

**ЛЕКЦІЯ**  
НА ТЕМУ  
**РЕНТГЕНІВСЬКЕ  
ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА  
АПАРАТУРА**



Явища поляризації та дифракції рентгенівського випромінювання повністю довели *хвильову електромагнітну природу рентгенівського випромінювання*

Рентгенівське випромінювання - електромагнітні хвилі, енергія фотонів яких лежить на енергетичній шкалі між ультрафіолетовим випромінюванням і гамма-випромінюванням, що відповідає довжинам хвиль від  $10^{-14}$  до  $10^{-8}$  м.

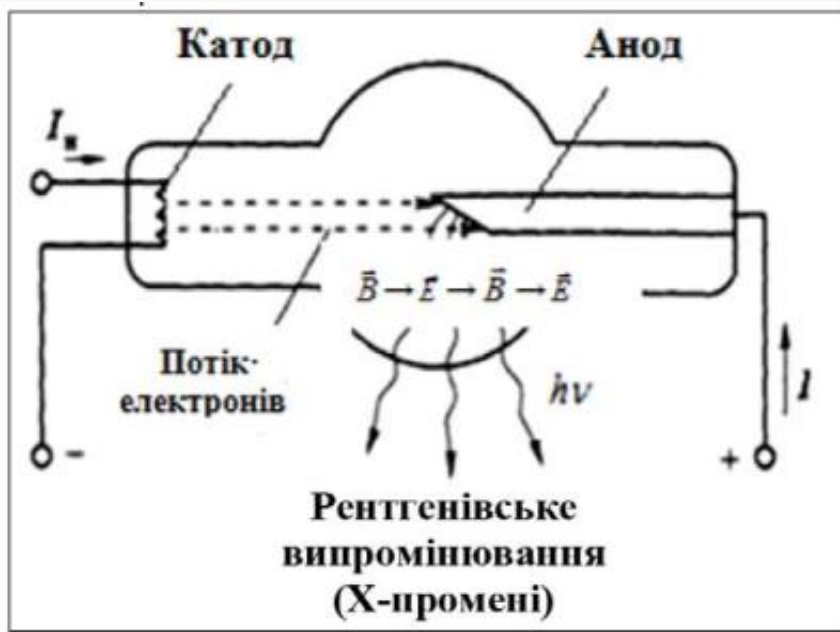
РВ за механізмом утворення може бути гальмівним та характеристичним.

**Рентгенівські промені –  
це електромагнітні хвилі з довжиною  
від 80 нм до 0,01 нм**

# Отримання РВ

Рентгенівські промені виникають при сильному прискоренні заряджених частинок, або при високоенергетичних переходах в електронних оболонках атомів або молекул.

Обидва ефекти використовуються в рентгенівських трубках. У трубці створюється глибокий вакуум. Електрони, випущені катодом, прискорюються під дією різниці електричних потенціалів між анодом і катодом і вдаряються об анод, де відбувається їх різке гальмування. При цьому випускаються рентгенівські промені і в той же час вибиваються електрони з внутрішніх електронних оболонок атомів анода. Порожні місця в оболонках займаються іншими електронами атома. При цьому випускається рентгенівське випромінювання з характерним для матеріалу анода спектром енергій.

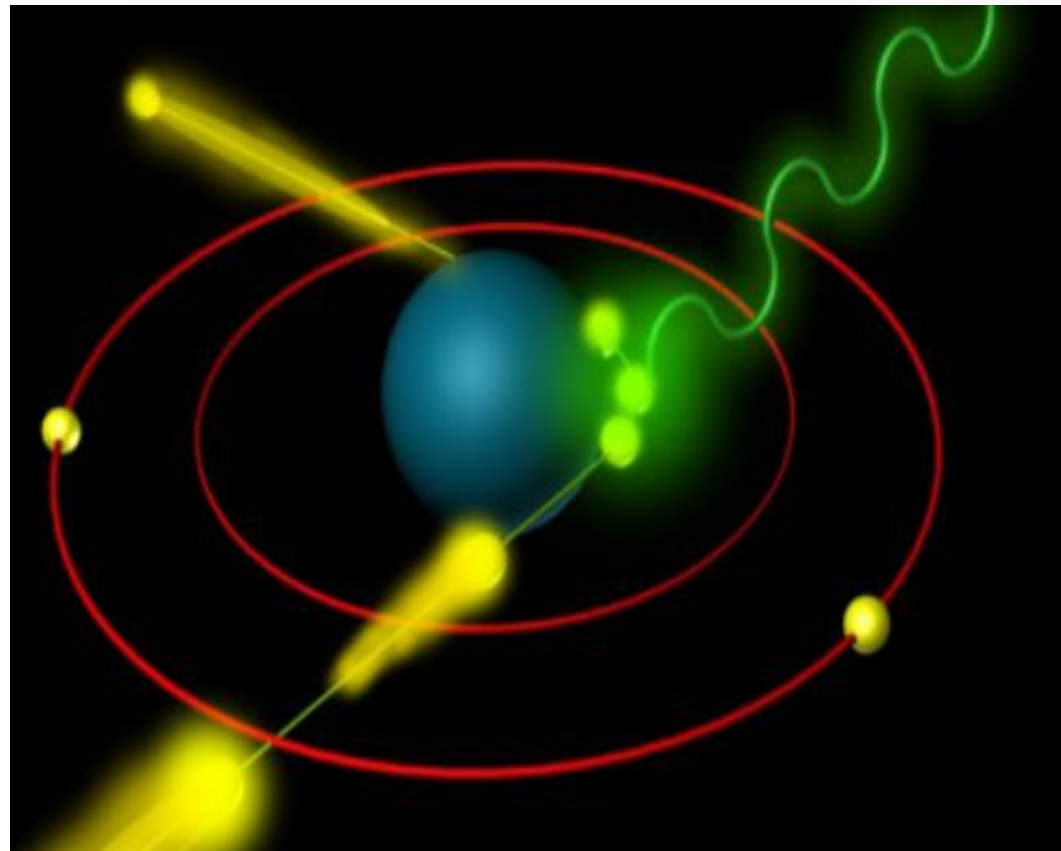


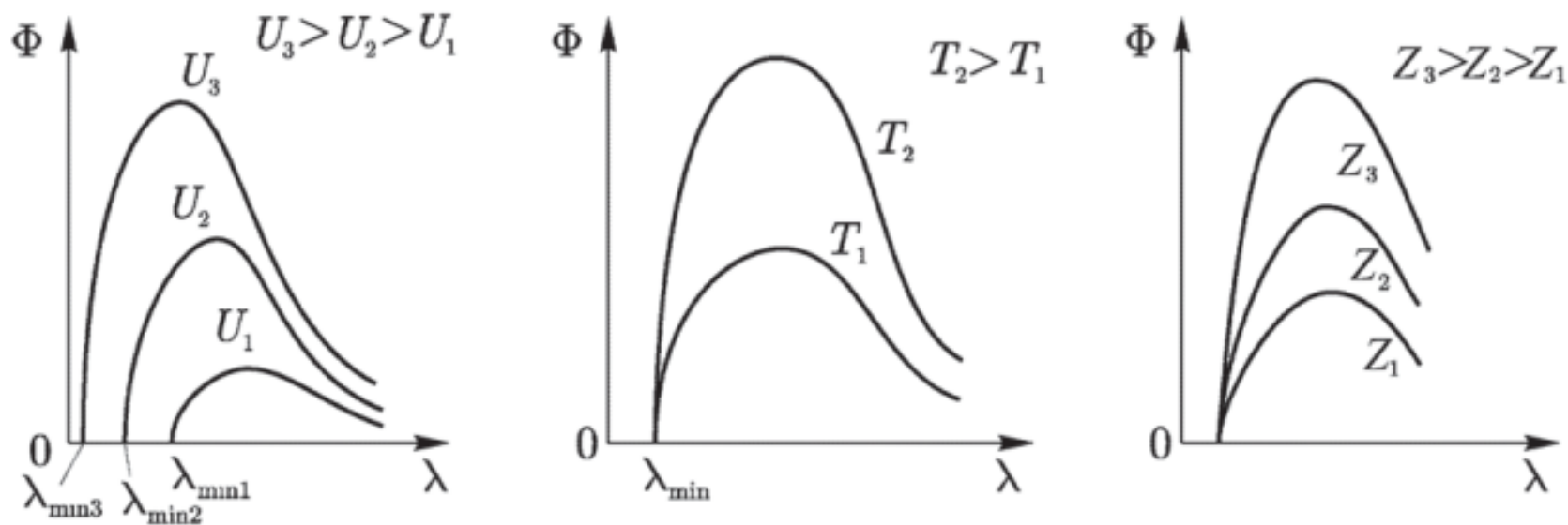
Внаслідок різкого гальмування дуже швидких електронів виникає **гальмівне** та **характеристичне** рентгенівське випромінювання.

В даний час аноди виготовляються головним чином з кераміки, причому та їх частина, куди ударяють електрони, - з молібдену.

## Гальмівне рентгенівське випромінювання

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.

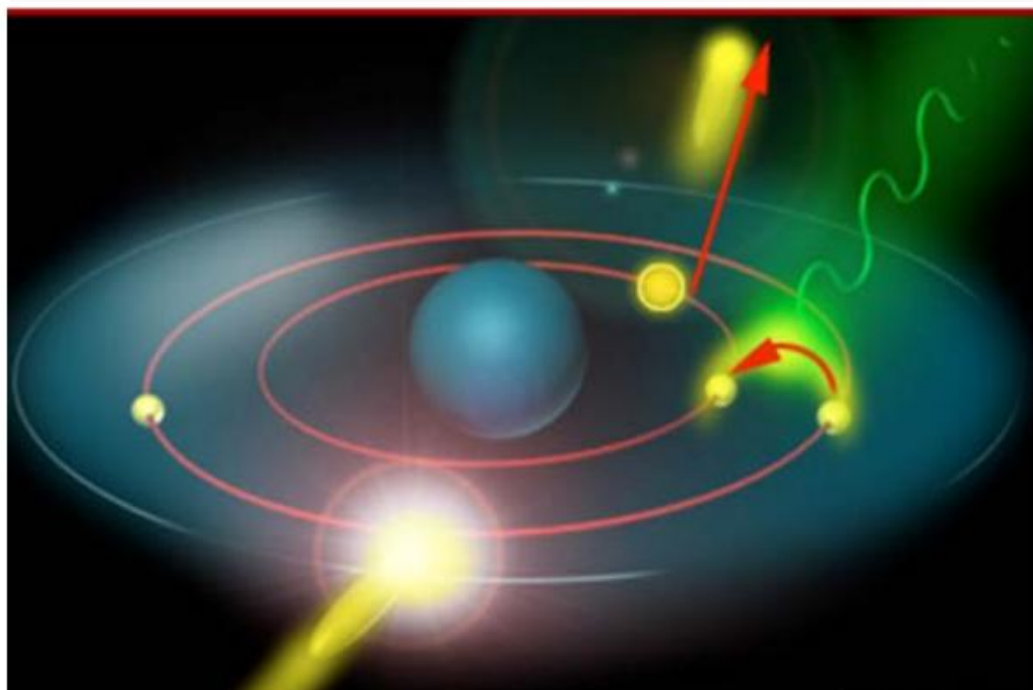




**Рис. 3. Спектр гальмівного рентгенівського випромінювання:**  
 1) за умови різної напруги в трубці; 2) за умови різної температури катоду (струму в трубці); 3) за умови різних речовинних анодів, що відрізняються

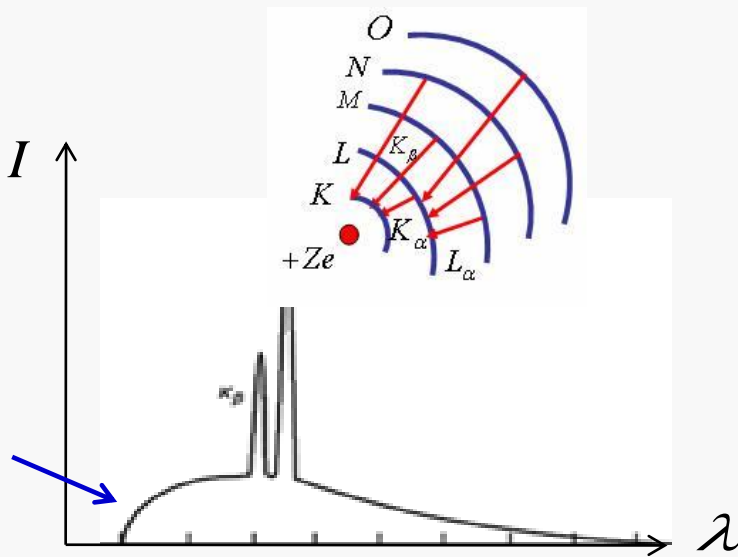
## Характеристичне рентгенівське випромінювання

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.

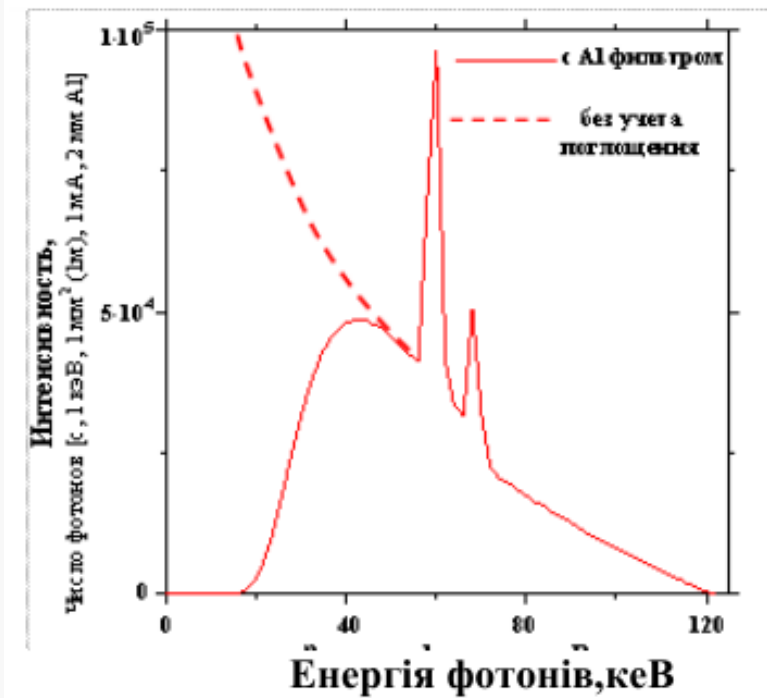


**Характеристичний ( лінійчатий ) спектр зумовлений вибиванням електронів із внутрішніх шарів атомів анода і характеризує речовину анода.**

Характеристичні лінії завжди виникають на фоні неперервного спектра гальмівного випромінювання



*Чим більша напруга між катодом і анодом тим менша довжина хвиль, тим жорсткіші промені, тим більша їх **проникна** здатність*



$$eU = \frac{hc}{\lambda} \longrightarrow \lambda = \frac{hc}{eU}$$

Рентгенівське випромінювання можна отримувати також і на прискорювачах заряджених частинок. Так зване **синхротронне випромінювання** виникає при відхиленні пучка частинок в магнітному полі, внаслідок чого вони відчують прискорення в напрямку, перпендикулярному їх руху. Синхротронне випромінювання має суцільний спектр з верхньою межею. При відповідним чином вибраних параметрах (величина магнітного поля і енергія частинок) в спектрі синхротронного випромінювання можна отримати і рентгенівські промені.

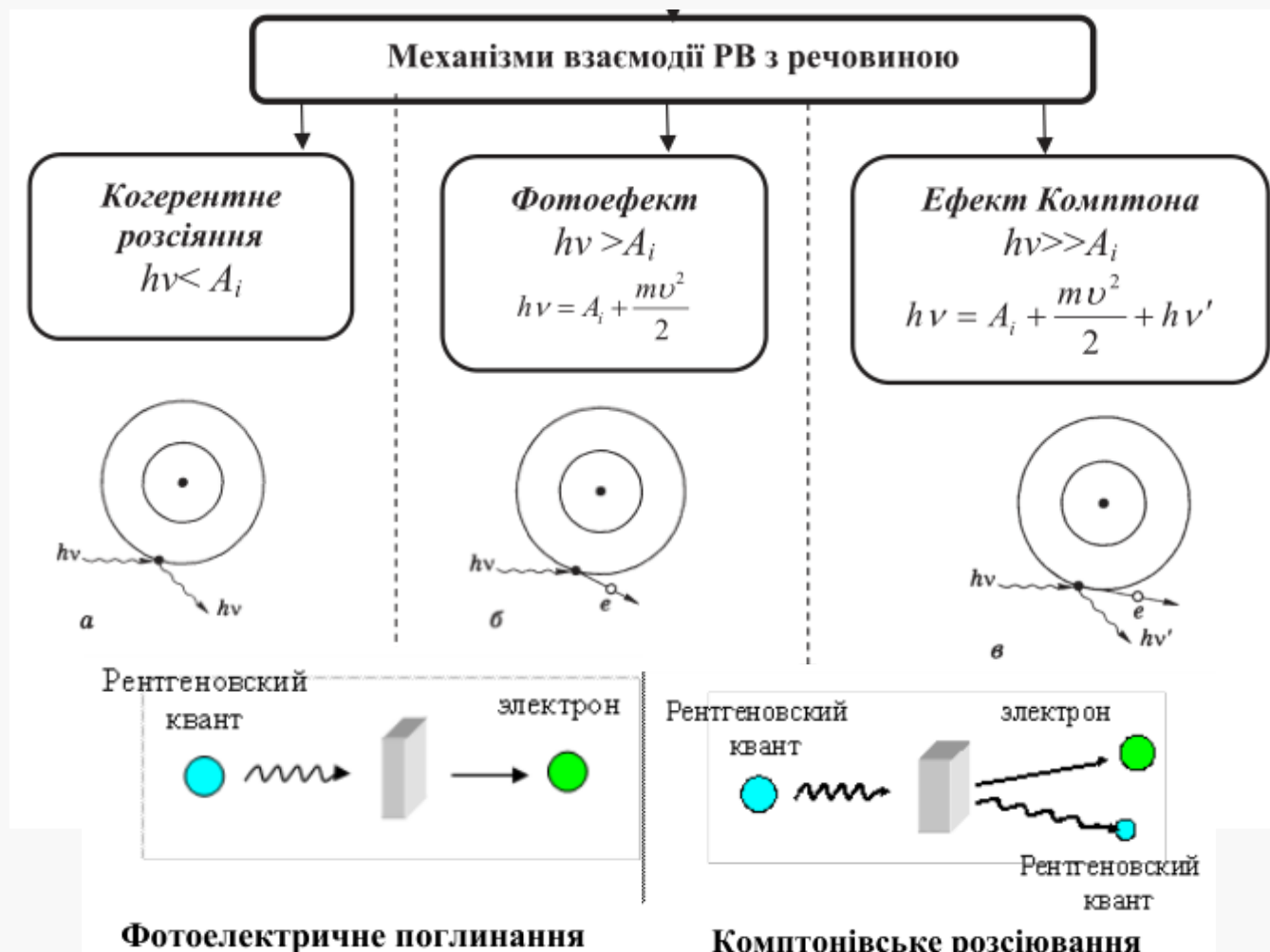


Від  $0,1 \text{ нм} = 1 \text{ \AA}$  (12 400 eV) до  $0,01 \text{ нм} = 0,1 \text{ \AA}$  (124 000 eV) —  
**жорстке рентгенівське випромінювання.**

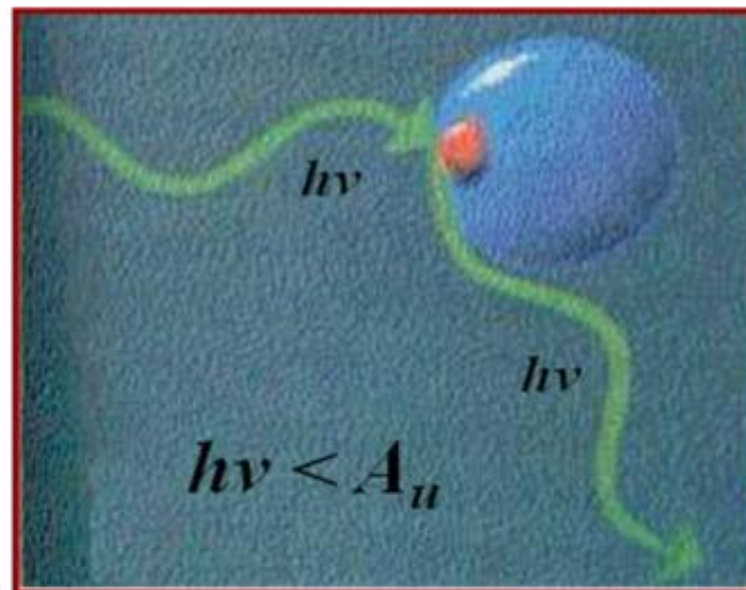
Від  $10 \text{ нм}$  (124 eV) до  $0,1 \text{ нм} = 1 \text{ \AA}$  (12 400 eV) — **м'яке**  
**рентгенівське випромінювання.**

## Взаємодія рентгенівського випромінювання з речовиною

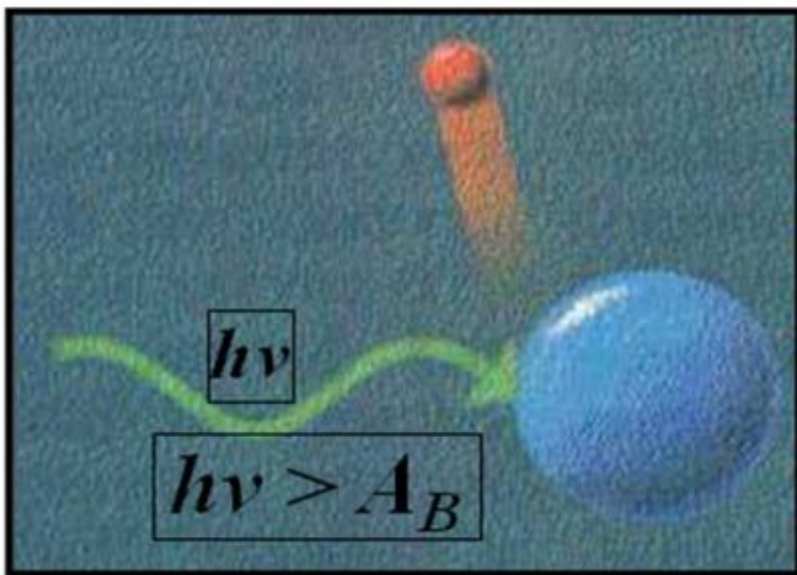
При падінні на тіло рентгенівського випромінювання воно в незначній частині відбивається від його поверхні, але в основному проходить в глиб маси тіла, де, взаємодіючи з електронами атомів речовини, поглинається і розсіюється, і частково проходить через тіло наскрізь без взаємодії з ним. Механізми поглинання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



## Когерентне розсіювання



При когерентному розсіянні змінюється тільки напрям розповсюдження електромагнітного випромінювання (напрямок руху фотона). Використовується для рентгеноструктурного аналізу – виявлення внутрішньої структури речовини (розташування атомів і молекул). Унаслідок явищ дифракції і інтерференції рентгенівських променів на кристалі, на фотопластинці (за кристалом) з'являється симетричний узор. 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. Якщо структура кристала відома, то метод Лауе дає можливість визначити довжини хвиль, тобто здійснити рентгенівську спектроскопію.



### Фотоефект

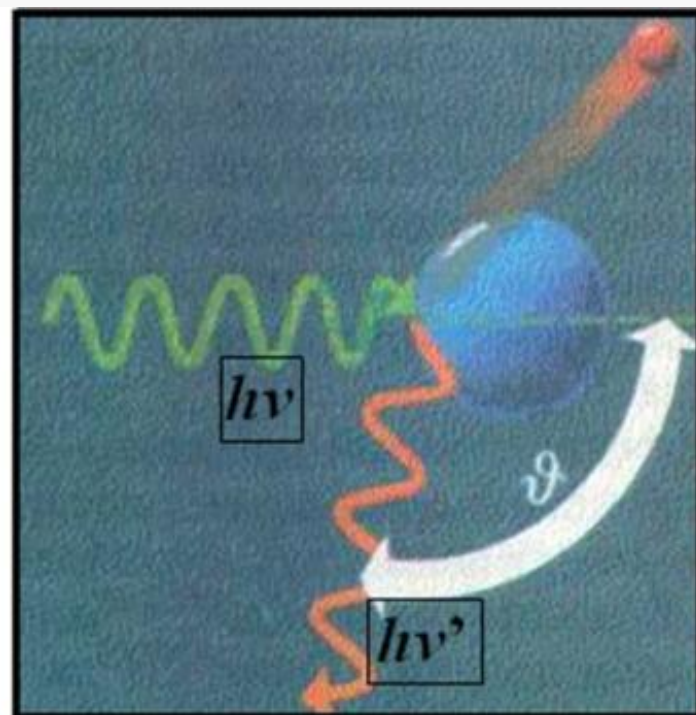
Якщо енергія фотона  $h\nu$  достатня для виконання роботи  $A_B$  по відриву електрона:  $h\nu > A_B$ , то при взаємодії фотон рентгенівського випромінювання поглинається, а електрон відривається від атома і відбувається іонізація речовини. Електрон, що відірвався, набуває кінетичної енергії. Якщо кінетична енергія електрона значна, то він іонізує сусідні атоми шляхом зіткнення (вторинна іонізація).

Активация Windows

Чтобы активировать Windows, пере

### Некогерентне розсіювання.

Якщо енергія фотона  $h\nu$  значно перевищує роботу по відриву електрона:  $E \gg A_B$ , 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. Випромінювання, що утворюється при цьому, з великою довжиною хвилі називається вторинним, воно розсівається по всіляких напрямках. Якщо електрони віддачі мають достатню кінетичну енергію, вони іонізують сусідні атоми.

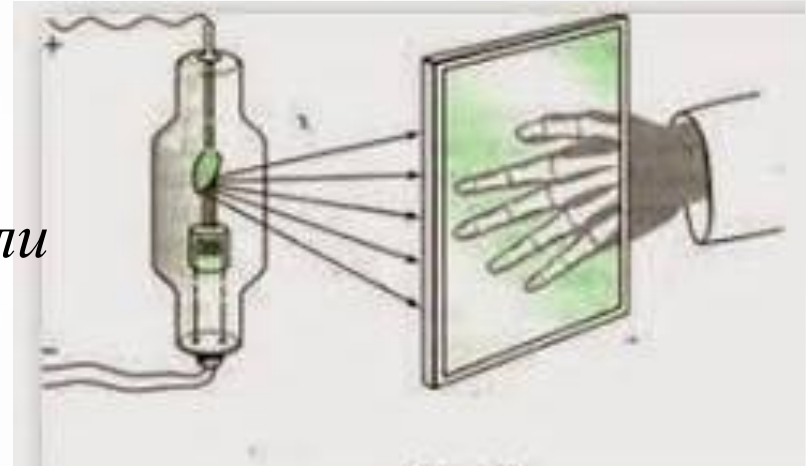


# Властивості рентгенівського випромінювання:

- **виникає в результаті гальмування швидких електронів будь-якою перешкодою, зокрема металевими електродами**
- **не відхиляється електричним і магнітним полями;**
- **справляє фотохімічну дію**
- **викликає флюоресценцію деяких речовин**
- **помітно не відбиваються від якихось речовин;**
  - **майже не зазнають заломлення;**
  - **Висока іонізуюча здатність**

# Властивості рентгенівського випромінювання:

- **Має велику проникну здатність** (коли Рентген тримав руку між трубкою і екраном, то на екрані були видні світлі тіні кісток на фоні більш темніших обрисів всієї кисті руки)



**Поглинання рентгенівських променів** прямо пропорційне четвертому степеню порядкового номера елемента  $Z$ , кубу довжини хвилі  $\lambda$  і залежить від товщини просвічуваного тіла

$$\tau \sim kZ^4 \lambda^3$$

Тому, легкі речовини істотно прозоріші для рентгенівських променів, ніж важкі. Добре поглинає рентгенівські промені **свинець**.

# біологічний вплив

Рентгенівське випромінювання є іонізуючим. Воно впливає на тканини живих організмів і може бути причиною променевої хвороби, променевих опіків і злоякісних пухлин. Унаслідок цього при роботі з рентгенівським випромінюванням необхідно дотримувати заходи захисту. Вважається, що поразка прямо пропорційно поглиненої дози випромінювання. Рентгенівське випромінювання є мутагенним фактором.

# ефект люмінесценції

- ▣ Рентгенівські промені здатні викликати у деяких речовин світіння (флюоресценцію). Цей ефект використовується в медичній діагностиці при рентгеноскопії (спостереження зображення на флуоресціює екрані) і рентгенівської зйомці (рентгенографії).
- ▣ Медичні фотоплівки, як правило, застосовуються в комбінації з підсилюючими екранами, до складу яких входять рентгенолюмінофори, що світяться під дією рентгенівського випромінювання і засвічують світлочутливу фотоемульсію.
- ▣ Метод отримання зображення в натуральну величину називається рентгенографією.
- ▣ При флюорографії зображення виходить в зменшеному масштабі.

## фотографічний ефект

Рентгенівські промені, також як і звичайне світло, здатні безпосередньо засвічувати фотографічну емульсію. Однак без флюоресцируючого шару для цього потрібно в 30-100 разів більша експозиція (тобто доза). Перевагою цього методу (відомого під назвою безекранная рентгенографія) є велика різкість зображення.



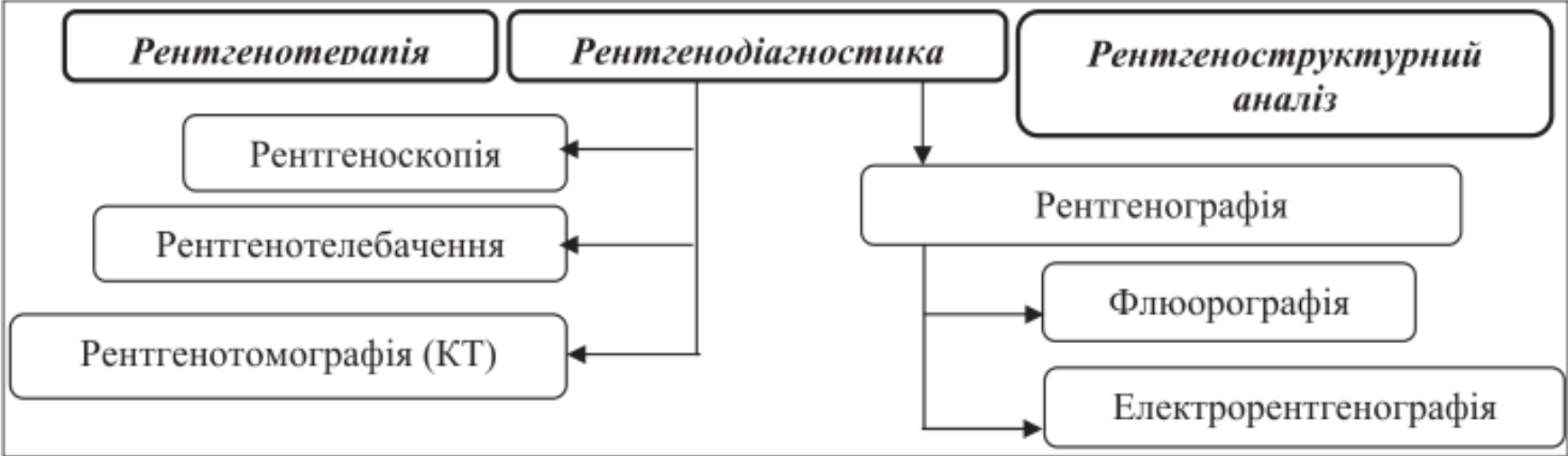
**Фармація**  
*рентгеноструктурний аналіз*  
(пеніцилін; кристалічні лікарські речовини та їх поліморфні модифікації(вітаміни, антибіотики))

**Хімія**  
*рентгеноспектральний аналіз*  
кількісне визначення елементів у матеріалах складного хімічного складу (у металах і сплавах, мінералах, кераміці, цементах, пластмасах та ін.)

**Рентгенівське випромінювання**

**Медицина**  
– *рентгеноспектральний аналіз;*  
– *рентгенодіагностика*  
(рентгеноскопія, КТ, рентгенографія, ангиографія);  
– *рентгенотерапія*

**Біологія**  
*рентгеноструктурний аналіз*  
(білки, інсулін, нуклеїнові кислоти)



# Застосування рентгенівських променів

## ***В медицині :***

### ▪ **Рентгенодіагностика**

(діагностування захворювань, визначення характеру перелому кісток)

### ▪ **Рентгенотерапія** (лікування злоякісних пухлин)



За допомогою рентгенівських променів можна «просвітити» людське тіло, в результаті чого можна отримати зображення кісток, а в сучасних приладах і внутрішніх органів.

Для просвічування різних частин людського тіла застосовуються рентгенівські трубки з напругами на них від **30кВ до 60 кВ**.

Одержання зображення засноване на ослабленні рентгенівського випромінювання при його проходженні через різні тканини.

При цьому використовується той факт, що у елемента кальцію ( $Z = 20$ ), які містяться переважно в кістках, атомний номер набагато більше, ніж атомні номери елементів, з яких складаються м'які тканини, а саме водню ( $Z = 1$ ), вуглецю ( $Z = 6$ ), азоту ( $Z = 7$ ), кисню ( $Z = 8$ ).

## **Рентгенографія (рентген)- одержання рентгенівського зображення на плівці**

Під дією X-променів відбувається фотохімічна реакція по відновленню срібла з  $\text{AgBr}$ , відбувається потемніння плівки. Зображення стає видимим після проявлення, фіксування плівки.



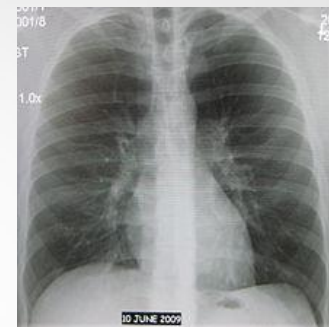
## **Рентгеноскопія - одержання рентгенівського зображення на флуоресцентному екрані.**

Дозволяє досліджувати органи в процесі їх роботи, спостерігати взаємне розміщення органів, патологічні утворення.

Замість класичної рентгеноскопії застосовується також **рентгенотелевізійне просвічування**, при якому одержуване зображення виводиться на **екран монітора**. Можлива додаткова обробка зображення і його реєстрація на відеоплівці або пам'яті апарата.



**Флюорографія - одержання фотознімка рентгенівського зображення з флуоресцентного екрана** (дає зменшене зображення об'єкта та не так чітко)



## Цифрова флюорографія



Отримане зображення перетворюється в цифровий масив, обробляється і відображається на телеекрані.

Цифрова флюорографія більш безпечна для здоров'я людини, ніж рентген або традиційна флюорографія.

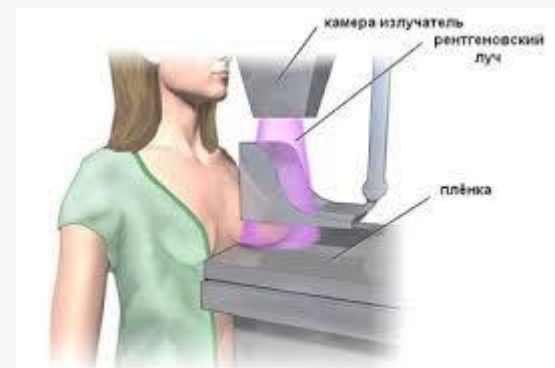
*Флюорографія найчастіше використовується з профілактичною метою. Особливо в нашій країні, де досить важка ситуація з поширеністю туберкульозу.*

Мамографія - це рентгенівський метод дослідження молочних залоз, якийзначається з профілактичною метою (у здорових жінок) і з діагностичною метою (для підтвердження або виключення злоякісного або доброякісного новоутворення молочної залози). Також мамографія це провідний метод скринінгу молочної залози на наявність раку.

Мамографія – єдиний метод, який дозволяє виявити пухлину менш ніж 5 мм в діаметрі. Для мамографії застосовують спеціальний низьковольтний рентгенівський апарат. Це пов'язано з тим, що молочна залоза складається з відносно однорідної тканини. Пухлини здатні накопичувати кальцій, що і дозволяє їх виявляти.

Дози, що використовуються, не перевищують 2мГр.

Медики рекомендують проводити обстеження раз на 1 – 3 роки, починаючи з 40 років. Після 5 років мамографія має бути щорічною.



# Схема та методи рентгенологічного дослідження



Джерело випромінювання (*рентгенівська трубка*)



Об'єкт дослідження (*органи, тканини, системи органів*)



Приймач випромінювання

- Рентгенівська плівка (**рентгенографія**)
- Флуоресціюючий екран (**рентгеноскопія, флюорографія**)
- Заряджена селенова платівка (**електрорентгенографія**)
- Детектори комп'ютера (**комп'ютерна томографія**)

## Тіньові прецїї

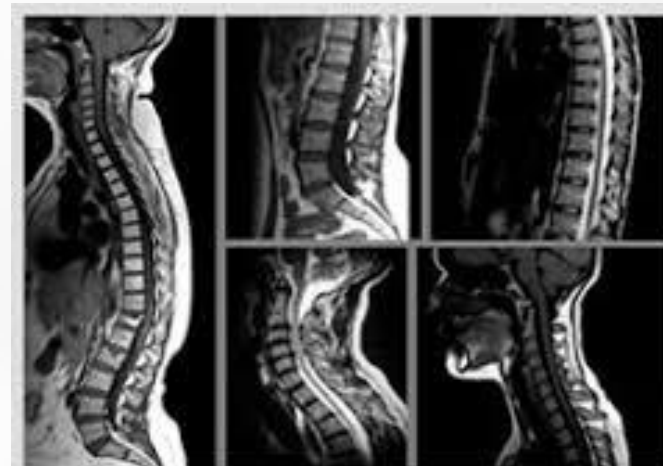
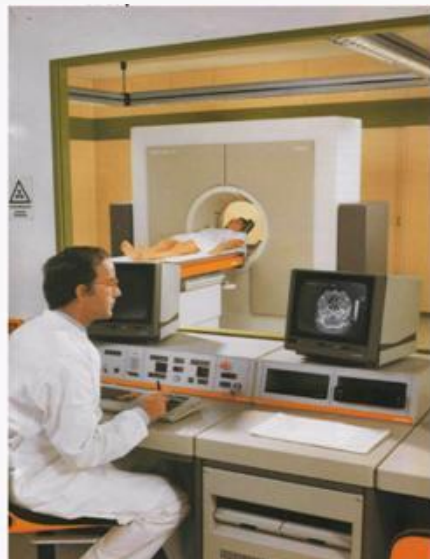
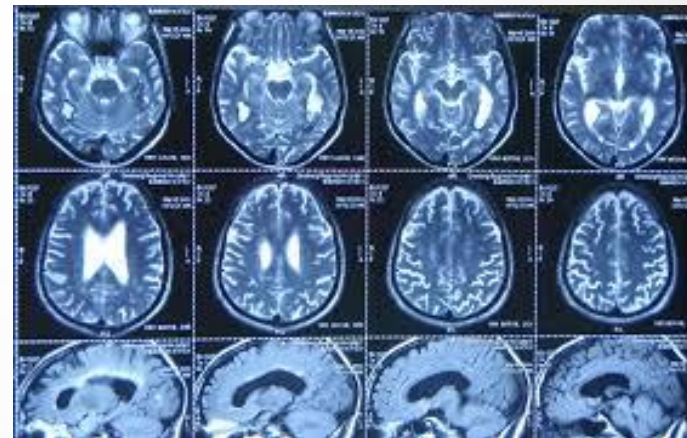
Поглинання рентгенівських променів майже не залежить від того, в якому з'єднанні атом представлений в речовині, тому легко можна порівняти масові коефіцієнти ослаблення  $\mu_{\text{мк}}$  кістки  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  і  $\mu_{\text{мв}}$  м'якої тканини або води  $\text{H}_2\text{O}$ . Атомні номери  $\text{Ca}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{O}$  і  $\text{H}$  відповідно рівні 20, 15, 8 і 1. Тому отримаємо відношення коефіцієнтів ослаблення для кістки і м'якої тканини: 
$$\frac{\mu_{\text{мк}}}{\mu_{\text{мв}}} = \frac{3 \cdot 20^3 + 2 \cdot 15^3 + 8 \cdot 8^3}{2 \cdot 1^3 + 8^3} = 68.$$

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



**Комп'ютерна томографія**, скорочено **КТ** (від грец. *tomos* - шар) — метод рентгенівського сканування, при якому пучок рентгенівського променя пошарово та поступово проходить через тонкий шар тканин людського тіла в різних напрямках

*Метод 1972 року запропонували Годфрі Хаунсфілд і Аллан Кормак, удостоєні за цю розробку Нобелівської премії 1979 року.*



**КТ - сканер**



## Методи рентгенотерапії

### Далекодистанційна рентгенотерапія

### Близькодистанційна рентгенотерапія

Поверхнева (опромінення осередку ураження на глибині до 1 см від поверхні)	$U = 100-120 \text{ кВ}$	на глибині до 1 см від поверхні шкіри; опромінення злоякісних пухлин (меланом шкіри, рак шкіри і губи I і II стадії та ін.)	$U = 60 \text{ кВ}$ Разова доза 2-4 Гр Сумарна доза 60-75 Гр
напівглибока (до 3 см)	$U = 140-160 \text{ кВ}$		
глибока (до 5 см)	$U = 200-230 \text{ кВ}$	терапія ультрам'яким РВ-шкіра та слизові оболонки до 1,5 мм; лікування поверхневих запальних процесів (екзема, дерматити).	$U = 10-25 \text{ кВ}$

**Рентгеноструктурний аналіз** — метод дослідження структури кристалів, в основі якого лежить явище **дифракції** рентгенівського випромінювання на кристалічних ґратках.

Вершина досягнень Р. с. а. — розшифровка структури білків, нуклеїнових кислот, вірусів



*дифрактометр*

**Рентгеноспектральний аналіз** - дозволяє судити про хімічний склад досліджуваної речовини на основі вивчення її характеристичного спектра

**Рентгенівська дефектоскопія** - виявлення наявності, місця і розмірів дефектів у матеріалах і виробах шляхом просвічування рентгенівським промінням :



*раковин, грубих тріщин, ліквіційних включень в литих і зварних сталевих виробах завтовшки понад 90 мм і у виробах з легких сплавів товщиною до 250 мм. Для цього використовують промислові рентгенівські установки з напругою від 5-10 кВ до 200- 400 кВ.*

**Рентгенівська мікроскопія** - з допомогою рентгенівських мікроскопів можна розглядати навіть окремі атоми.

**Рентгенівська астрономія** – рентгенівські телескопи дають можливість досліджувати випромінювання зірок і у рентгенівському діапазоні хвиль.

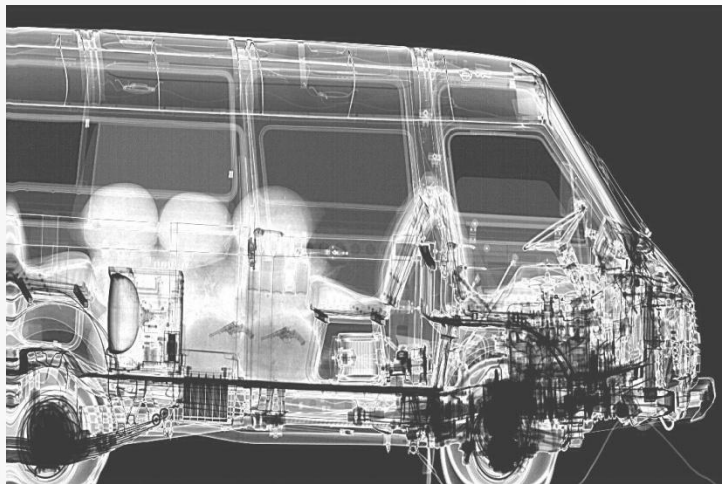
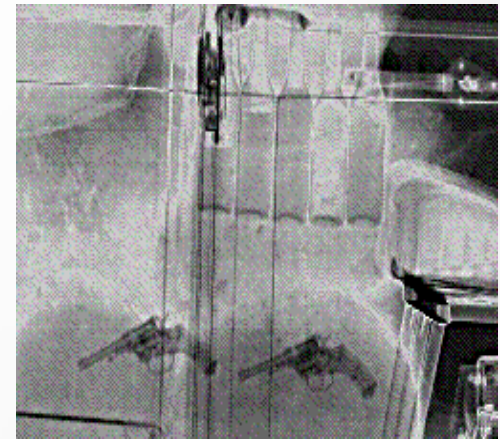
**Рентгенівські лазери** - при відповідному розвитку технологій здатні стати одним з основних інструментів в космічних озброєннях і системах протиракетної оборони.



# Огляд багажу і вантажів

Рентгенівський контроль багажу, особистих речей з метою виявлення зброї, вибухових речовин і інших недозволених предметів; просвічування стінок контейнерів з сумарною товщиною стінок до 250 мм.

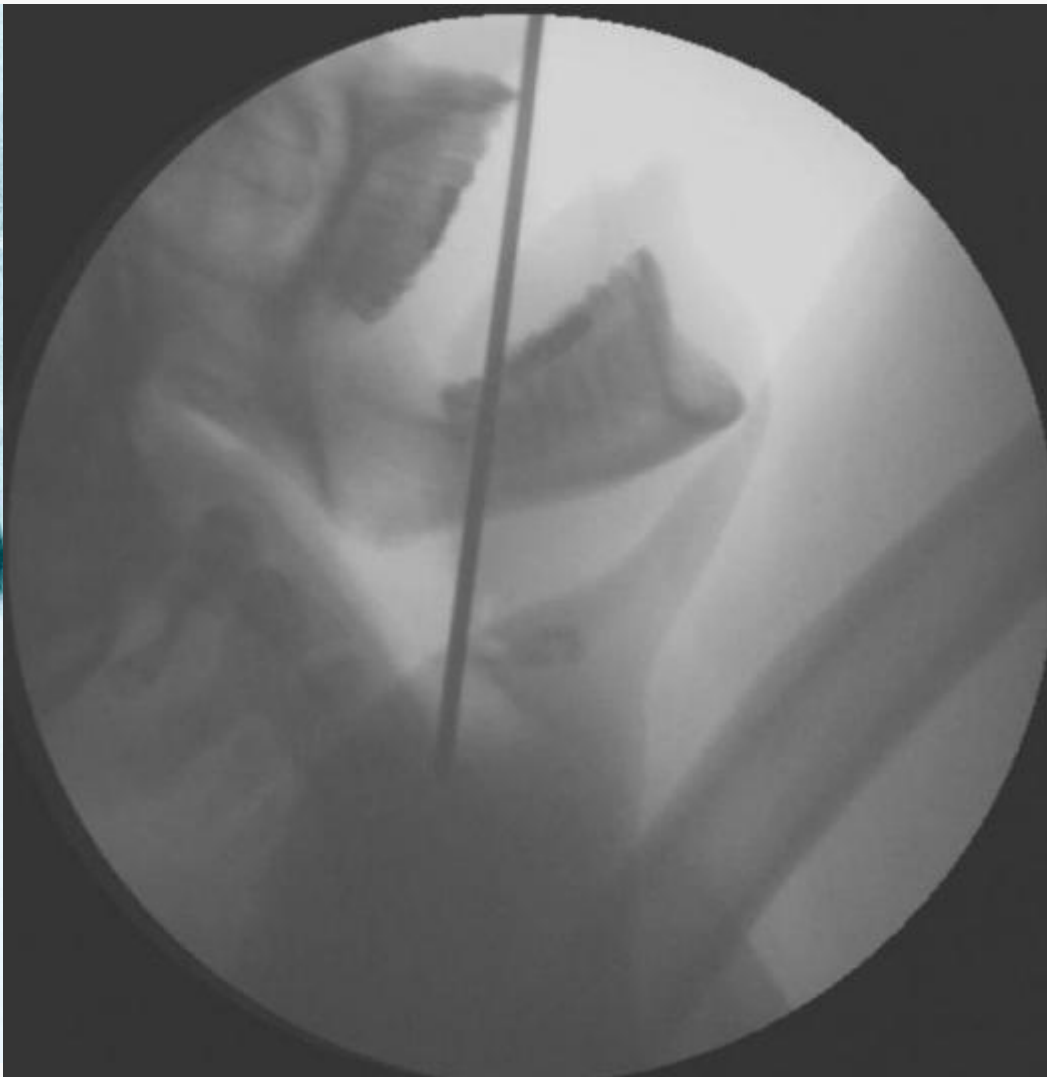
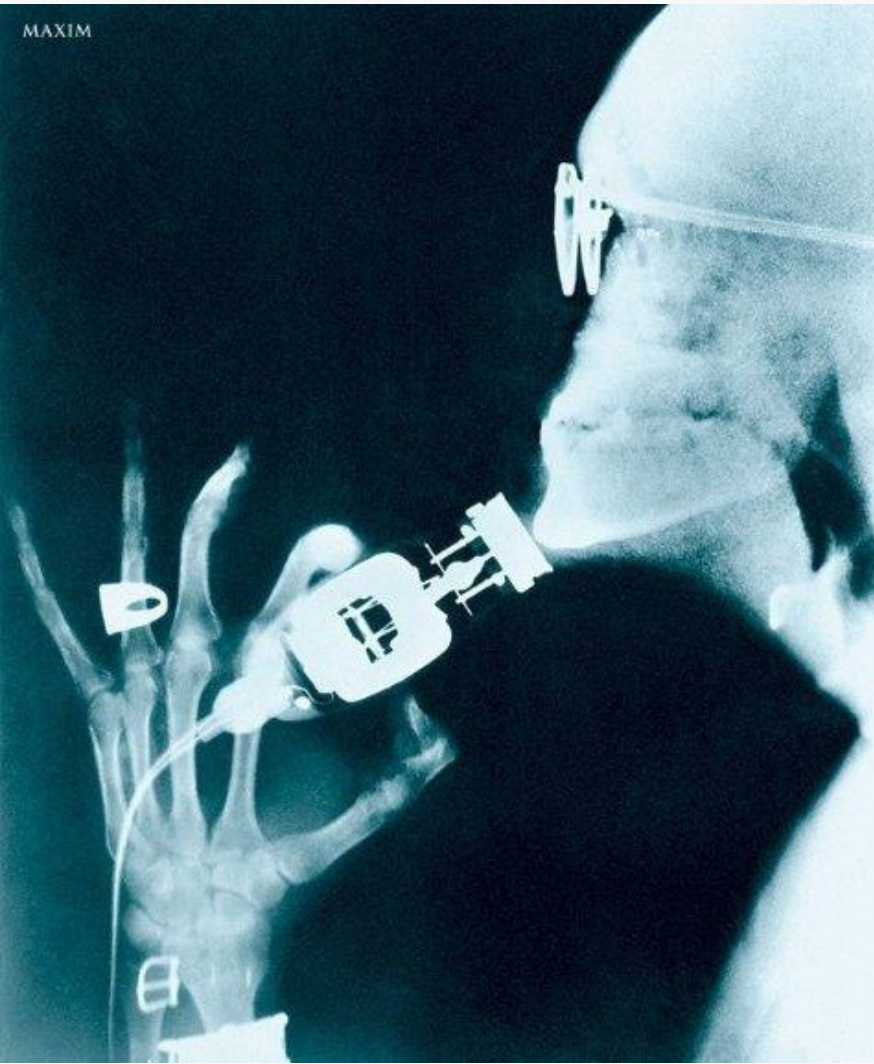
*Застосовується в аеропортах, митних пунктах, для обстеження виявлених у громадських місцях підозрілих речей*



# Природне рентгенівське випромінювання

- ▣ На Землі електромагнітне випромінювання в рентгенівському діапазоні утворюється в результаті іонізації атомів випромінюванням, яке виникає при радіоактивному розпаді, а також космічним випромінюванням.
- ▣ Радіоактивний розпад також призводить до безпосереднього випромінювання рентгенівських квантів, якщо викликає перебудову електронної оболонки розпадаючогося атома (наприклад, при електронному захопленні).
- ▣ Рентгенівське випромінювання, яке виникає на інших небесних тілах, не досягає поверхні Землі, т. я. повністю поглинається атмосферою.

MAXIM

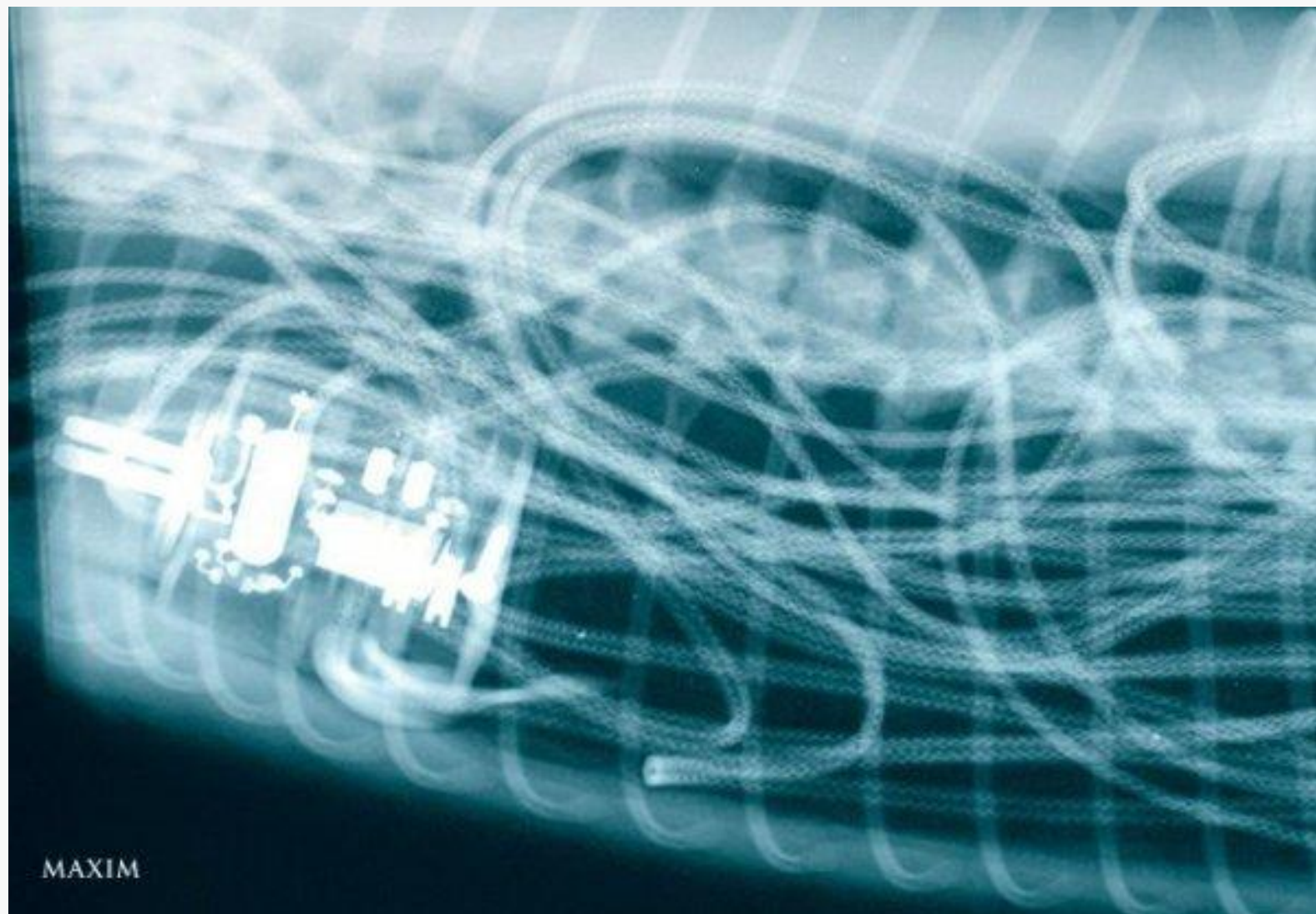




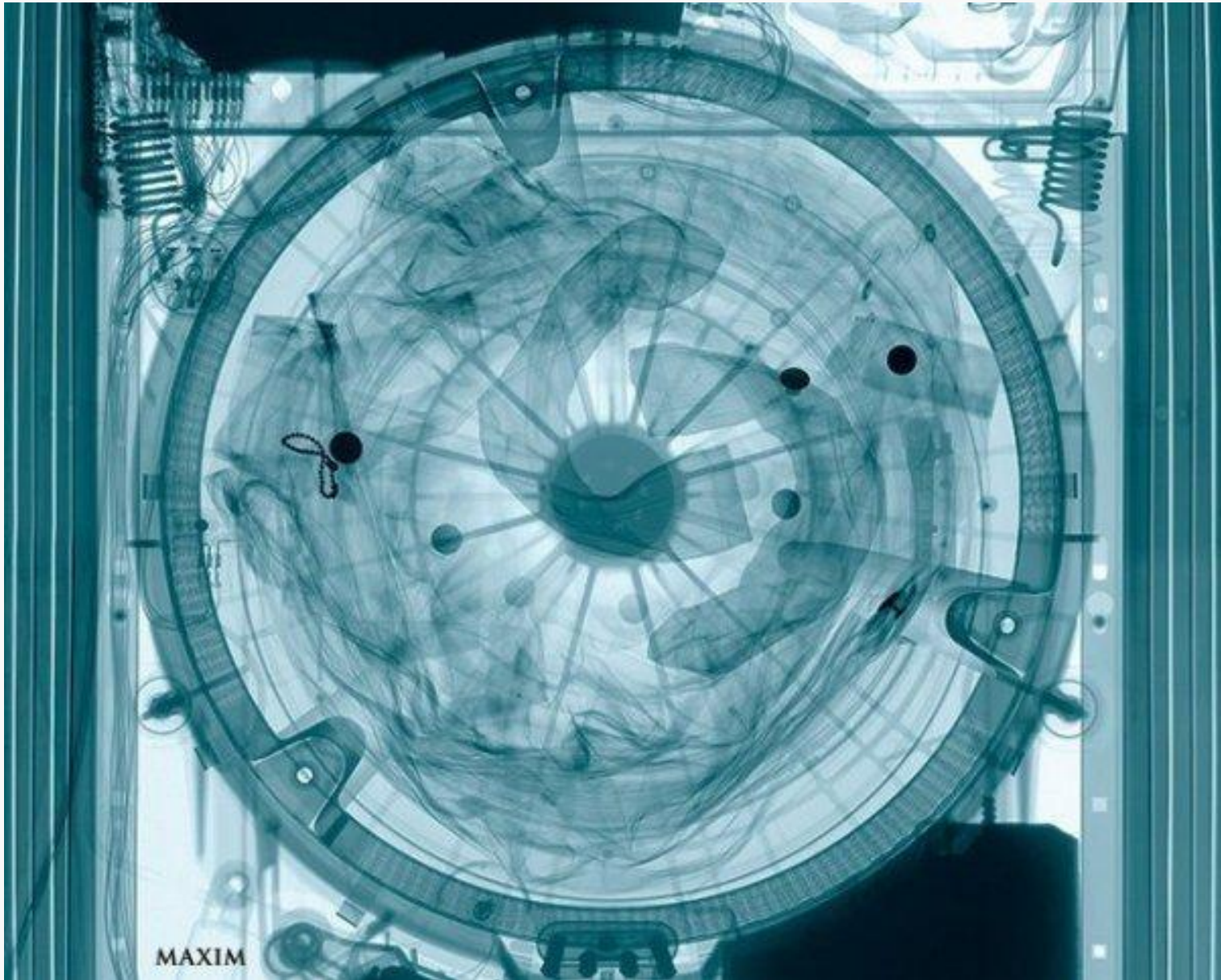


MAXIM

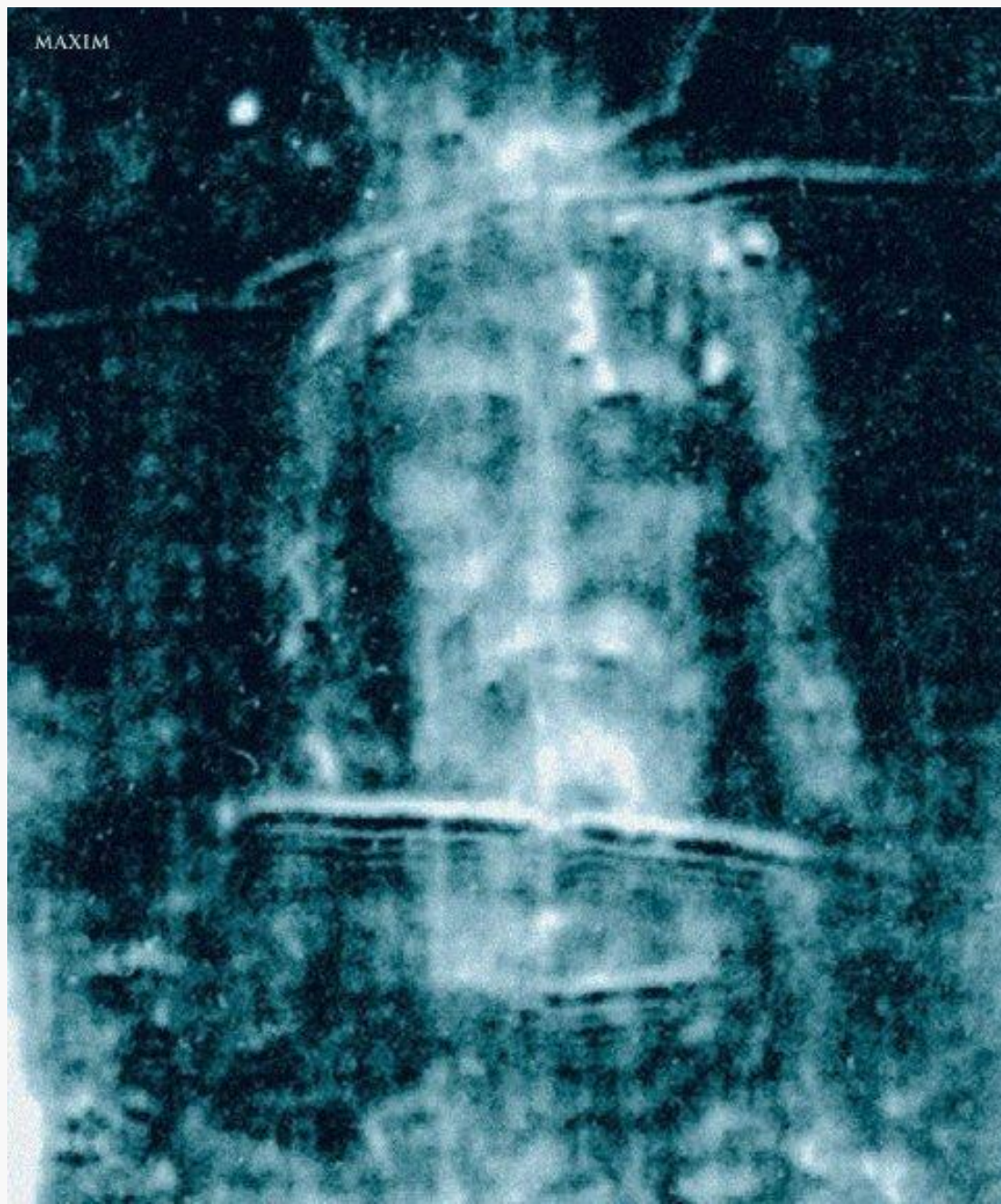




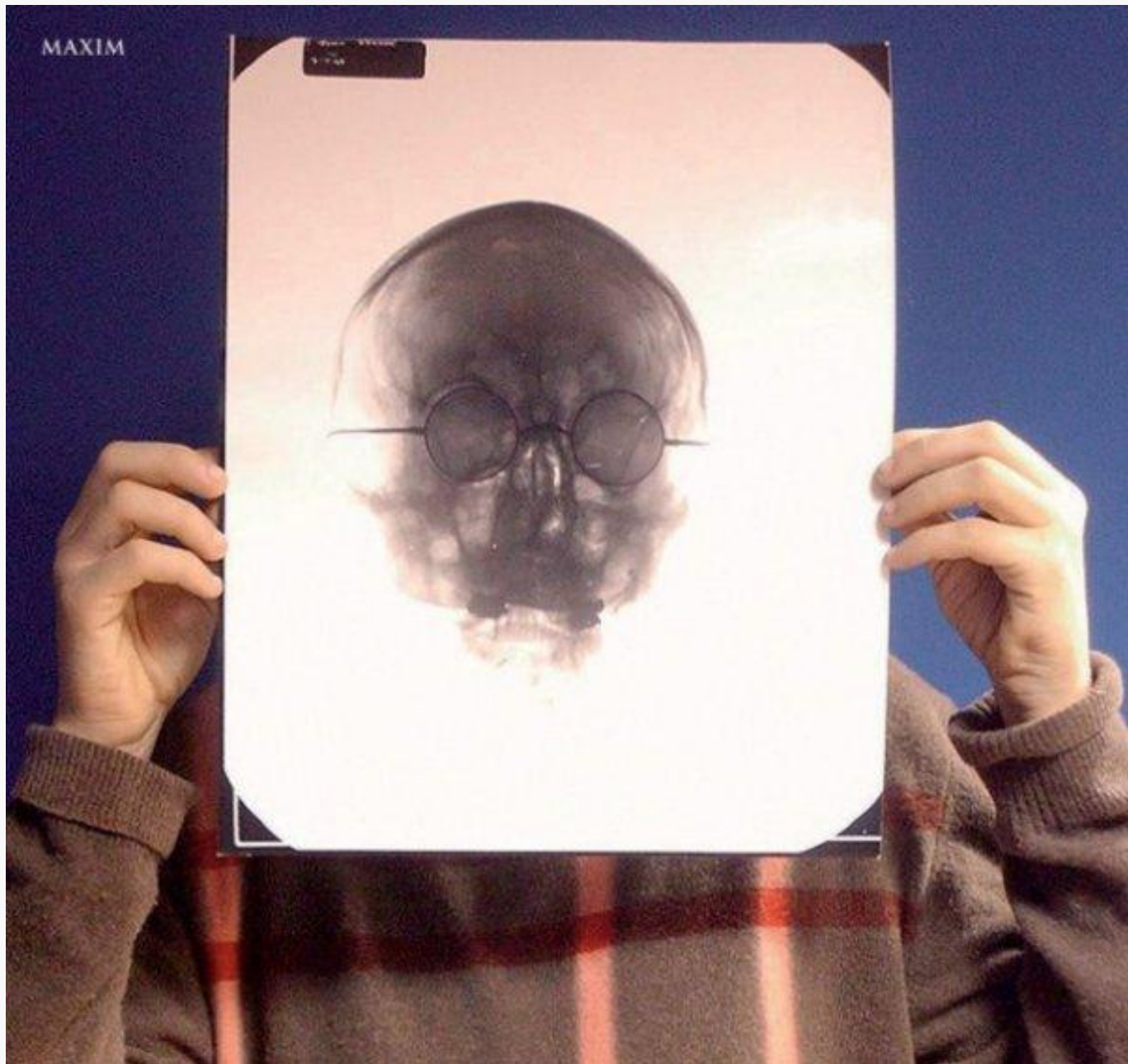
MAXIM



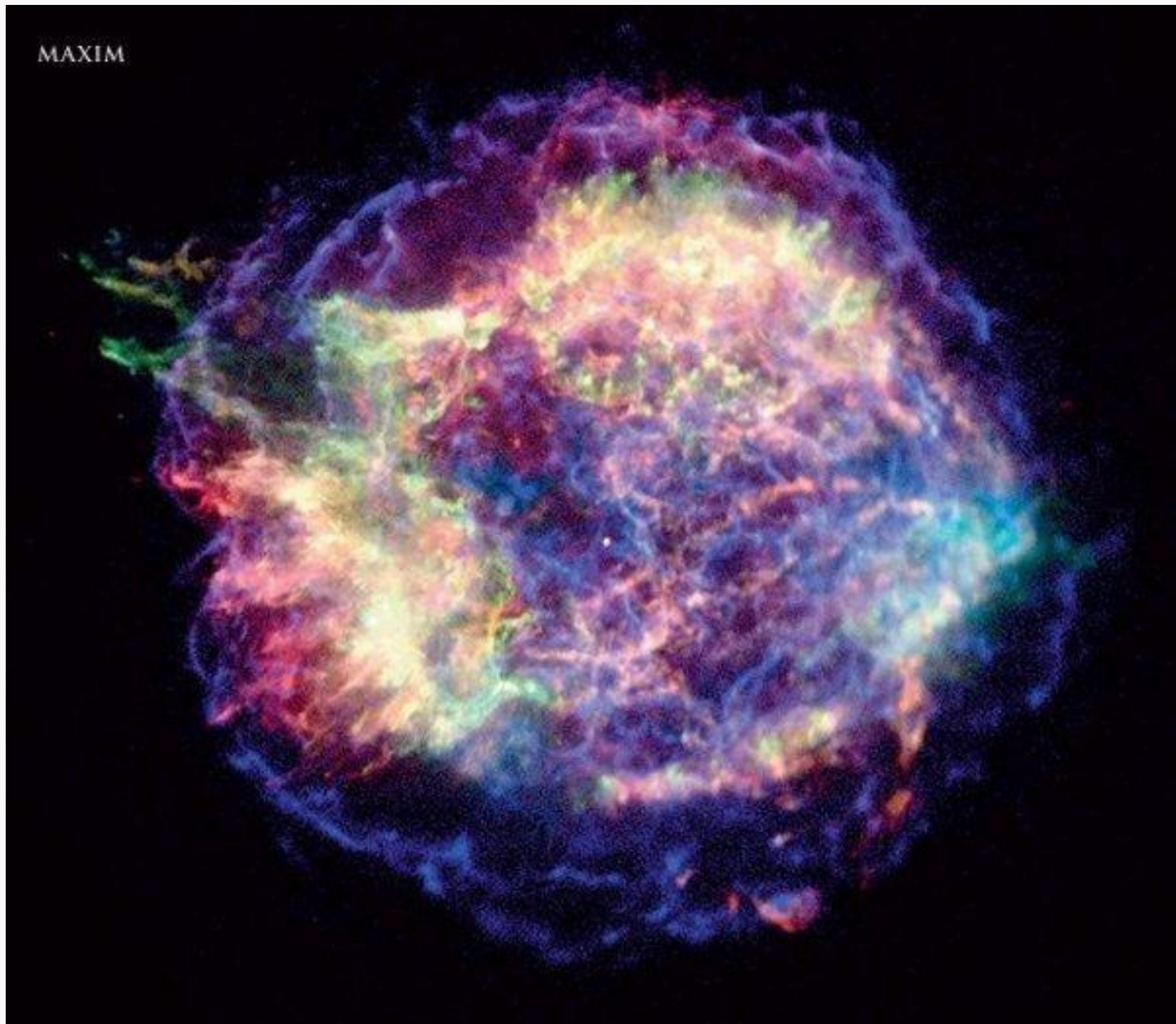
# Плащаниця Ісуса:



Найдорожчий рентгенівський знімок - **Джон Ленон**:



Наднава Кассіопея А:





Знімок космічної туманності Хелікс  
(вона ж туманність Равлик ).

містить інфрачервоні дані,  
отримані з космічного телескопа  
Спітцер  
(на фото зображені зеленим і  
червоним),  
оптичне світло від космічного  
телескопа Хаббл (помаранчевий і  
синій).  
блакитним кольором показане  
ультрафіолетове світло,  
а рентгенівські промені  
виглядають білими.

На знімку зображено відстань  
близько 4 світлових років.



Стаціонарні рентгенівські апарати, системи





Пересувні рентгеновські апарати, системи



Пересувні (мобільні) рентгенівські апарати, системи



Переносні рентгенівські апарати, системи

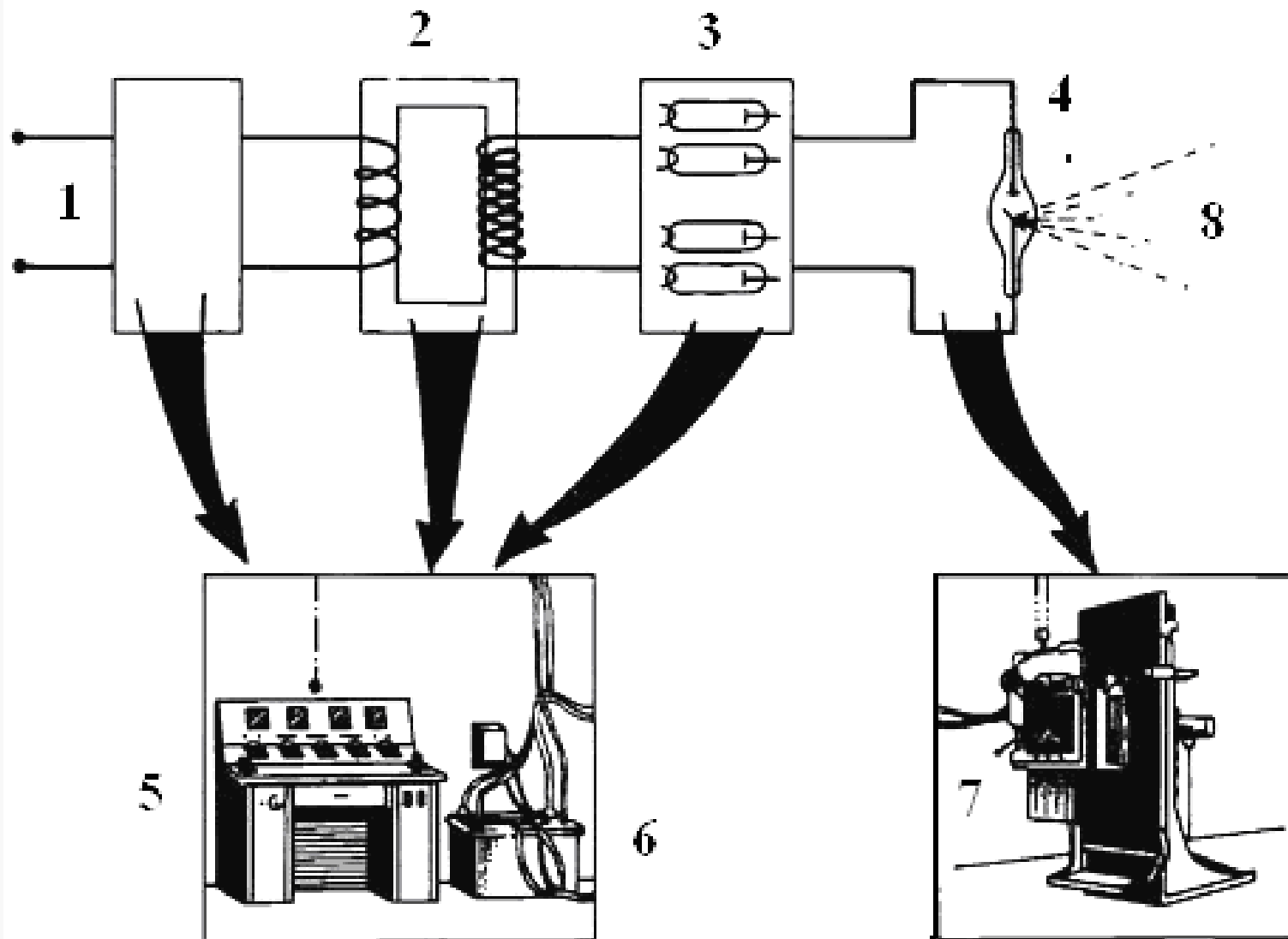


## Діапазони напруги і сили струму рентгенівських апаратів

Типи апаратів	Напруга (кВ)	Сила струму (ма)
<b>Діагностичні</b>		
Стаціонарні	100-150	60-1000
Пересувні	60-125	10-300
Переносні	50-85	5-15
<b>Терапевтичні</b>		
Стаціонарні	60-400	20-30
Пересувні	15-150	5-50

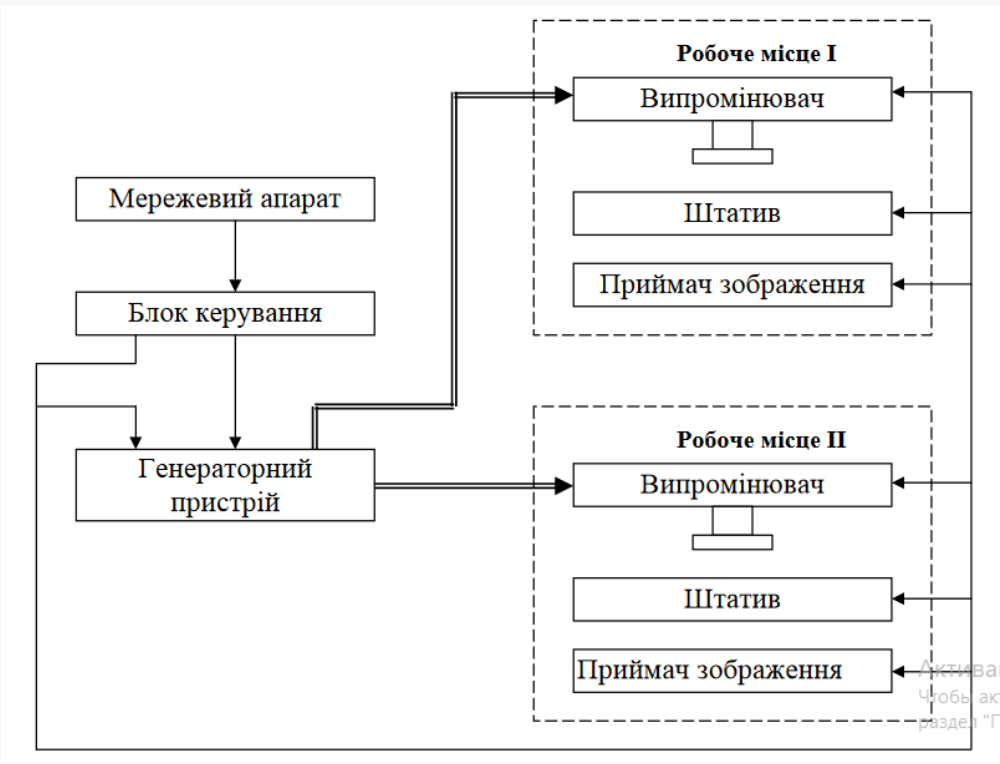
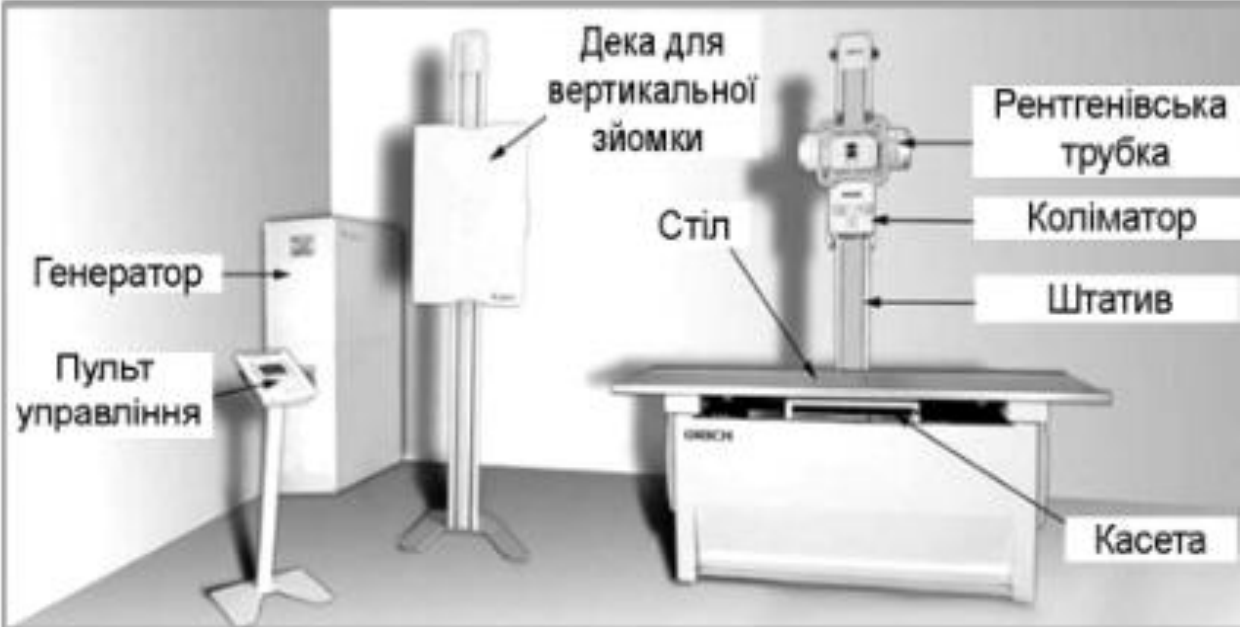
## *Сфери застосування РВ в залежності від анодної напруги*

<b>Довжина хвилі</b>	<b>Напруга на аноді, кВ</b>	<b>Застосування</b>
<b>0,05</b>	<b>250</b>	<b>Дистанційна променева терапія</b>
<b>0,10</b>	<b>125, 80, 60 80, 60, 40</b>	<b>Рентгендіагностика Короткофокусна променева терапія</b>
<b>0,5</b>	<b>25</b>	<b>Короткофокусна променева терапія</b>
<b>0,8</b>	<b>15</b>	
<b>1</b>	<b>12</b>	
<b>1,5</b>	<b>8</b>	
<b>2</b>	<b>6</b>	
<b>2,5</b>	<b>5</b>	



*Принципова схема будови рентгенівського апарата*

1 — електромережа; 2 — трансформатор; 3 — система випрямлячів; 4 — рентгенівська трубка;  
 5 — пульт керування; 6 — блок живлення; 7 — штатив, 8 — рентгенівське випромінювання.



**Узагальнена будова рентгенівського апарату**

Активна  
Частина  
роздел "Г"



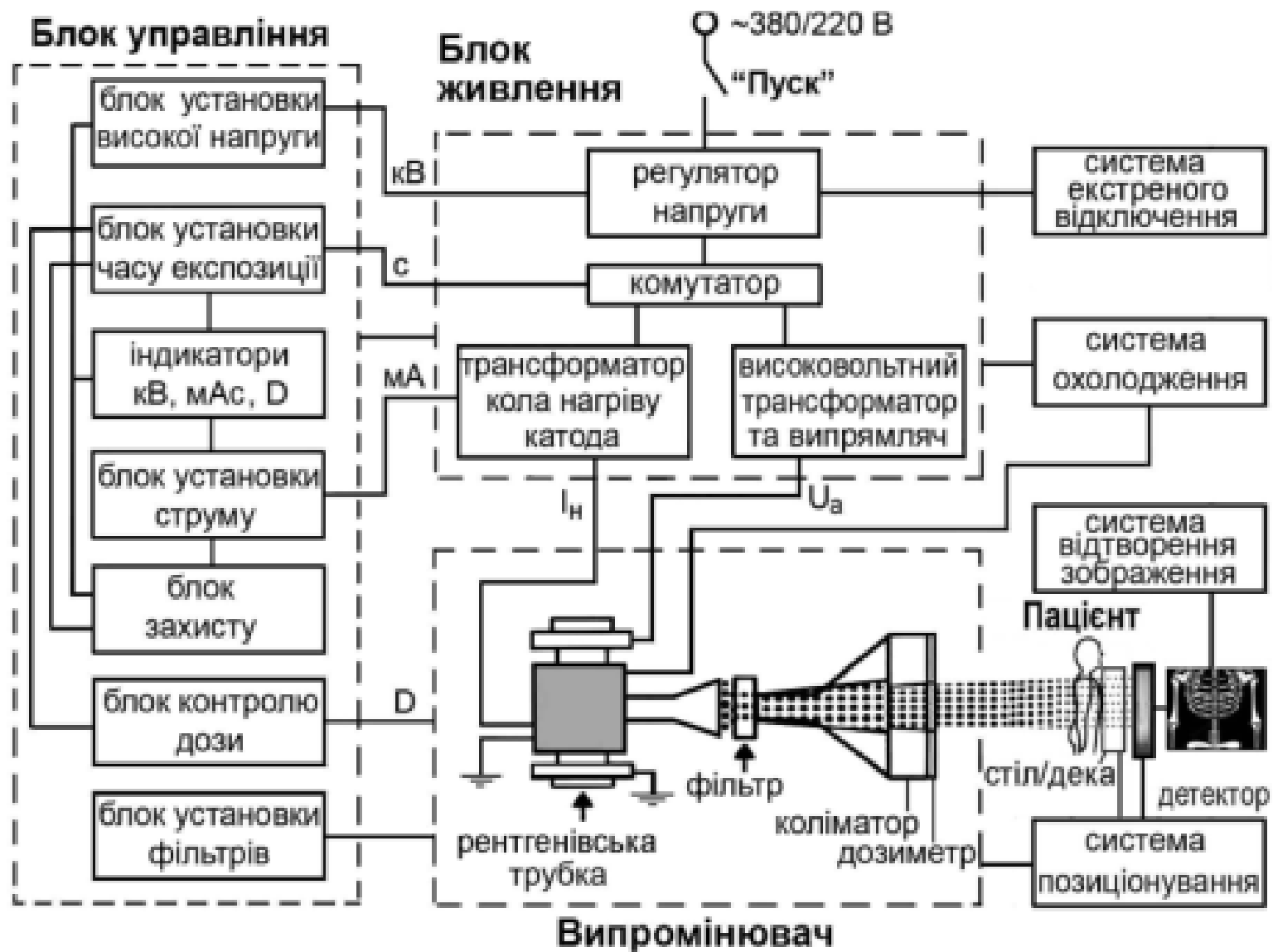
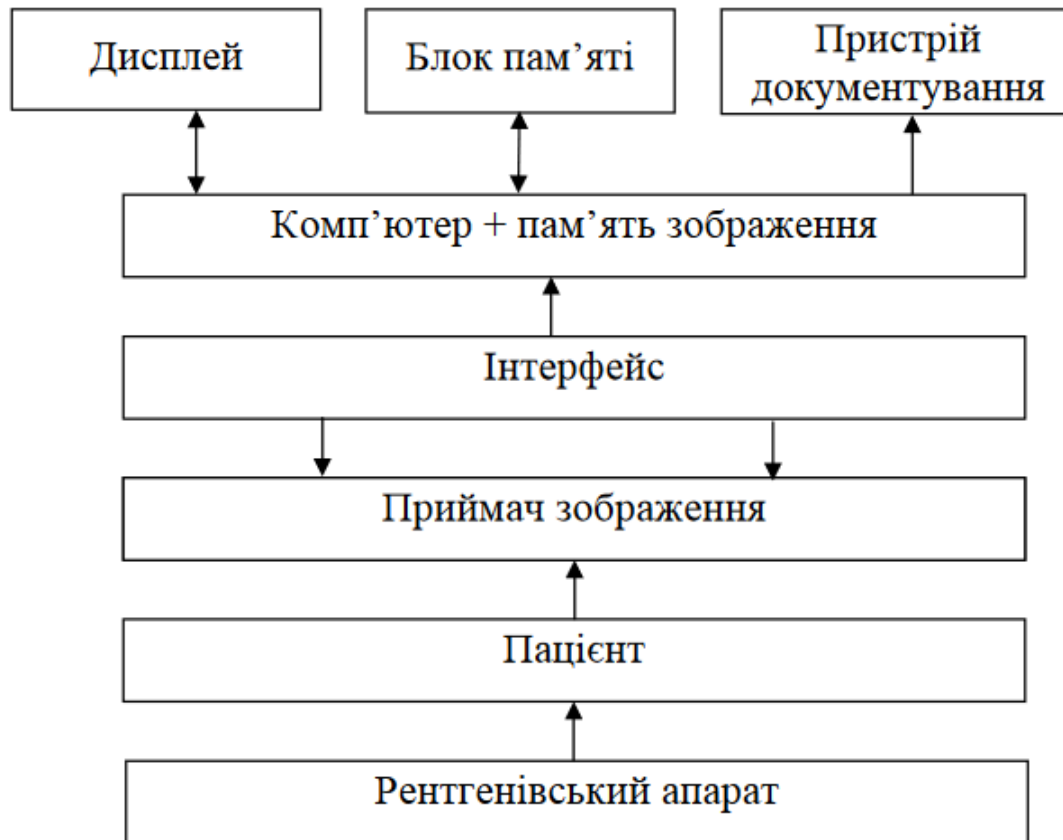


Рисунок 3.1 – Структурна схема універсального рентгенівського апарату



***Універсальна рентгенівська система Мультископ***



*Складові цифрової рентгенівської системи*



*Мобільний цифровий рентгенівський апарат*



*Портативний цифровий рентгенівський апарат (стоматологічні)*

man-in-med.com.

ДЯКУЄМО ЗА УВАГУ:)

