

ДИФРАКЦІЙНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

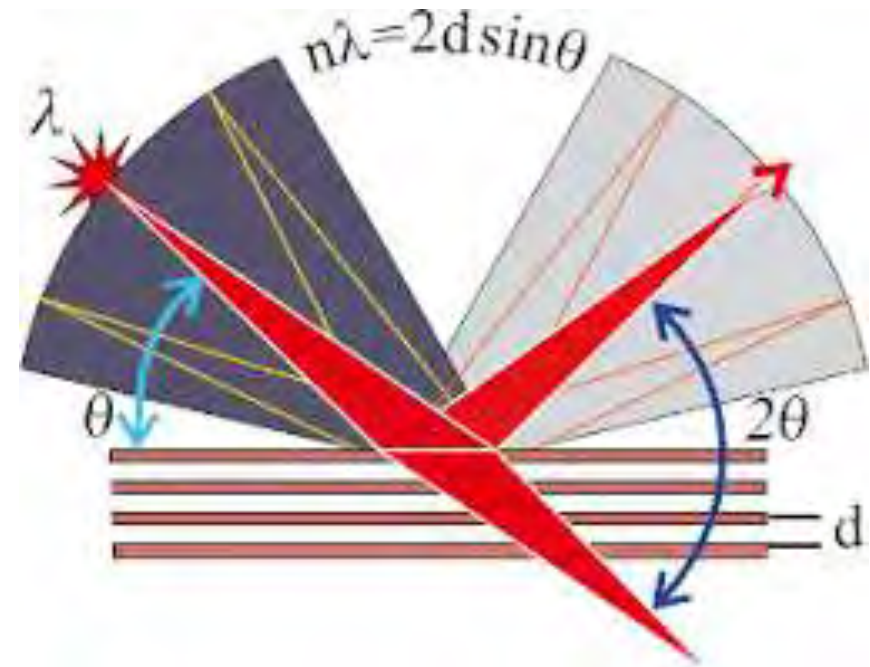


Лекція 3.

Принципи роботи та порівняльний аналіз можливостей використання дифракційних методів (рентгенівських, синхротронних, нейтронографічних, електронно-мікроскопічних).

В'юнов Олег Іванович

Дифракційні методи - це сукупність методів дослідження атомної будови речовини, які використовують дифракцію монохроматичного пучка частинок з хвильовими властивостями (електронів, нейтронів) або фотонів (світла, рентгенівських, включно синхротронних і мёссбауеровського γ -випромінювання), що розсіюється досліджуванним об'єктом. У дифракційних методах вимірюють залежність інтенсивності розсіяного випромінювання від напрямку.



Завдання рентгенівських методів

- Рентгенофазовий аналіз багатофазних систем (з використанням баз даних, а також на основі аналізу перетворень, відбувається в суміші під дією температури, часу витримки, тощо) **ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ**
- Визначення вмісту фаз в суміші **КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ**
- Індексуювання рентгенограм і визначення параметрів елементарної комірки
- Уточнення структурних параметрів, використовуючи метод повнопрофільного аналізу (Ритвельда)
- Визначення розмірів зерен і механічних напруг в порошках

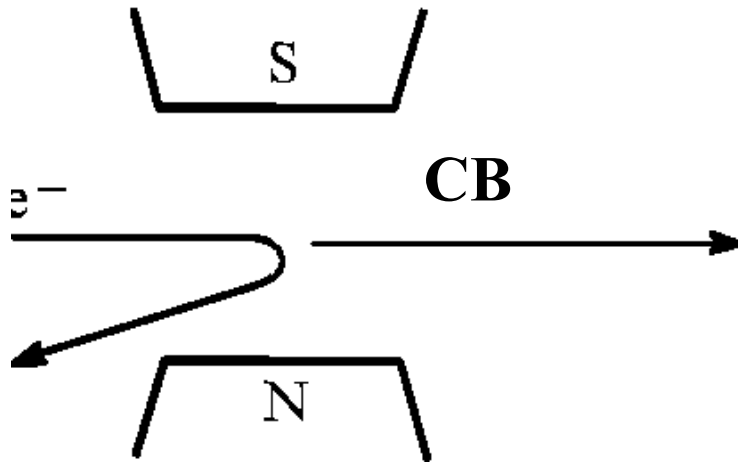
Порівняння дифракційних методів

Метод	Переваги (недоліки)
Рентгенівське випромінювання взаємодіє з електронними оболонками атомів (рентгенівський дифрактометр + синхротрон).	Простота, можливість дослідження об'ємних кристалів. (Складність дослідження легких елементів).
Нейтрони взаємодіють з ядрами атомів шляхом пружного або непружного розсіяння (нейтронографія).	Дослідження магнітної структури матеріалів, дослідження теплових коливань решітки. (Необхідне джерело нейтронів-реактор).
Електрони взаємодіють з електричними полями кристала (електронна мікроскопія).	Дослідження поверхні і тонких плівок. (Необхідний вакуум).

Рентгенівське випромінювання

- Рентгенівський дифрактометр
 - Синхротрон

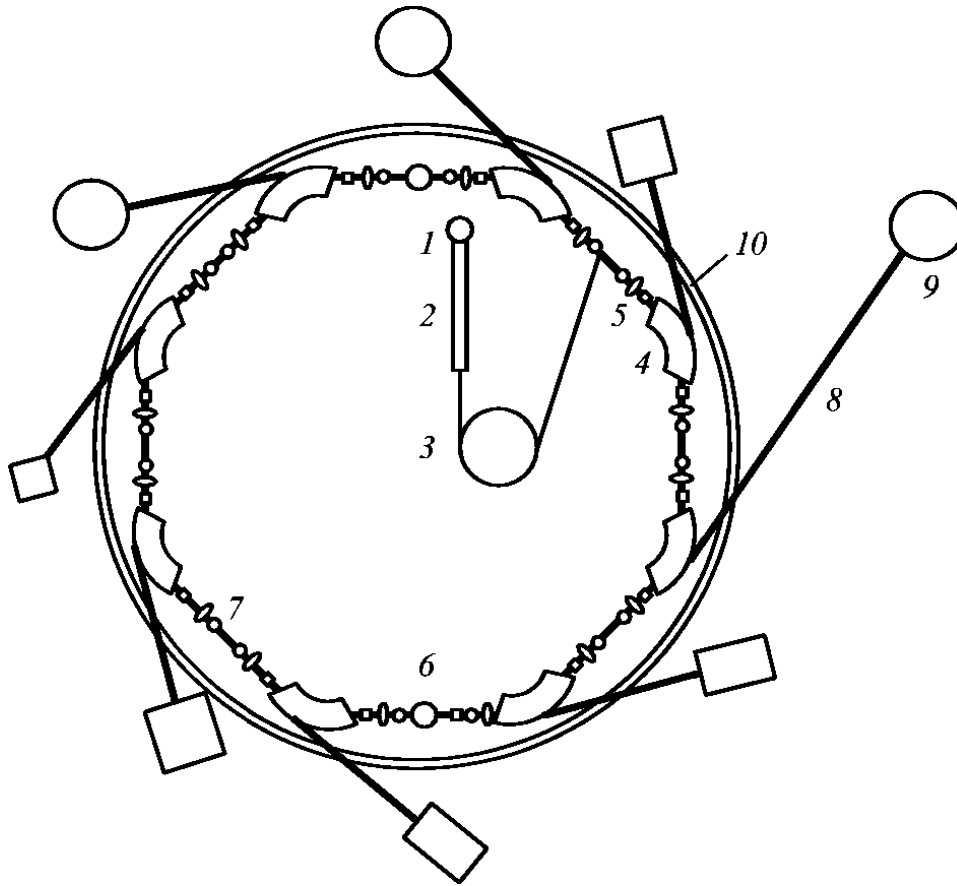
Синхротрон



Єдиний підхід до генерування електромагнітного випромінювання різних спектральних діапазонів заснований на одному з базових принципів електродинаміки: електромагнітне випромінювання виникає при прискореному русі заряджених частинок. Зокрема, електрони або позитрони, що рухаються по викривленій орбіті в постійному магнітному полі зі швидкістю, близькою до швидкості світла, породжують потоки фотонів в широкому діапазоні енергій - синхротронне випромінювання (СВ).

Джерелами СВ є прискорювачі елементарних заряджених частинок (як правило, електронів або позитронів), що працюють в стаціонарному режимі накопичувального кільця.

Синхротрон



Загальна будова накопичувального кільця - джерела СВ

- 1 - електронна гармата,
- 2 - лінійний передприскорювач (лінак),
- 3 - кільцевий передприскорювач (бустер),
- 4 - поворотний магніт,
- 5 - система магнітних лінз,
- 6 - радіочастотний резонатор,
- 7 - лінійна ділянка камери для розміщення спеціалізованих магнітних (вбудованих) пристроїв,
- 8 - канал,
- 9 - експериментальна станція,
- 10 - бетонна стіна біозахисту.

Синхротрон

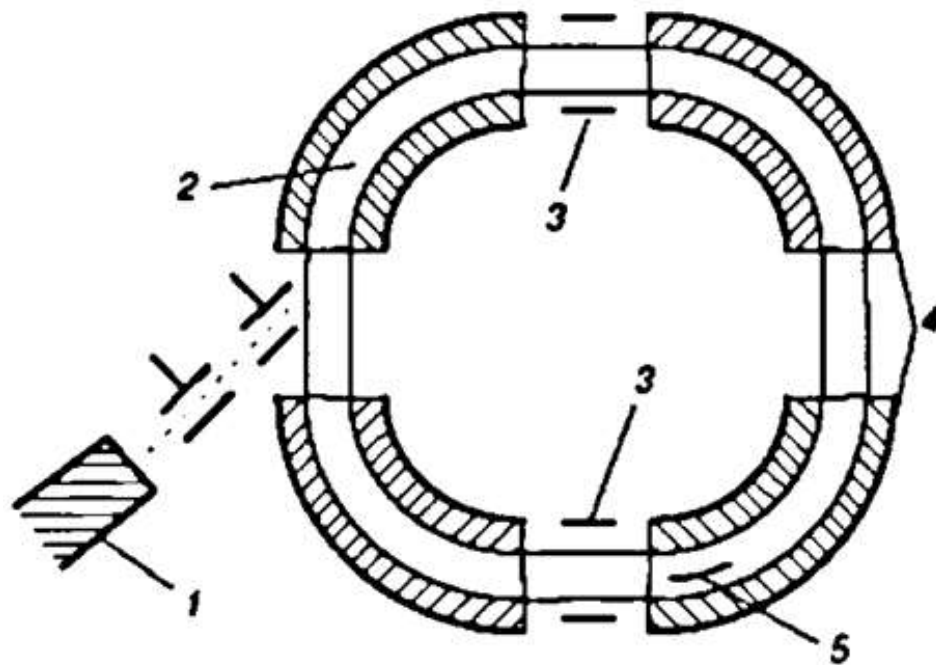
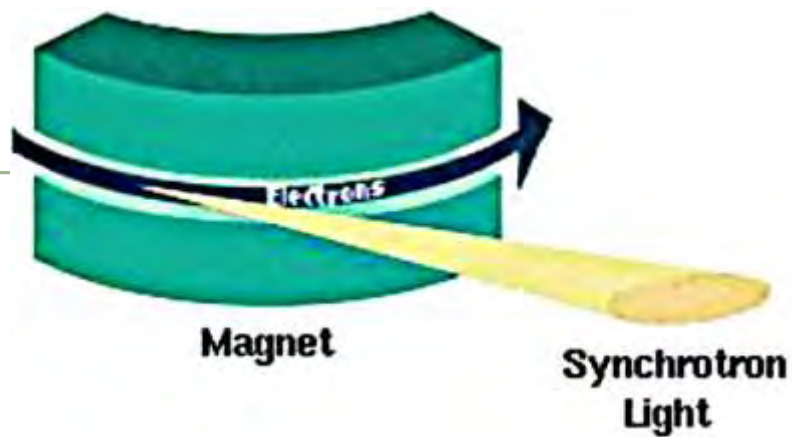


Схема
циклічного прискорювача:

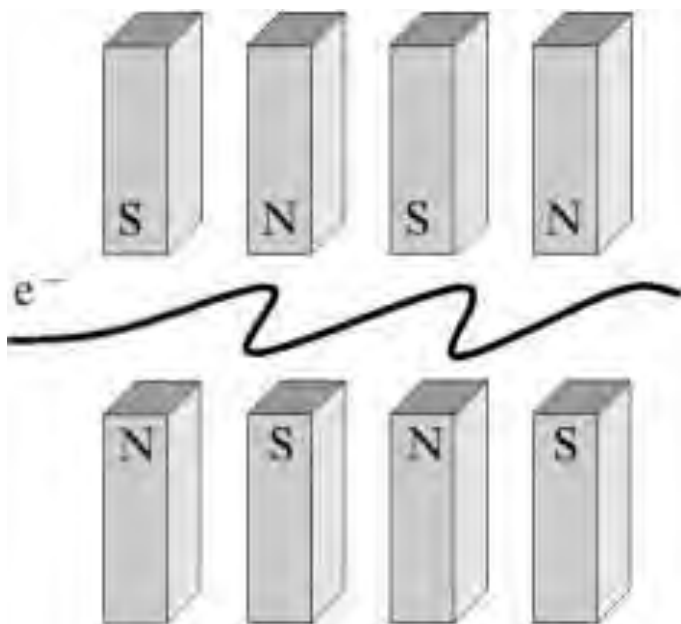
- 1 - інжектор,
- 2 - вакуумна камера,
- 3 - прискорюючі проміжки,
- 4 - квадранти магніту,
- 5 - потік електронів

Синхротрон

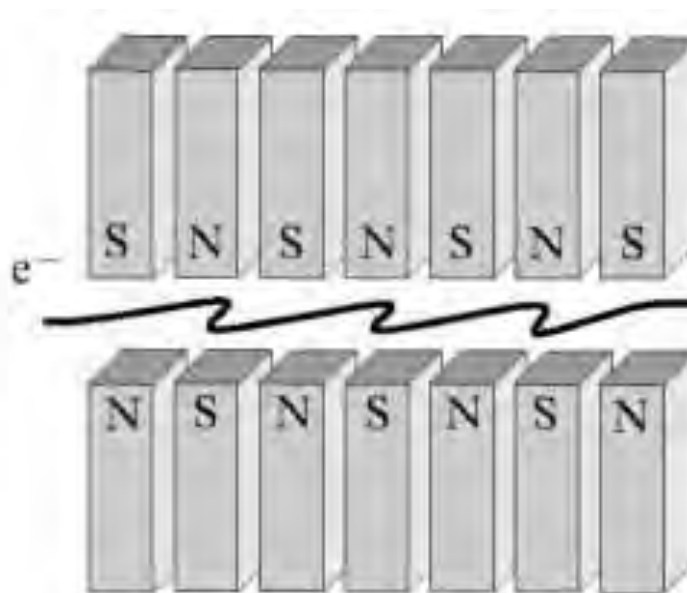


Спеціалізовані магнітні пристрої

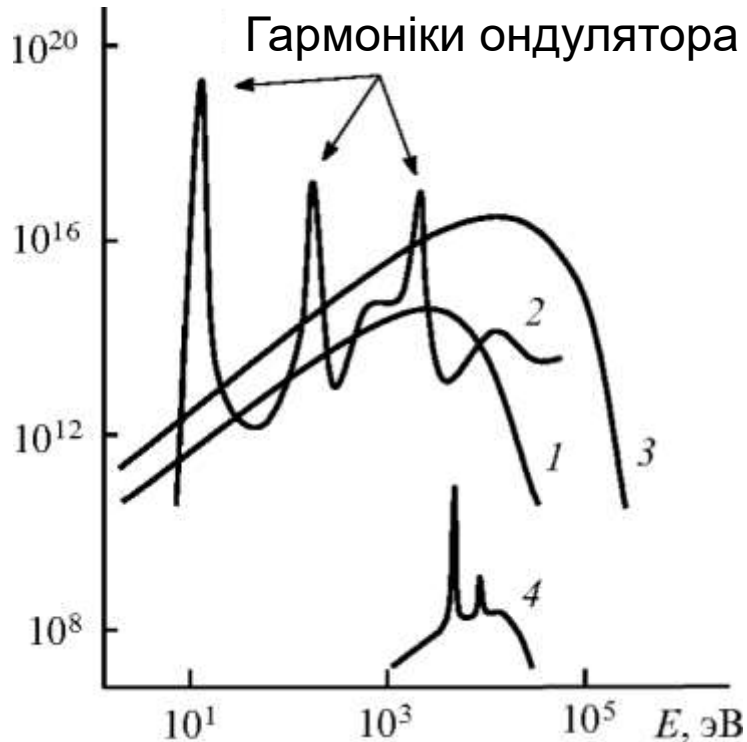
ВІГЛЕР



ОНДУЛЯТОР



Синхротрон



СВ - Спектри випромінювання, що генерується поворотним магнітом (1), ондулятором (2), віглером (3). рентгенівською трубкою (4).

На відміну від неполяризованого характеристичного випромінювання рентгенівських трубок, СВ завжди повністю поляризована. Поляризація є наслідком умов генерації випромінювання.

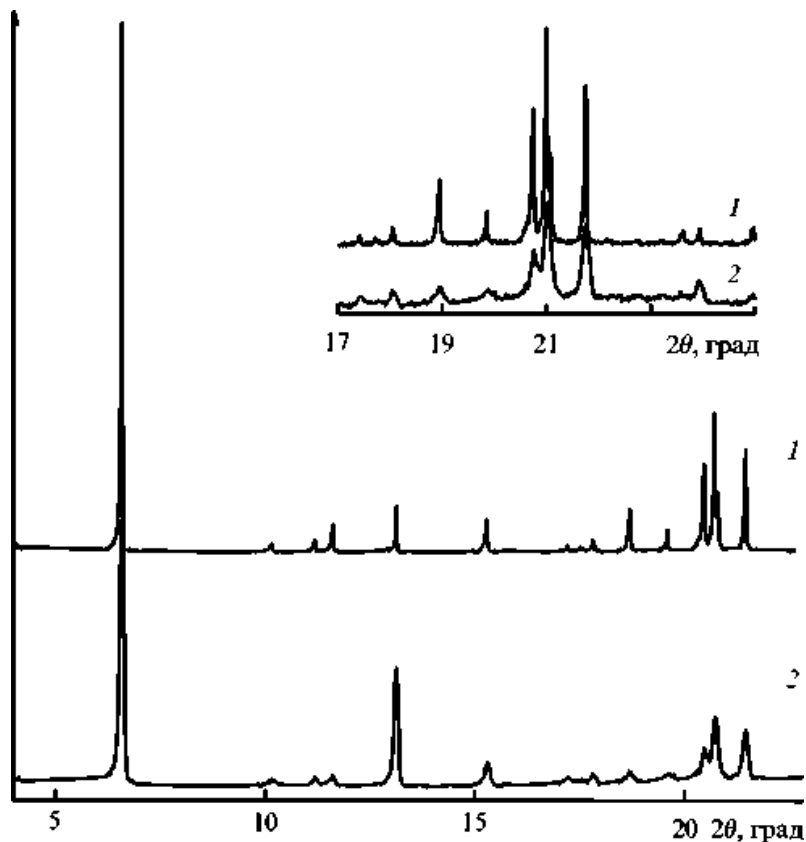
Як вбудовані пристрої в накопичувальному кільці використовують ондулятор і віглер - багатополюсні магнітні системи з високою магнітною індукцією (від 0.1 до 10Тл в залежності від типу пристрою) і полярністю, яка чергується. В їх магнітному полі траєкторії електронів сильно викривляються і генерується електромагнітне випромінювання.

Синхротрон

Менше –
краще!

Назва накопичувального кільця (місто, країна)	Довжина орбіти, м	Енергія, ГеВ	Максимальний струм, мА	Емітанс, нм·рад	Число станцій	Рік запуску (модерн.)
DORIS III (Гамбург, Німеччина)	289.2	4.5	120 (e ⁺)	404	42	1974 (1995)
ВЭПП-3 (Новосибірськ, Росія)	74.4	2.0	250 (e ⁻)	270	9	1975
SRS (Дарсбері, Великобританія)	96	2.0	250 (e ⁻)	104	39	1980
DCI (Орсе, Франція)	94.6	1.85	300 (e ⁺)	1600	21	1980
Photon Factory (Цукуба, Японія)	187	2.5	770 (e ⁻)	36	21	1982 (1997)
NSLS (Стоні Брук, США)	170.1	2.6	300 (e ⁻)	100	70	1982
ВЭПП-4 (Новосибірськ, Росія)	366	6.0	80 (e ⁺ , e ⁻)	1200	7	1979 (1992)
BEPC (Пекін, Китай)	65	2.2	100 (e ⁺ , e ⁻)	76	7	1988
ALS (Берклі, США)	196.8	1.9	400 (e ⁻)	6	19	1993
PLS (Поханг, Південна Корея)	280.6	2.0	100 (e ⁻)	12	7	1994
MAX II (Лунд, Швеція)	90	1.5	200 (e ⁻)	8.8	7	1994
SRRC (Хсіньчу, Тайвань)	120	1.5	240 (e ⁻)	19	8	1994
ESRF (Гренобль, Франція)	844	6.0	200 (e ⁻)	4	50	1994
ELETTRA (Трієст, Італія)	259.2	2.0	300 (e ⁻)	7	9	1995
APS (Чикаго, США)	1104	7.0	300 (e ⁻)	8.2	68	1996
LNLS (Кампінас, Бразилія)	93.2	1.37	160 (e ⁻)	100	9	1996
SPRING-8 (Харима, Японія)	1436	8.0	100 (e ⁻)	5.6	61	1997
Сибір-2 (Москва, Росія)	124.1	2.5	300 (e ⁻)	76	4	1999

Синхротрон



Порошкові дифрактограми
солі BEDT-TTF

- 1 – СВ (1.5402 Å, крок за кутом 0.01 °, час експозиції 1 год);
- 2 – лабораторний дефрактометр ДРОН-3 (Cu Kα, 1.5418 Å, 45кВ x 20мА, крок за кутом 0.02 °, час експозиції 20 год).

Переваги СВ над рентгенівським

1. **Значно краща роздільна здатність** слабких рефлексів завдяки високому ступеню колімації (осьової похибки) і монохроматичності,
2. **Короткий час зйомки** аж до мілісекунд (завдяки високій щільності енергії), що дозволяє проводити температурні дослідження "на льоту", реєструвати фази з низькими концентраціями (~0.1%).

Розсіювання нейтронів і нейтронографія

Нейтрони
з реактора

Захист
реактора

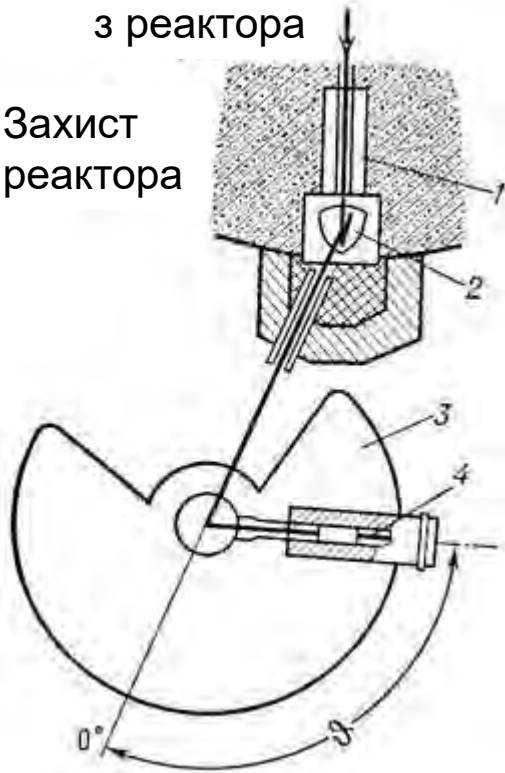
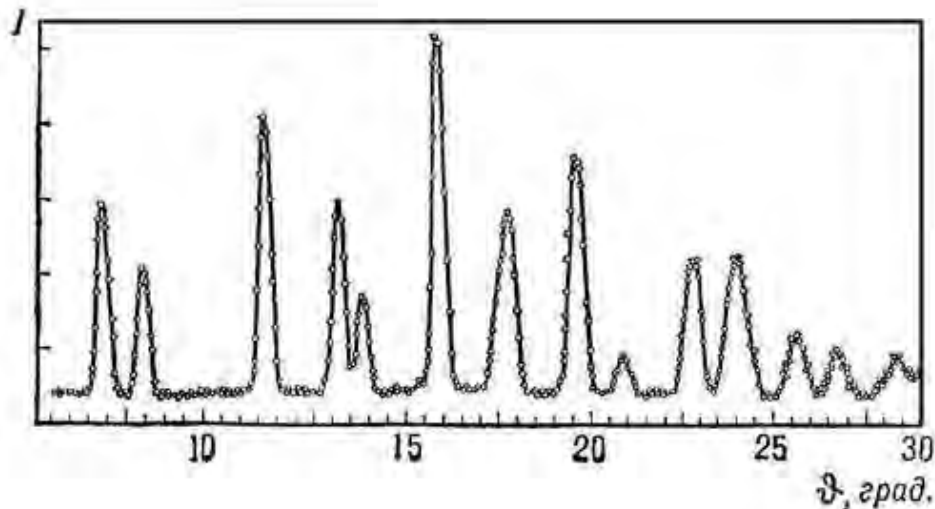


Схема нейтронографічного пристрою

- 1 - система колімації, що формує нейтронний пучок;
- 2 - блок монохроматизації для виділення нейтронів з певною фіксованою енергією (довжиною хвилі) з суцільного спектра нейтронів ядерного реактора;
- 3 - нейтронний спектрометр з детектором нейтронів (BF_3) для вимірювання інтенсивності нейтронного випромінювання під різними кутами розсіювання ϑ .

Досліджуваний зразок розміщують в центрі спектрометра.



Нейтронограма
полікристалічного
зразка BiFeO_3

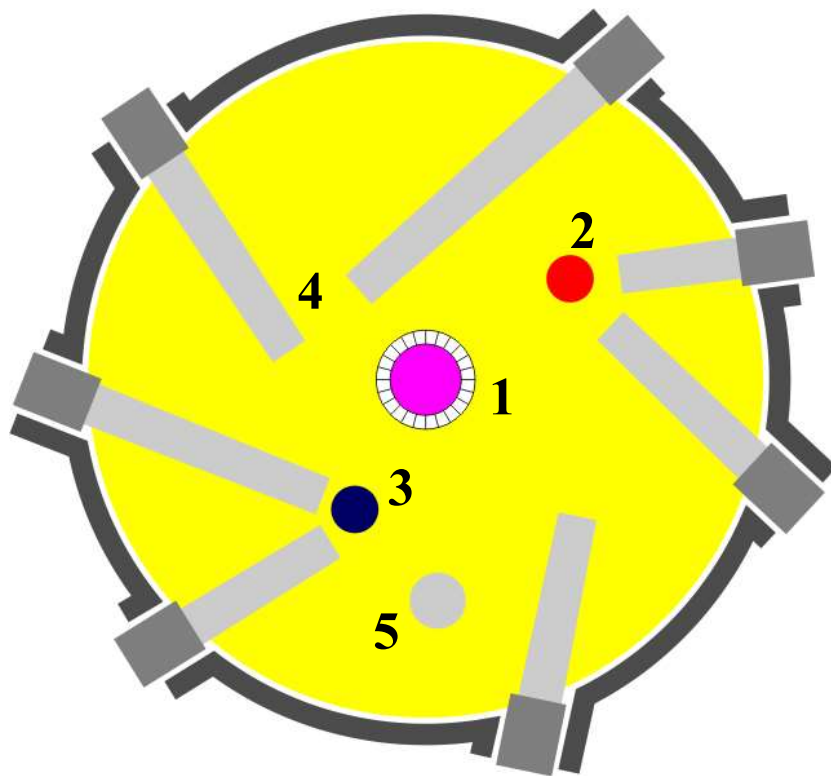


Схема центральної частини
стаціонарного дослідного
нейтронного реактора.

- 1 - активна зона,
- 2 - гаряче джерело,
- 3 - холодне джерело,
- 4 - виходи горизонтальних каналів
- 5 - один з вертикальних каналів.

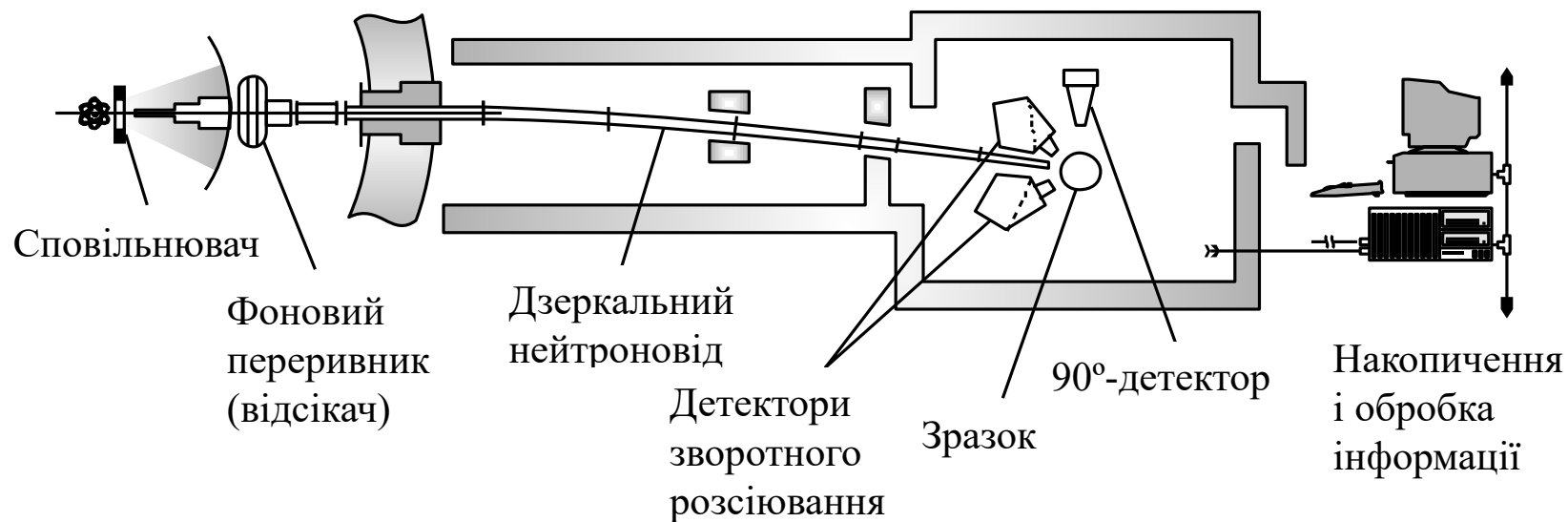
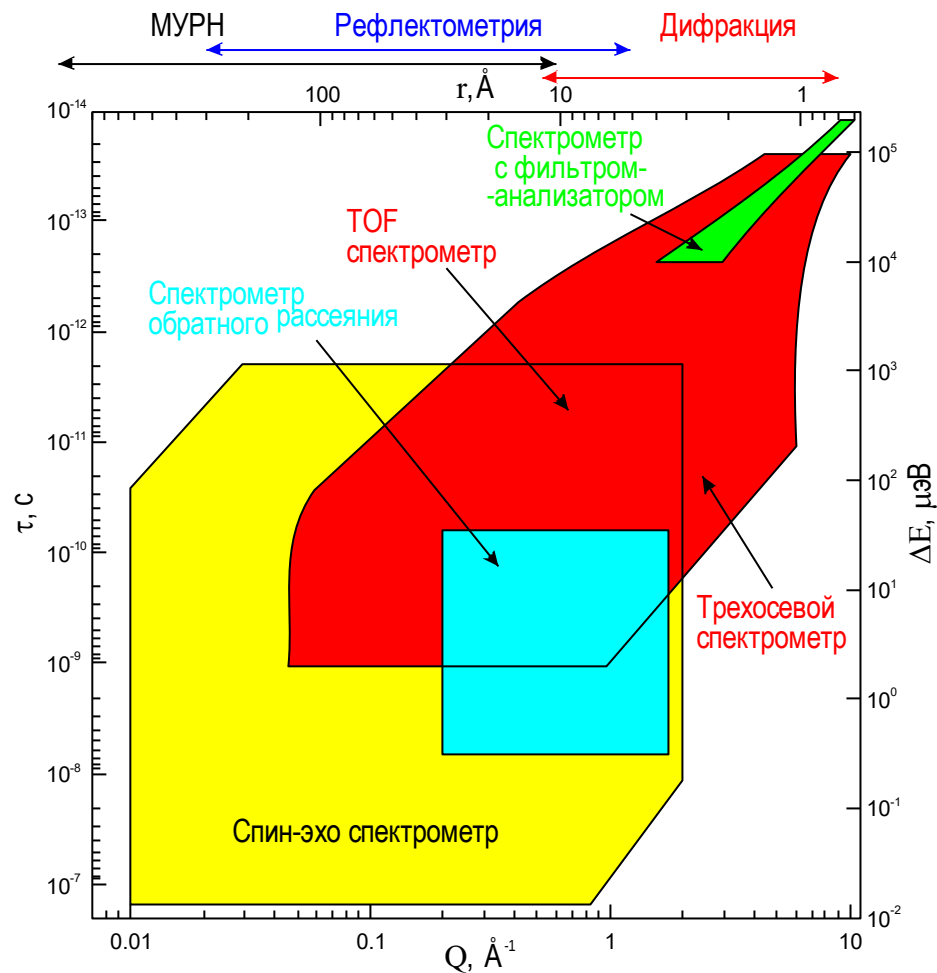


Схема TOF-дифрактометра.

Як правило, відстань від активної зони до місця розташування зразка становить від 10 до 30 м.



Доступні для різних нейтронних спектрометрів області на площині переданий імпульс - передана енергія. Переданий імпульс (в $\text{\AA}^{-1}$) вказано на нижній шкалі, відповідні йому характерні відстані (в $\text{\AA}$) - на верхній шкалі. Там же зазначені інтервали характерних відстаней, доступних для дифракції, рефлектометрії і малоуглового розсіювання нейтронів. По правій і лівій шкалам відкладені передані енергії (в μeV) і відповідні їм характерні часи процесів (в секундах).

Стационарний дослідний реактор

Комплекс FRM-II, (Мюнхен, Німеччина) включає 2 реактора і експериментальні зали.

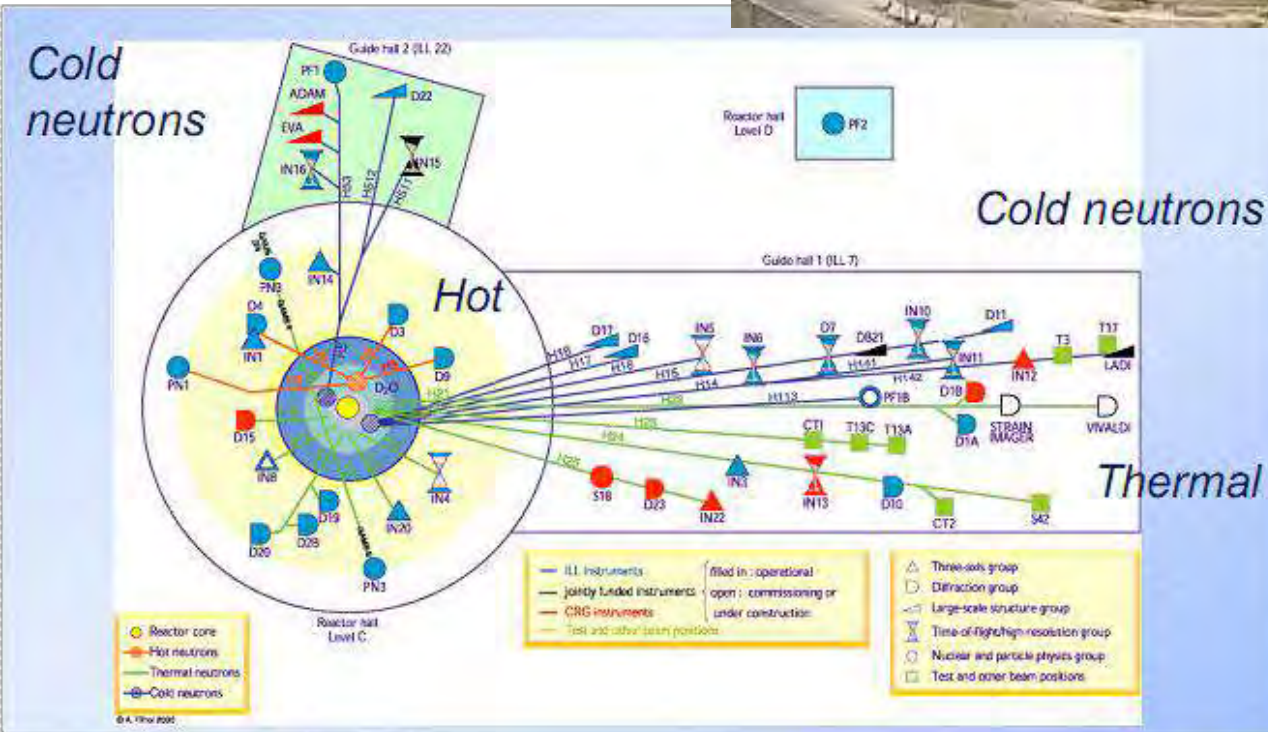
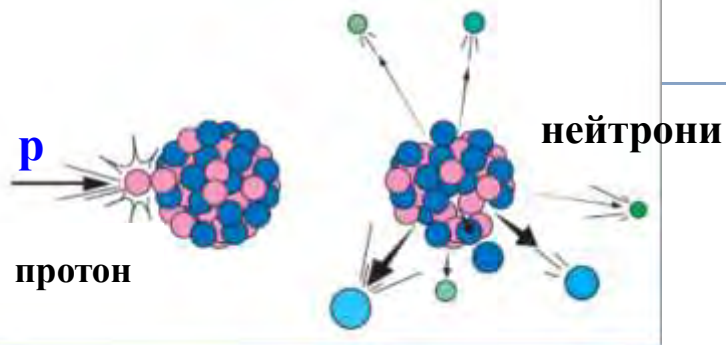


Схема комплексу нейтронних спектрометрів навколо реактора ILL (Гренобль, Франція).

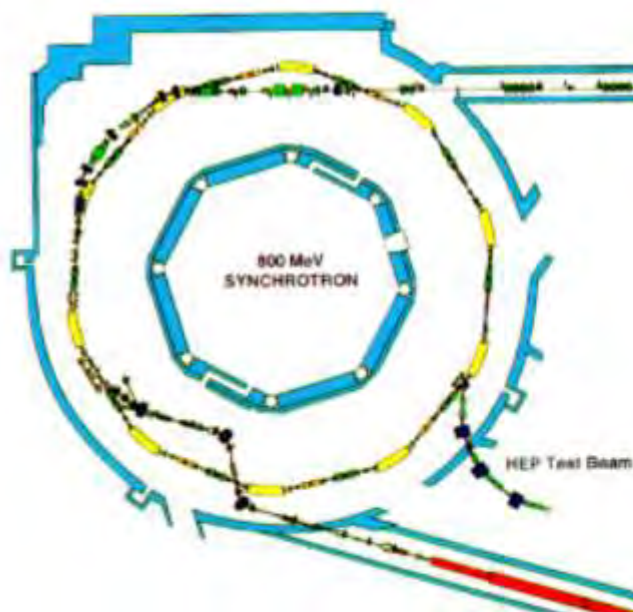
Комплекс включає спектрометри на гарячому, тепловому і холодних джерелах нейтронів.

Імпульсне нейтронне джерело (spallation source)

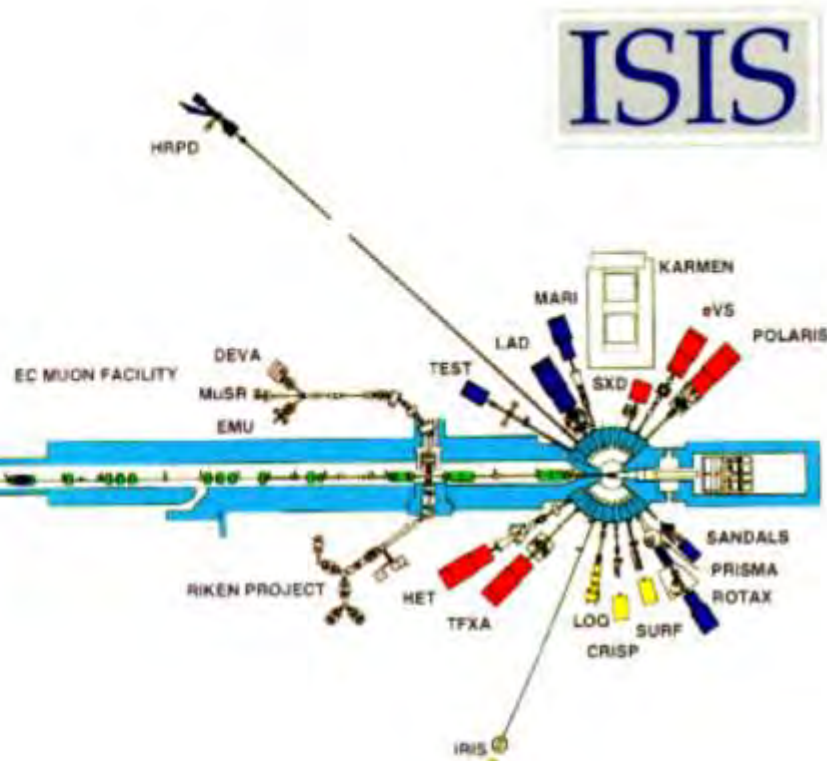
Spallation – розщеплення



Накопичувальне кільце



Лінійний прискорювач протонів



Мішень з важкого металу
і спектрометри навколо

Розщеплювально-імпульсне джерело нейтронів ISIS (RAL, Великобританія)



RAL: Rutherford Appleton
Laboratory near Oxford,
United Kingdom

<http://www.isis.stfc.ac.uk/>

HRPD – порошковий
дифрактометр високої
роздільної здатності,
 $L = 100$ м, $\Delta t_0 = 15 \cdot \lambda$ μ s,
 $\Delta d/d \approx 0.0005 - 0.01$

Дифракція нейтронів (TOF)

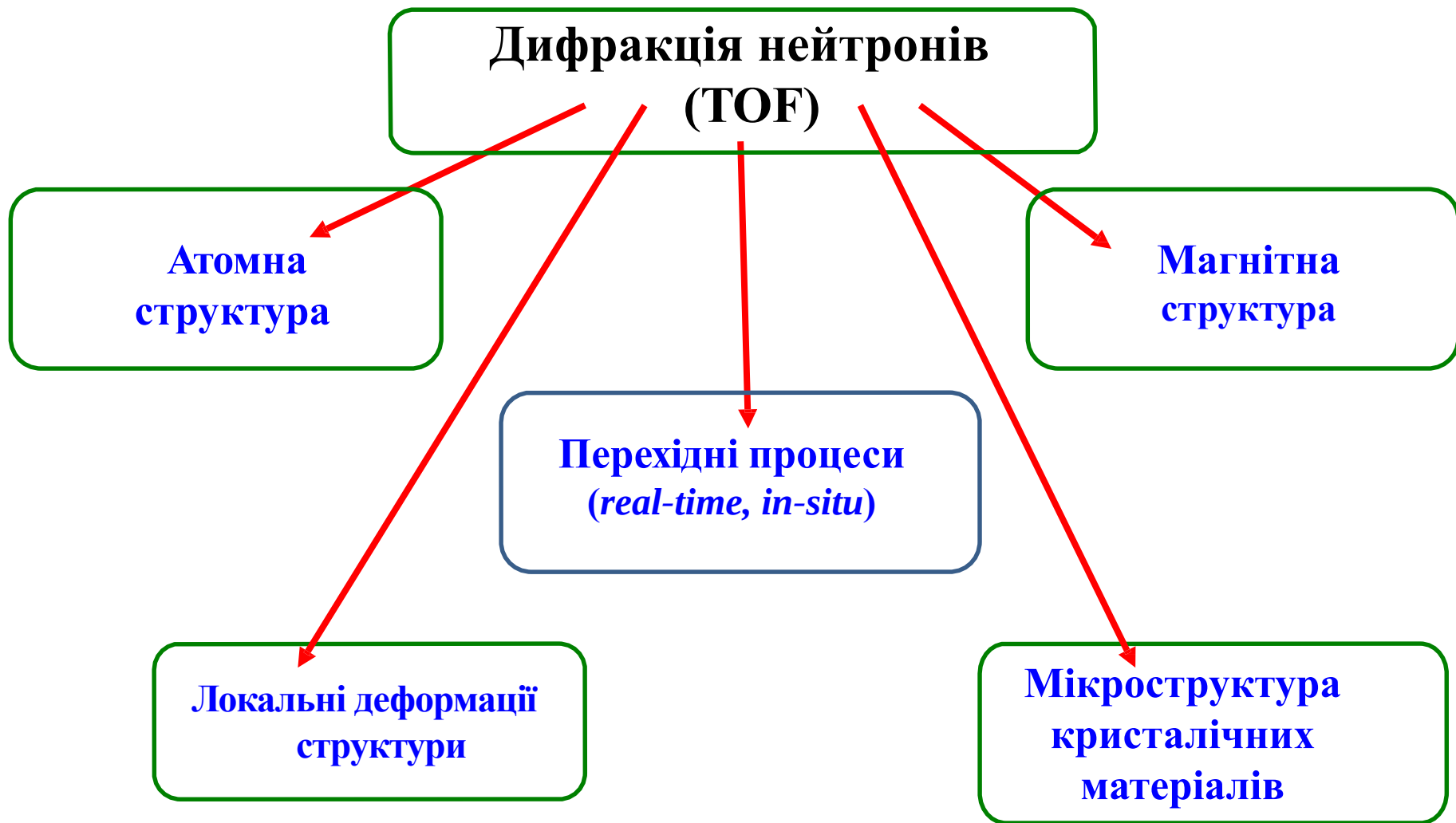
Атомна
структура

Магнітна
структура

Перехідні процеси
(*real-time, in-situ*)

Локальні деформації
структури

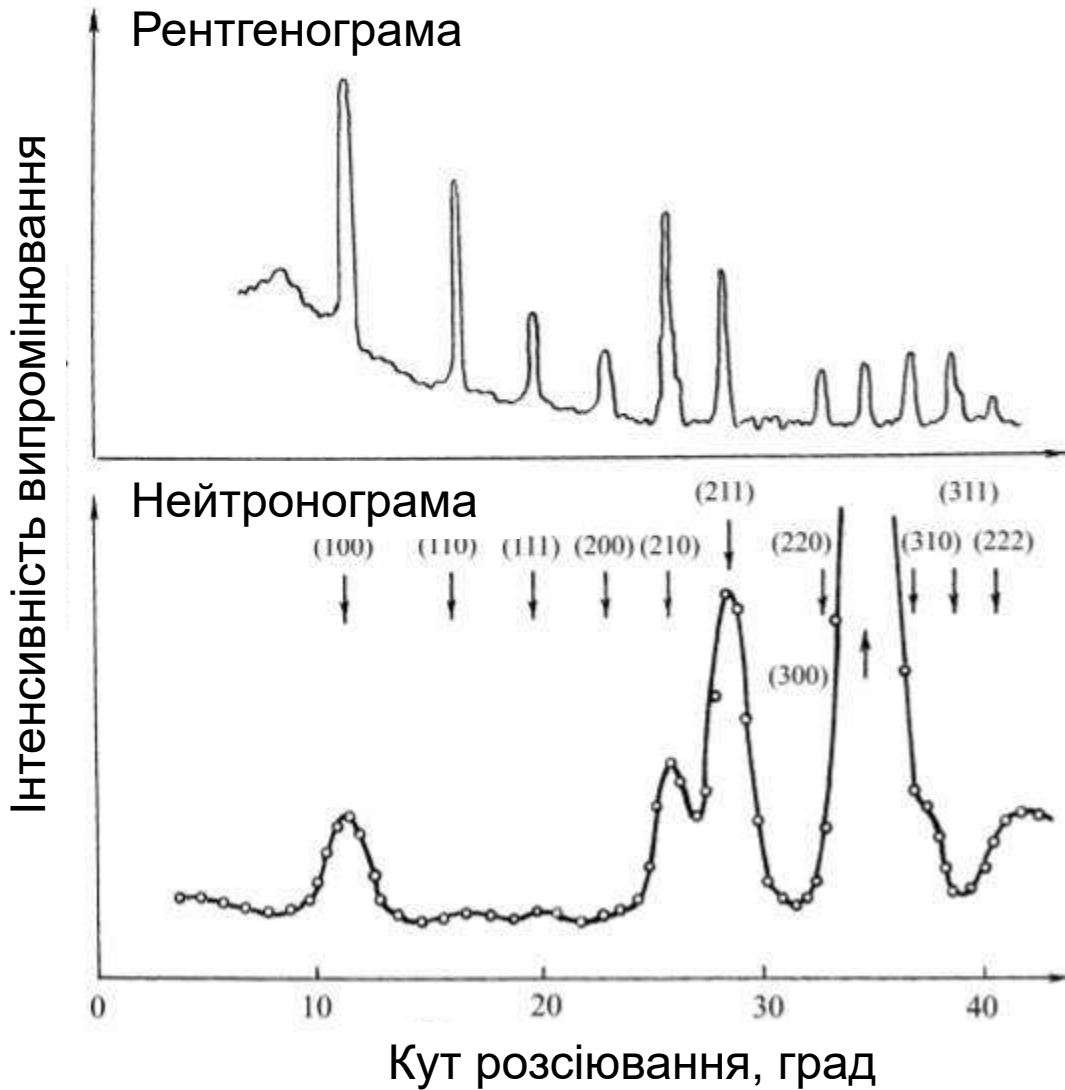
Мікроструктура
кристалічних
матеріалів



Розсіювання нейтронів

Для дифракційних експериментів зазвичай використовуються теплові нейтрони з енергією **25 keV**, що відповідає довжині хвилі близько **1.5 Å**.

На відміну від рентгенівських променів, **нейтрони практично не взаємодіють з електронами атома**, так як не мають електричного заряду - основна взаємодія відбувається з атомними ядрами. Нейтрони слабо поглинаються речовиною (приблизно в 10-100 разів менше, ніж рентгенівське випромінювання). Так як розміри атомних ядер істотно менше довжини хвилі теплових нейтронів, амплітуда атомного розсіювання нейтронів не повинна залежати від кута розсіювання. Величина атомної амплітуди розсіювання приблизно на один-два порядки менше в порівнянні з рентгенівськими променями.



Дифракційні максимуми на рентгенограмі майже повністю обумовлені розсіюванням на атомах урану, тоді як на нейтронограмі вони в основному виникли за рахунок розсіювання атомами берилію.

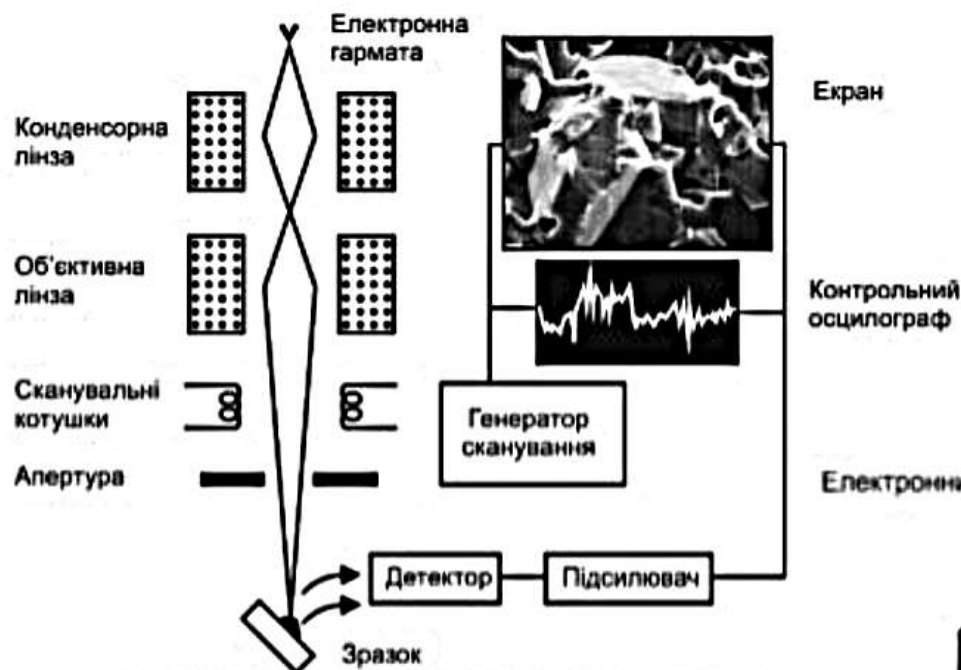
Рентгенограма і нейтронограма UBe_{13}

Переваги нейтронографії

1. Дифракція нейтронів є по суті єдиним методом визначення положення атомів водню та інших легких елементів в кристалічній структурі.
2. Можливо визначати положення атомів в кристалічній структурі навіть у випадку, коли вони займають сусідні місця в таблиці елементів Менделєєва.
3. Дослідження розсіювання поляризованих нейтронних пучків дає інформацію про структуру магнітних підґраток (ферити, антиферромагнетики).
4. Вивчення непружного розсіяння нейтронів дозволяє експериментально отримувати фононний спектр кристалів.

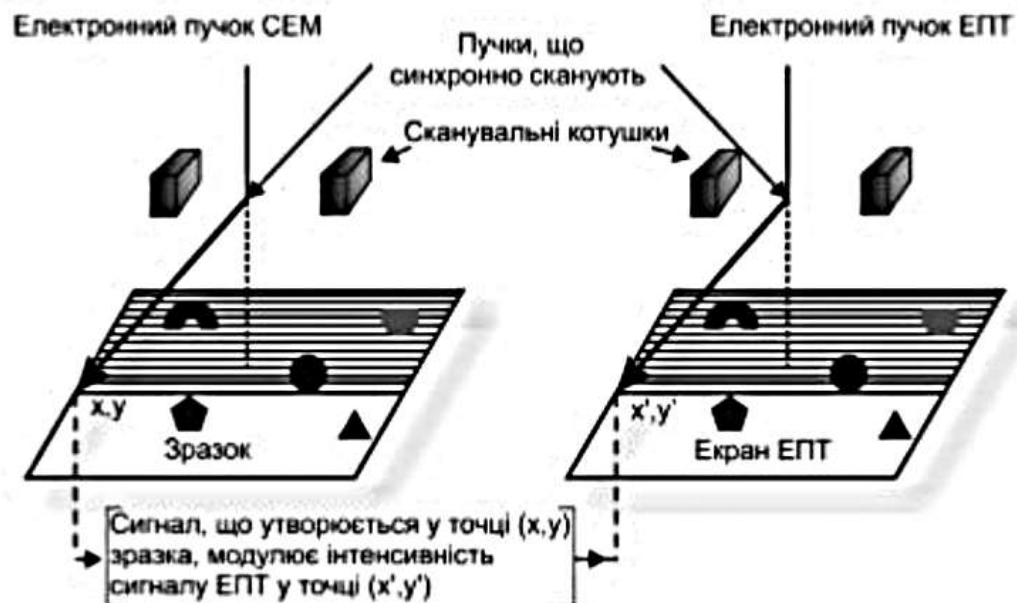
Електронна мікроскопія

Електронний мікроскоп

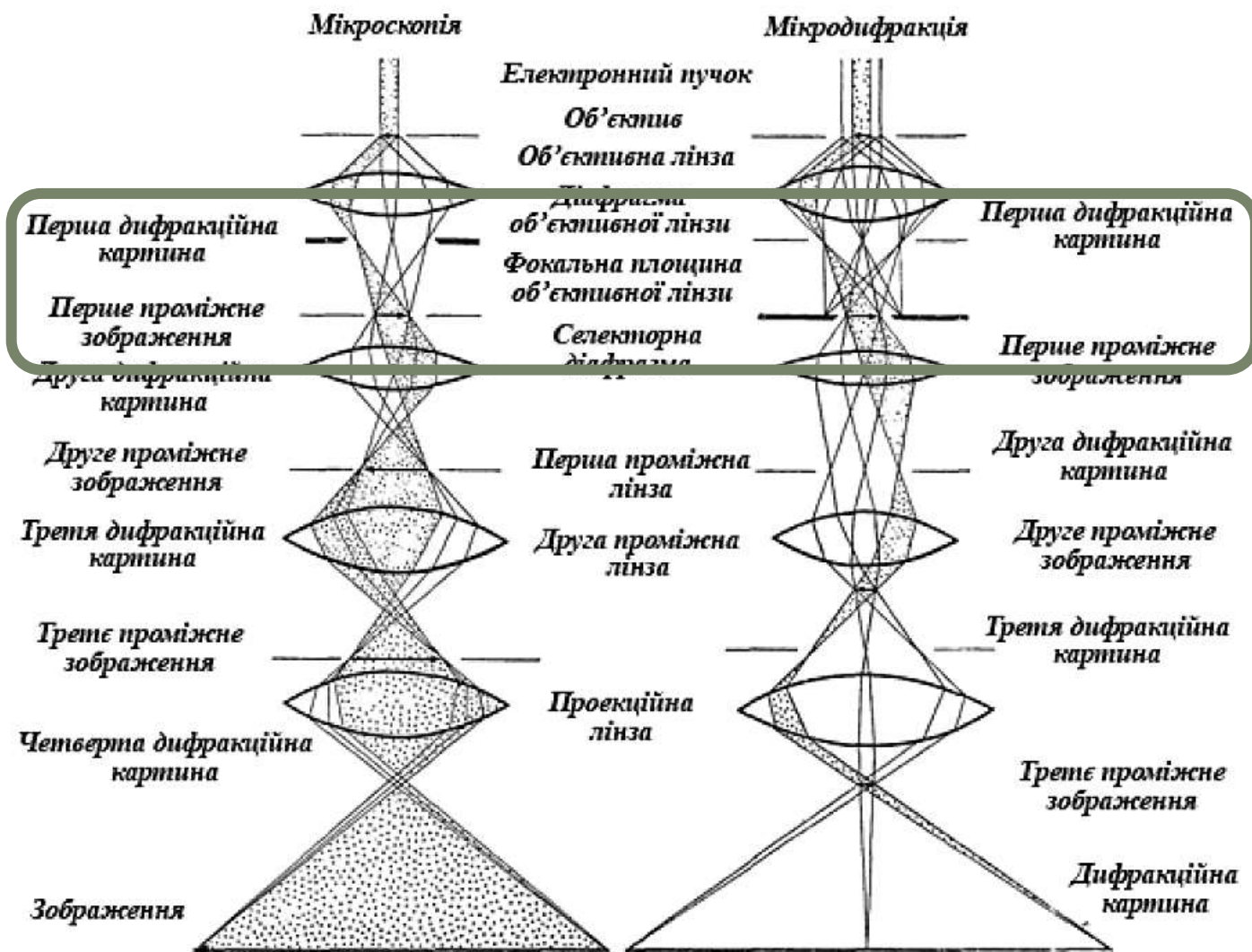


Схематична діаграма основних компонентів сканувального електронного мікроскопа.

Схематична діаграма, що ілюструє формування зображення у СЕМ

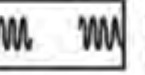


Електронний мікроскоп



Хід променів в електронному мікроскопі, що працює на просвітлення

Види електронних мікроскопів

Гармата							
Конденсорні лінзи							
Сканувальні котушки							
Детектори	X	E	X		E	X	E
Зразок							
Лінзи							
Екран або ПЗЗ							
СЕВЕ							
	Аналітичний ПЕМ/СПЕМ	АЕМ	ПЕМ	СЕМ	Мікро-аналізатор	СПЕМ	Аналітичний СПЕМ

Сім'я електронних мікроскопів. Дві базові системи формування зображення (СЕМ і ПЕМ) зображені у центрі. Додавання більшої кількості детекторів чи лінз додає низку аналітичних можливостей; X - рентгенівський детектор; E - детектор електронів; ПЗЗ - пристрій із зарядовим зв'язком.

Деякі терміни

Електронний промінь – направлений пучок прискорених електронів, який використовується для просвітлення зразків або збудження в них вторинних випромінювань (наприклад, рентгенівського).

Прискорююча напруга – напруга між електродами електронної гармати, що визначає кінетичну енергію електронного променя.

Роздільна здатність – найменша відстань між двома елементами мікроструктури, які видно на зображенні окремо (залежить від характеристик ЕМ, режиму роботи і властивостей зразків).

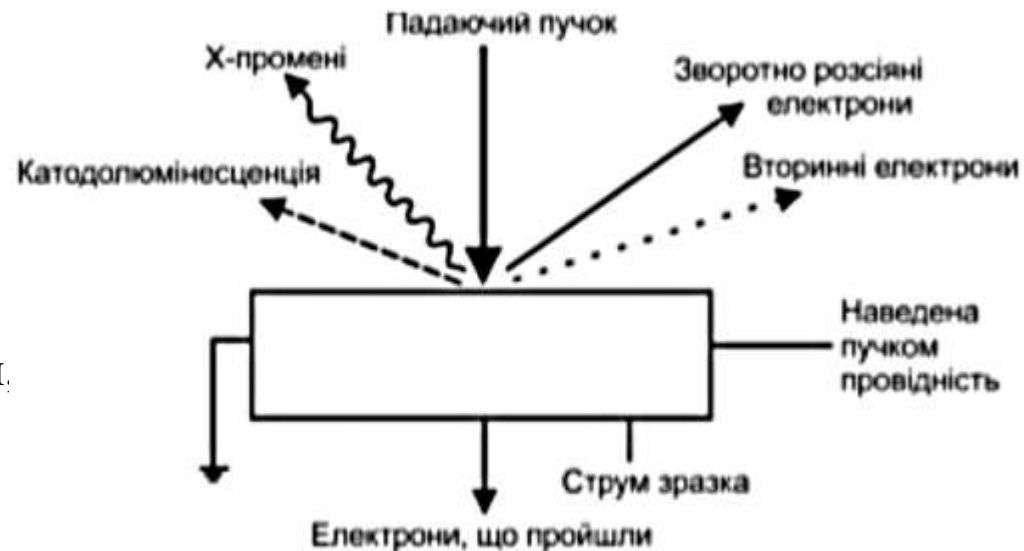
Світлопольне зображення – збільшене зображення мікроструктури, сформоване електронами, що пройшли через об'єкт з малими енергетичними втратами (структура зображається на екрані електронно-променевої трубки темними лініями і плямами на світлому фоні).

Темнопольне зображення – формується розсіяними електронами (основний пучок електронів при цьому відхиляють або екранують) і використовується при вивченні сильнорозсіюючих об'єктів (наприклад, кристалів); в порівнянні зі світлопольним виглядає як негативне.

Типи випромінювання під дією пучка електронів

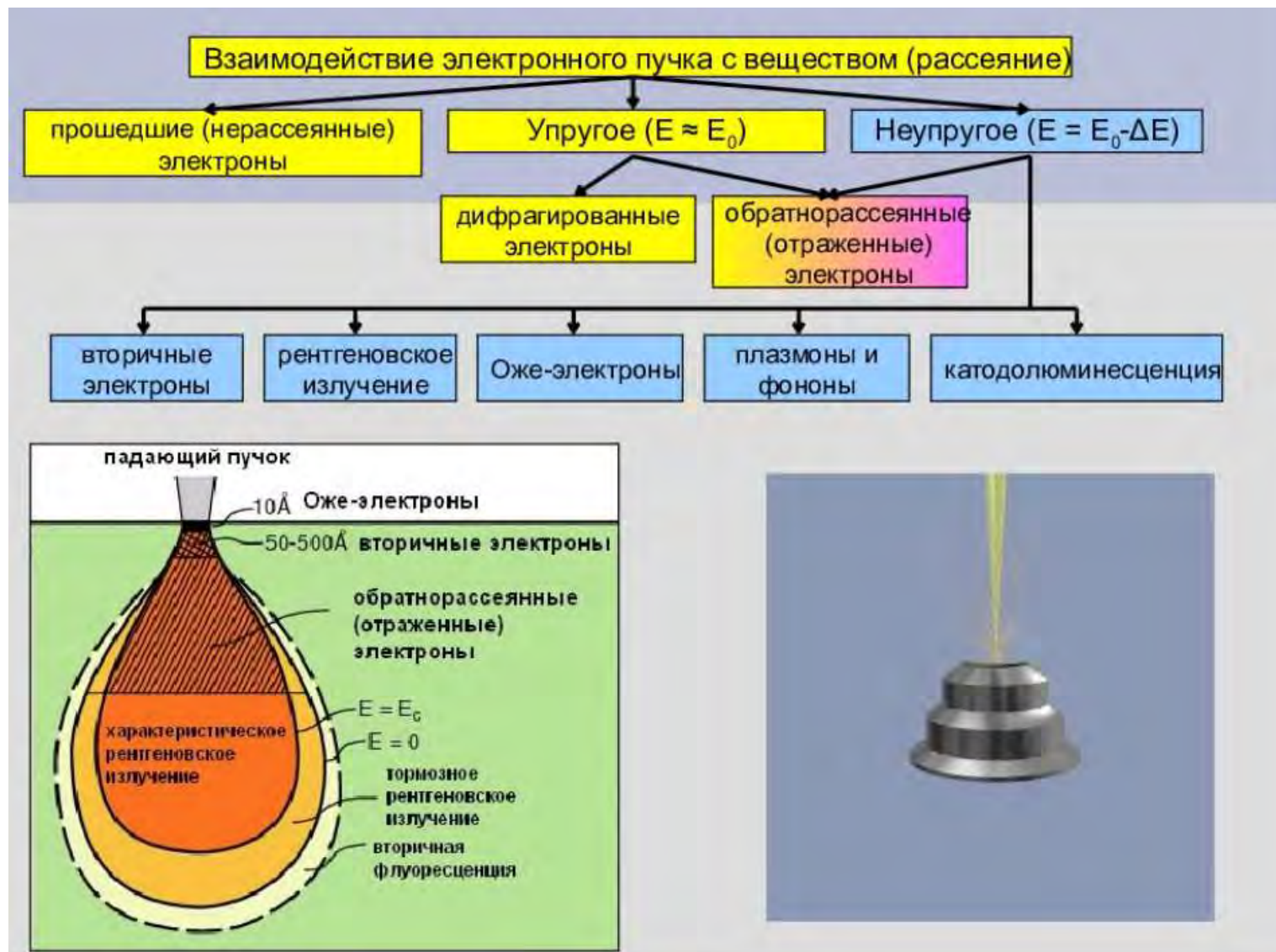
У електронній мікроскопії пучок електронів взаємодіє з поверхнею зразка і перетворюються на ряд часток і випромінювань:

- вторинні електрони,
- зворотно-відбиті електрони,
- Оже-електрони,
- рентгенівське випромінювання.
- катодолюмінесценція.



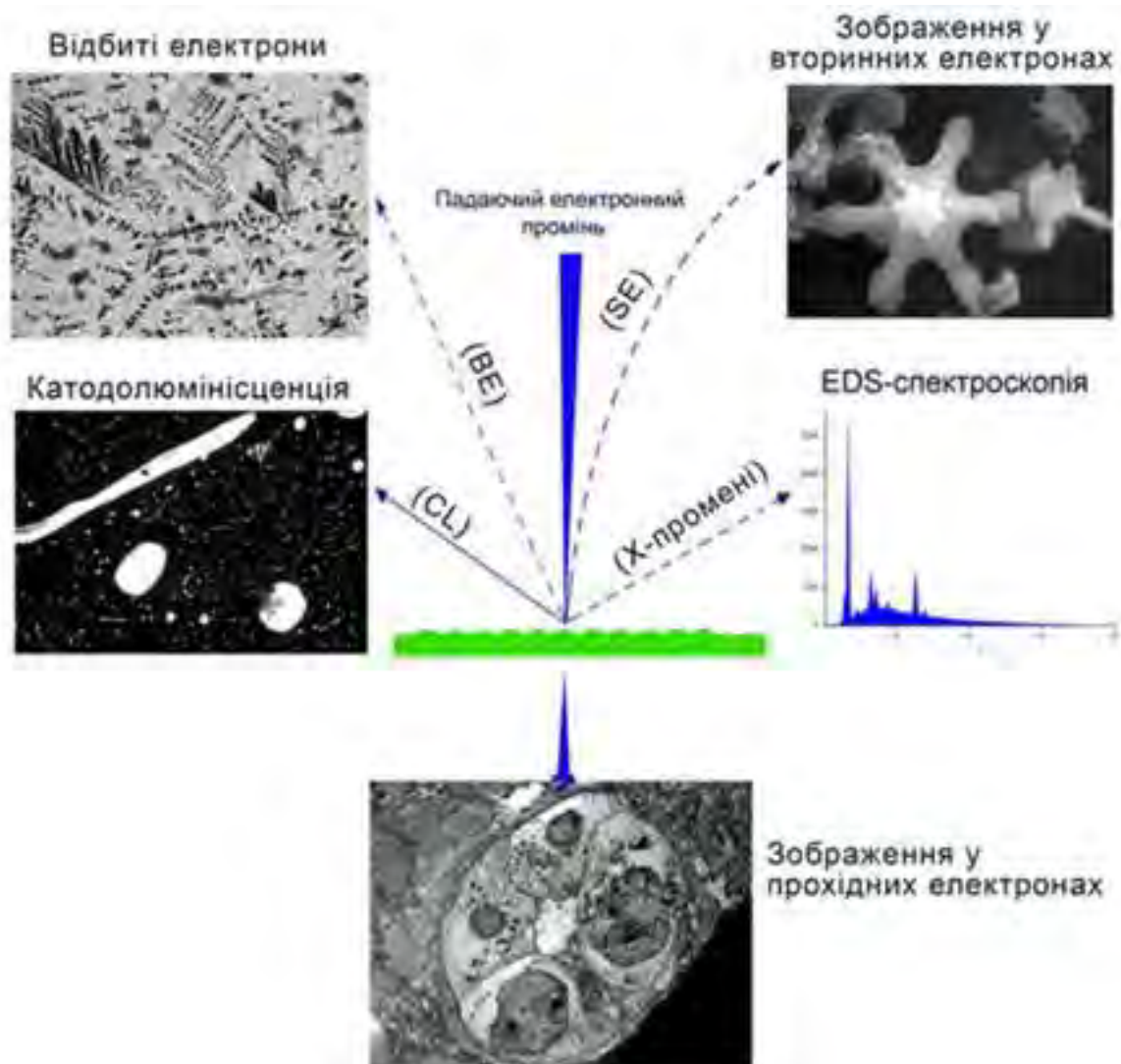
Ці частки і випромінювання є носіями інформації різного типу про речовину, з якої створений зразок.

Типи випромінювання під дією пучка електронів



Типи випромінювання під дією пучка електронів

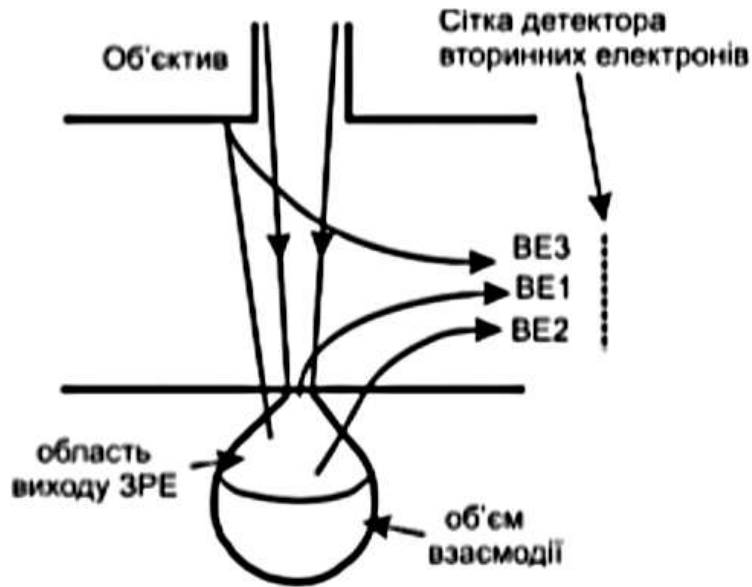
зворотно-відбитті електрони



Відбиті електрони несуть інформацію про розподіл електронної щільності (області, збагачені елементом з більшим атомним номером виглядають яскравіше).

Типи випромінювання під дією пучка електронів

вторинні електрони



Три механізми генерування вторинних електронів (BE):

- первинним пучком - BE1,
- зворотно розсіяними електронами у зразку BE2
- згенеровані зворотно розсіяними електронами, що потрапили на внутрішні складові СЕМ - BE3.

Найбільше у СЕМ використовують сигнал вторинних електронів.

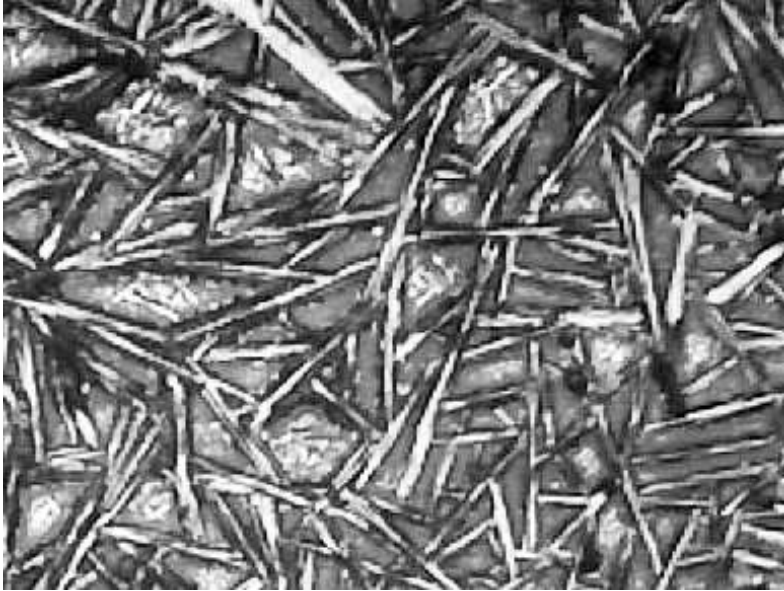
Контраст у вторинних електронах найсильніше залежить від рельєфу поверхні !



детектор Еверхарта-Торнлі

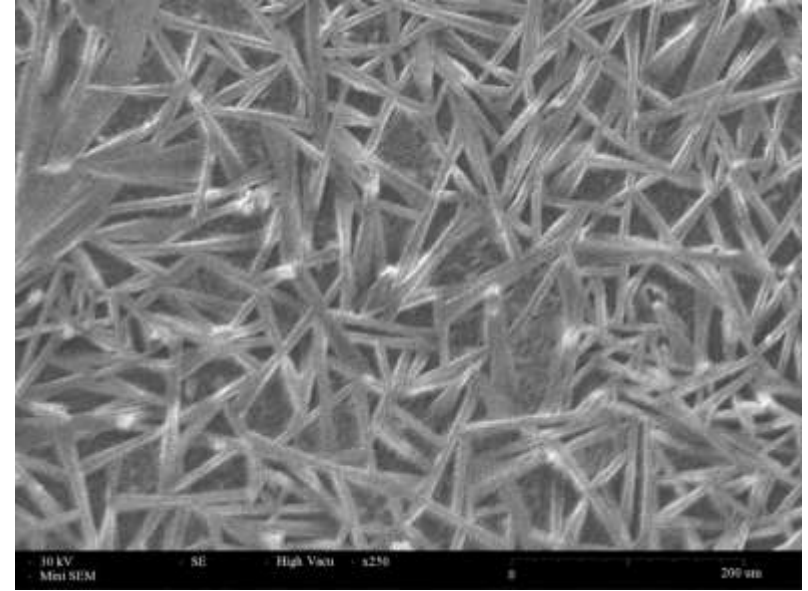
Збір вторинних електронів від об'ємного зразка за допомогою детектора, що має сітку з позитивним зміщенням.

Просторове зображення з електронного мікроскопа у порівнянні з плоским від оптичного



Мікроскоп оптичний
стереоскопічний МБС-10

Контраст такий, ніби очі дивляться
зверху на об'єкт, що освітлюється
паралельним пучком світл



Електронний мікроскоп
SEC miniSEM SNE 4500MB,
вторичные электроны (SE)

Контраст такий, ніби очі дивляться
зверху на об'єкт, що освітлюється
дифузним світлом

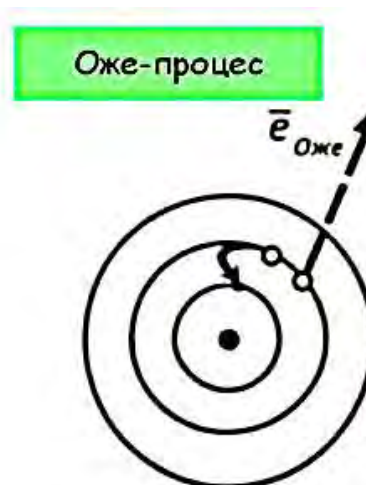
Фотографія мікроструктури плівки, збільшення $\times 100$

Типи випромінювання під дією пучка електронів

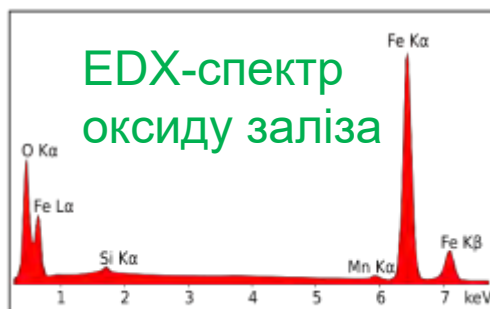
Рентгенівське випромінювання



Оже-електрони



Типи випромінювання під дією пучка електронів



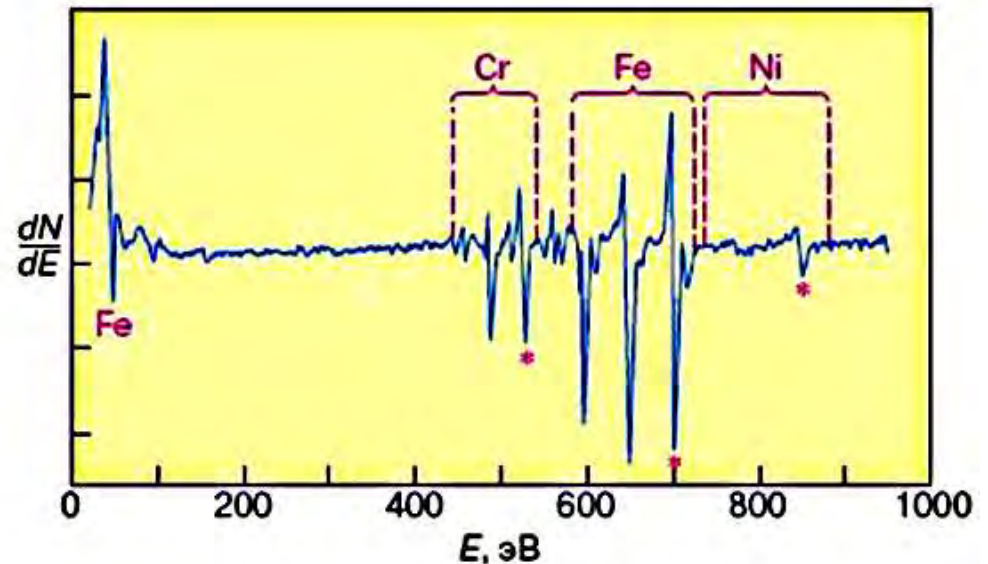
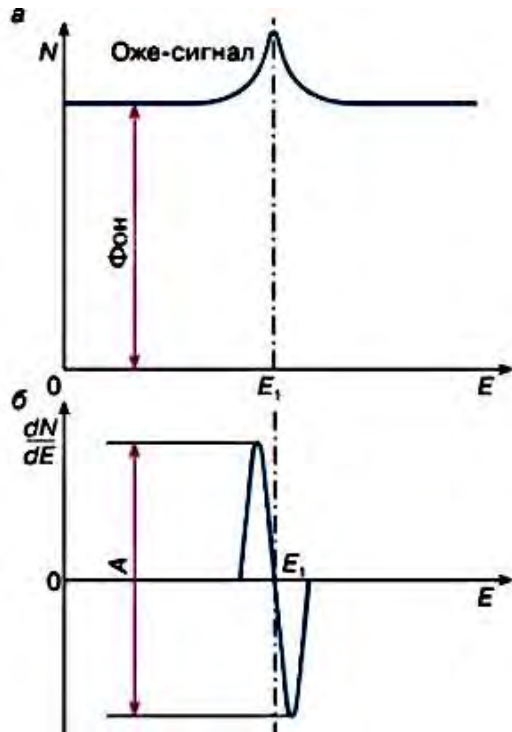
Метод енергодисперсійного рентгенівської спектроскопії (англ. Energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDX, EDRS или EDS)

Z	Element	K α_1	K α_2	L α_1	L α_2	Z	Element	K α_1	K α_2	L α_1	L α_2	Z	Element	K α_1	K α_2	L α_1	L α_2	M α_1	M α_2
3	Li Lithium					34	Se Selenium	11.224	12.497	1.379	1.419	65	Tb Terbium	44.482	50.385	6.273	6.975	1.240	1.269
4	Be Beryllium	0.108				35	Br Bromine	11.924	13.292	1.481	1.526	66	Dy Dysprosium	45.999	52.113	6.488	7.248	1.293	1.325
5	B Boron	0.183				36	Kr Krypton	12.648	14.112	1.585	1.636	67	Ho Holmium	47.547	53.877	6.720	7.526	1.348	1.383
6	C Carbon	0.277				37	Rb Rubidium	13.390	14.961	1.692	1.751	68	Er Erbium	49.128	55.674	6.949	7.811	1.404	1.448
7	N Nitrogen	0.392				38	Sr Strontium	14.165	15.835	1.806	1.871	69	Tm Thulium	50.742	57.505	7.180	8.102	1.462	1.503
8	O Oxygen	0.525				39	Y Yttrium	14.958	16.739	1.924	1.998	70	Yb Ytterbium	52.388	59.382	7.416	8.402	1.526	1.573
9	F Fluorine	0.677				40	Zr Zirconium	15.775	17.668	2.044	2.126	71	Lu Lutetium	54.070	61.290	7.655	8.710	1.580	1.630
10	Ne Neon	0.849				41	Nb Niobium	16.615	18.625	2.169	2.260	72	Hf Hafnium	55.790	63.244	7.899	9.023	1.646	1.700
11	Na Sodium	1.040				42	Mo Molybdenum	17.480	19.606	2.292	2.394	73	Ta Tantalum	57.535	65.222	8.148	9.343	1.712	1.770
12	Mg Magnesium	1.254	1.302			43	Tc Technetium	18.367	20.626	2.423	2.535	74	W Tungsten	59.318	67.244	8.398	9.672	1.775	1.838
13	Al Aluminium	1.486	1.557			44	Ru Ruthenium	19.279	21.650	2.558	2.683	75	Re Rhenium	61.141	69.309	8.652	10.010	1.843	1.906
14	Si Silicon	1.740	1.837			45	Rh Rhodium	20.216	22.724	2.697	2.834	76	Os Osmium	63.000	71.414	8.911	10.354	1.907	1.978
15	P Phosphorus	2.010	2.139			46	Pd Palladium	21.177	23.818	2.838	2.990	77	Ir Iridium	64.896	73.560	9.175	10.708	1.980	2.052
16	S Sulfur	2.309	2.485			47	Ag Silver	22.163	24.941	2.983	3.150	78	Pt Platinum	66.831	75.750	9.442	11.071	2.050	2.127
17	Cl Chlorine	2.622	2.812			48	Cd Cadmium	23.173	26.093	3.133	3.315	79	Au Gold	68.806	77.982	9.713	11.443	2.123	2.203
18	Ar Argon	2.958	3.190			49	In Indium	24.210	27.275	3.286	3.487	80	Hg Mercury	70.818	80.255	9.989	11.824	2.195	2.281
19	K Potassium	3.314	3.590			50	Sn Tin	25.271	28.485	3.444	3.663	81	Tl Thallium	72.872	82.573	10.269	12.213	2.271	2.363
20	Ca Calcium	3.692	4.013	0.341	0.345	51	Sb Antimony	26.359	29.725	3.604	3.842	82	Pb Lead	74.970	84.939	10.551	12.614	2.342	2.444
21	Sc Scandium	4.093	4.464	0.395	0.400	52	Te Tellurium	27.473	30.993	3.768	4.029	83	Bi Bismuth	77.107	87.349	10.839	13.023	2.423	2.526
22	Ti Titanium	4.512	4.933	0.452	0.458	53	I Iodine	28.612	32.294	3.938	4.221	84	Po Polonium	79.291	89.803	11.131	13.446	2.499	2.614
23	V Vanadium	4.953	5.428	0.510	0.518	54	Xe Xenon	29.775	33.620	4.110	4.418	85	At Astatine	81.516	92.304	11.427	13.870	2.577	2.699
24	Cr Chromium	5.415	5.947	0.572	0.582	55	Cs Cesium	30.973	34.982	4.295	4.619	86	Rn Radon	83.785	94.966	11.727	14.315	2.654	2.784
25	Mn Manganese	5.900	6.492	0.637	0.648	56	Ba Barium	32.194	36.378	4.466	4.828	87	Fr Francium	86.106	97.474	12.031	14.771	2.732	2.868
26	Fe Iron	6.405	7.059	0.705	0.718	57	La Lanthanum	33.442	37.797	4.647	5.038	88	Ra Radium	88.478	100.130	12.339	15.236	2.806	2.949
27	Co Cobalt	6.931	7.649	0.775	0.790	58	Ce Cerium	34.720	39.258	4.839	5.262	89	Ac Actinium	90.884	102.840	12.652	15.713	2.900	3.051
28	Ni Nickel	7.480	8.267	0.849	0.866	59	Pr Praseodymium	36.027	40.749	5.035	5.492	90	Th Thorium	93.351	105.605	12.968	16.202	2.996	3.149
29	Cu Copper	8.046	8.964	0.928	0.947	60	Nd Neodymium	37.361	42.272	5.228	5.718	91	Pa Protactinium	95.868	108.427	13.291	16.703	3.082	3.240
30	Zn Zinc	8.637	9.570	1.012	1.035	61	Pm Promethium	38.725	43.827	5.432	5.961	92	U Uranium	98.440	111.303	13.614	17.220	3.171	3.336
31	Ga Gallium	9.251	10.267	1.098	1.125	62	Sm Samarium	40.118	45.414	5.633	6.201	93	Np Neptunium	101.059	114.234	13.946	17.751	3.250	3.425
32	Ge Germanium	9.888	10.982	1.188	1.218	63	Eu Europium	41.542	47.038	5.849	6.458	94	Pu Plutonium	103.734	117.228	14.282	18.296	3.339	3.534
33	As Arsenic	10.543	11.728	1.282	1.317	64	Gd Gadolinium	42.996	48.695	6.053	6.708	95	Am Americium	106.472	120.284	14.620	18.856	3.438	3.648

Типи випромінювання під дією пучка електронів

Оже спектроскопія

- Емісія електронів з тонкого (кілька моношарів) приповерхневого шару
- Дозволяє аналізувати хімічний склад в приповерхневому шарі
- Застосування: процеси адсорбції та десорбції на поверхнях твердих тіл, корозії, тощо.



Типи випромінювання під дією пучка електронів

Катодолюмінесценція

Катодолюмінесценція - світіння твердих тіл, викликане бомбардуванням їх електронами. Вона має специфічні властивості, пов'язаними з особливостями перетворення кінетичної енергії заряджених частки в кванти випромінювання значно меншою енергії:

- багатетапний процес перетворення,
- наявність додаткових каналів втрат енергії.

Етап 1. При збудженні електронним пучком відбувається іонізація молекул речовини, яка піддається бомбардуванню електронним потоком. При цьому втрата енергії електронів на іонізацію досить значна, і проникнення їх в конденсовані середовища обмежується лише поверхневим шаром товщиною в частки або одиниці мікронів.

Етап 2. При рекомбінації електронів і йонів у збуджених електронних станах з утворенням молекул виникає світіння.

Етап 3. Частина вторинних електронів вибивається з поверхні зразка і заряджає поверхню зразка (якщо діелектрик) негативно. Накопичився заряд починає відштовхувати первинні електрони і світіння гасне. Для безперервного світіння енергія електронів має бути в 1.5 рази вища за енергію іонізації.

Типи випромінювання під дією пучка електронів

Катодолюмінесценція

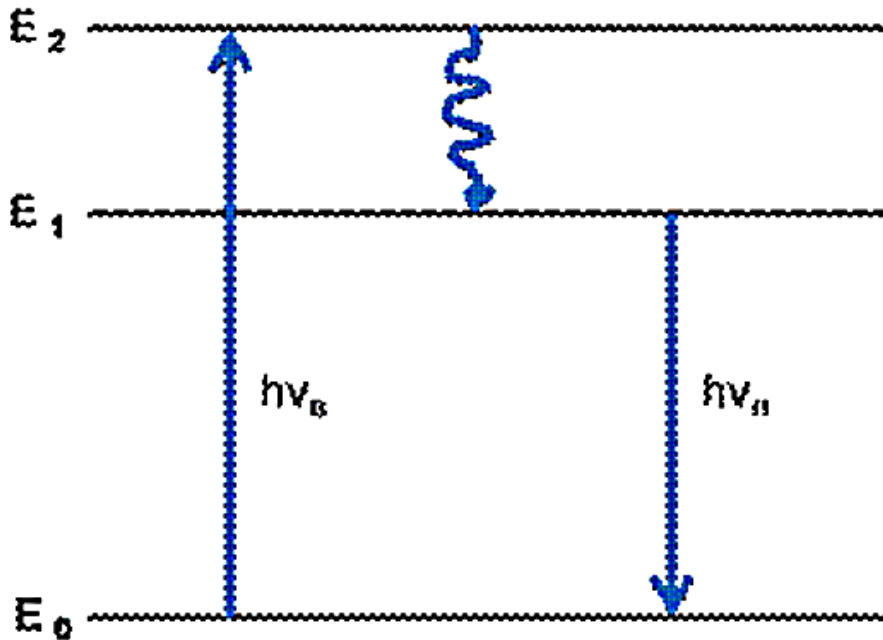
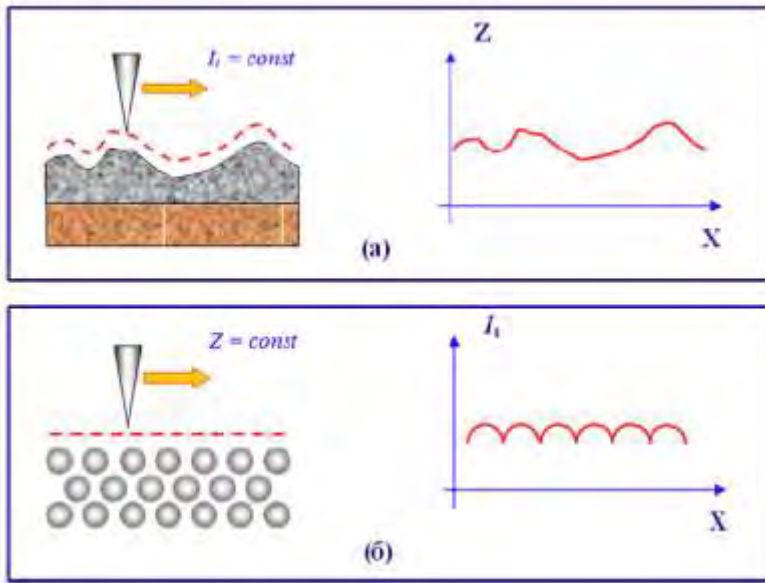


Схема виникнення
люмінесценції молекул

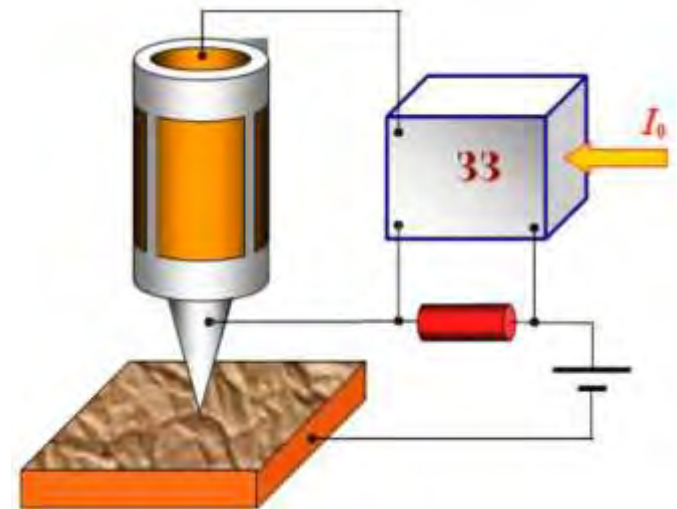
E_0 - рівень основного стану;
 E_1 , E_2 - рівні збудженого стану.

При збудженні молекул (або атомів) опроміненням вони переходять в збуджений стан. Час життя молекули (атома) в збудженому стані становить 10^{-8} секунди. Якщо за цей час молекула не передасть надлишкову енергію іншим молекулам завдяки удару, то вона випромінює світлову енергію, переходячи в основний стан або прямо, або східчасто. При прямому переході молекула випромінює стільки ж енергії, скільки вона поглинула, а при ступінчастому переході - менше.

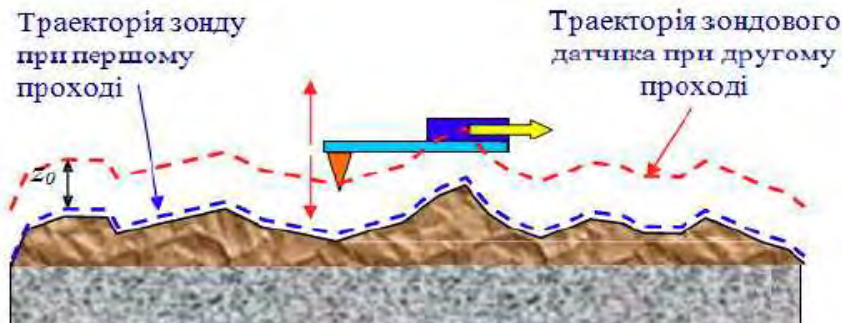
Тунельна мікроскопія



Формування СТМ зображень поверхні по методу постійного тунельного струму (а) і постійної середньої відстані (б)

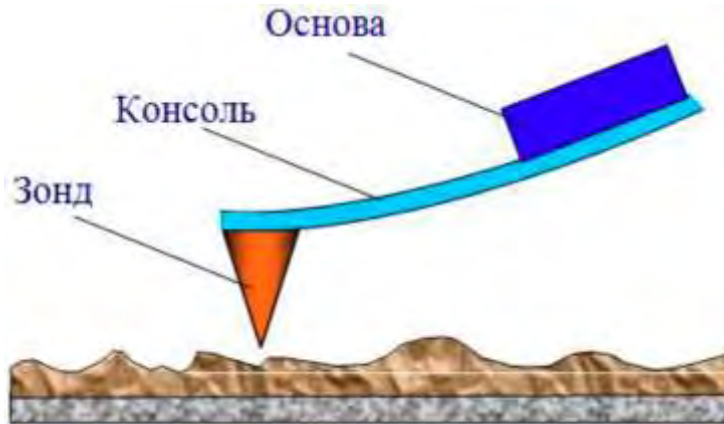


Спрощена схема організації зворотного зв'язка по тунельному струму



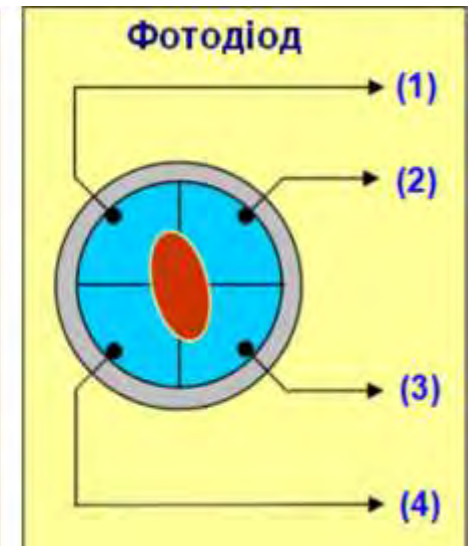
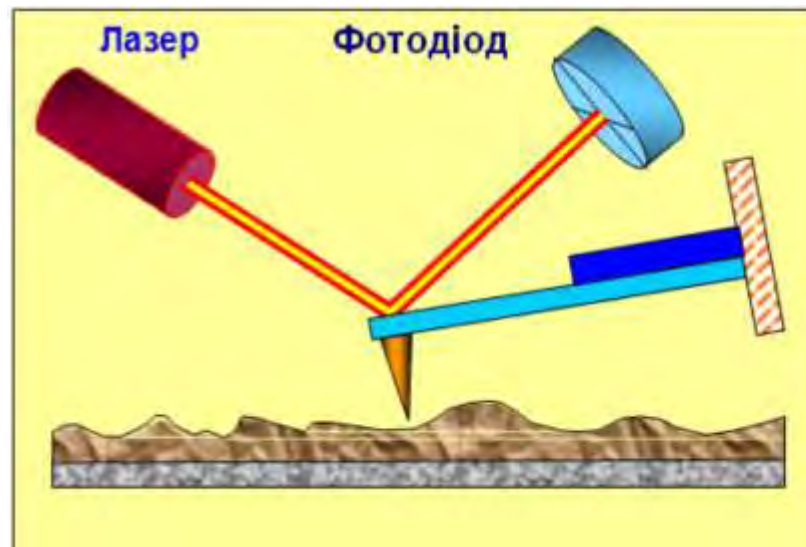
Двопрохідна методика одержання МСМ зображення

Атомно-силова мікроскопія



Схематичне зображення зондового датчика АСМ

Схема оптичної реєстрації вигину консолі зондового датчика АСМ



Виробники пристроїв з максимальним попитом

Моделі та виробники оптичних мікроскопів

- Eva8000+ (Carl Zeiss, Німеччина);
- Leica DM6000B (Leica Microsystems, Німеччина);
- Infinitive MX8500 (Meiji Techno, Японія);
- Mantis ESM8X (Grasham Instruments, Великобританія);
- SeoTem 100kV (Nikon, Японія);
- Lext17AT (Olympus, Японія);
- МікроСкан МС-20 (ОАО "ЛОМО", Росія);
- Digital Blue QX5 (Intel, США)

Основні виробники скануючих електронних мікроскопів

- Carl Zeiss NTS GmbH (Німеччина),
- FEI Company (США - злилася з Philips Electron Optics),
- FOCUS GmbH (Німеччина),
- Hitachi (Японія),
- JEOL (Японія, Japan Electron Optics Laboratory),
- Tescan (Чехія),
- KYKY (Китай).

Центри колективного використання м. Київ

<http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/sharedresources/Pages/Equipment.aspx>

Просвічуючі електронні мікроскопи	
Універсальний просвічуючий електронний мікроскоп JEM-2100F з термополевою гарматою Шоттки	Ін-т проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича
Електронний мікроскоп JEM-100CX II	Ін-т проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича
Трансмісійний електронний мікроскоп JEM 1230, обладнаний енергодисперсійним спектрометром Oxford X MAX-80T	Ін-т ботаніки ім. М.Г. Холодного
Трансмісійний електронний мікроскоп JEM 1200 EX	Ін-т ботаніки ім. М.Г. Холодного

Центри колективного використання м. Київ

Скануючі електронні мікроскопи

Електронний растровий мікроскоп JSM-6700 з енерго-дисперсійною та катодо-люмінісцентною приставками	Ін-т геохімії, мінералогії і рудоутворення
Скануючий електронний мікроскоп JSM-6490-LV з інтегрованою системою електроннозондового аналізу INCA Energy+ на базі енерго- та хвильодисперсійних спектрометрів (EDS+WDS,OXFORD), детектором HLK-Channel, OXFORD	Ін-т геологічних наук
Сканівний електронний мікроскоп JSM-6490LV з енергодисперсійним спектрометром Inca Energy 350, OXFORD Instruments Analytical Ltd.	Ін-т геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України
Сканівний електронний мікроскоп JSM-6490LV, електронно-зондовий мікроаналізатор JXA-8200	Технічний центр НАН України
Растровий електронний мікроскоп JSM 6060 LA, обладнаний енергодисперсійним спектрометром Oxford X MAX-80T	Ін-т ботаніки ім. М.Г. Холодного
Скануючий електронний мікроскоп EVO 50XVP, ZEISS, з енергодисперсійним аналізатором рентгенівських спектрів INCA Penta FETx3 та системою HKL CHANNEL-5 для дифракції електронів, OXFORD	Ін-т надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
Растровий електронний мікроскоп JSM-35C	Ін-т ботаніки ім. М.Г. Холодного
Скануючий електронний мікроскоп T-20, JEOL	Ін-т проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича

Центри колективного використання м. Київ

<http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/sharedresources/Pages/Equipment.aspx>

Атомно-силові мікроскопи

Скануючий зондовий мікроскоп NanoScope
IIIa Dimension 3000, Digital Instruments, USA

Ін-т фізики напівпровідників
ім. В.Є.Лашкарьова

Атомно-силовий мікроскоп "Solver PRO"

Ін-т магнетизму НАНУ та
МОНУ

Скануючий зондовий мікроскоп Solver PRO-M

Ін-т фізики

Надвисоковакуумний сканувальний
зондовий мікроскоп JSPM-4610

Ін-т металофізики
ім.Г.В.Курдюмова

Центри колективного використання м. Київ

Рентгенівський мікроаналізатор

Рентгенівський мікроаналізатор JEOL Superprobe 733	Ін-т проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича
--	--

Не ЦКК !

Скануючий електронний мікроскоп SEC miniSEM SNE 4500MB зі спектрометром EDAX Element PV6500/00 F	Ін-т загальної та неорганічної хімії ім.В.І. Вернадського, Відділ хімії твердого тіла
--	---

Високовакуумна аналітична система

Високовакуумна аналітична система SPECS Gesellschaft fur Oberflächenanalytic und Computertechnologie GmbH, Німеччина	Ін-т проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича
Надвисоковакуумний скануючий зондовий мікроскоп JSPM-4610 (JEOL)	Інститута металлофізики ім. Г.В. Курдюмова

**Дякую
за
увагу !**