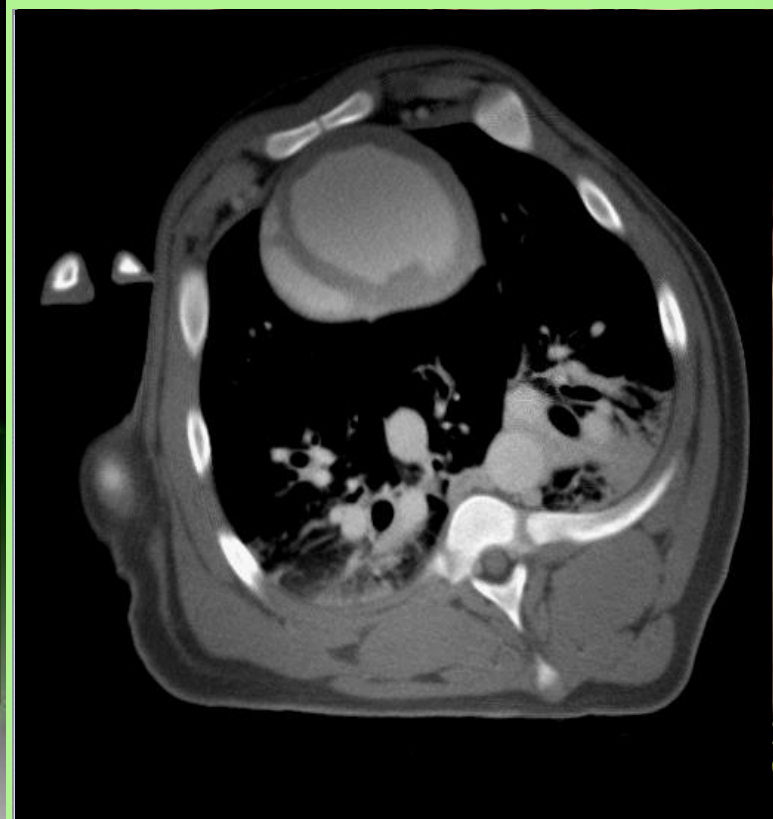
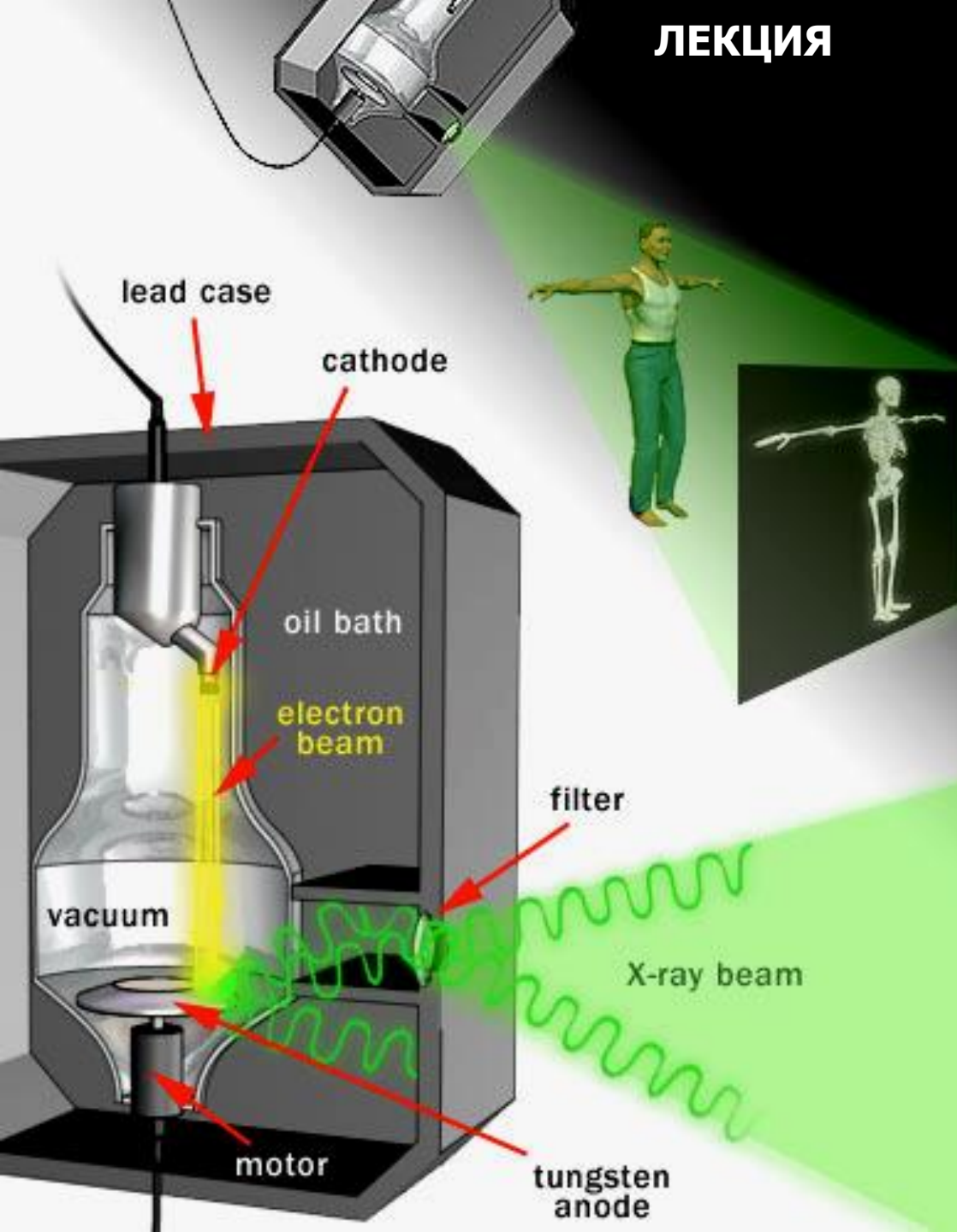


ЛЕКЦІЯ



РЕНТГЕНІВСЬКЕ ВИПРОМІНЕННЯ ВЗАЄМОДІЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З БІОЛОГІЧНИМИ ТКАНИНАМИ

Лектор - Самойленко С.О.
s.samoilenko@pdmu.edu.ua

ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЕННЯ

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ З
ДОВЖИНОЮ ХВИЛІ < 10 нм
(в залежності від природи:
рентгенівське та γ -промені)

КОРПУСКУЛЯРНЕ
ВИПРОМІНЕННЯ

потік
 α -частинок

потік
 β -частинок

протонне
випромінення

нейтронне
випромінення

космічні
промені

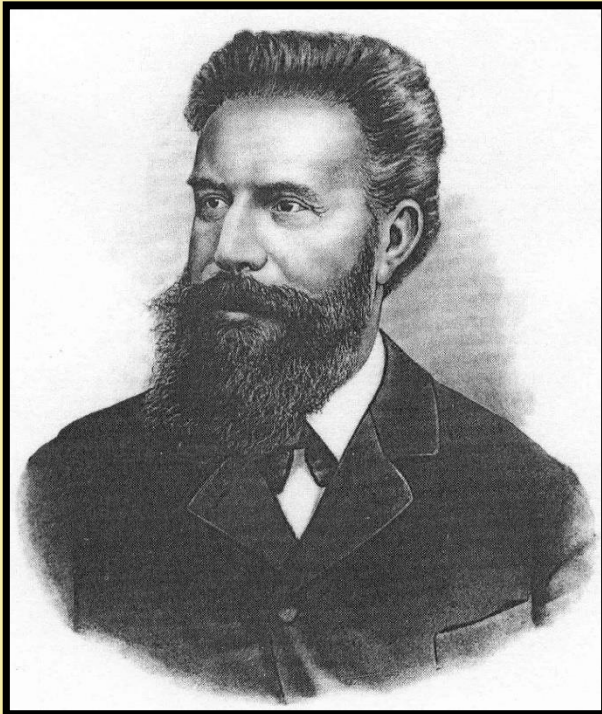


іонізуюче
випромінення

ІСТОРІЯ ВІДКРИТТЯ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЕННЯ

РЕНТГЕНІВСЬКИМ ВИПРОМІНЕННЯМ називають електромагнітні хвилі з довжиною хвилі < 10 нм. $E > 10$ еВ.

$$E = h \nu = \frac{hc}{\lambda}$$



Вільгельм РЕНТГЕН (1845-1923 рр),
німецький фізик-експериментатор,
засновник наукової школи, лауреат
Нобелівської премії (1901 г)

В.Рентген – автор фундаментальних робіт в різних областях експериментальної фізики.
У 1895 р. він відкрив новий вид променів, названих їм Х-променями і відомих тепер як рентгенівські промені. Їм були проведені перші рентгенівські знімки – власної руки і руки дружини.

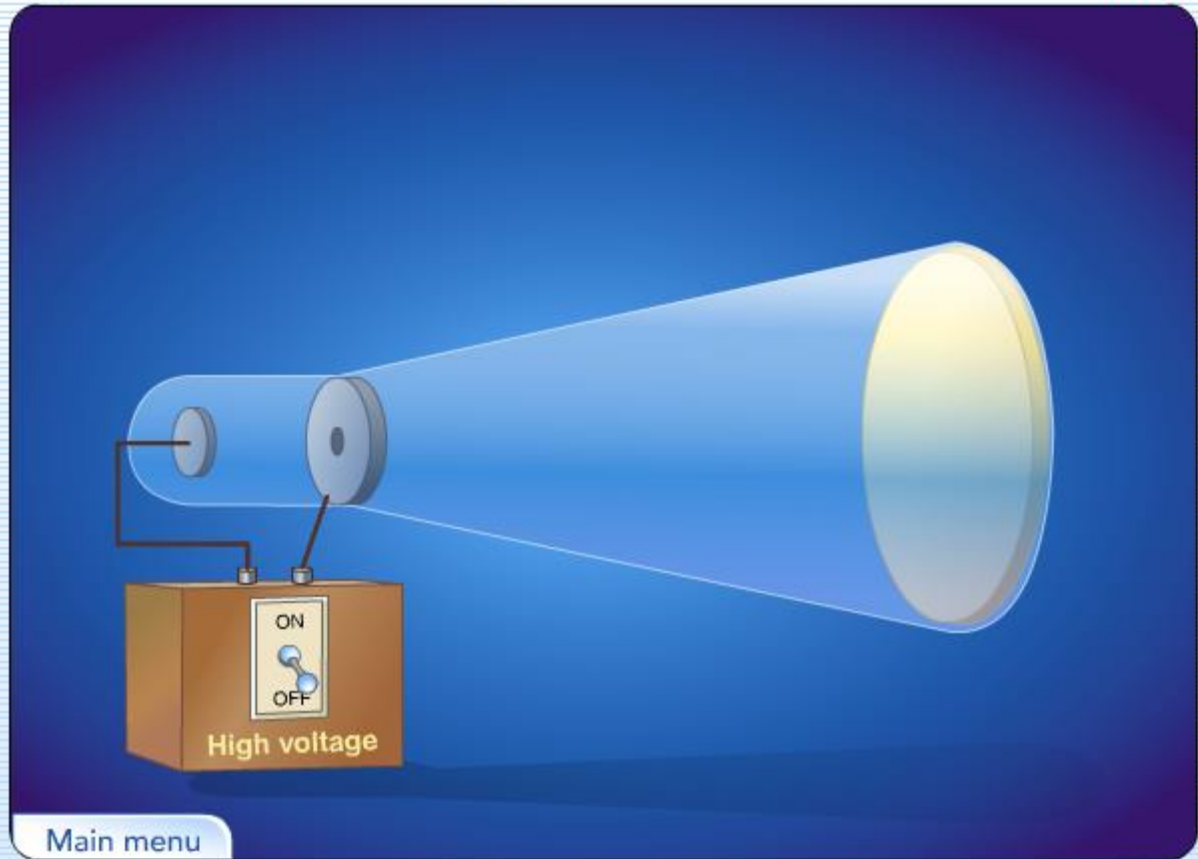


КАТОДНІ ПРОМЕНІ

До 1895 р. багато дослідників займалися вивченням катодних променів. Ці промені виявлялися в трубках Крукса, які були вакуумованими (10^{-6} – 10^{-7} мм рт.ст.) скляними ампулами з вмонтованими двома електродами, один з яких (катод) нагрівався за рахунок електричного струму. Струм, що протікає в трубці, обумовлений потоком e^- , які із-за нагріву катода (термоелектронна емісія) потрапляють у вакуум поблизу катода і під дією електричного поля досягають анода.



Cathode Ray Tube



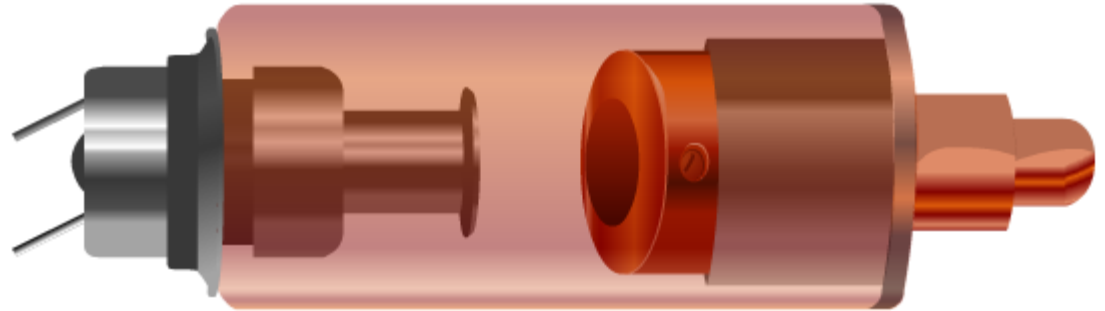
Main menu



A cathode ray tube is the forerunner of the television tube. It is a glass tube from which most of the air has been evacuated.

КОНСТРУКЦІЯ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ ТРУБКИ

На сьогоднішній день, найбільш поширеним джерелом рентгенівського випромінювання є рентгенівська трубка, яка є двоелектродним вакуумним приладом. Підігрітий катод випускає потік електронів на поверхню анода. Електрони, досягаючи поверхні анода, гальмуються електростатичним полем атомного ядра і атомарними електронами анода. Частина енергії електронів, що гальмуються, йде на створення фотона рентгенівського випромінювання. Анод має похилу поверхню, для того, щоб направити виникле рентгенівське випромінювання під кутом до осі трубки.



How are X-rays produced?

The device for producing X-rays is simple, and although it has been refined since Roentgen's time, the basic components have not changed.



ПОРІВНЯННЯ ПЕРШОГО ТА СУЧАСНОГО РЕНТГЕНІВСТКОГО ЗНІМКІВ



перший рентгенівський знімок
кисті руки жінки В.Рентгена



сучасний рентгенівський знімок
кисті руки

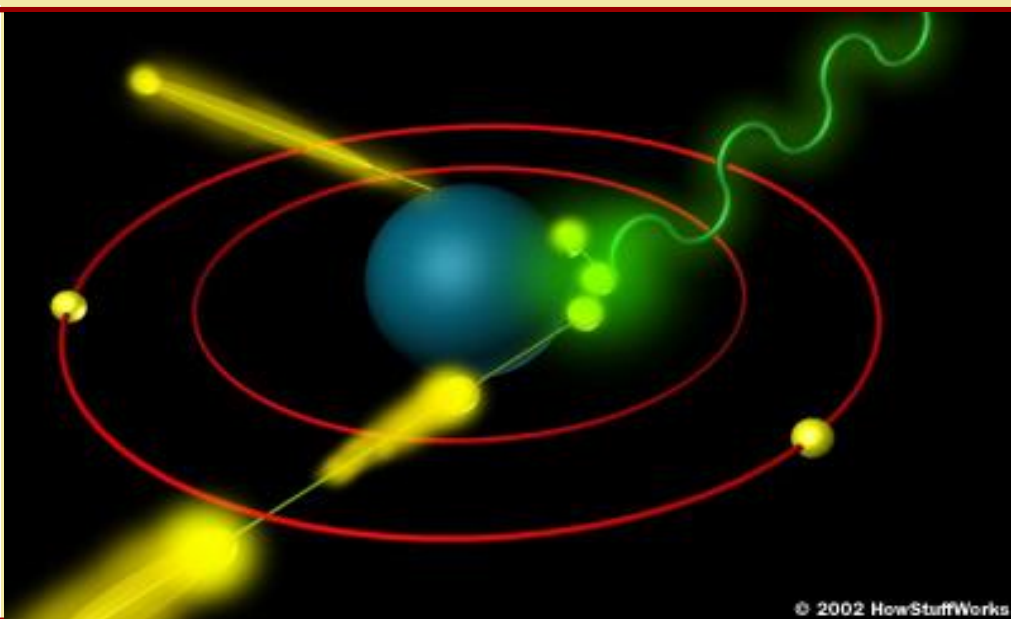
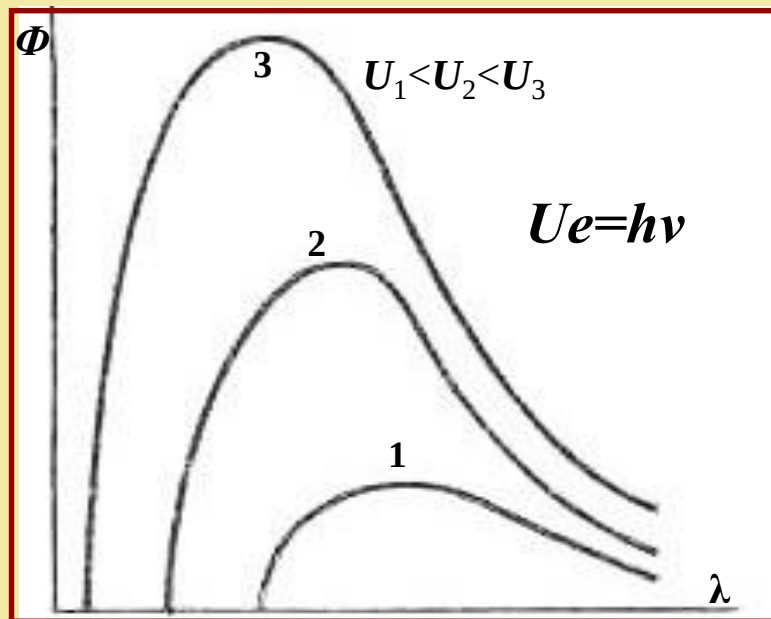
РЕНТГЕНІВСЬКЕ ВИПРОМІНЕННЯ

по природі виникнення

ГАЛЬМІВНЕ

ХАРАКТЕРИСТИЧНЕ

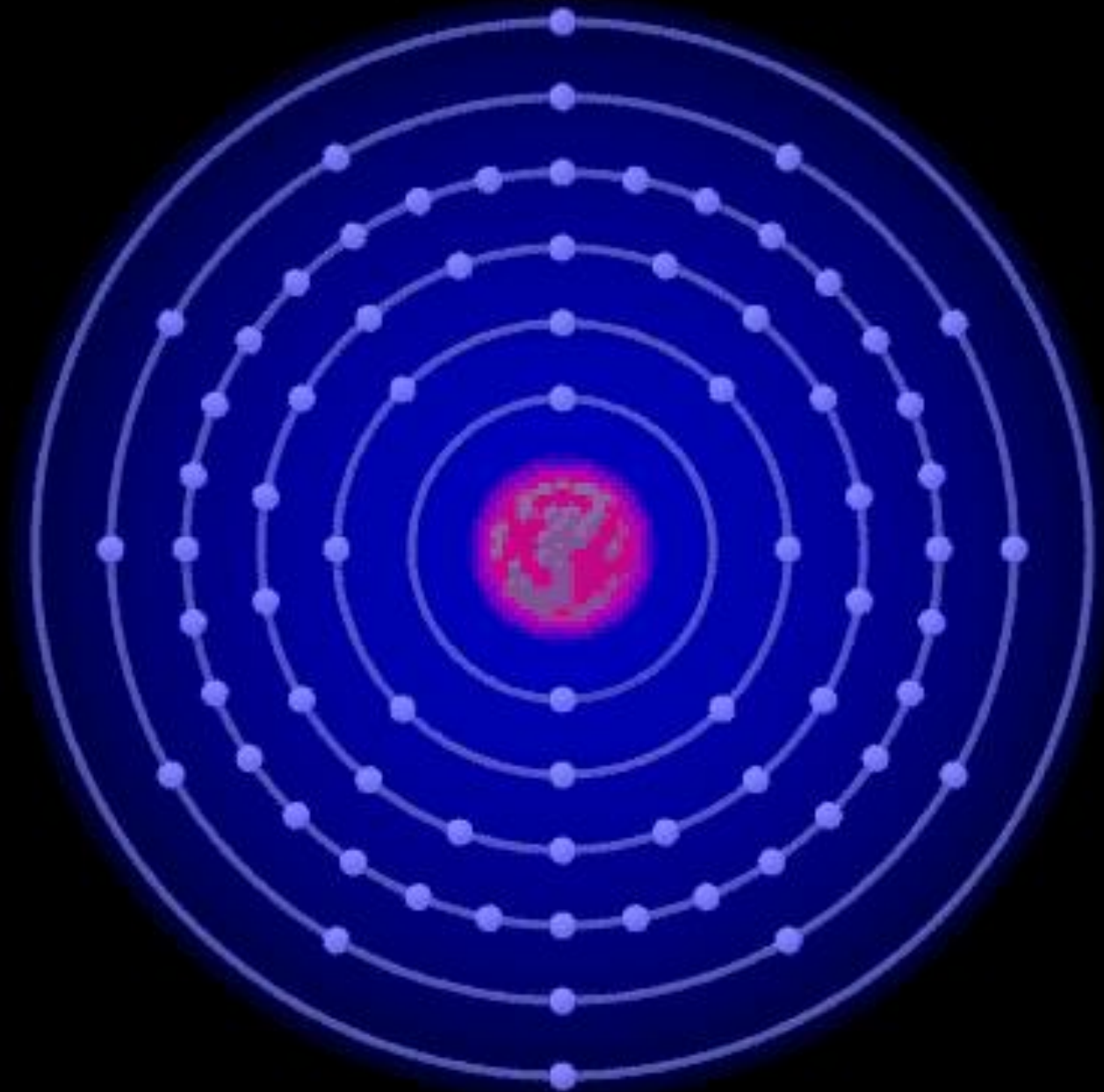
ГАЛЬМІВНЕ ВИПРОМІНЕННЯ



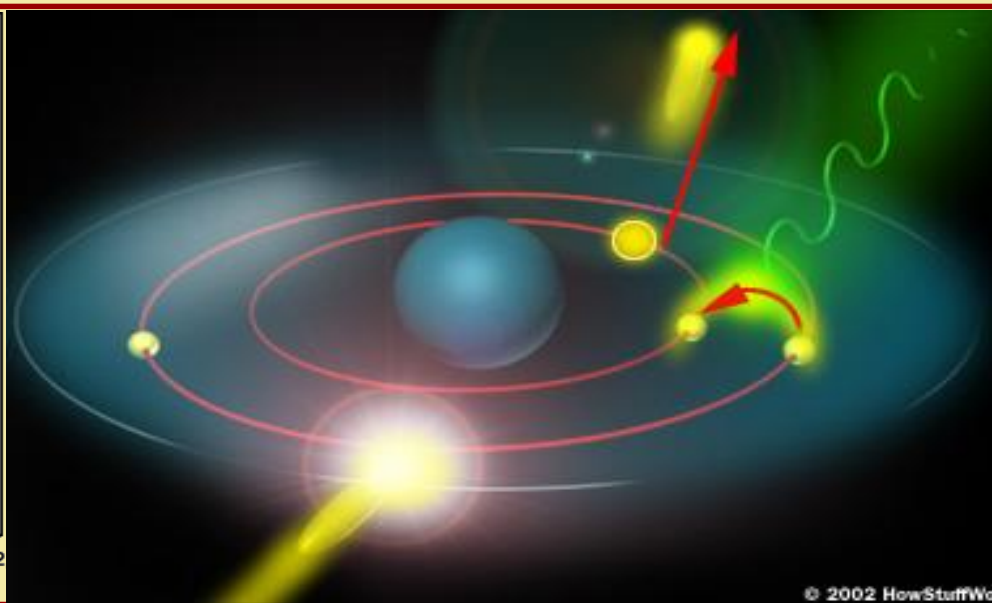
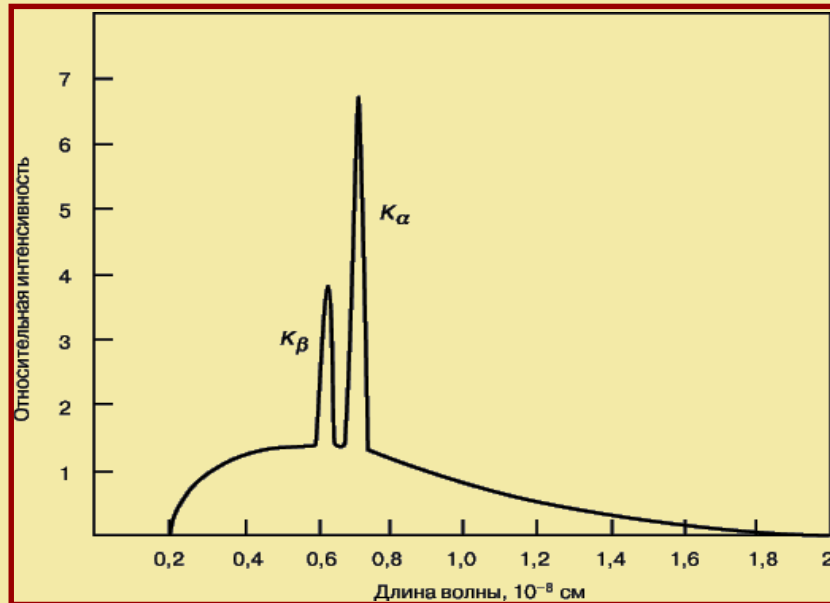
© 2002 HowStuffWorks

В результаті гальмування електрона (або іншої зарядженої частинки) електростатичним полем атомного ядра і атомарних електронів речовини анода виникає гальмівне рентгенівське випромінювання. При цьому лише частина енергії йде на створення фотона рентгенівського випромінювання ($\sim 1\%$), інша частина ($\sim 99\%$) витрачається на нагрівання анода. При гальмуванні великої кількості електронів утворюється безперервний спектр рентгенівського випромінювання. У зв'язку з цим це випромінювання називають також і суцільним. На малюнку показані залежності потоку рентгенівського випромінювання від довжини хвилі при різній напрузі в трубці.

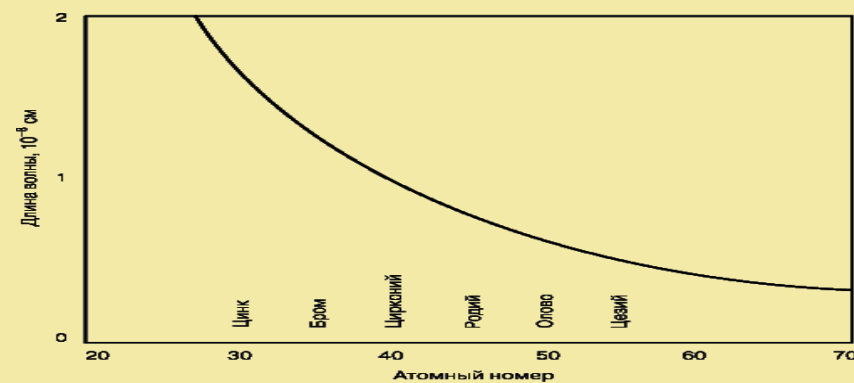
ГАЛЬМІВНЕ ВИПРОМІНЕННЯ



ХАРАКТЕРИСТИЧНЕ ВИПРОМІНЕННЯ



При збільшенні напруги на рентгеновській трубці, на фоні суцільного спектра виникають окремі спалахи лінійчатого випромінювання, яке відповідає характеристичному рентгенівському випромінненню. Такий спектр виникає за рахунок того, що прискорені електрони досягають глибини атома і із внутрішніх атомних шарів вибивають електрони. На вільні місця переходять електрони з верхніх рівнів, в результаті чого висвічуються фотони характеристичного рентгенівського випроміннення.

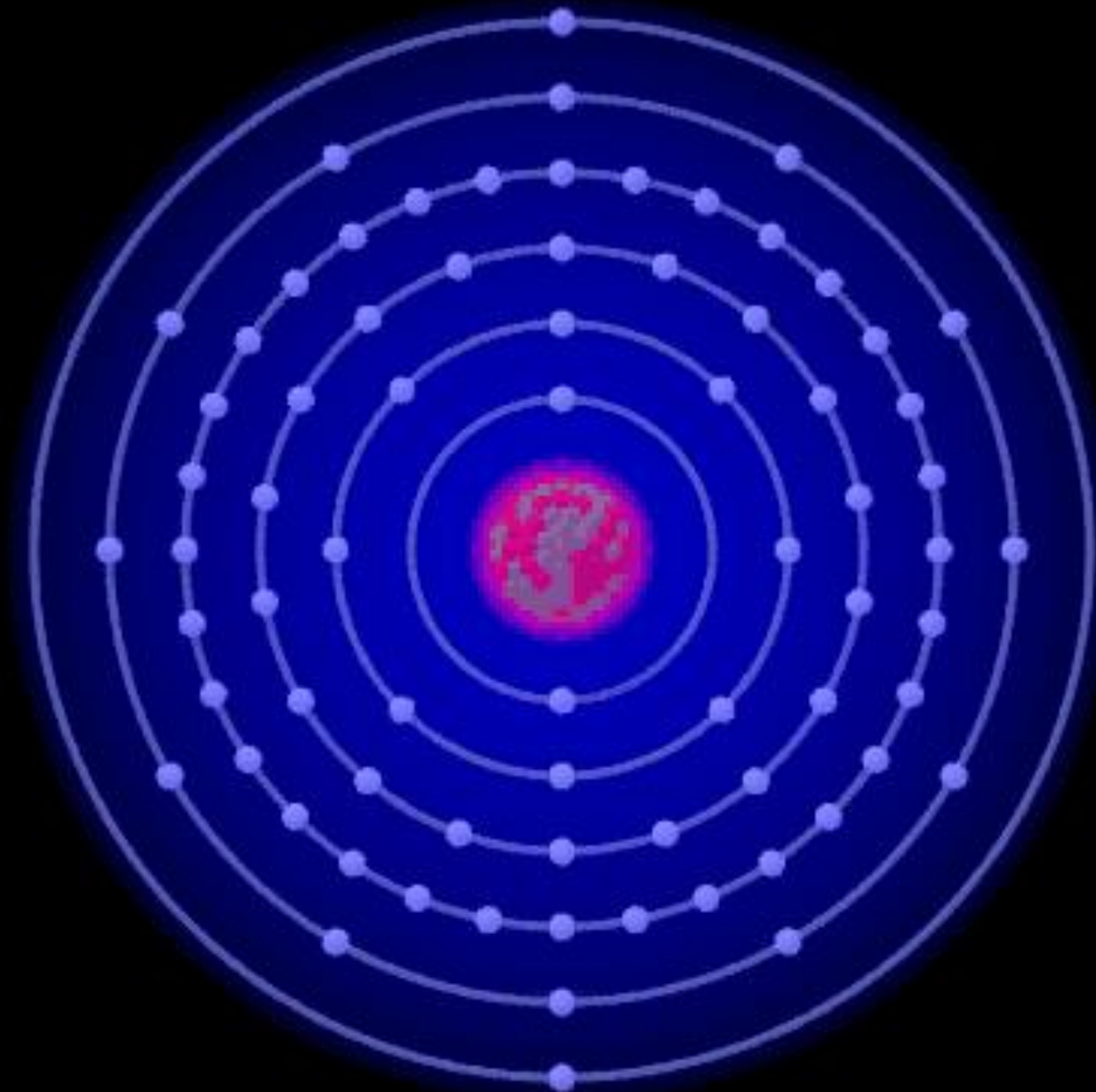


ЗАКОН МОЗЛІ

$$\sqrt{\nu} = A(Z - B),$$

де $A, B = \text{const}$, Z –
порядковий номер
елементу

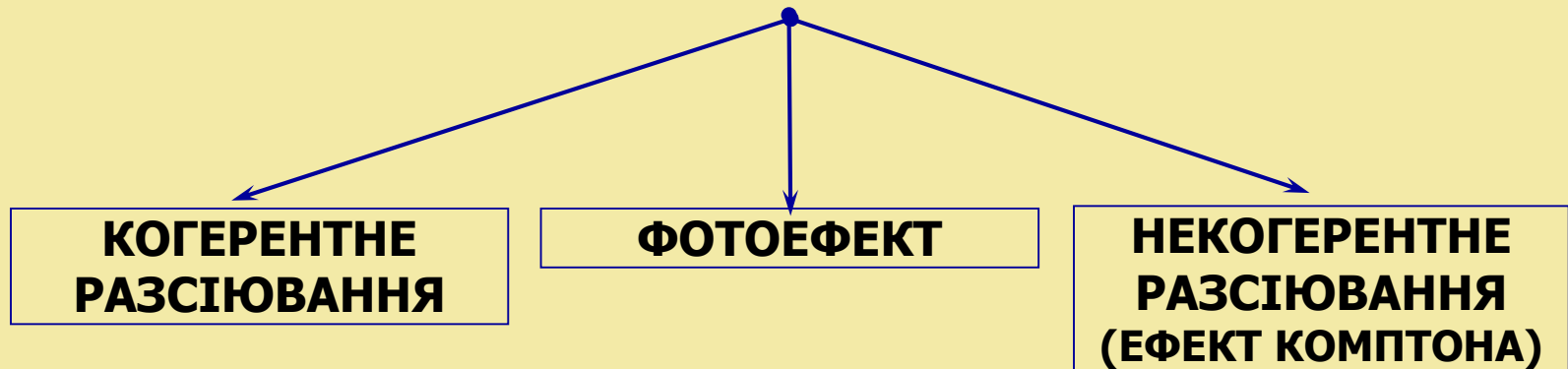
ХАРАКТЕРИСТИЧНЕ ВИПРОМІНЕННЯ



X-ray Production

Next

ВЗАЄМОДІЯ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З РЕЧОВИНОЮ

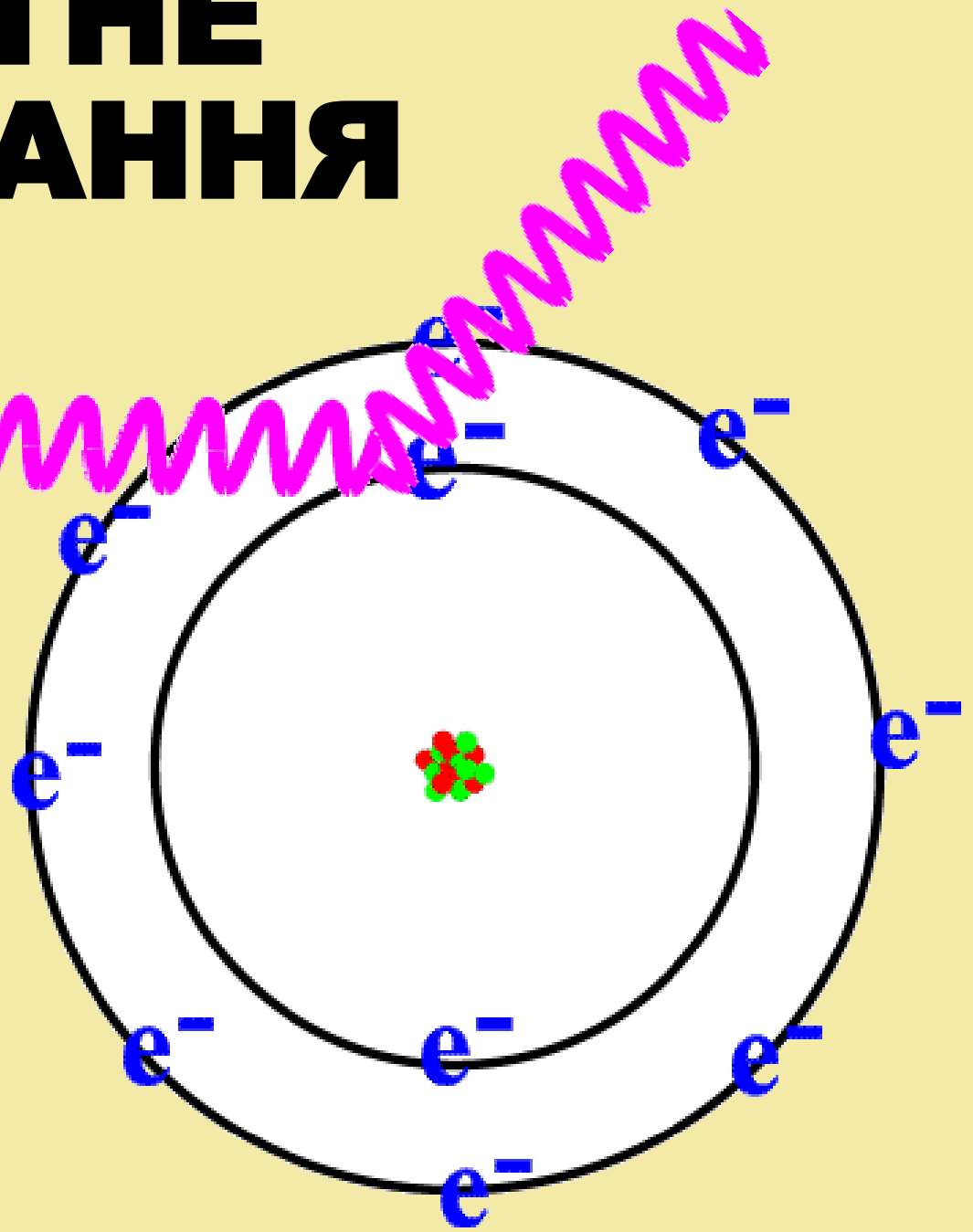


При падінні на тіло рентгенівського випромінювання воно в незначній частині відбивається від його поверхні, але в основному проходить в глиб маси тіла, де, взаємодіючи з електронами атомів речовини, поглинається і розсіюється, і частково проходить через тіло наскрізь без взаємодії з ним. Механізми поглинання рентгенівського випромінювання залежать від співвідношення між енергією фотона $E=h\nu$ і енергією іонізації A_i – енергією яка необхідна для видалення внутрішніх електронів за межі атома або молекули.

КОГЕРЕНТНЕ РОЗСІЮВАННЯ

$$h\nu < A_i$$

При когерентному розсіюванні змінюється тільки напрям розповсюдження електромагнітного випромінювання (напрямок руху фотона). Використовується для рентгеноструктурного аналізу – виявлення внутрішньої структури речовини (розташування атомів і молекул).

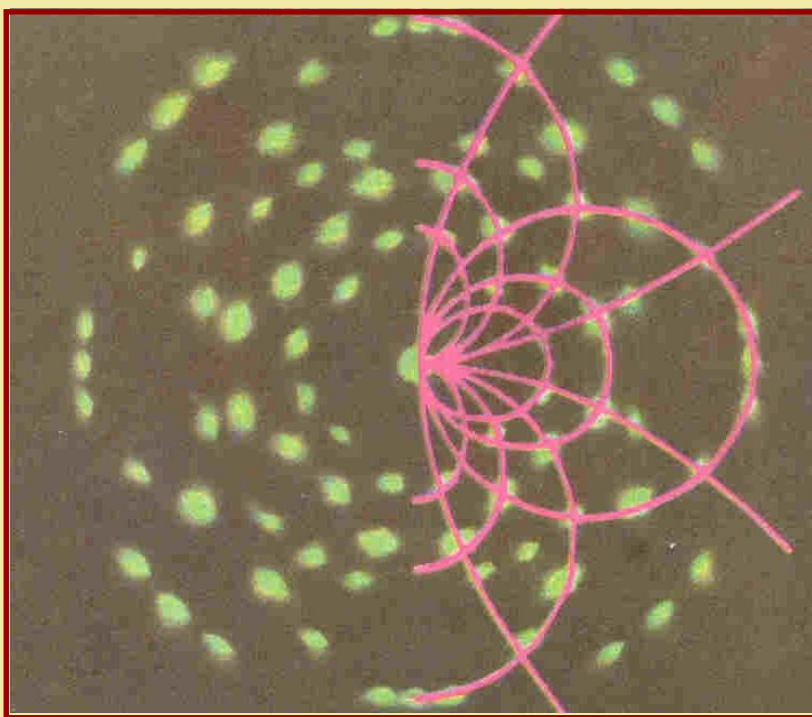


КОГЕРЕНТНЕ РОЗСІЮВАННЯ

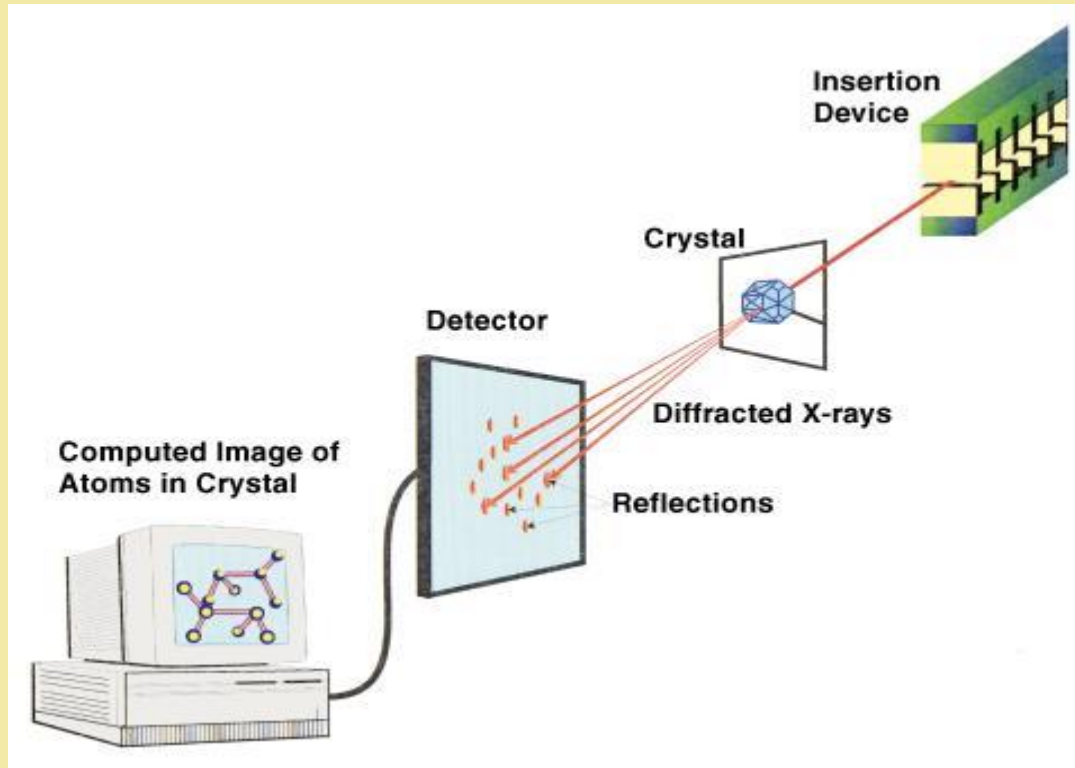


ВИКОРИСТАННЯ КОГЕРЕНТНОГО РОЗСІЮВАННЯ

Унаслідок явищ дифракції і інтерференції рентгенівських променів на кристалі, на фотопластині (за кристалом) з'являється симетричний узор з плям (лауеграма). Німецький вчений Макс фон Лауе (1879–1960 рр) вперше передбачив можливість застосування рентгенівських променів для визначення структури тіл. Розшифровка лауеграм у разі невідомої кристалічної структури є важким завданням. Зараз це завдання значно полегшене завдяки можливостям комп'ютерної техніки.



Лауеграма

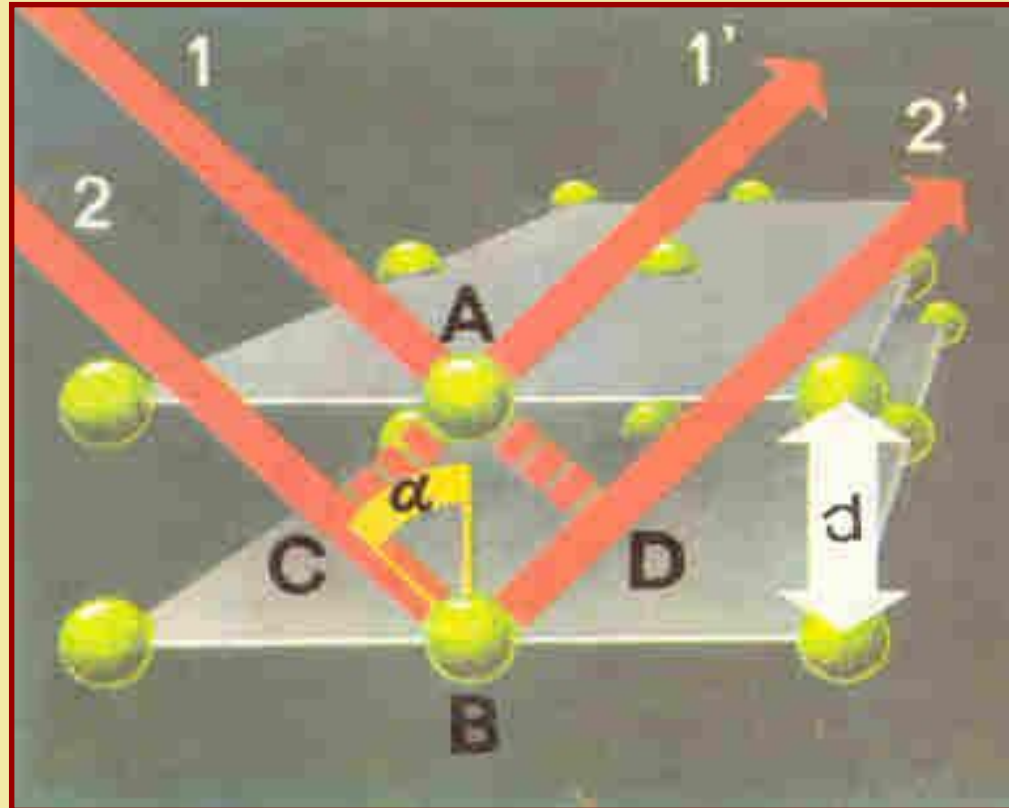


ВИКОРИСТАННЯ КОГЕРЕНТНОГО РОЗСІЮВАННЯ

Для цієї мети краще використовувати метод розроблений батьком і сином Бреггами. Кожен кристал можна уявити собі як сукупність окремих паралельних шарів іонів або атомів, званих кристалічними площинами.

Хай відстань між двома кристалічними площинами позначена через d . Два паралельних променя 1 і 2 падають під кутом α на ці площини і дифрагують на іонах А і В. Дифраговані промені 1' і 2' інтерферують і, якщо промінь 2-2' має відносно променя 1-1' різницю ходу, рівну λ або цілому кратному від неї, їх інтенсивності складаються. Пляма на фотопластині виникає лише при строго певному куті, для якого виконується умова Бреггів:

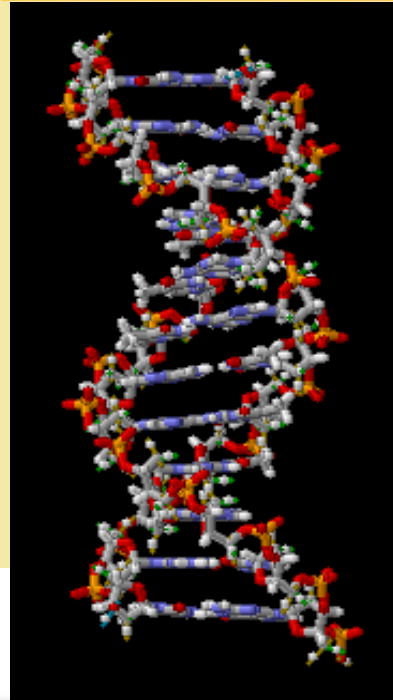
$$2d \sin \alpha = k\lambda, (k=1,2,...)$$



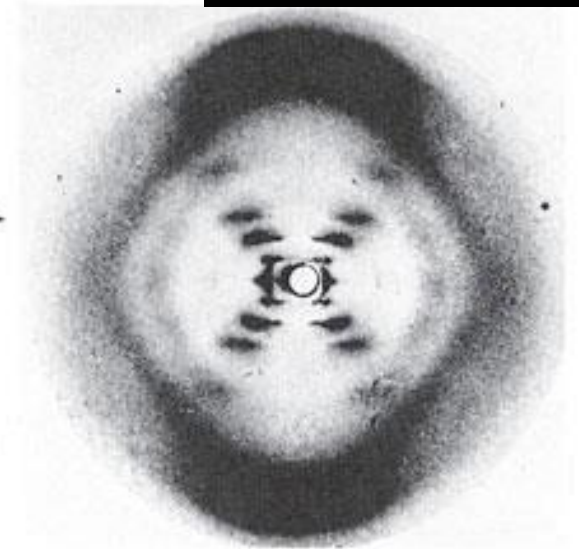
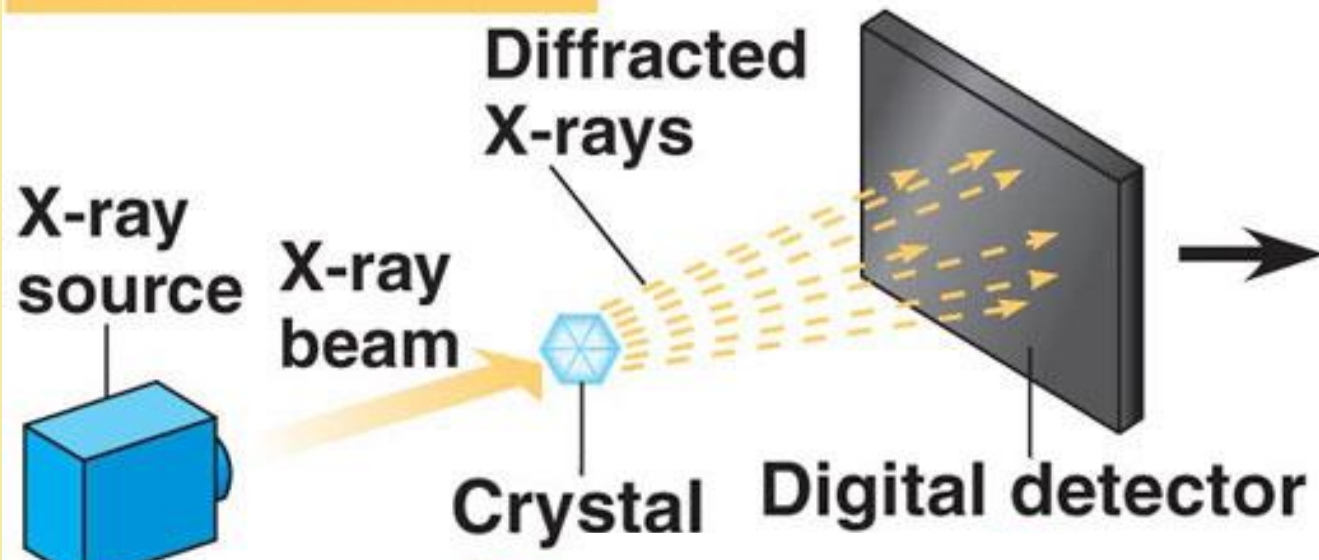
РОЗШИФРОВКА СТРУКТУРИ ДНК

RESULTS

Розшифровка структури ДНК (1953 р.), яка цілком ґрунтувалася на рентгеноструктурному аналізі, стала одним з поворотних моментів в історії біології. За видатний вклад в це відкриття Френсісу Кріку, Джеймсу Уотсону, Морісу Уілкінсу була присуджена Нобелівська премія по фізіології і медицині 1962 р.



EXPERIMENT



Franklin's X-ray diffraction photograph of DNA

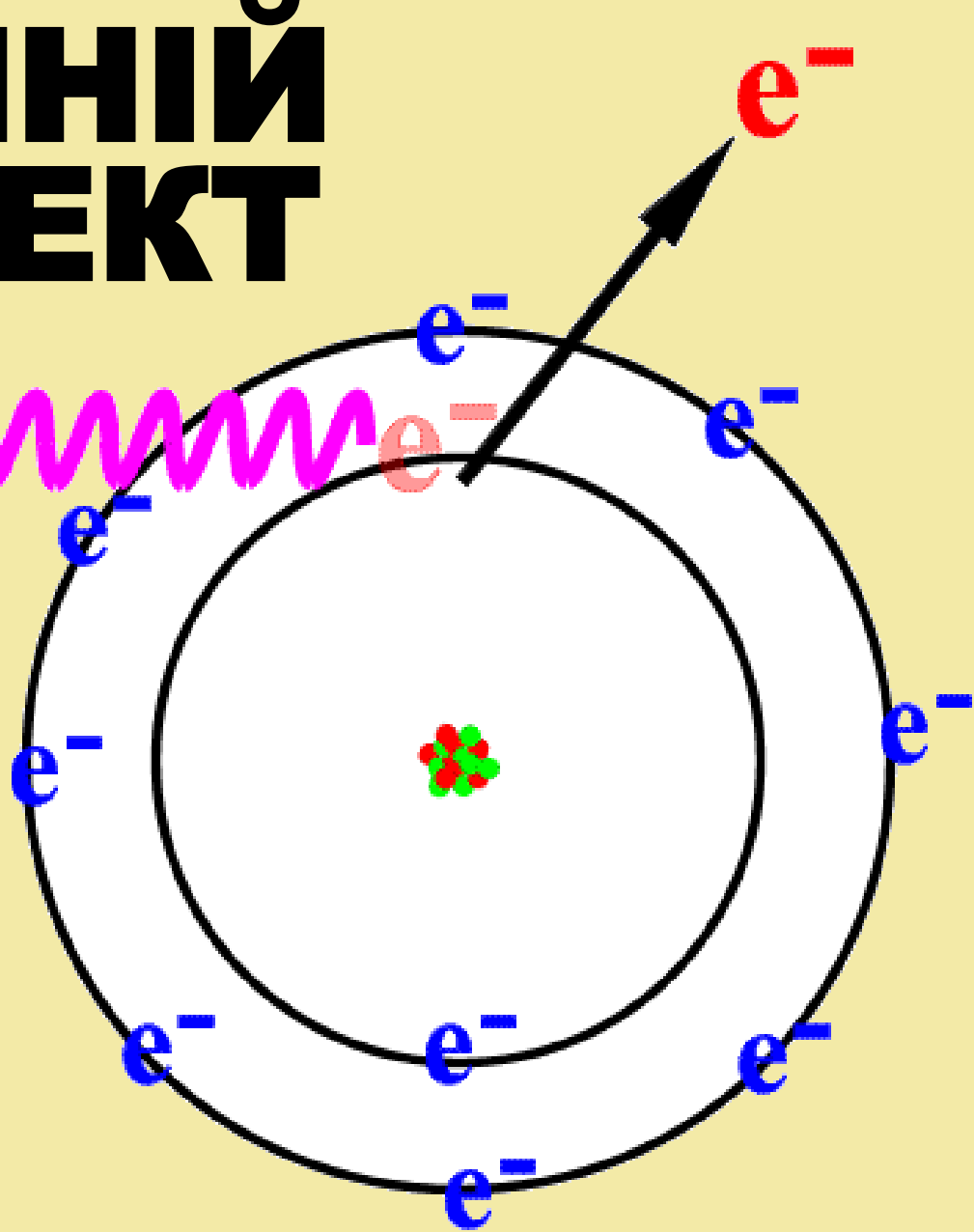
ВНУТРІШНІЙ ФОТОЕФЕКТ

$$h\nu > A_B$$

Якщо енергія фотона $h\nu$ достатня для виконання роботи по відриву електрона: $h\nu > A_B$, то при взаємодії фотон рентгенівського випромінювання поглинається, а електрон відривається від атома і відбувається іонізація речовини. Електрон, що відірвався, набуває кінетичної енергії.

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - A_B$$

Якщо кінетична енергія електрона значна, то він іонізує сусідні атоми шляхом зіткнення (вторинна іонізація).



ВНУТРІШНІЙ ФОТОЕФЕКТ



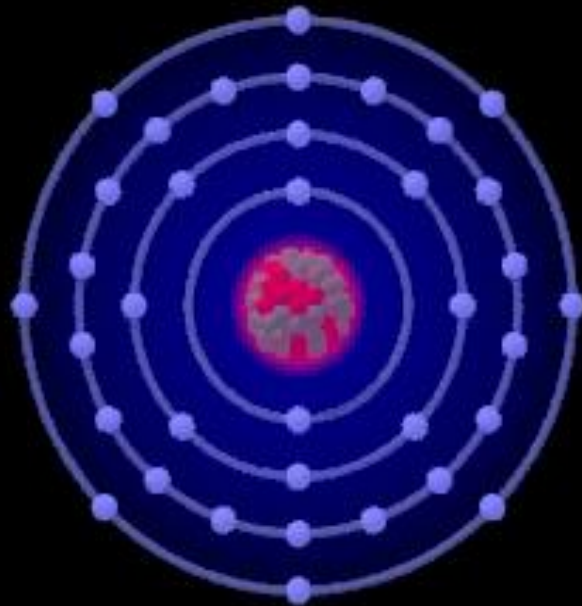
НЕКОГЕРЕНТНЕ РОЗСІЮВАННЯ

$$E \gg A_B$$



Якщо енергія фотона значно перевищує роботу по відриву електрона, то відбувається комптон-ефект або некогерентне розсіювання. Електрон відривається від атома (такі електрони називаються електронами віддачі), енергія фотона зменшується, а довжина хвилі відповідно збільшується; змінюється також і напрям руху фотона. Якщо електрони віддачі мають достатню кінетичну енергію, вони іонізують сусідні атоми.

НЕКОГЕРЕНТНЕ РОЗСИЮВАННЯ

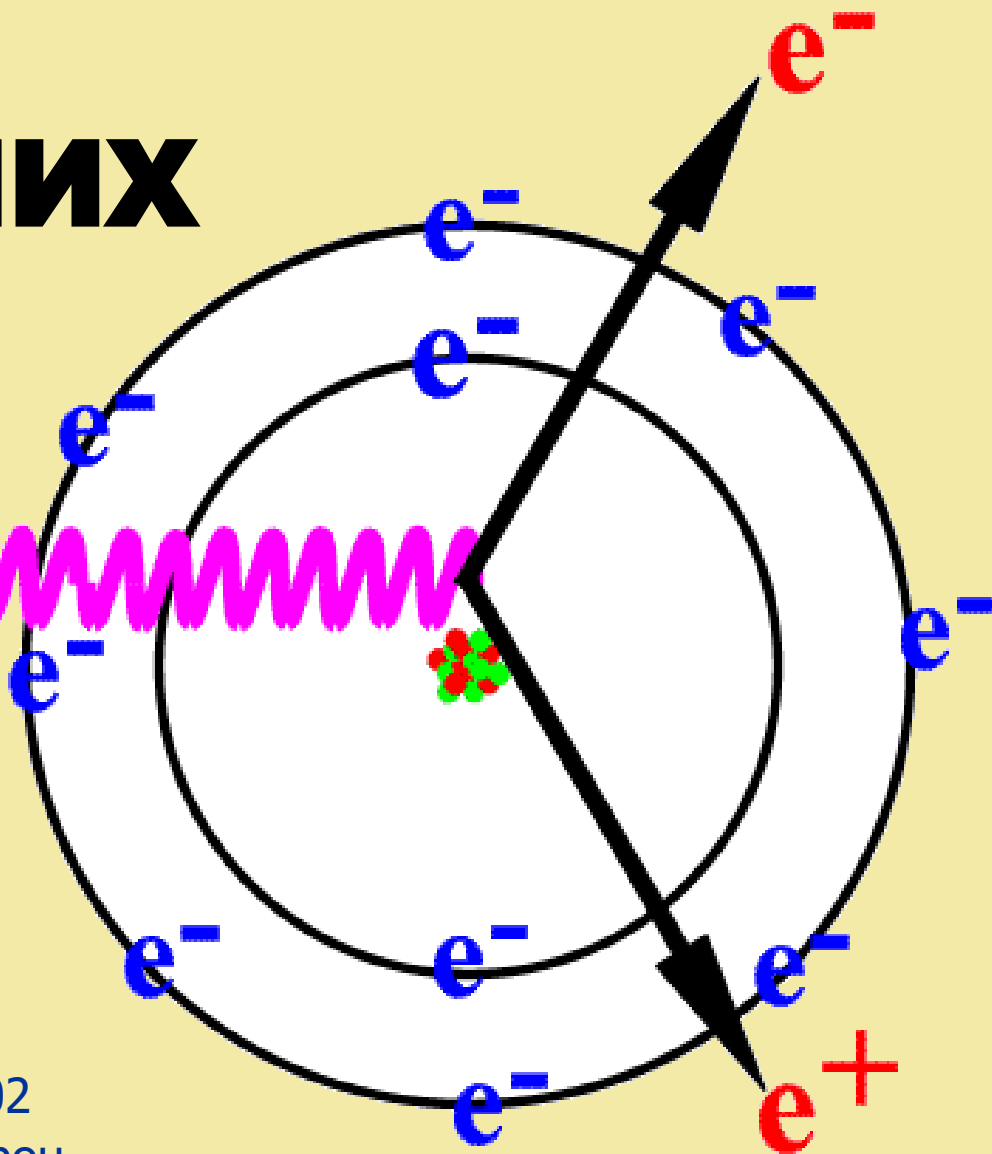


УТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОН- ПОЗИТРОННИХ ПАР

$$E > 1,02 \text{ MeV}$$



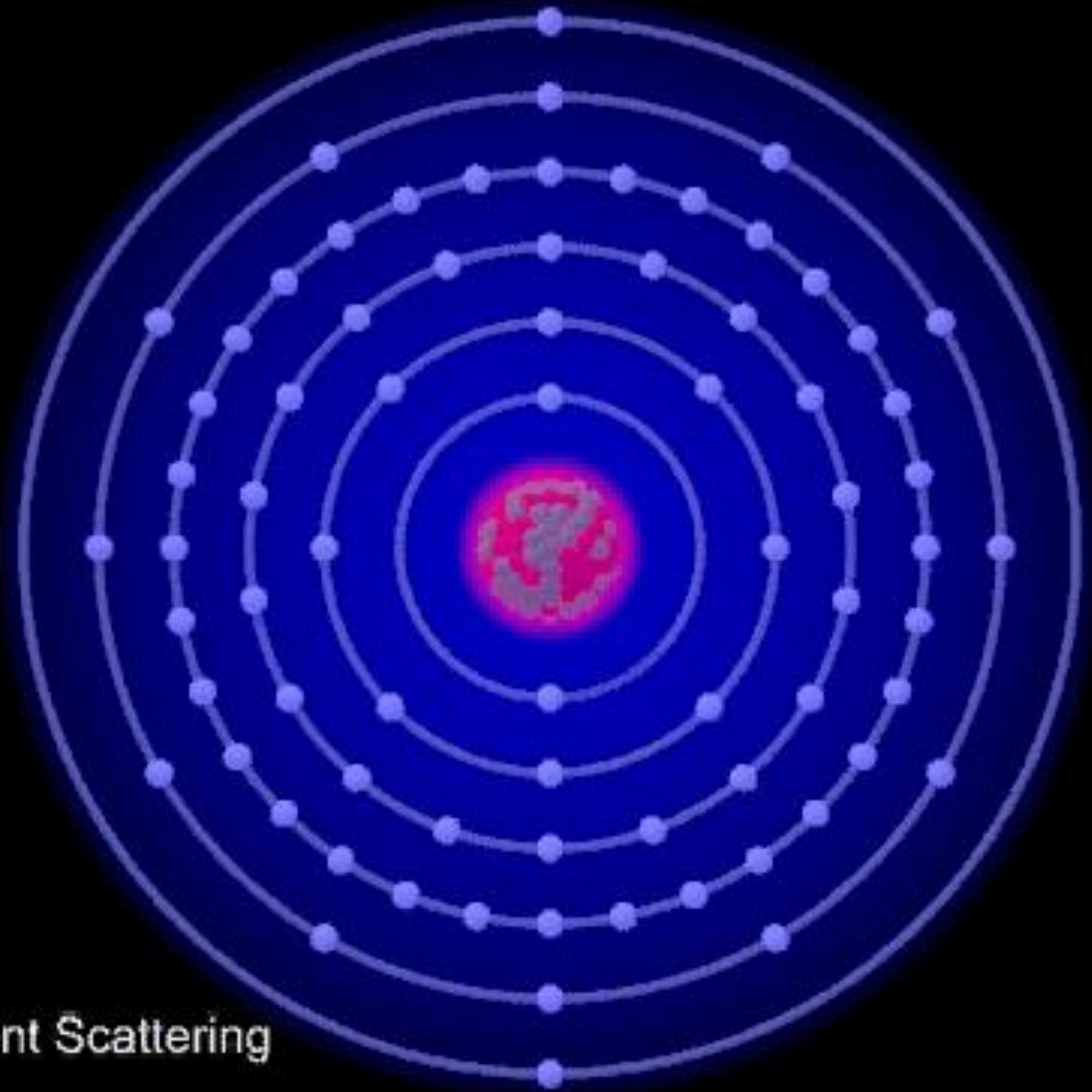
При взаємодії фотона рентгє-
нівського випромінювання з
речовиною можливий іще один
ефект - утворення пари елект-
рон-позитрон. Для здійснення
такої реакції енергія фотона має
бути не менше суми мас спокою
електрона і позитрона, тобто $E > 1,02$
MeV. Звичайно утворення пар електрон-
позитрон фотоном відбувається в куло-
нівському полі атомного ядра.



УТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННИХ ПАР



ВЗАЄМОДІЯ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЕННЯ З РЕЧОВИНОЮ



Coherent Scattering

ПОГЛИНАННЯ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЕННЯ РЕЧОВИНОЮ

В результаті взаємодії з речовиною первинний пучок рентгенівського випромінювання слабшає. Цей процес підкоряється закону Бугера, згідно якому інтенсивність Φ_d паралельного монохроматичного рентгенівського випромінювання, що досягає шару на глибині d від поверхні однорідної речовини, пов'язана з інтенсивністю Φ_0 випромінювання, падаючого на поверхню, залежністю:

$$\Rightarrow \Phi_d = \Phi_0 e^{-\mu d},$$

де μ називають лінійним коефіцієнтом ослаблення. Він залежить від природи речовини (головним чином, від густини ρ і від атомного номера Z) і від довжини хвилі λ (енергії фотона) випромінювання. Масовий коефіцієнт ослаблення рівний відношенню лінійного коефіцієнта ослаблення до густини поглинача і не залежить від густини речовини:

$$\Rightarrow \mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

Для рентгендіагностики використовують фотони з енергією порядку 60–120 кЕВ. При цій енергії масовий коефіцієнт ослаблення в основному визначається фотоефектом. Його значення обернено пропорційно до третього ступеня енергії фотона (пропорційно λ^3), в чому виявляється велика проникаюча здатність жорсткого випромінювання, і пропорційне третьому ступеню атомного номера речовини - поглинача:

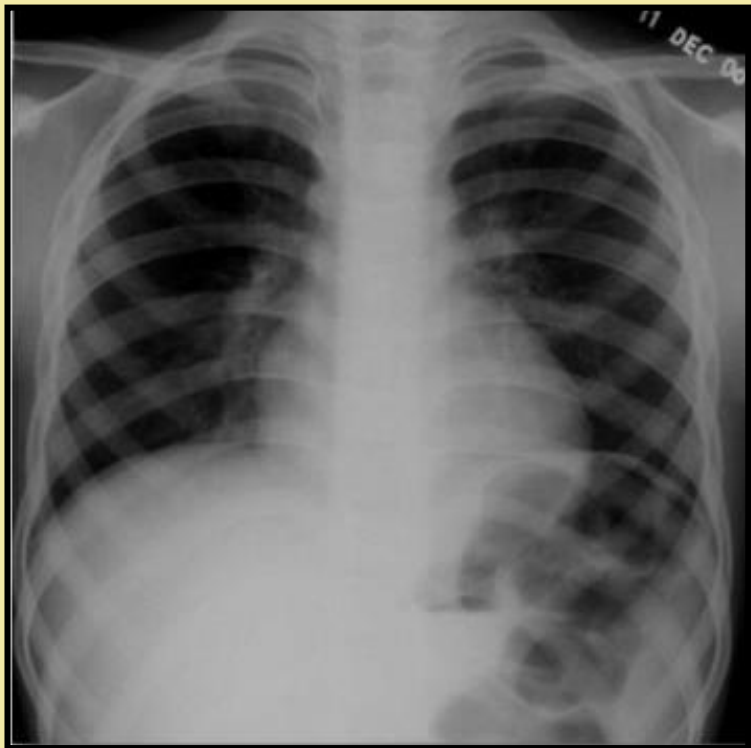
$$\Rightarrow \mu_m = k \lambda^3 Z^3,$$

де k – коефіцієнт пропорційності

ПРИРОДА ТІНЬОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ

Поглинання рентгенівських променів майже не залежить від того, в якому з'єднанні атом представлений в речовині, тому легко можна порівняти масові коефіцієнти ослаблення μ_{mk} кістки $Ca_3(PO_4)_2$ і μ_{mv} м'якої тканини або води H_2O . Атомні номери Ca , P , O і H відповідно рівні 20, 15, 8 і 1. Тому отримаємо відношення коефіцієнтів ослаблення для кістки і м'якої тканини:

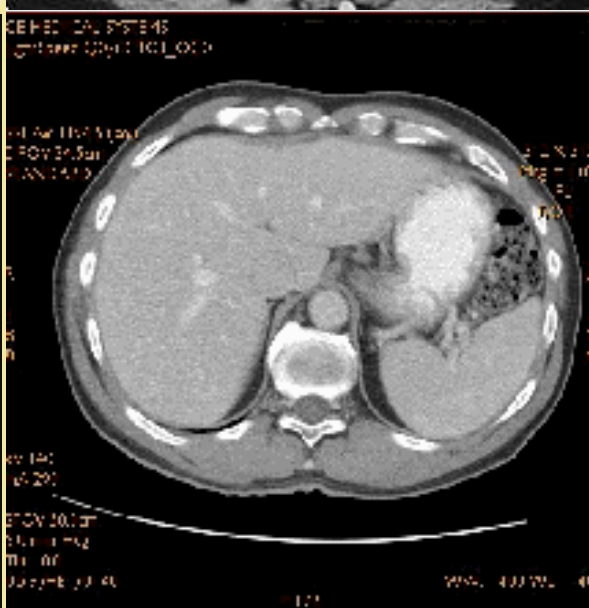
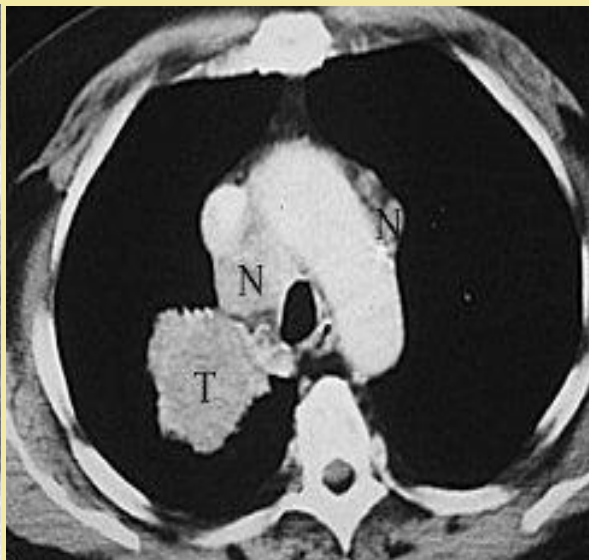
$$\Rightarrow \frac{\mu_{mk}}{\mu_{mv}} = \frac{3 \cdot 20^3 + 2 \cdot 15^3 + 8 \cdot 8^3}{2 \cdot 1^3 + 8^3} = 68.$$



Якщо досліджуваний орган і навколишні тканини приблизно однаково ослабляють рентгенівське випромінювання, то застосовують спеціальні **контрастні речовини**. Так, наприклад, якщо наповнити кишечник кашоподібною масою сульфату барію, можна бачити його тіньове зображення



ПОРІВНЯННЯ ТІНЬОВИХ І ТОМОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ



порівняння
зображень
грудної клітки і
області тазу,
отриманих за
допомогою
тіньової
проекції і
томографії

РЕНТГЕНОДІАГНОСТИКА

РЕНТГЕНОСКОПІЯ

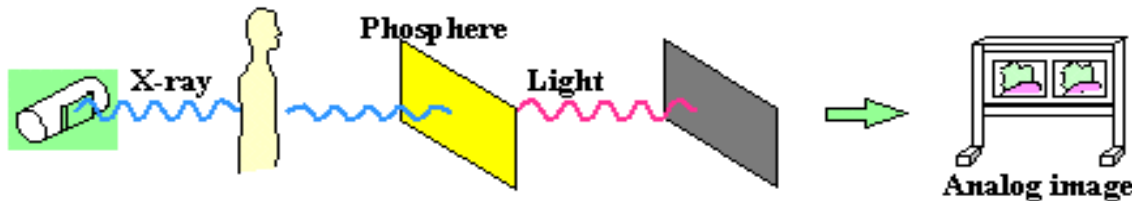
зображення розглядають на
люмінесцентному екрані

РЕНТГЕНОГРАФІЯ

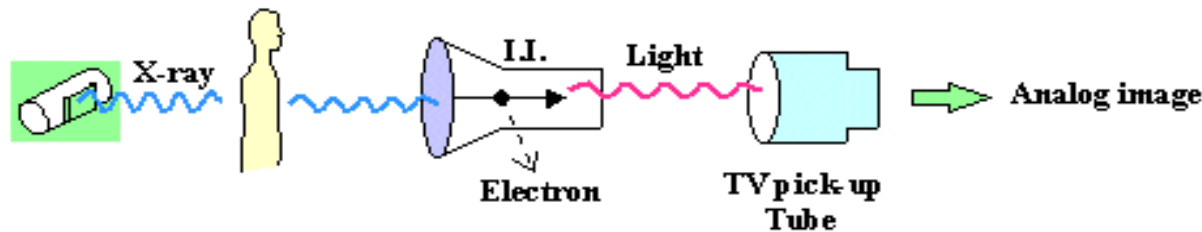
зображення фіксується на
фотоплівці

РЕНТГЕНІВСЬКА ТОМОГРАФІЯ

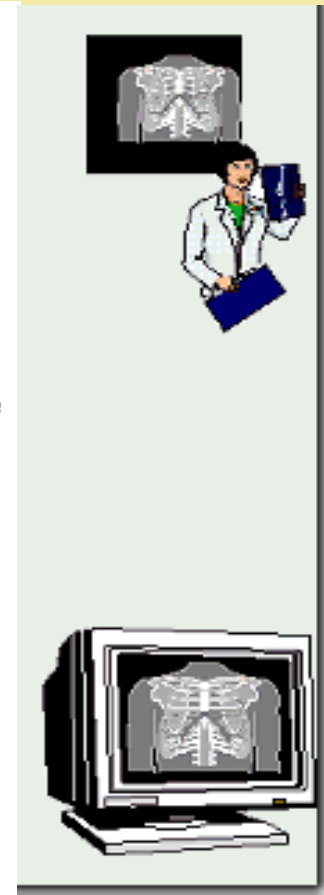
(tomo (греч) – шар) отримане цифрове зображення, дозволяє візуально, за допомогою комп'ютера, оцінити шар, що лежить на певній глибині



Fluoroscopy - Today

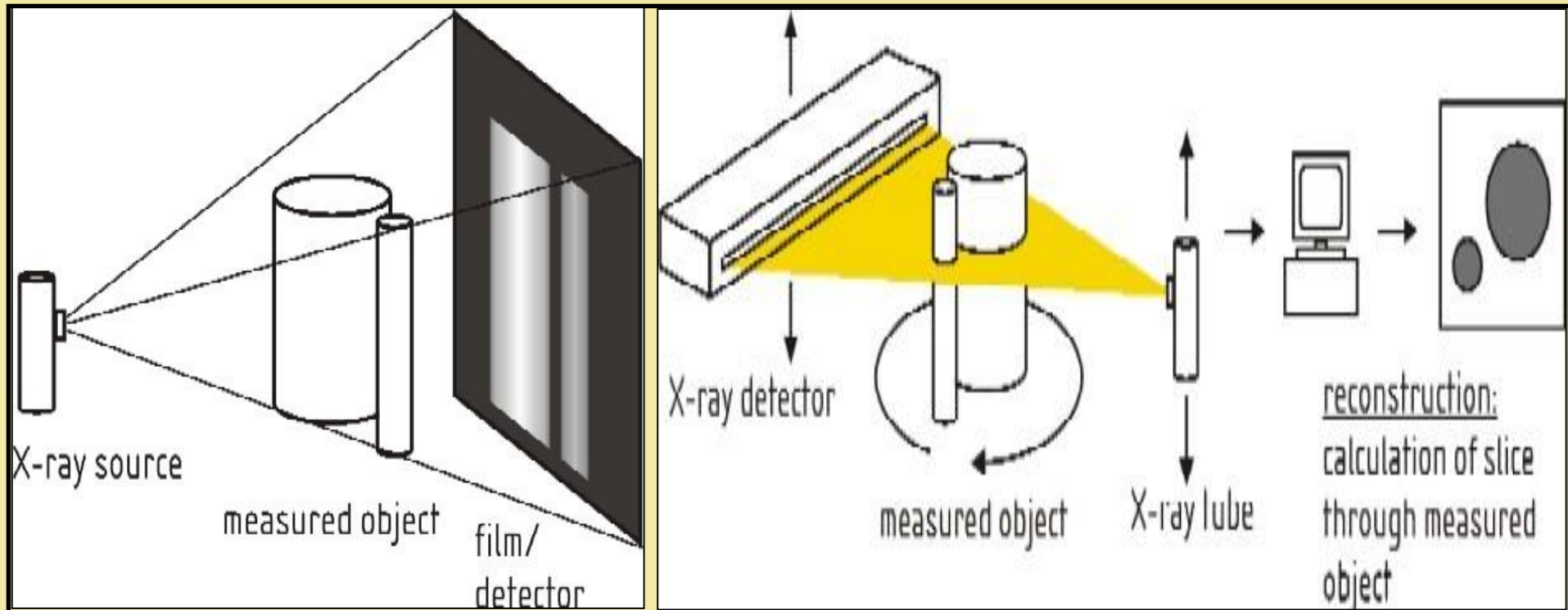


All applications - Digital Detector

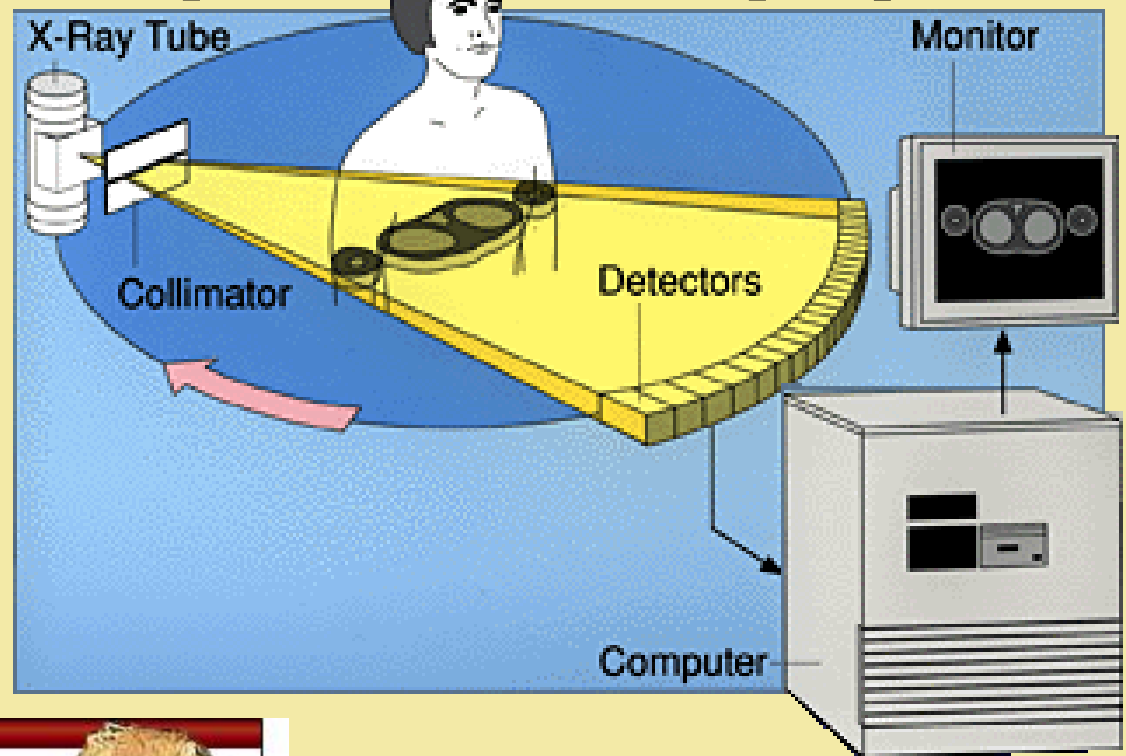
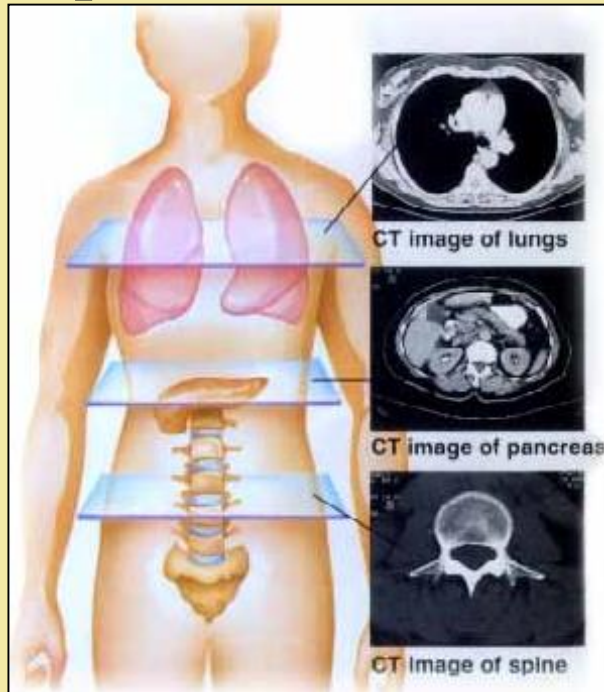


РЕНТГЕНІВСЬКА ТОМОГРАФІЯ

У 1973 році група англійських фахівців розробила комп'ютерний томограф для дослідження органів і систем людини. У ЕОМ томографі точкове джерело рентгенівських променів і напівпровідниковий детектор рентгенівського випромінювання синхронно переміщаються з протилежних сторін об'єкту. При цьому детектор реєструє залежність інтенсивності випромінювання, що пройшло через об'єкт від часу. Потім система випромінювач - детектор повертається на декілька градусів щодо центру об'єкту і сканування повторюється. Всі дані поступають в комп'ютер і обробляються, синтезуючи двовимірне зображення по шарам. Число сканувань, як правило, декілька сотень.



принцип комп'ютерної томографії



OVERVIEW SCAN A MUMMY BUILD A MUMMY VIEW ANIMATIONS

Virtually unwrapped

For years, researchers have had to unwrap, and consequently damage, mummies in order to study them. Now, radiologists at Emory University in Atlanta are using x-rays and high-power computers to scan mummies and to transfer the images into 3D.

• About the mummies

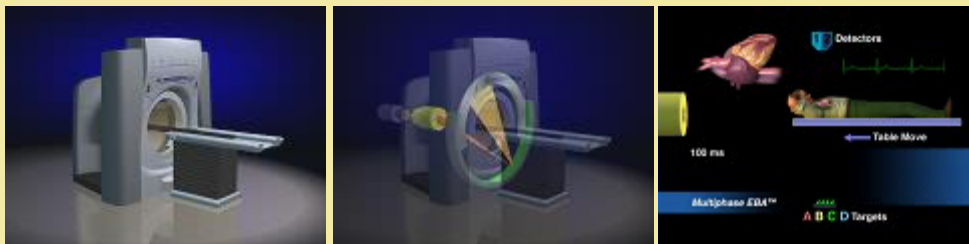
SCAN A MUMMY



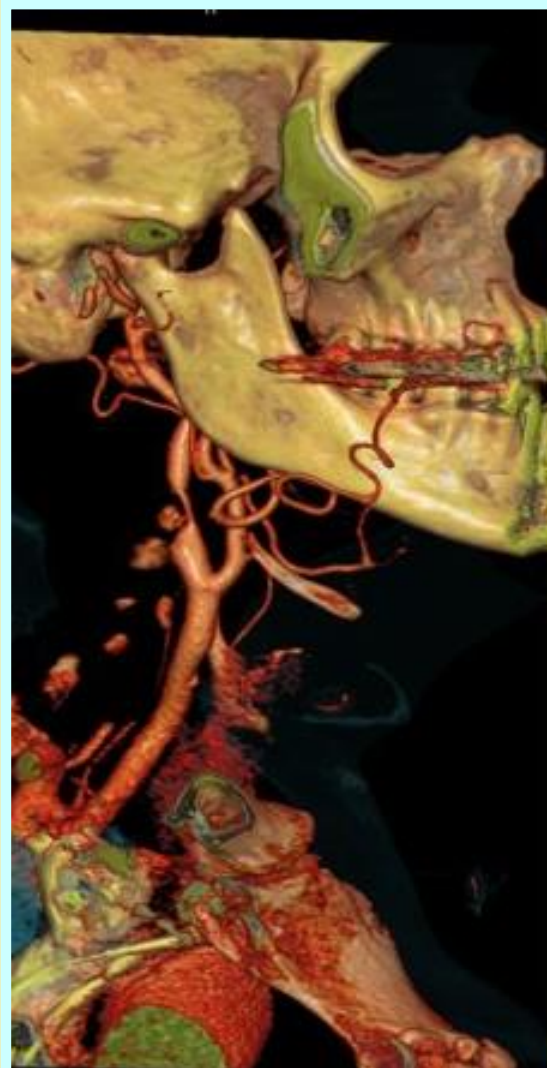
loading, please wait...

.....

ПРИКЛАДИ ТОМОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ



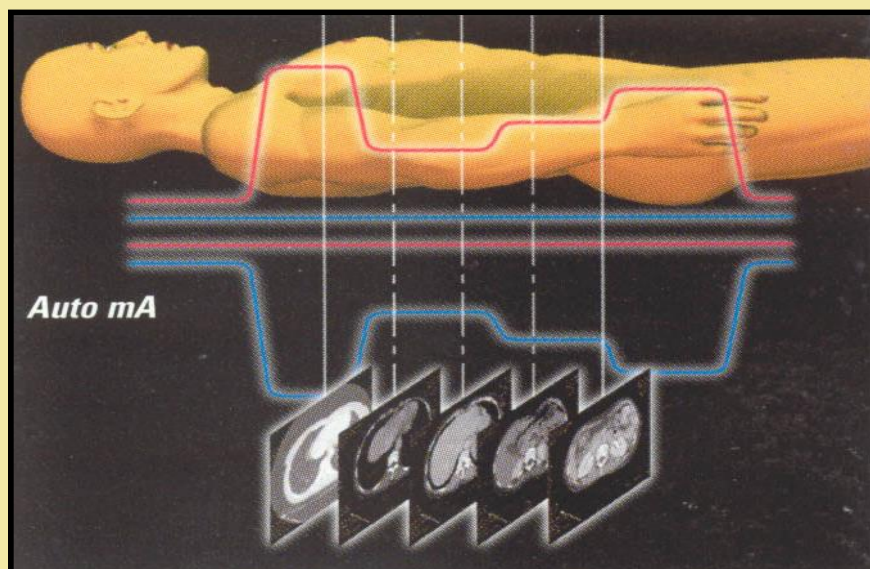
поперечні перерізи



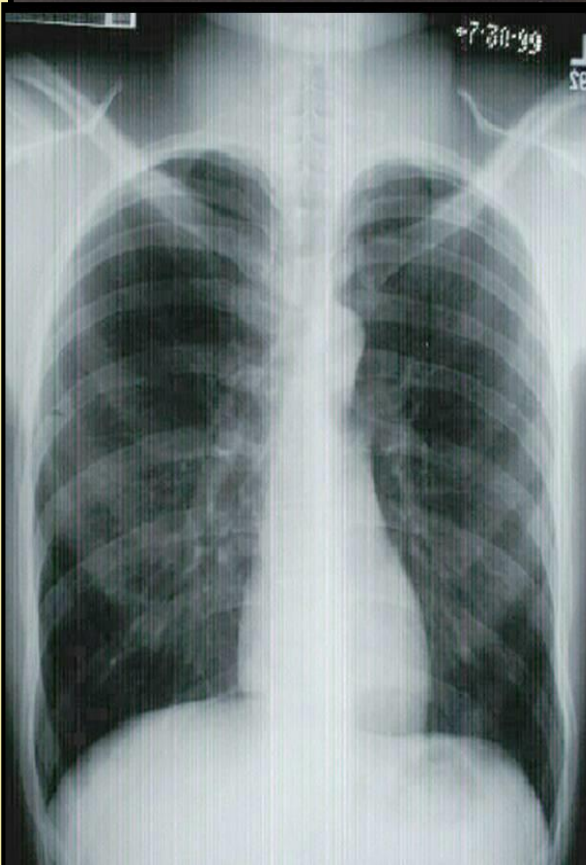
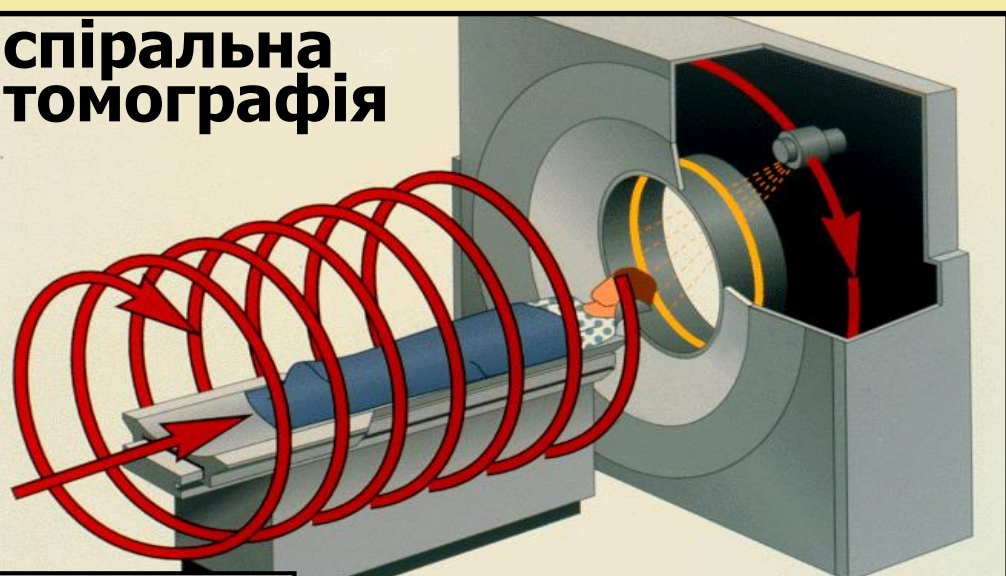
Cross Sectional Anatomy



Jud W Gurney MD



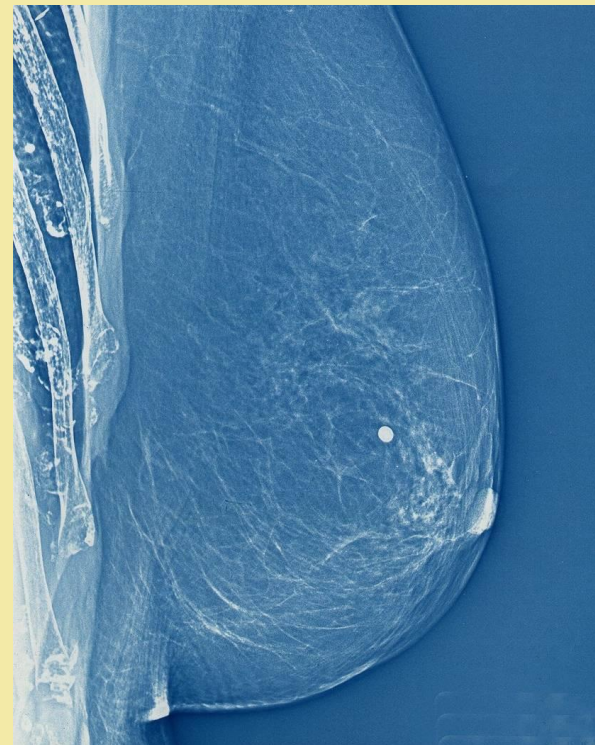
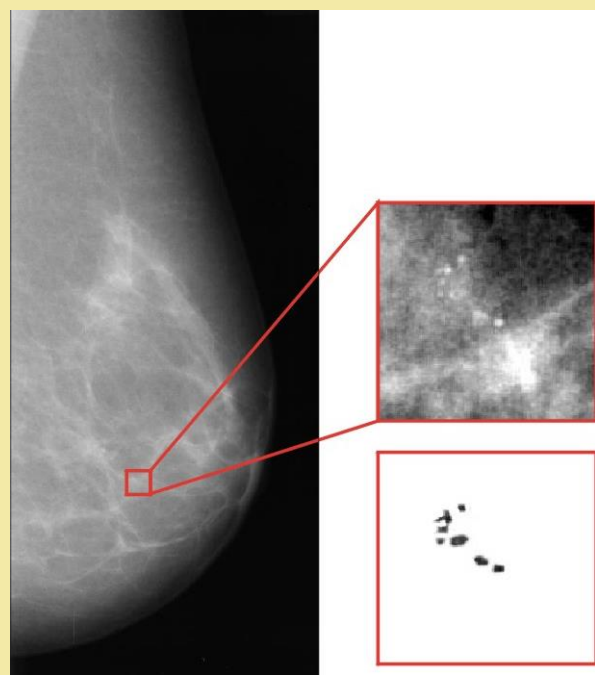
спіральна томографія



Перевага в застосуванні комп'ютерної техніки полягає в тому, що на рентгенівському знімку можна розрізнити зміну щільності на 2% (2% контрастна чутливість), тому неможливо отримати хороше зображення малих змін щільності в об'єкті, тобто малі перепади контрасту. У комп'ютерного ж рентгенівського апарату контрастна чутливість досягає 0,2%, в деталях менше 2 мм. Це дозволяє бачити дуже малі опухолеподібні утворення, аневризми судин.

МАММОГРАФІЯ

Маммографічні дослідження дозволяють виявити ракові новоутворення грудей на значно більш раніших стадіях, що дає можливість їх усунення більш простими і безболісними методами.



Mammograms:
using X-ray pictures to find small
breast cancers



0 % loaded

РЕНТГЕНОГРАФІЯ ГРУДНОЇ КЛІТКИ



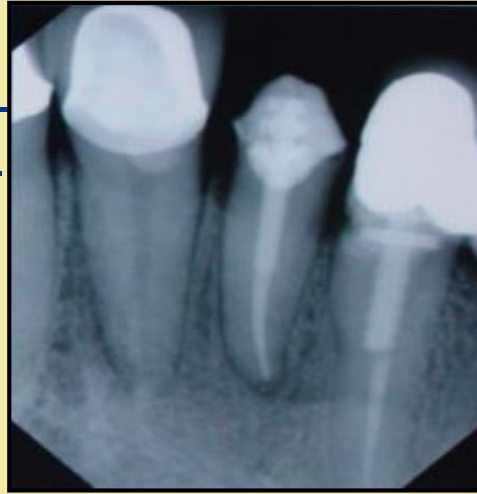
skip intro



РЕНТГЕНОДІАГНОСТИКА В СТОМАТОЛОГІЇ

ВНУТРІШНЬОРОТОВІ ЗНІМКИ

Рентгенівська плівка встановлюється в роті, а джерело рентгенівських променів – зовні. В результаті внутрішньоротовий знімок – зображення 2-3 зубів



ПАНОРАМНІ ЗНІМКИ



рентгенівська плівка і трубка поза ротовою порожниною, плівка має форму напівкруга



комп'ютерний
знімок

