

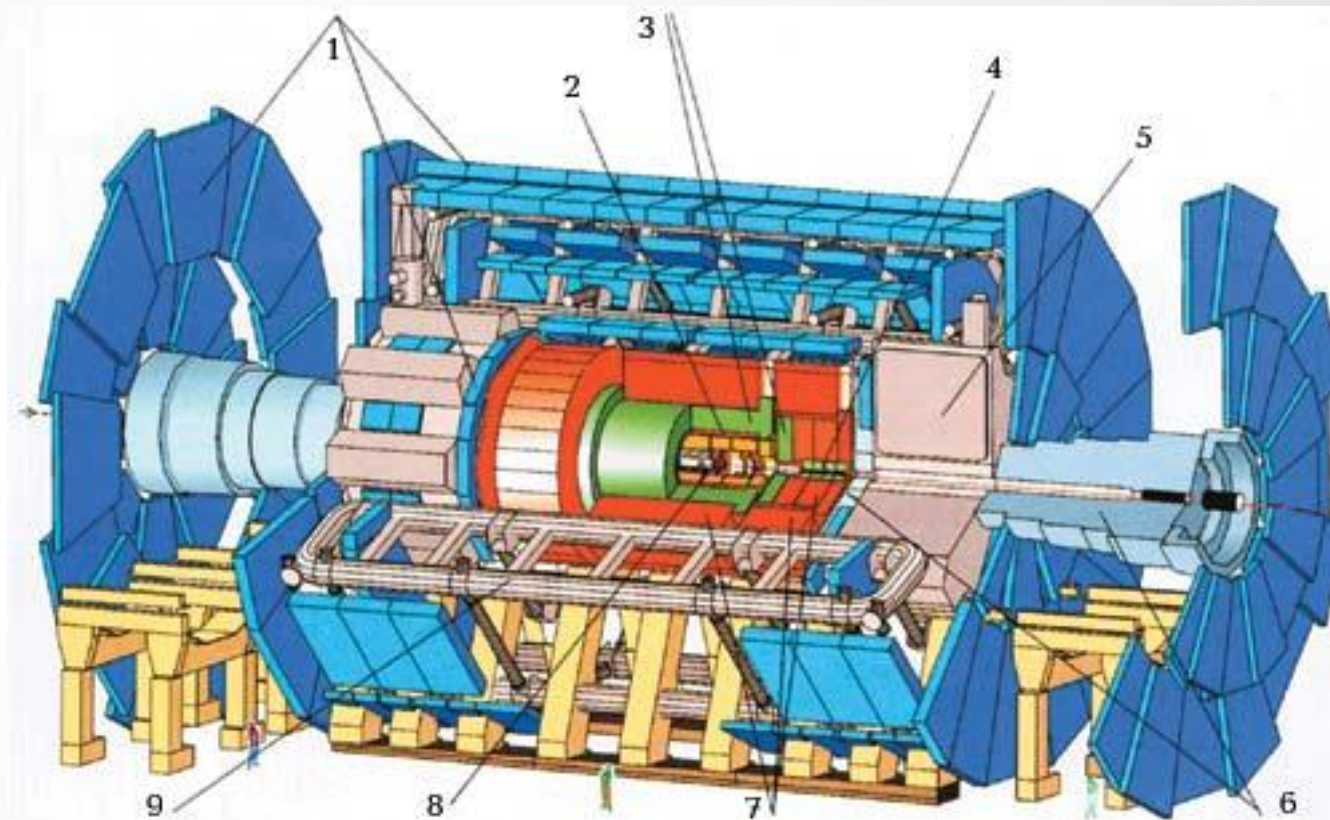
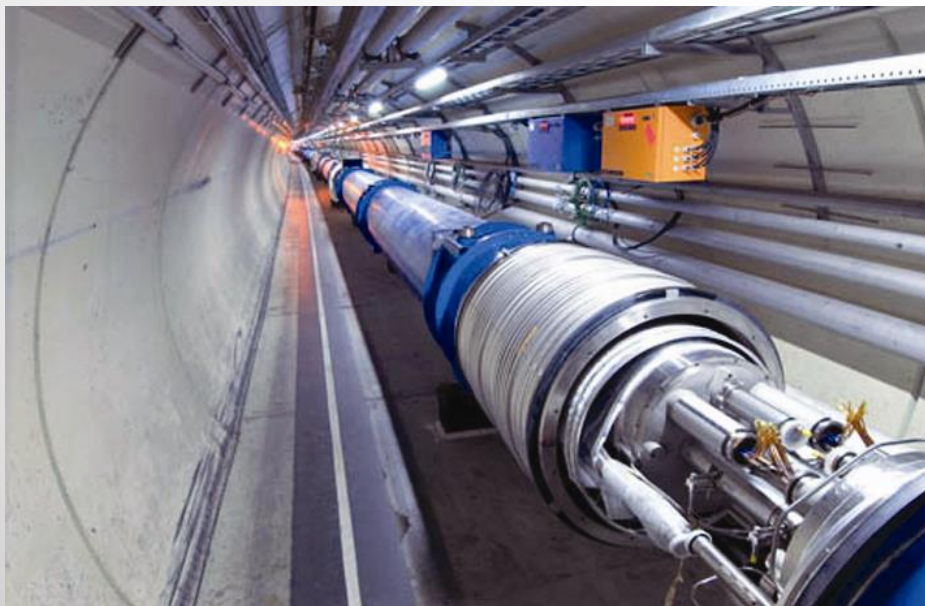
Спостереження та реєстрація йонізуючих випромінювань (заряджених частинок). Методи та прилади



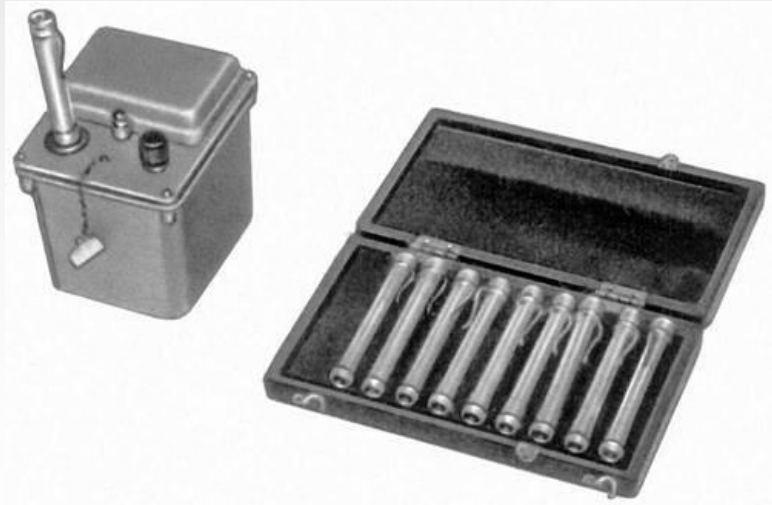
Новгород-Сіверський
ліцей №1
11 клас
Бельдяга Олена

Мета використання

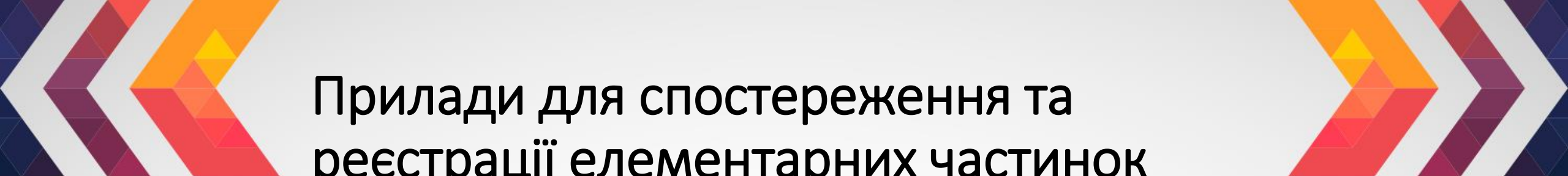
Одержання об'єктивної
інформації про елементарні
частинки та йонізуючі
випромінювання



Сучасна установка для реєстрації
елементарних частинок ATLAS



Новгород-сіверський ліцей №1. 2024. Бельдяга Олена



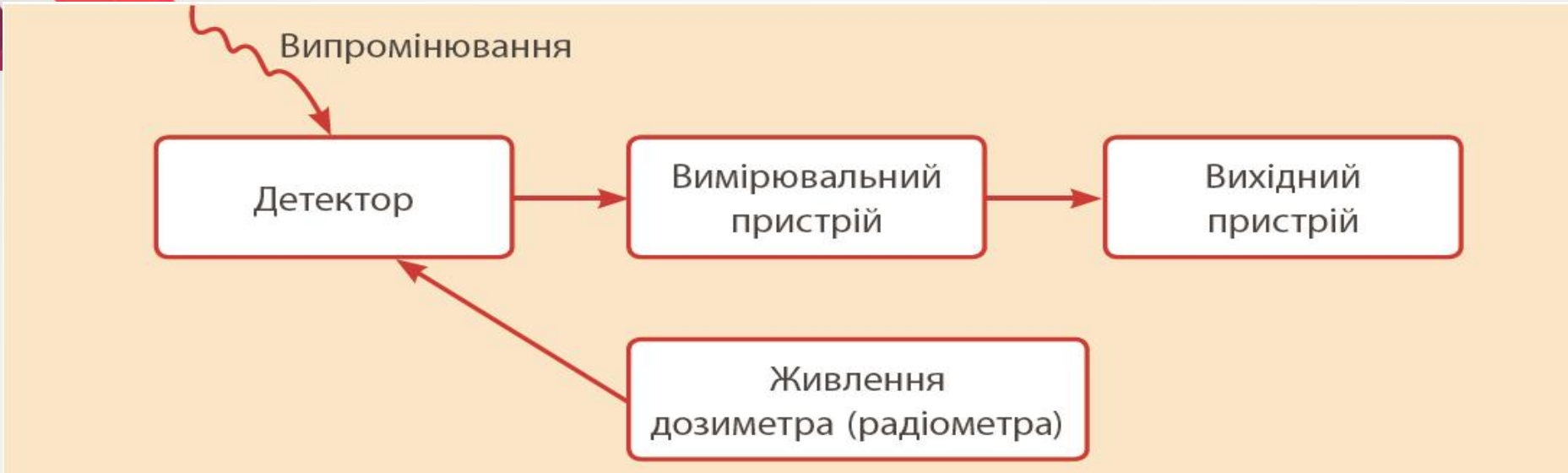
Прилади для спостереження та реєстрації елементарних частинок

Детектор (від латин. *detego* — виявляю) — це прилад для виявлення різних фізичних явищ, частинок, променів.

Дозиметр — прилад для вимірювання дози та потужності дози йонізуючого випромінювання.

Радіометр — прилад для вимірювання активності радіонукліда у джерелі випромінювання або в зразку.

Блок-схема дозиметра



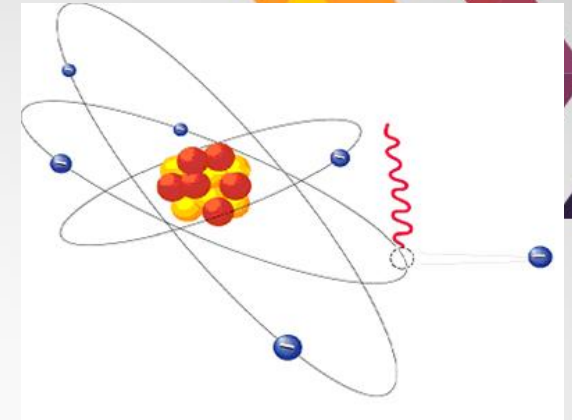
йонізаційний



люмінесцентний

Про рівень радіації свідчить частота звукових сигналів (кожний звуковий сигнал — це зафіксований квант γ -випромінювання).

Радіоактивні речовини та іонізуючі (радіоактивні) випромінювання: нейтрони, гамма-промені, бета- і альфа-частинки



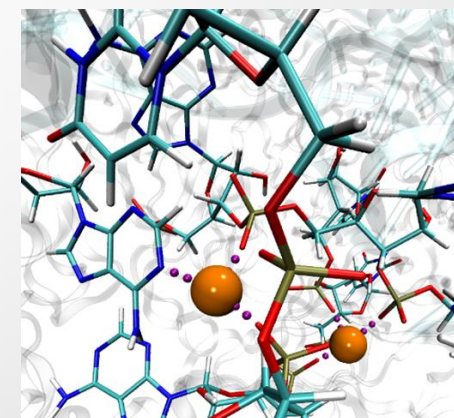
- ✓ Виявлення ґрунтується на здатності цих випромінювань іонізувати речовину середовища, в якому вони поширюються.
- ✓ Під час іонізації відбуваються хімічні та фізичні зміни у речовині, які можна виявити і виміряти.
- ✓ Йонізація середовища призводить до:
 1. засвічування фотопластинок і фотопаперу,
 2. зміни кольору фарбування, прозорості, опору деяких хімічних розчинів,
 3. зміни електропровідності речовин (газів, рідин, твердих матеріалів),
 4. люмінесценції (світіння) деяких речовин.

Методи спостереження і реєстрації елементарних частинок

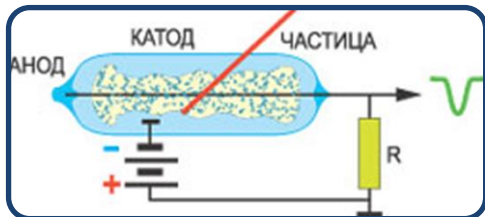


В основі роботи дозиметричних і радіометричних приладів застосовують такі методи індикації:

- фотографічний,
- сцинтиляційний,
- хімічний,
- іонізаційний,
- калориметричний,
- нейтронно-активізаційний.

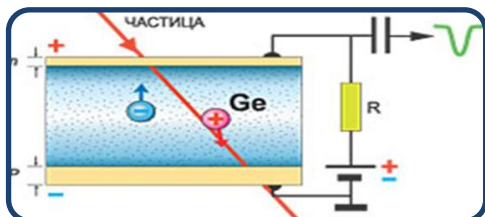


Прилади для спостереження та реєстрації заряджених частинок



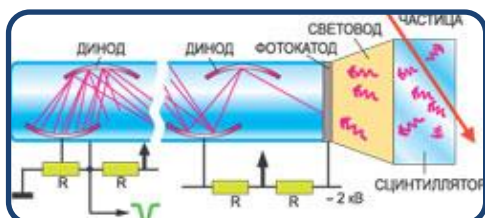
ДЕТЕКТОРИ, ЙОНІЗАЦІЙНІ КАМЕРИ

- здатність заряджених частинок і γ -квантів, які проходять через газ, йонізувати його.



ФОТОЕМУЛЬСІЙНІ ПЛАСТИНКИ, КРИСТАЛІЧНІ ЛІЧИЛЬНИКИ

- здатність зарядженої частинки йонізувати кристали броміду аргентуму, що містяться у фотоемульсії, або йонізувати кристали напівпровідника і, отже, різко змінювати його електропровідність.



СЦИНТИЛЯЦІЙНІ ТА ЧЕРЕНКІВСЬКІ ЛІЧИЛЬНИКИ

- флюоресценція, яка збуджується зарядженою частинкою, або світіння Черенкова при проходженні частинки крізь речовину.

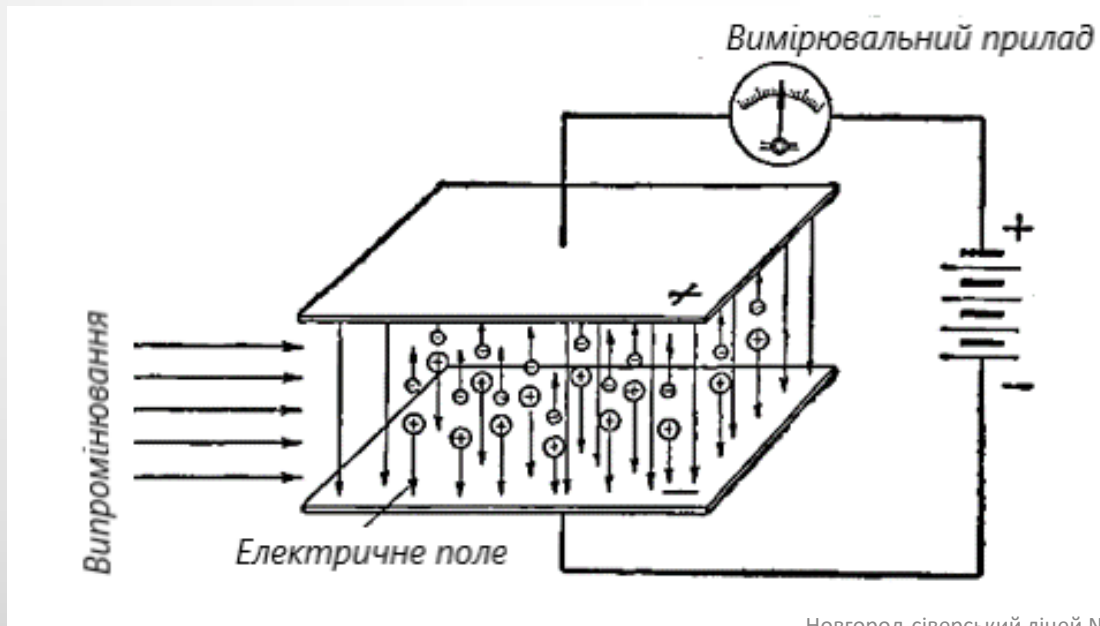


ТРЕКОВІ ПРИЛАДИ

для реєстрування треків заряджених частинок — камера Вільсона, дифузійна та бульбашкова камери.

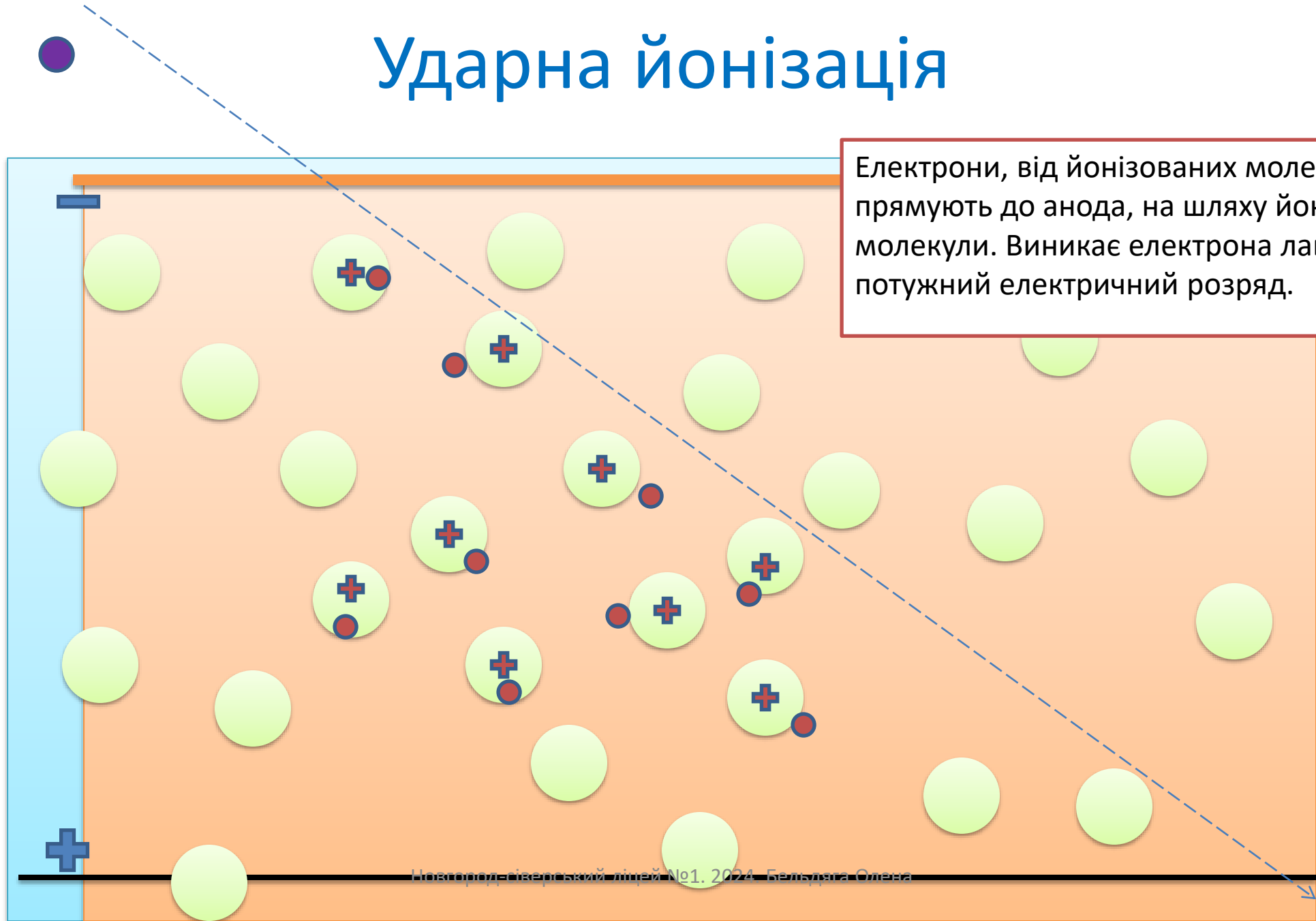
Йонізаційна камера

- Найпростіша йонізаційна камера має вигляд замкненої посудини, заповненої газом при певному тиску, всередині якої між електродами створюється електричне поле.



Ударна йонізація

Електрони, від йонізованих молекул прямують до анода, на шляху йонізують інші молекули. Виникає електрона лавина – потужний електричний розряд.



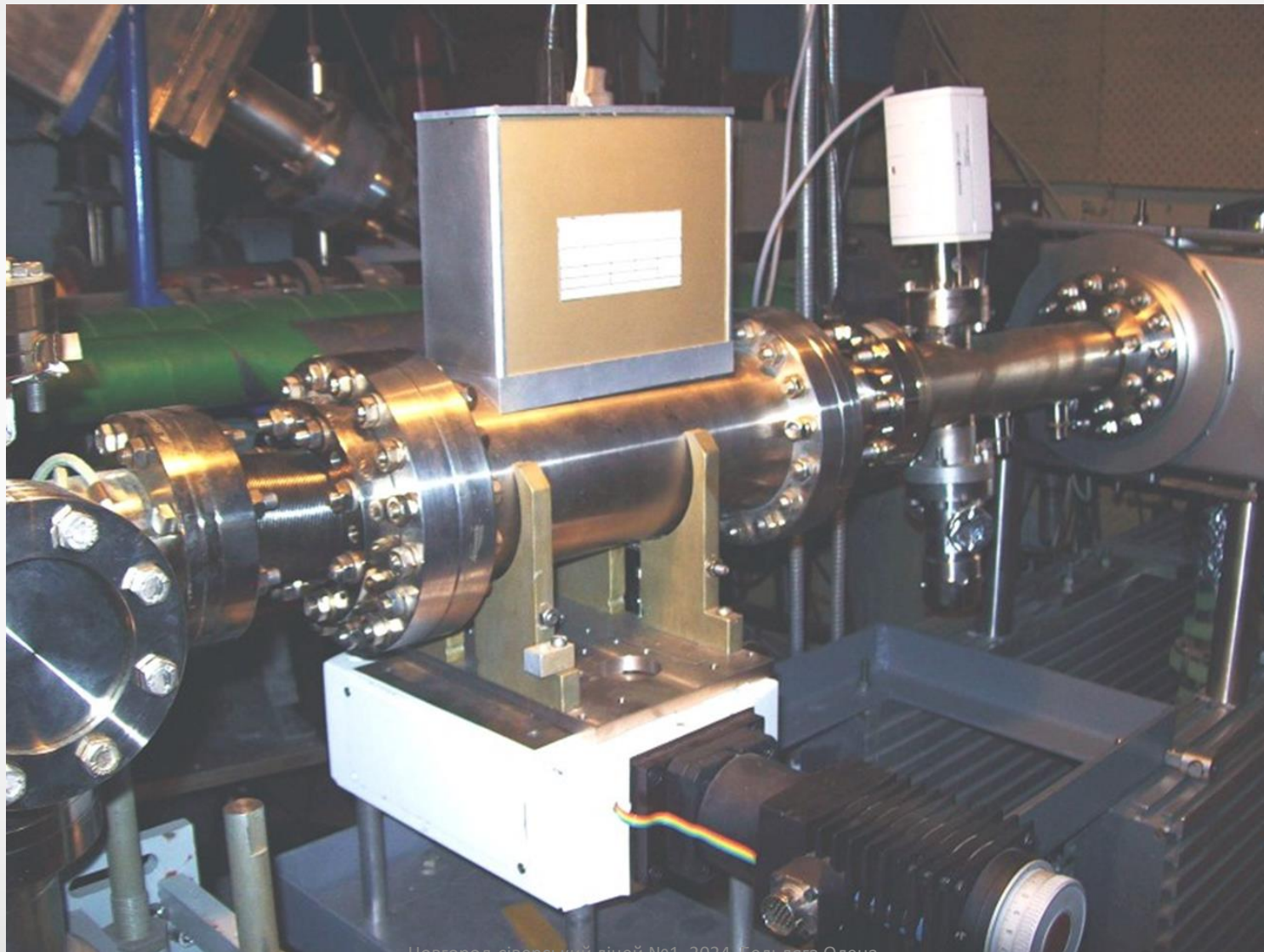
Йонізаційний метод . Йонізаційні камери

Під впливом радіоактивних випромінювань в ізолюваному об'ємі відбувається іонізація газу й електрично нейтральні атоми (молекули) газу розділяються на позитивні й негативні іони.

Якщо в цьому об'ємі помістити два електроди і створити електричне поле, то під дією сил електричного поля електрони з від'ємним зарядом будуть переміщуватися до анода, а позитивно заряджені іони — до катода, тобто між електродами проходитиме електричний струм, названий іонізуючим струмом і можна робити висновки про інтенсивність іонізаційних випромінювань.

Зі збільшенням інтенсивності, а відповідно й іонізаційної здатності радіоактивних випромінювань, збільшиться і сила іонізуючого струму.

Йонізаційна камера



Йонізаційна камера



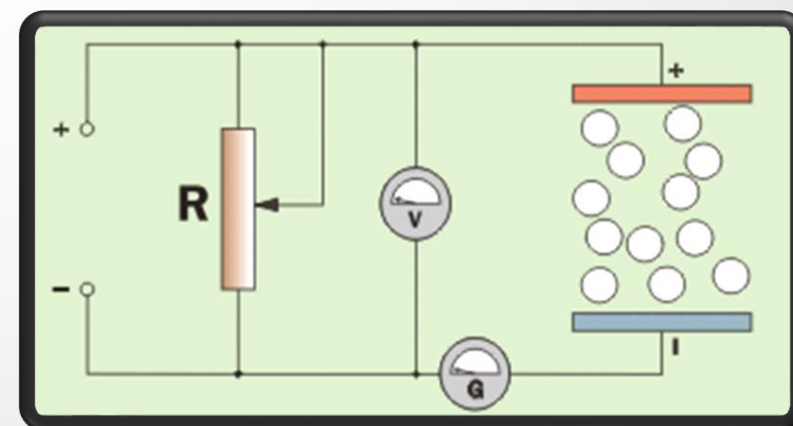
Види йонізаційних камер

лічильно-йонізаційні, розраховані на реєстрацію проходження через камеру однієї якої-небудь частинки

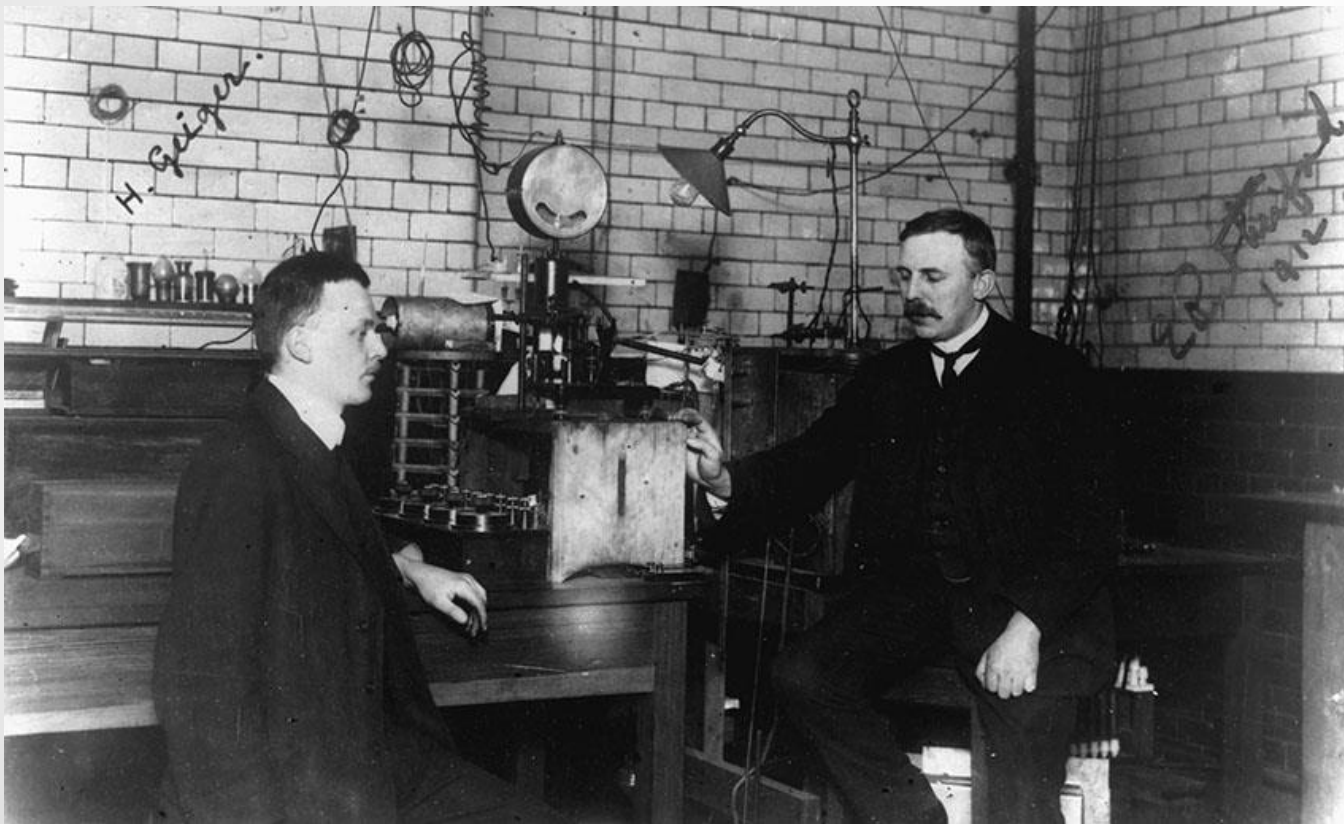
інтегруючі йонізаційні, які застосовують для вимірювання інтенсивності потоку частинок

пропорційні лічильники

лічильники із самостійним газовим розрядом — лічильники Гейгера — Мюллера



Лічильник Гейгера-Мюллера

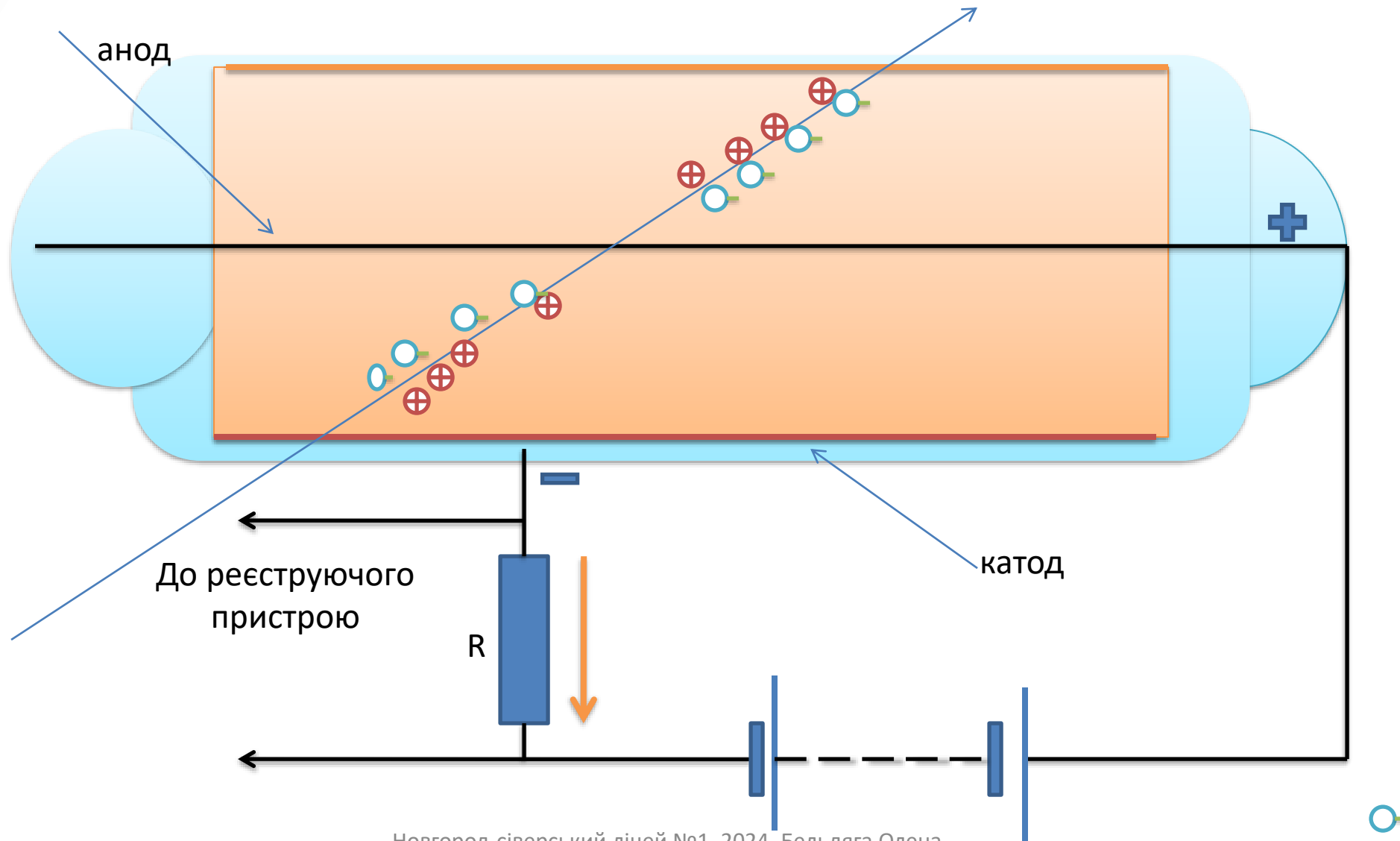


Лічильники фіксують факт проходження частинки, визначаючи момент часу (іноді з високою, до наносекунд, 10^{-9} с, точністю) та величину енергії, що втрачається частинкою.

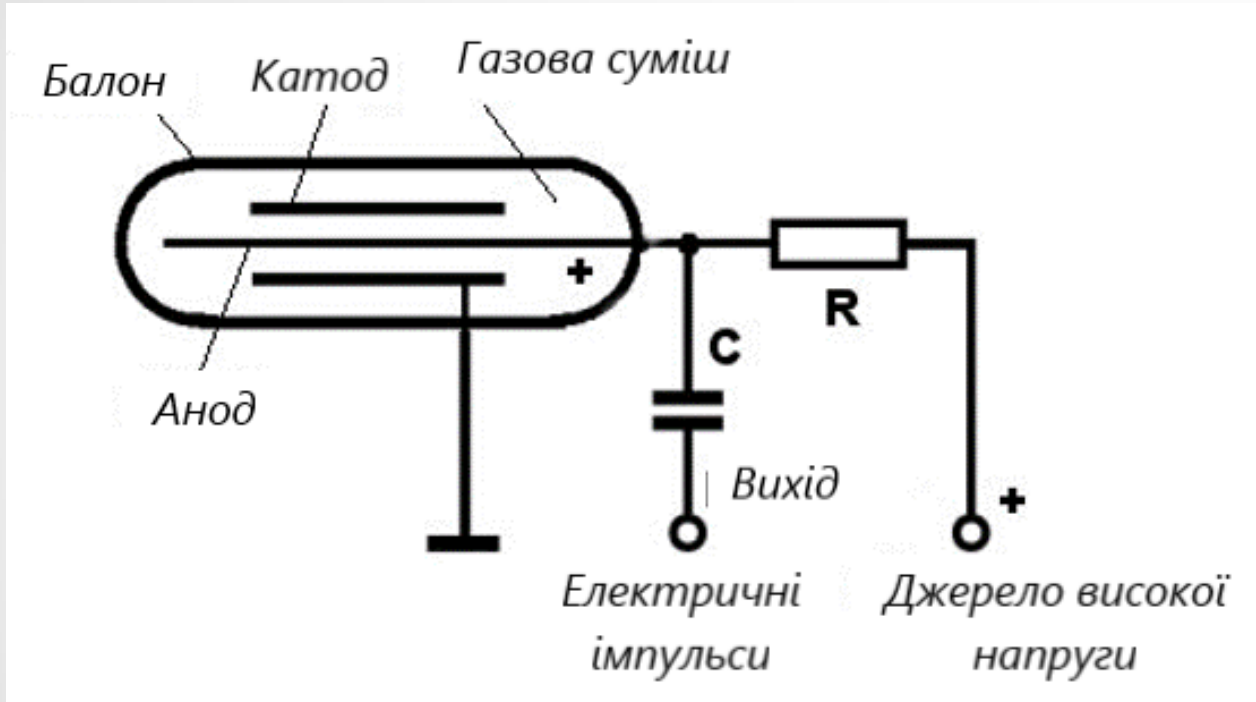




Принцип роботи лічильника Гейгера



Лічильник Гейгера-Мюллера



Лічильник використовується для реєстрації **електронів та γ -квантів** (фотонів великої енергії).

Реєструє майже всі потрапляючі електрони

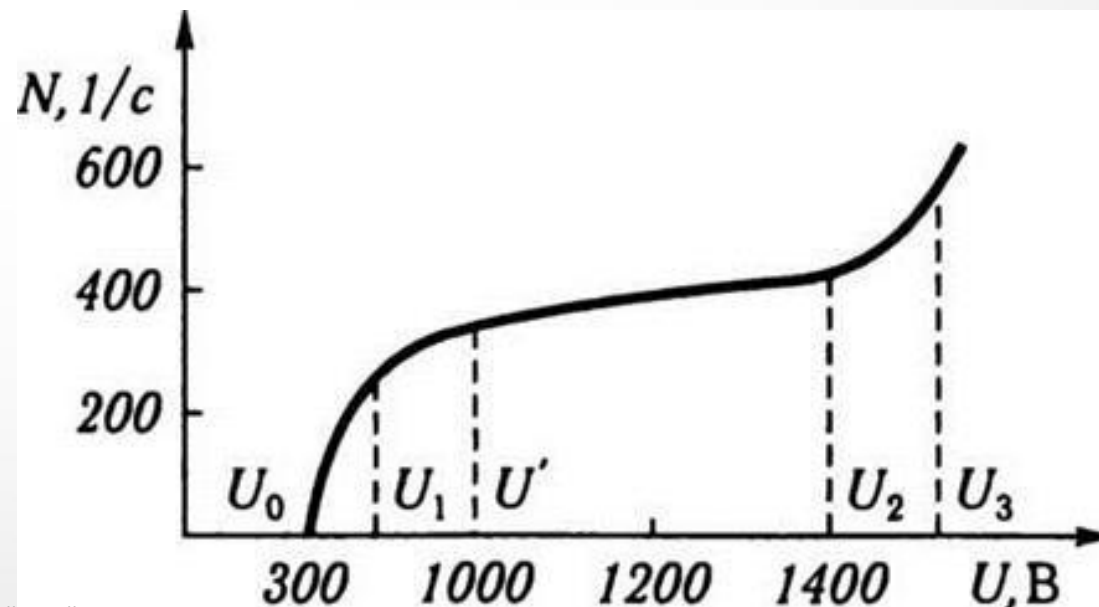
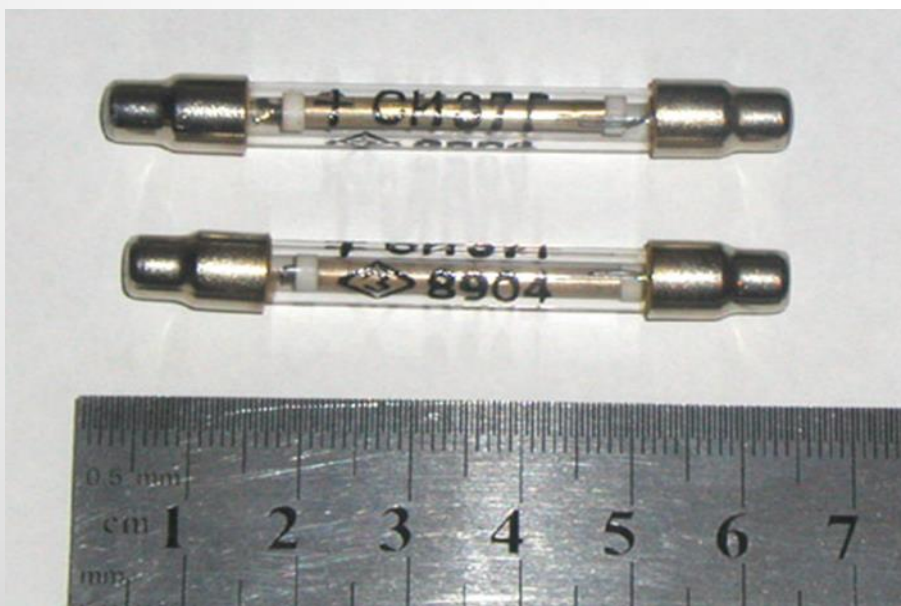
Для реєстрації γ -квантів стінки трубки покривають речовиною, з якої кванти вибивають електрони

- До електродів лічильника прикладають напругу 0,8...3 кВ.

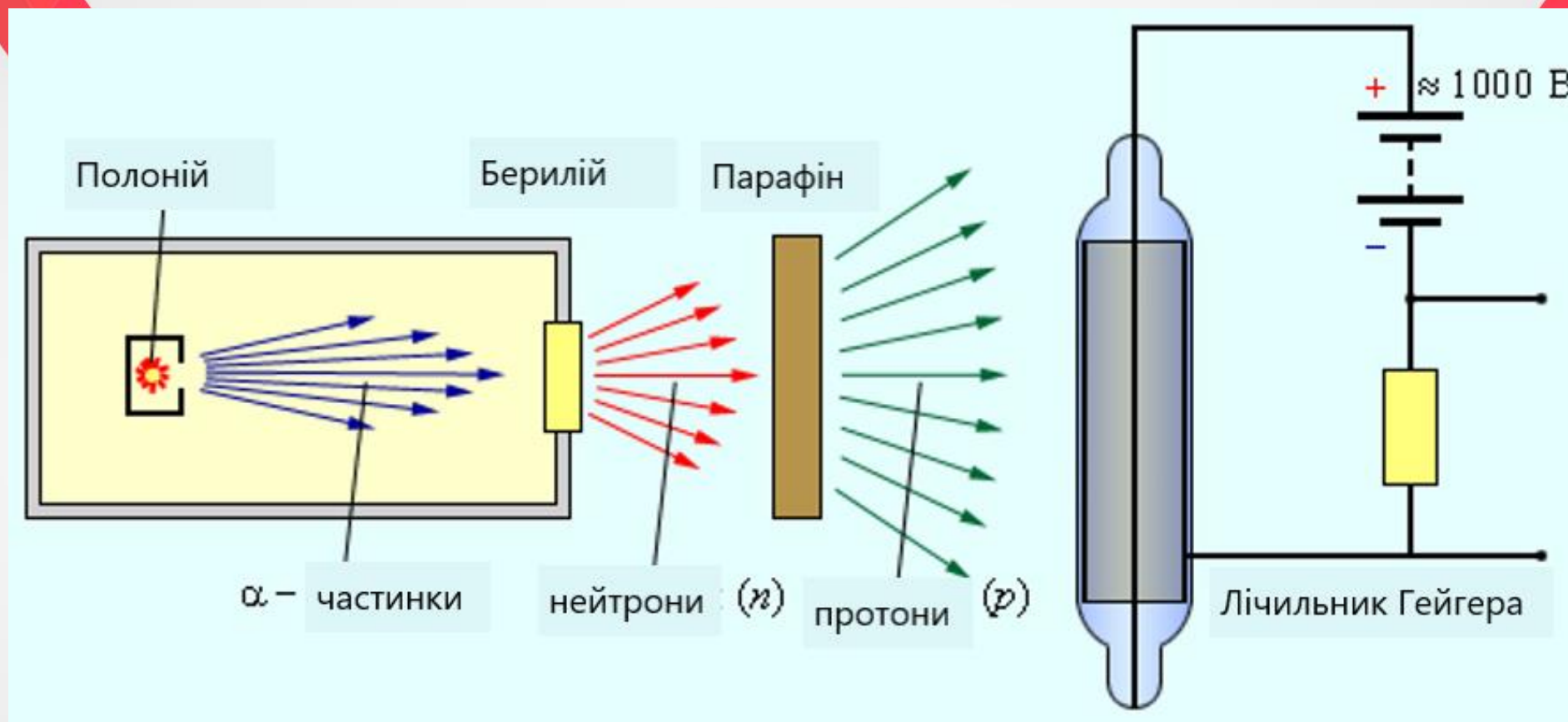


Лічильник Гейгера-Мюллера

- Кількість відліків, яку може зробити лічильник за одиницю часу (роздільна здатність), залежить також від прикладеної до електродів лічильника напруги.
- За допомогою одного лічильника Гейгера — Мюллера можна лише зареєструвати факт проходження частинки через лічильник.



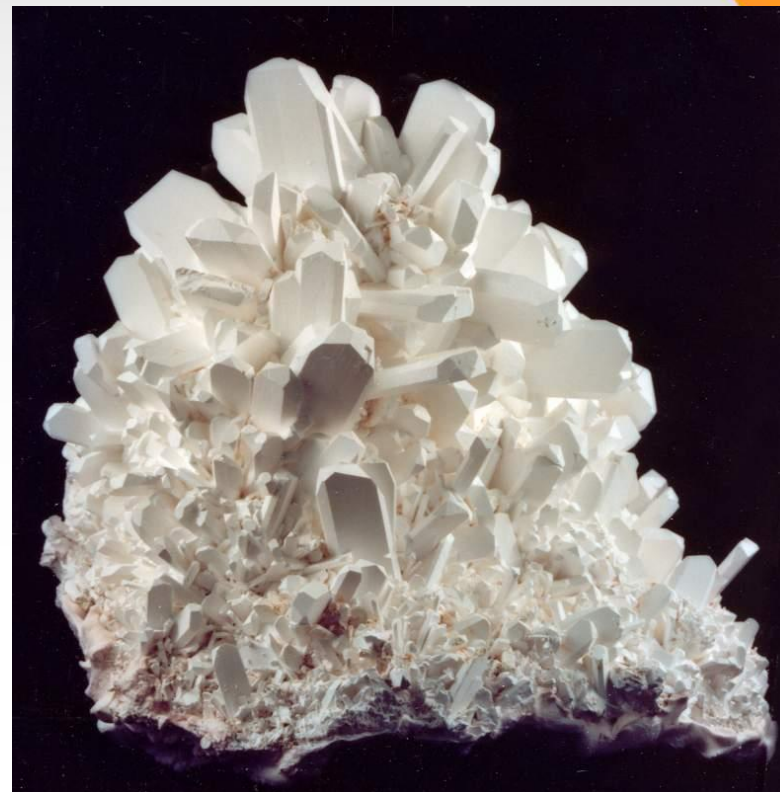
Відкриття Чедвіком нейтрона. 1932 рік



Пряма реєстрація нейтральних частинок неможлива: вони речовина не іонізують і дають знати про себе лише в ході взаємодій з утворенням заряджених частинок, які їх «засвічують». Так був відкритий нейтрон (по протонам віддача), гамма-квант (по-електрон позитронних парах) і багато інших «нейтралів».

Сцинтиляційний метод

Сцинтиляційні лічильники



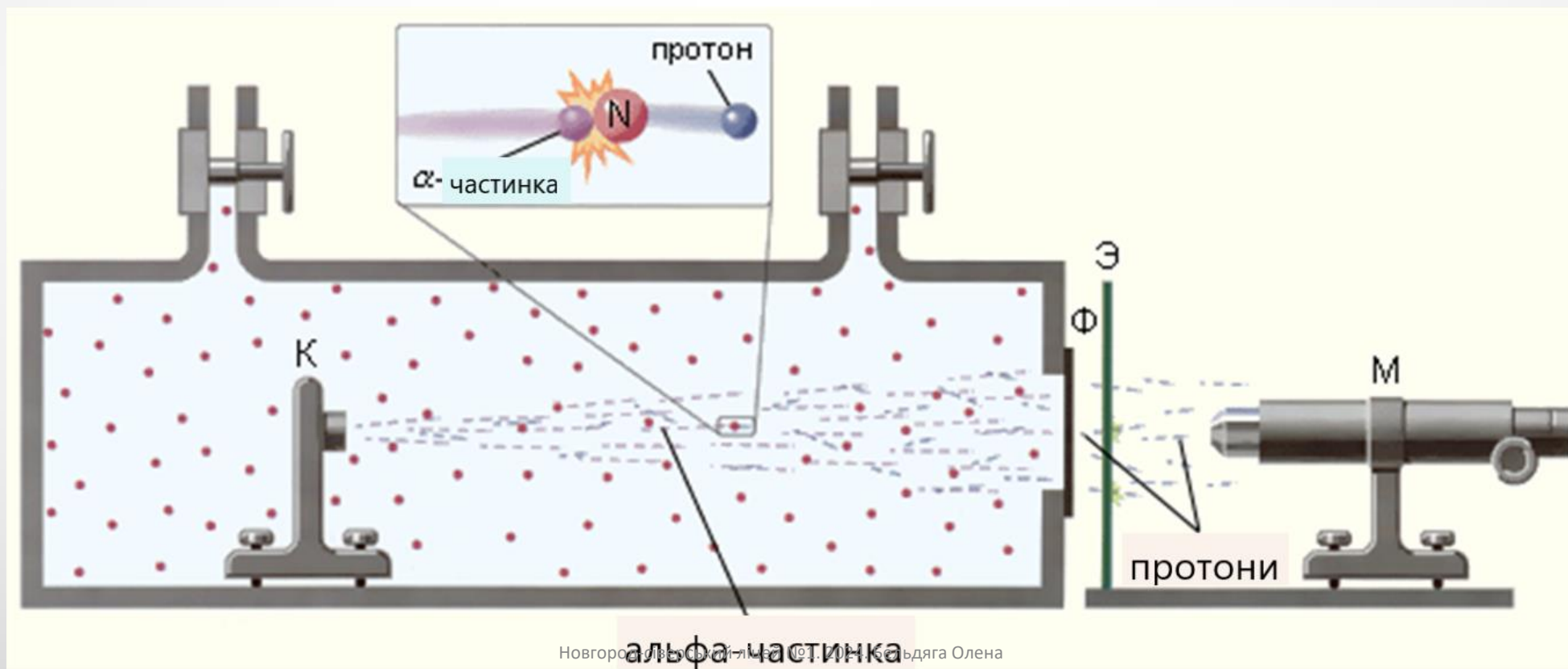
Під впливом радіоактивних випромінювань деякі речовини (сірчистий цинк, йодистий натрій) світяться.

Спалахи світла, які виникають, реєструються, і фотоелектронним посилювачем перетворюються на електричний струм.

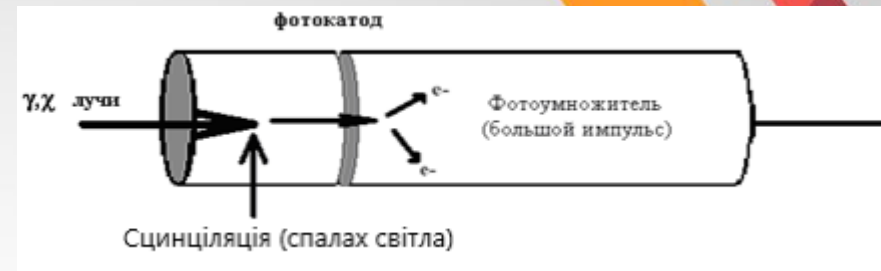
Вимірюваний анодний струм і швидкість рахунку (рахунковий режим) пропорційні рівням радіації.

Сцинтиляційні лічильники

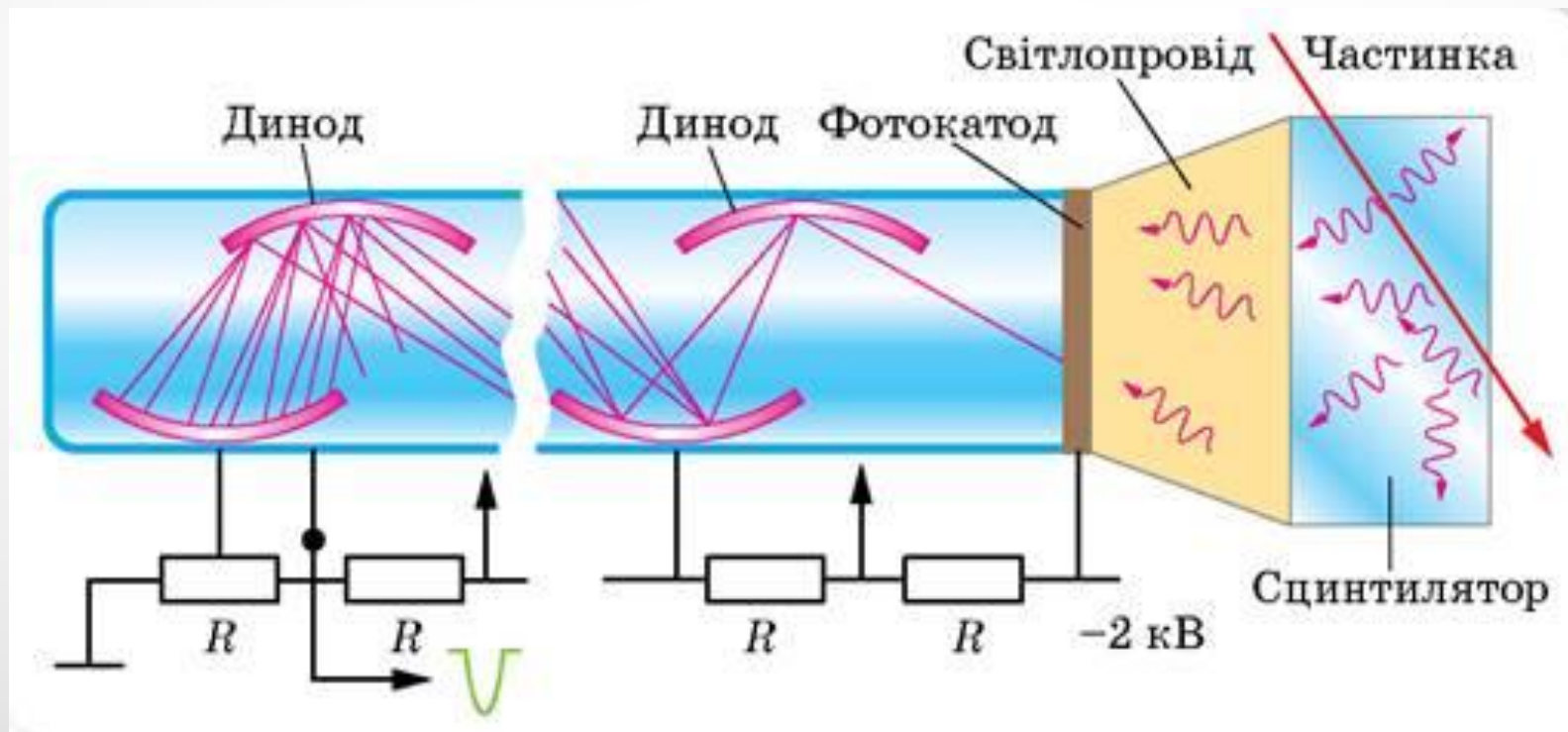
- Позитивною властивістю сцинтиляційних лічильників є виключно короткий час та висока ефективність лічби, яка на кілька порядків перевищує ефективність іонізаційних лічильників.



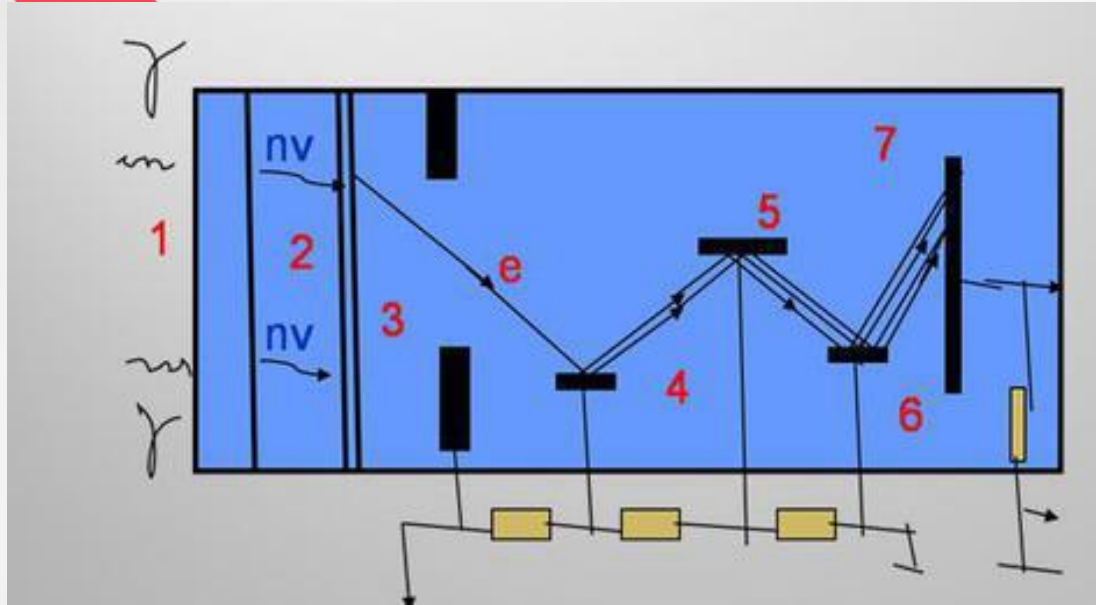
Сцинтиляційні лічильники



- У сцинтиляторах під дією заряджених частинок виникають спалахи люмінесценції. Це слабе світіння в мільйони разів посилюють фотоелектронні помножувачі (ФЕУ).
- Сцинтиляційні лічильники з'явилися в середині минулого століття і успішно використовуються по сьогоднішній день



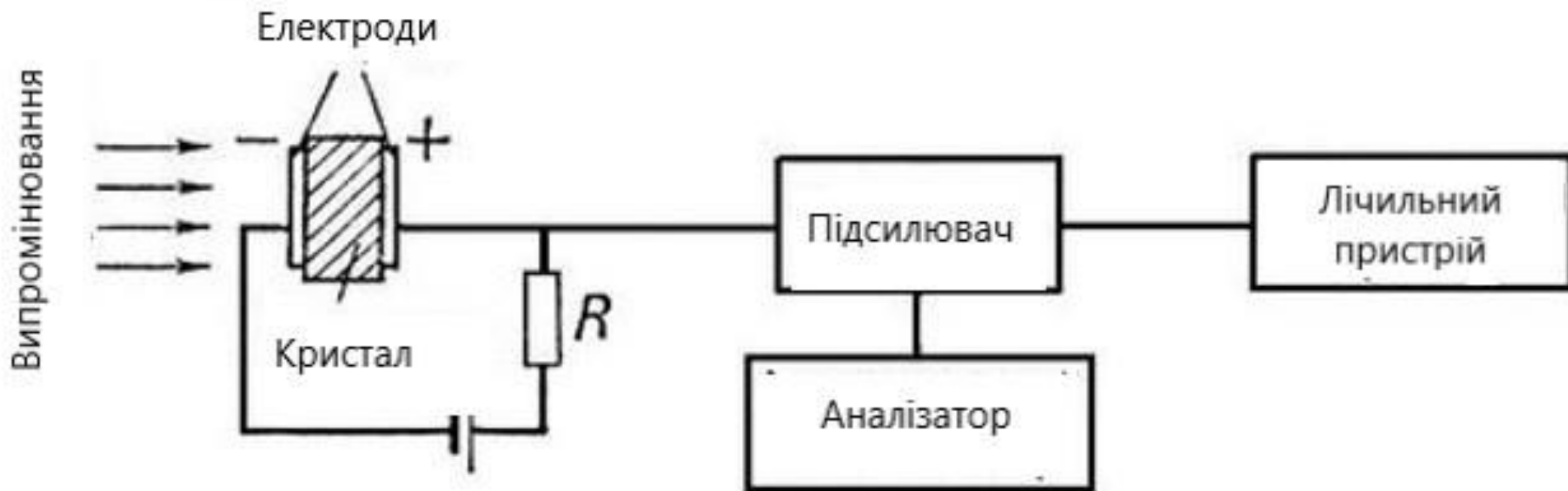
Сцинтиляційні лічильники



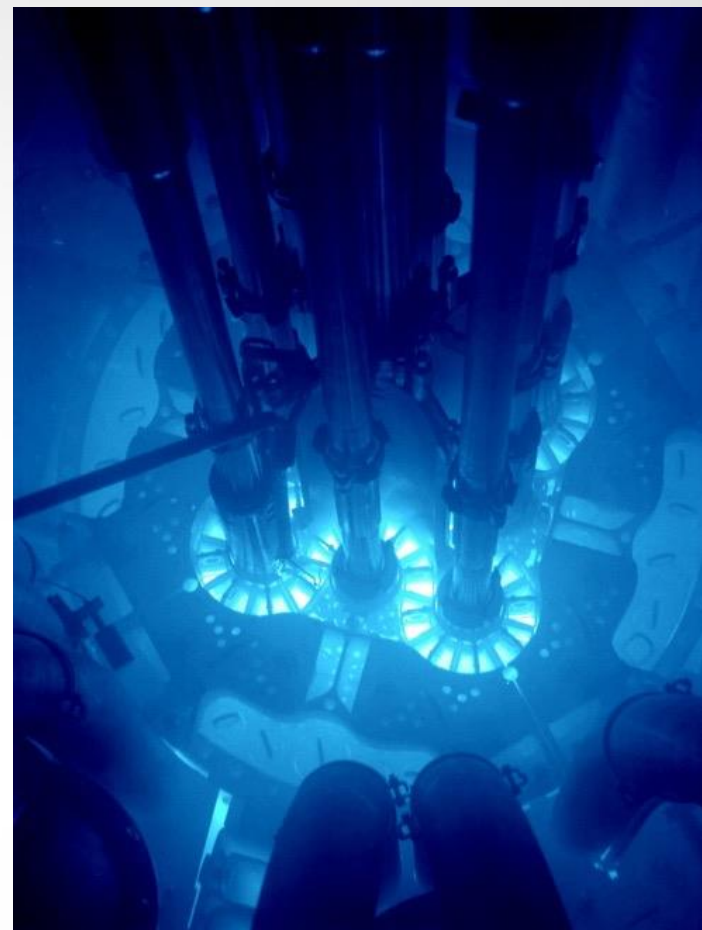
- Використовуються для реєстрації ядерних випромінювань і елементарних частинок (протонів, нейтронів, електронів, γ -квантів, мезонів і тд).
- Основний елемент – речовина – екран напівпрозорий, покритий сульфідом цинку , що люмінесціює під дією заряджених частинок (сцинтилює, сцинтиляція, сцинтилятор).
- Прилад складається з сцинтилятора, фотоелектроного помножувача та електронної системи.

Напівпровідникові (кристалічні) лічильники

- Простота пристрою та експлуатації, малі розміри, висока чутливість і швидке зростання імпульсу струму є характерними позитивними властивостями кристалічних лічильників.



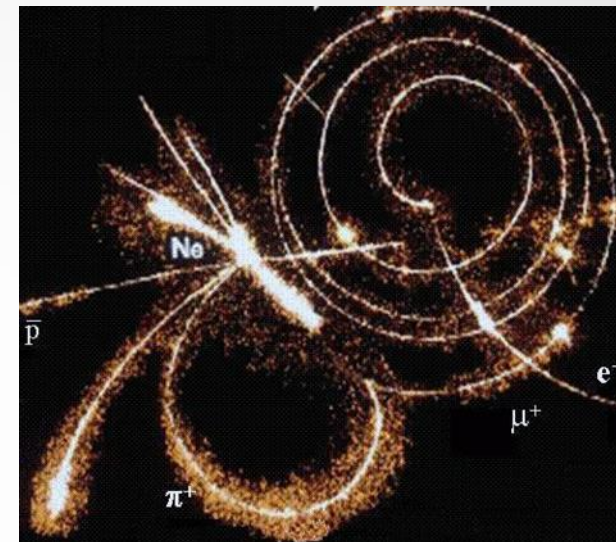
Лічильники Черенкова



- Дія цих приладів ґрунтується на використанні світіння Вавилова — Черенкова.
- Лічильники Черенкова за принципом дії подібні до сцинтиляційних лічильників, але в них замість люмінофору використовується речовина, в якій досліджувана частинка зумовлює видиме черенківське випромінювання.

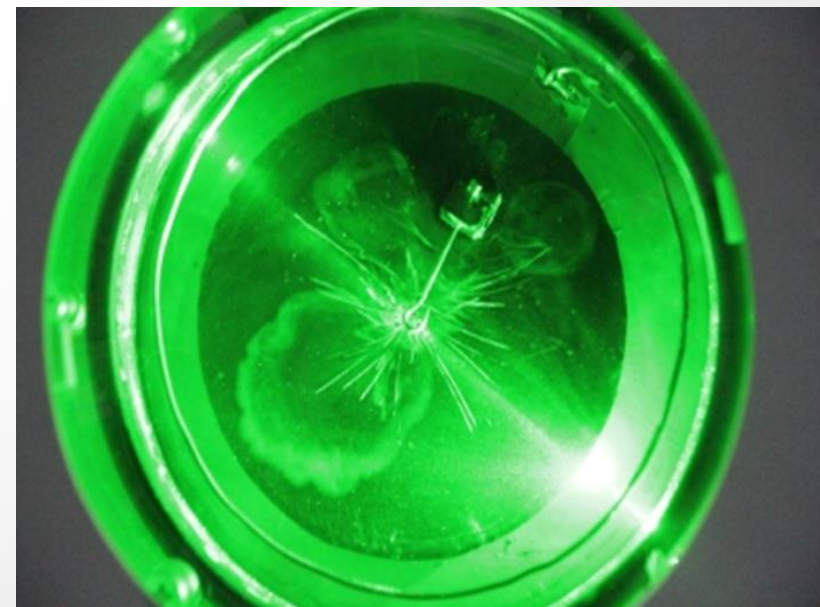
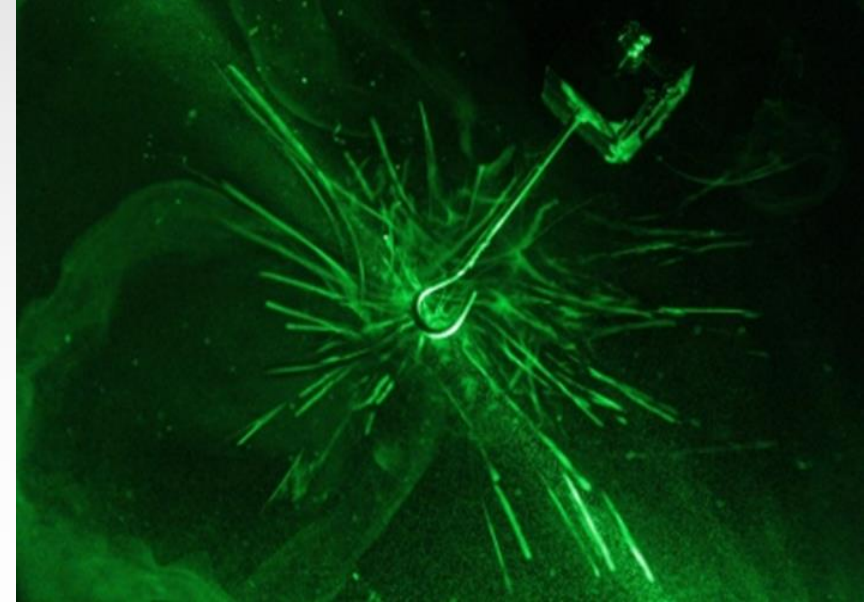
Трекові прилади (камери)

У цих приладах іони є центрами конденсації перенасиченої пари і центрами, на яких утворюється пара в перегрітій рідині

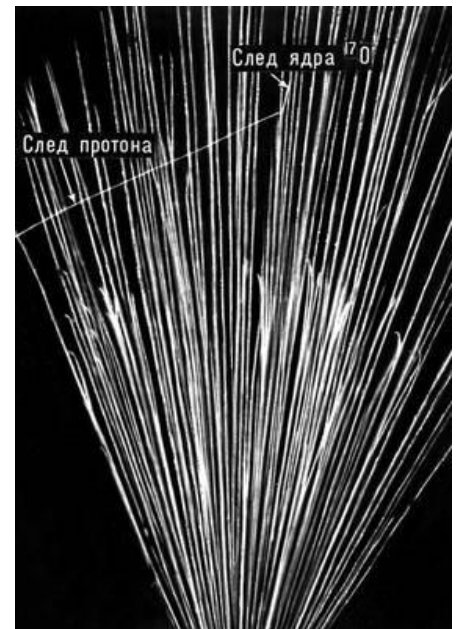
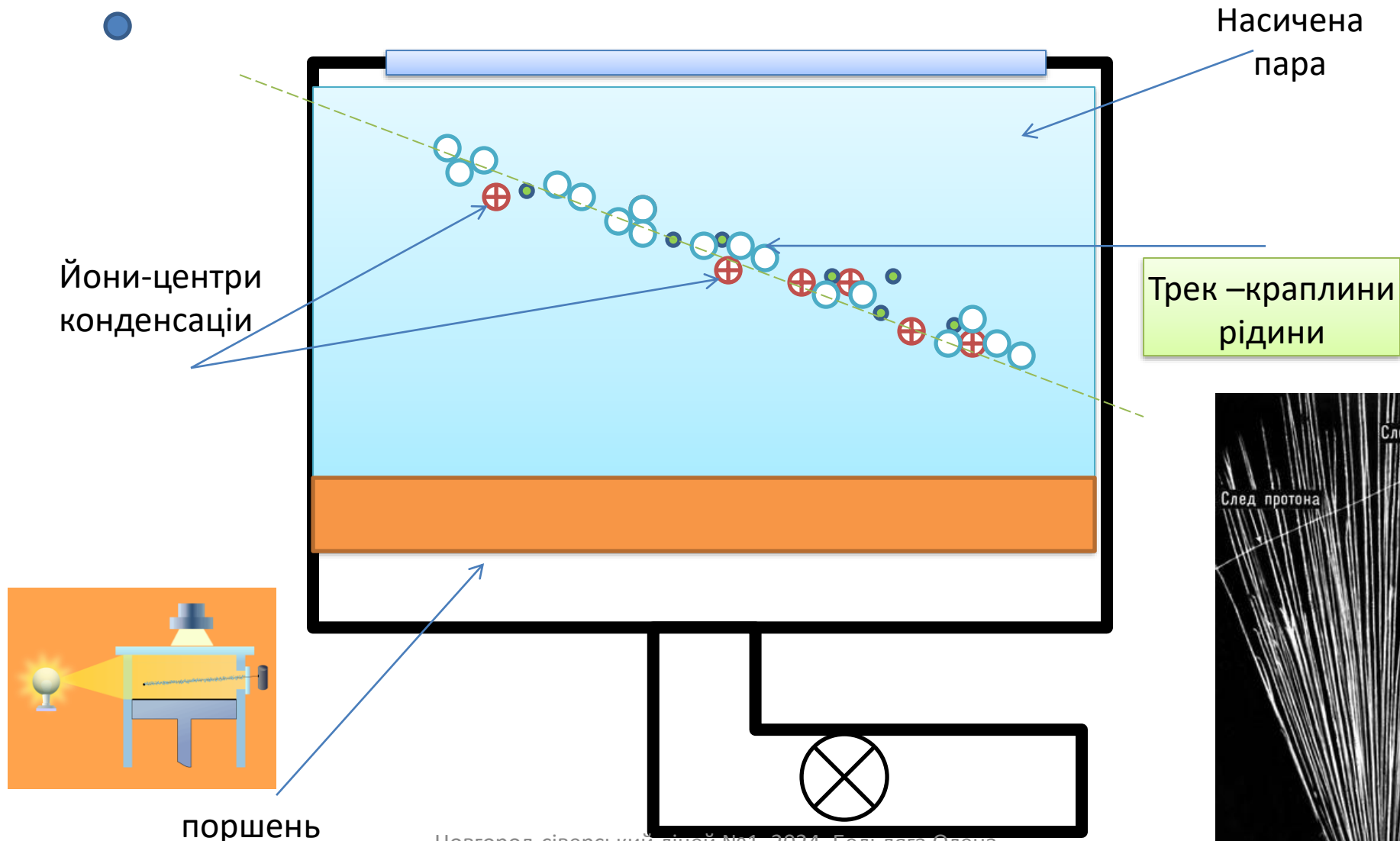


Камера Вільсона

- Використовується для спостереження треків заряджених частинок і визначення по ним характеристик цих частинок.
- Робочим тілом камери Вільсона є насичений пар в нестійкому стані
- Камера Вільсона має вигляд герметично замкненого об'єму (робочий об'єм), заповненого якимось газом, що не конденсується (повітря, водень, гелій, аргон, азот), і насичений парами деяких рідин, найчастіше парою суміші рідин (вода і спирт)

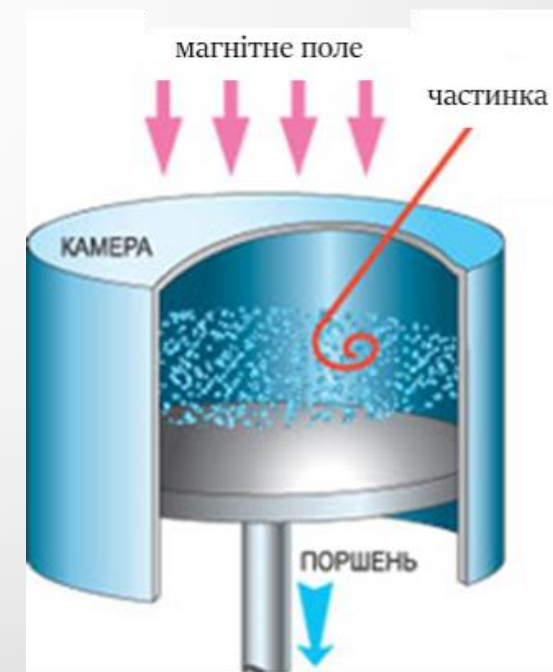


Принцип роботи камери Вільсона

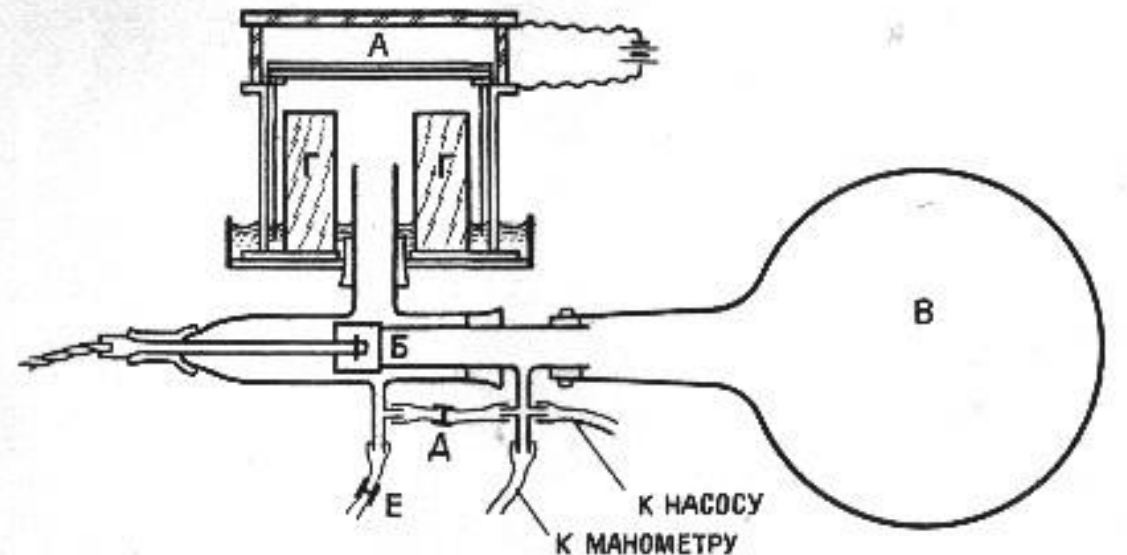
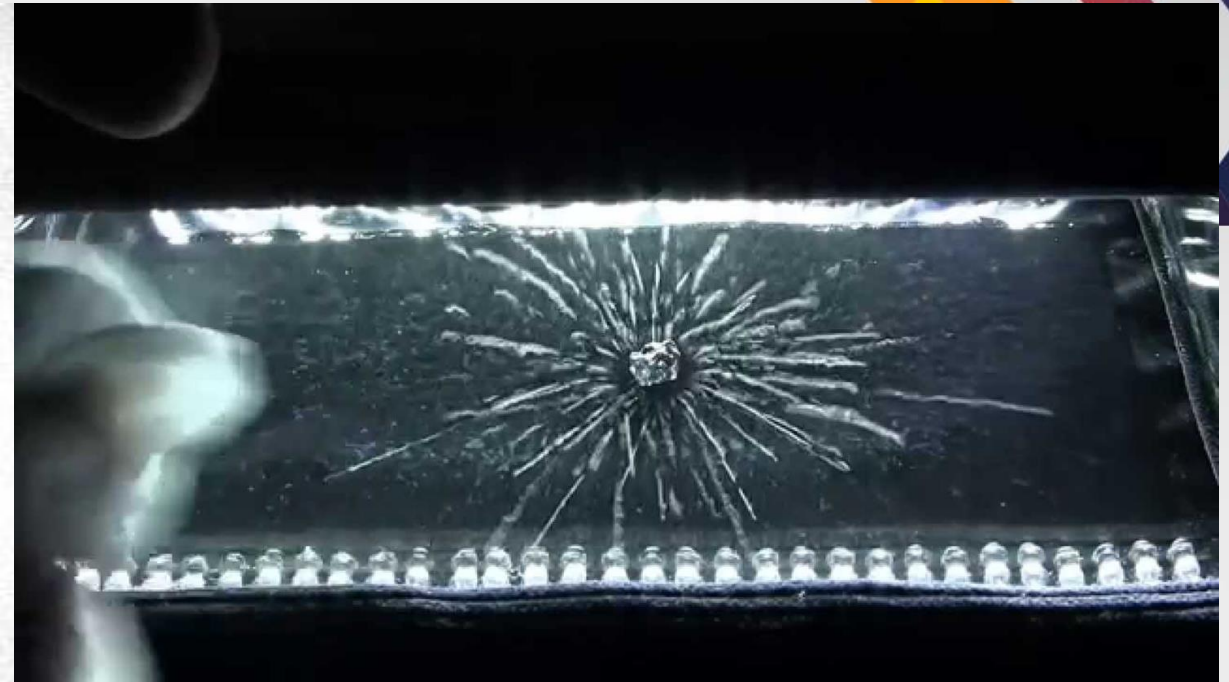
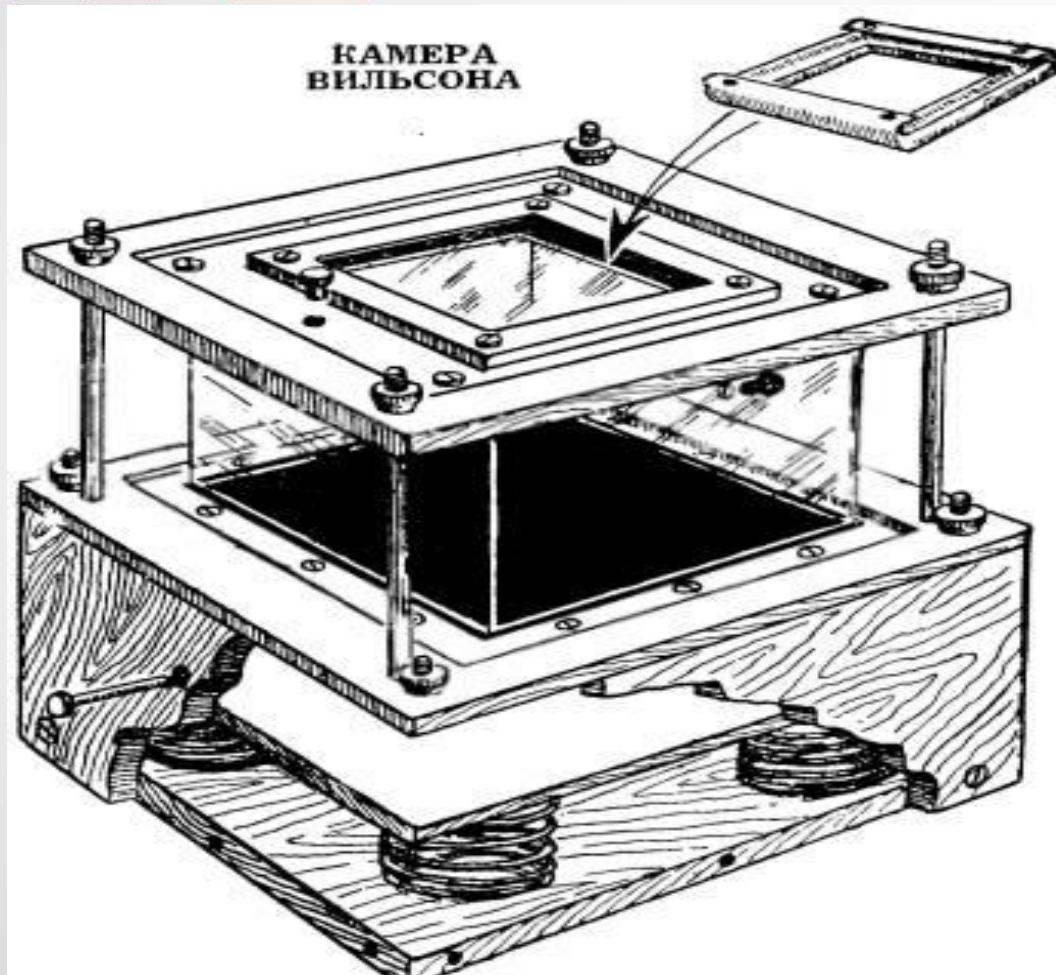


Камера Вільсона

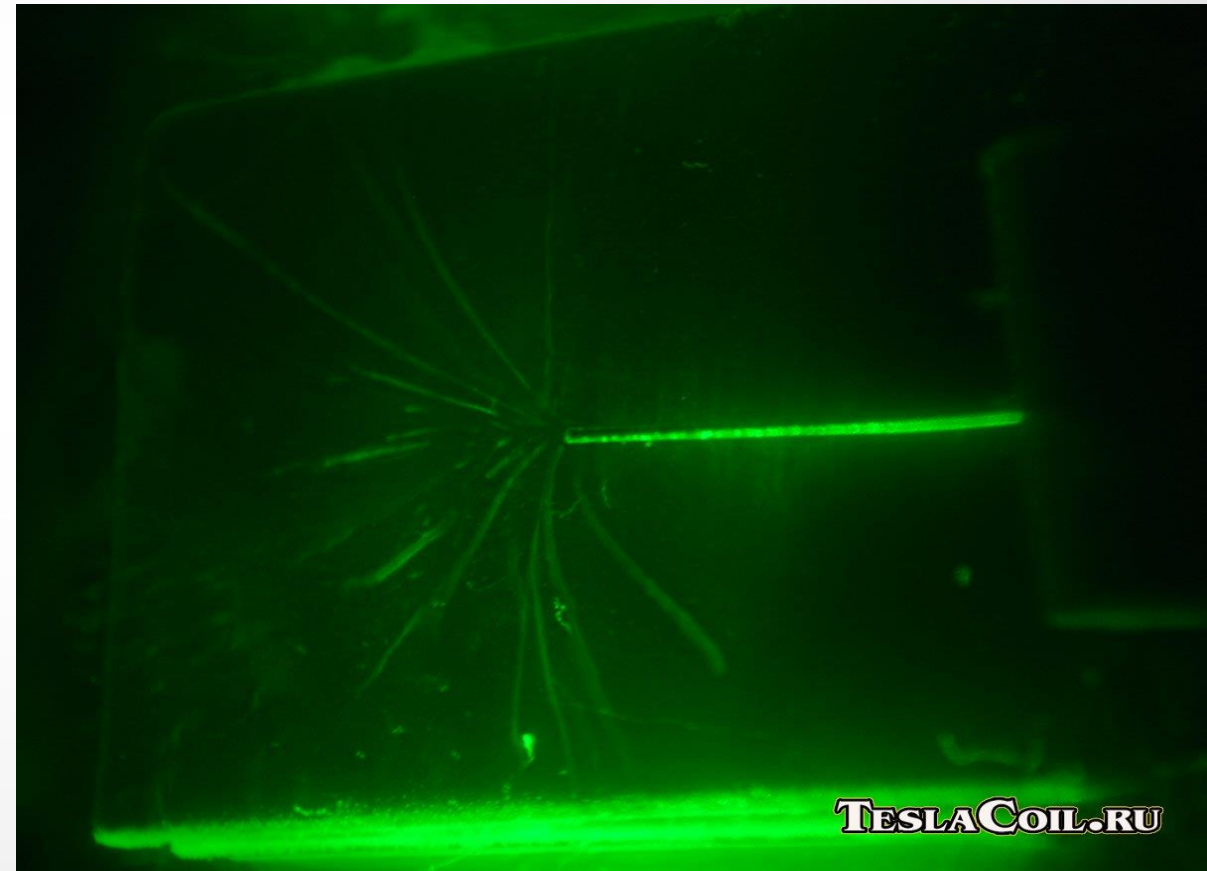
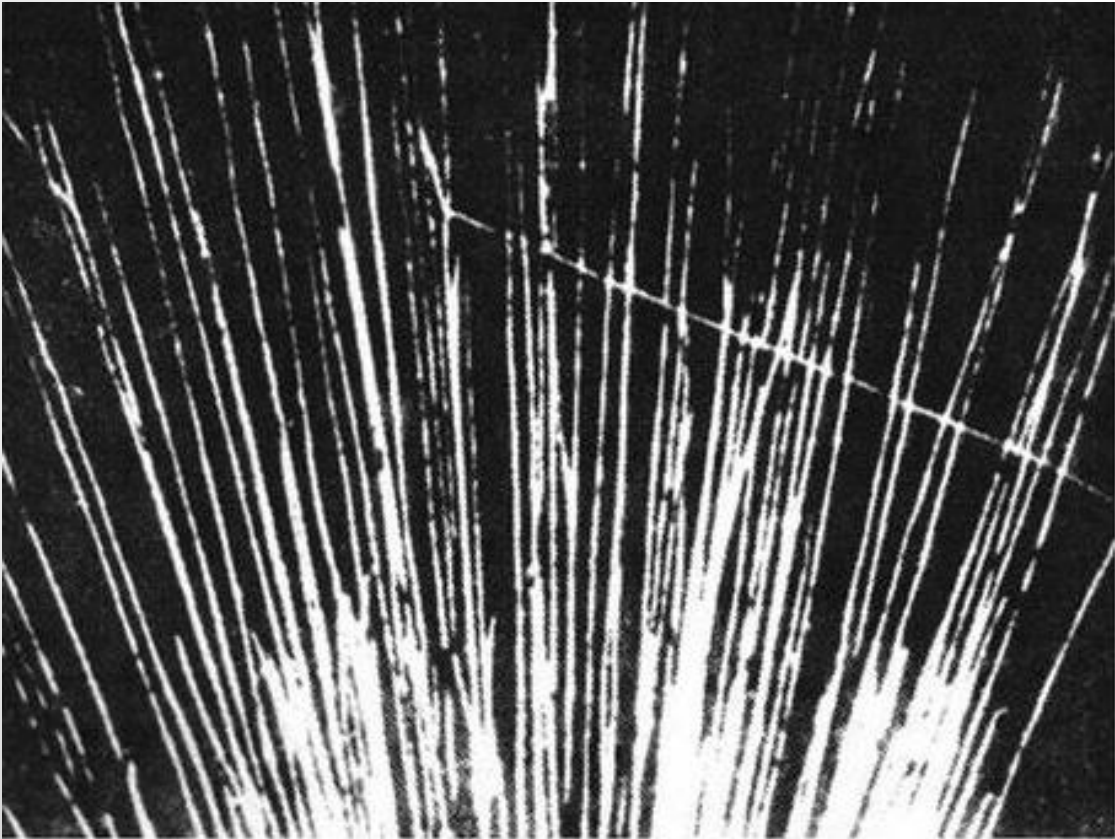
- Історично- це перший трековий прилад, за допомогою якого безпосередньо спостерігали сліди окремих заряджених частинок та ядерні перетворення, створений англійським фізиком Ч. Вільсоном (1912 р.)
- Нобелівська премія 1927 рік.
- Це перше «вікно» у мікросвіт.
- Радянські фізики П. Капіца, Д. Скобельцин запропонують помістити камеру Вільсона в однорідне магнітне поле



Камера Вільсона

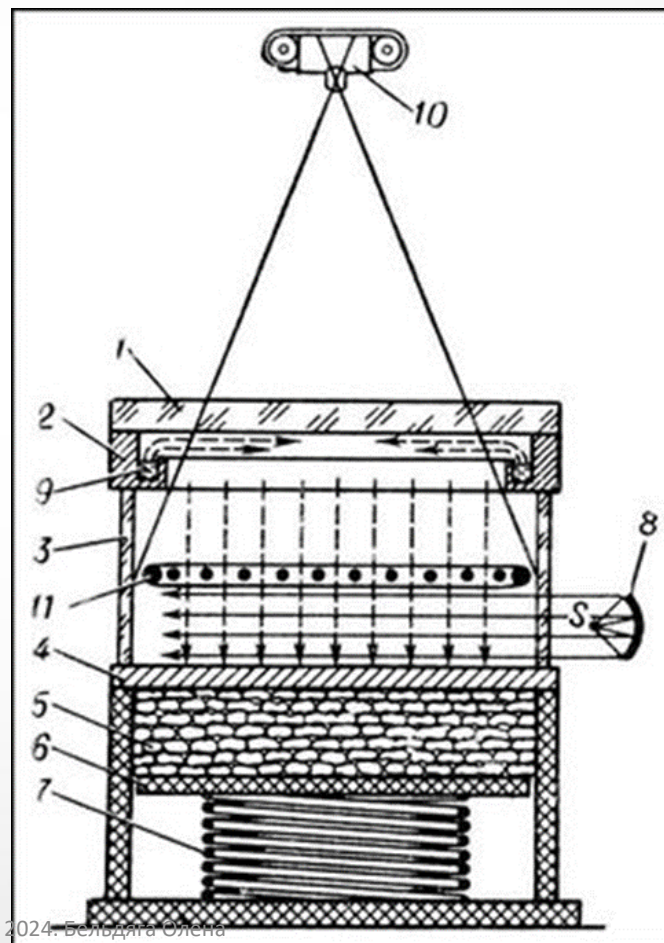


За зовнішнім видом треків (радіус заокруглення у магнітному полі, товщина) обчислюють швидкість, питомий заряд, енергію заряджених частинок



Дифузійна камера

- Дифузійна камера — прилад, призначений для спостереження треків іонізуючих частинок, який вперше запропонував А. Лангдорф (1939 р.)
- Дифузійна камера — це видозмінена конструкція камери Вільсона, але на відміну від якої дифузійна камера весь час перебуває в робочому стані.
- В основі її роботи лежить також явище конденсації краплинок з пересиченої пари на іонах уздовж траєкторії частинки, що пролітає.



Бульбашкова камера

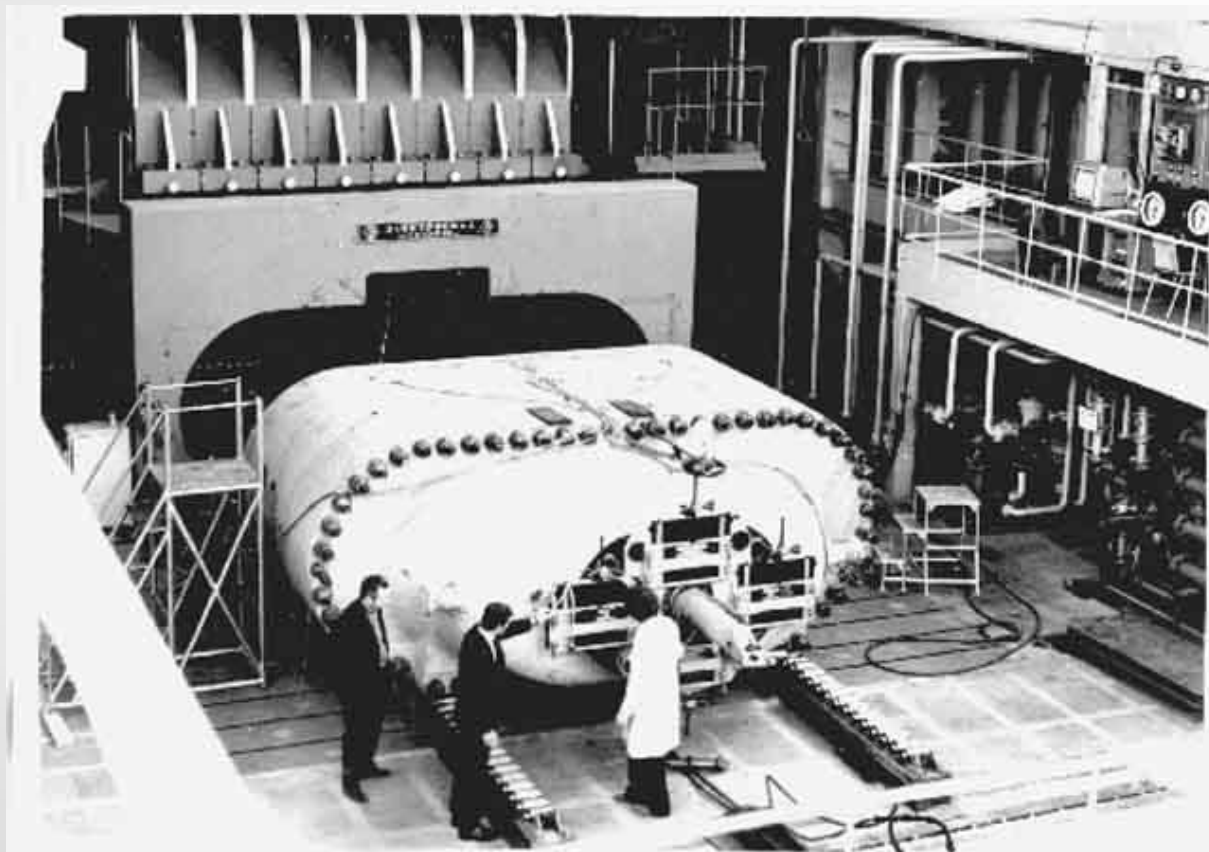
- Істотним недоліком камери Вільсона та дифузійної камери є мала гальмівна здатність робочих речовин, які використовуються в них. У 1952 р. Д. Глезер (США) побудував прилад, що дістав назву бульбашкової камери



- Перші треки, отримані в бульбашковій камері



Бульбашкова камера

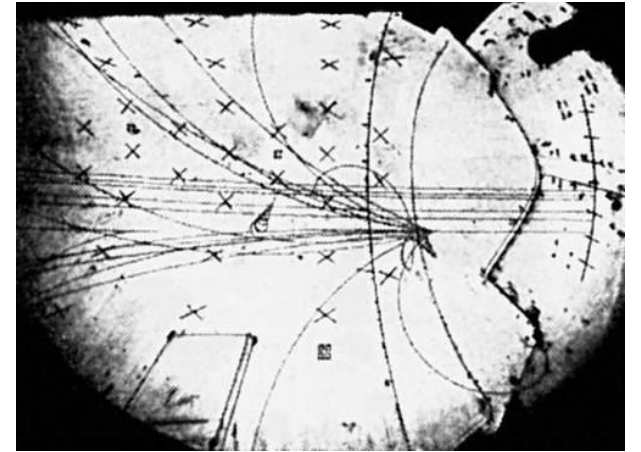


- Бульбашкові камери фіксують високоенергійні частки.
- Робоче тіло бульбашкового камери є рідина, що знаходиться в нестійкому стані близькому до закипання.
- При різкому зниженні тиску до нормального рідина виявляється перегрітою.
- Якщо в цей час через камеру пролетить заряджена частинка, то на утворених на її шляху йонах починається бурхливе пароутворення, а слід частинки стає видимим.

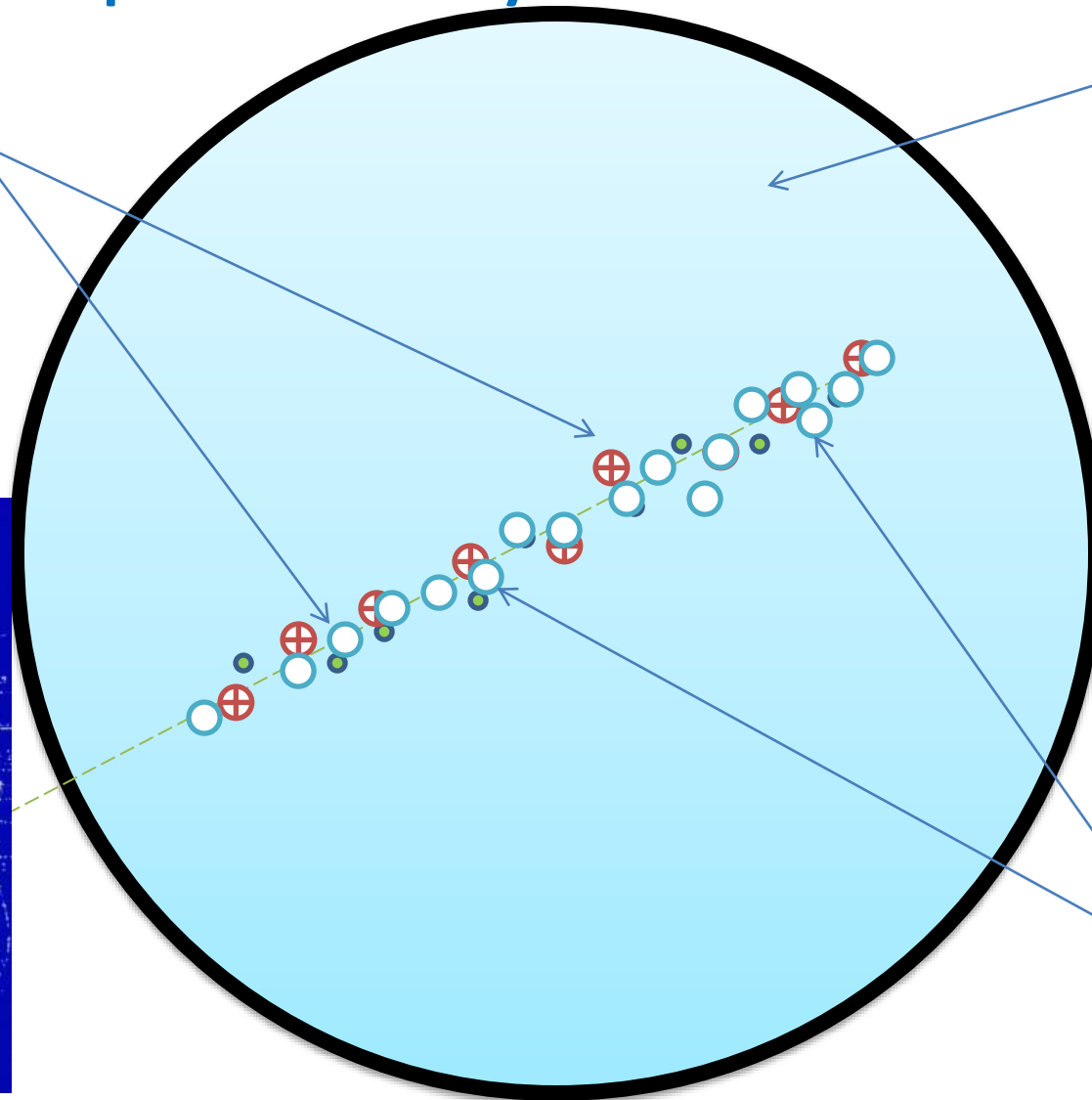
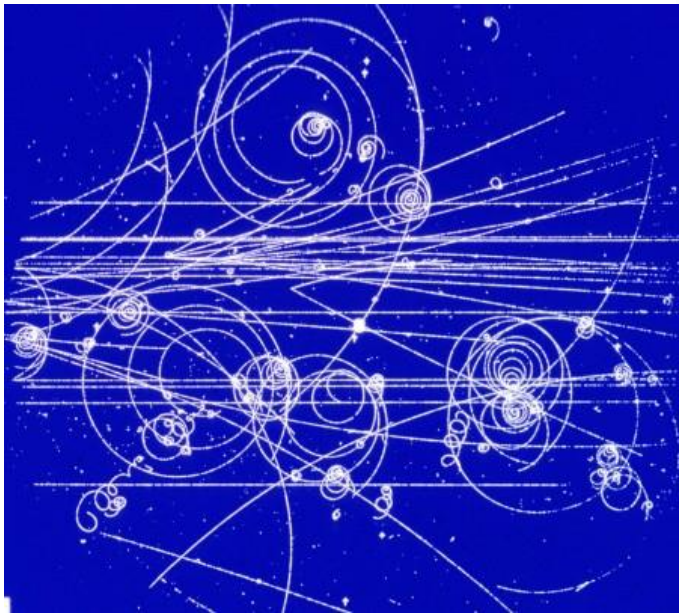
Принцип роботи бульбашкової камери

Йони –
центри
кипіння

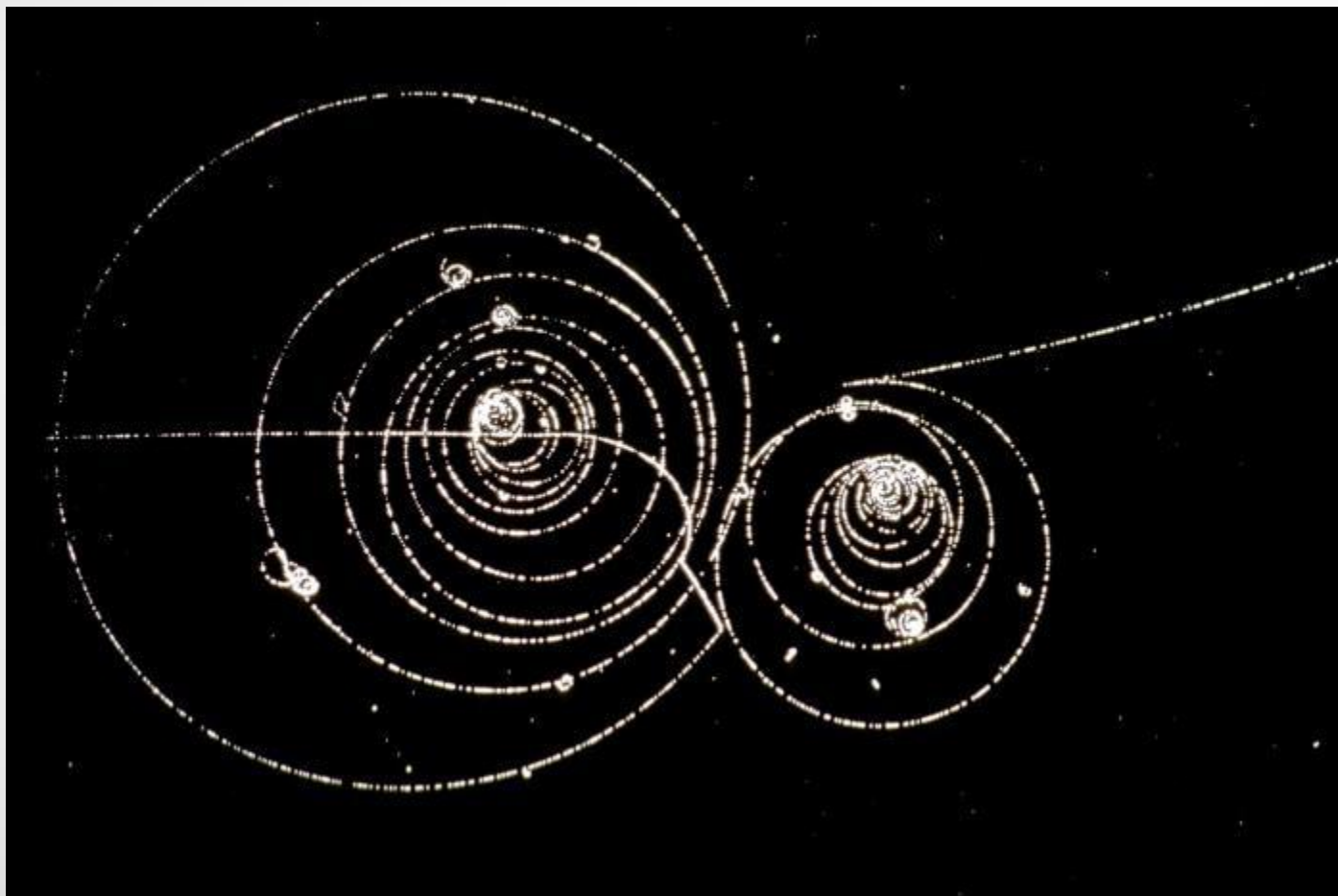
Перегріта
рідина



Трек –
пари
киплячої
рідини

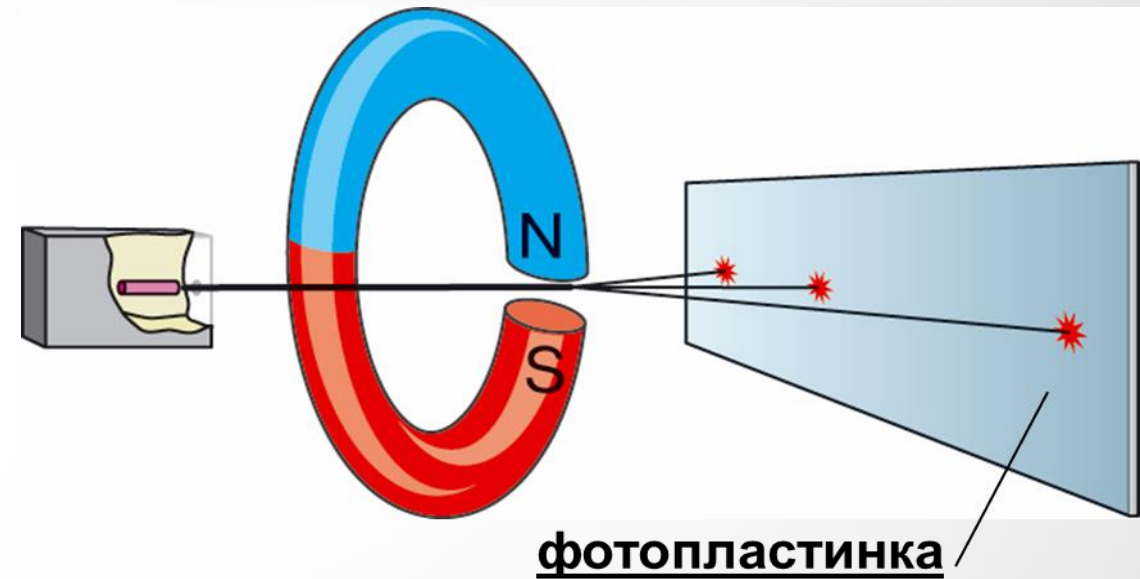


Бульбашкова камера



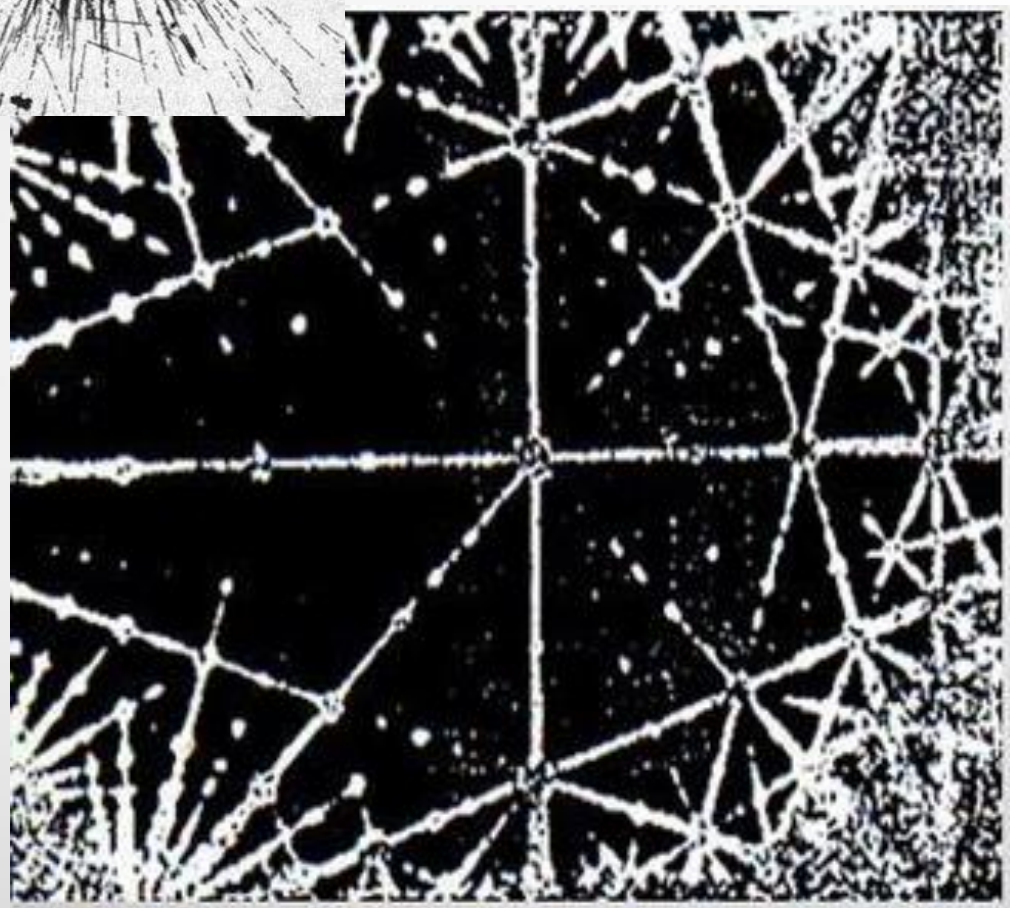
Фотоемульсійний метод

- Полягає в тому, що спеціально виготовлена фотоемульсія здатна реєструвати шлях зарядженої частинки.
- Чим більша йонізуюча дія частинки, що пролітає, тобто чим більші втрати її енергії на йонізацію, тим більше виникає чорних зернин на її шляху і тим густішим буде слід частинки.
- За допомогою методу фотоемульсії можна досліджувати частинки з дуже великою енергією



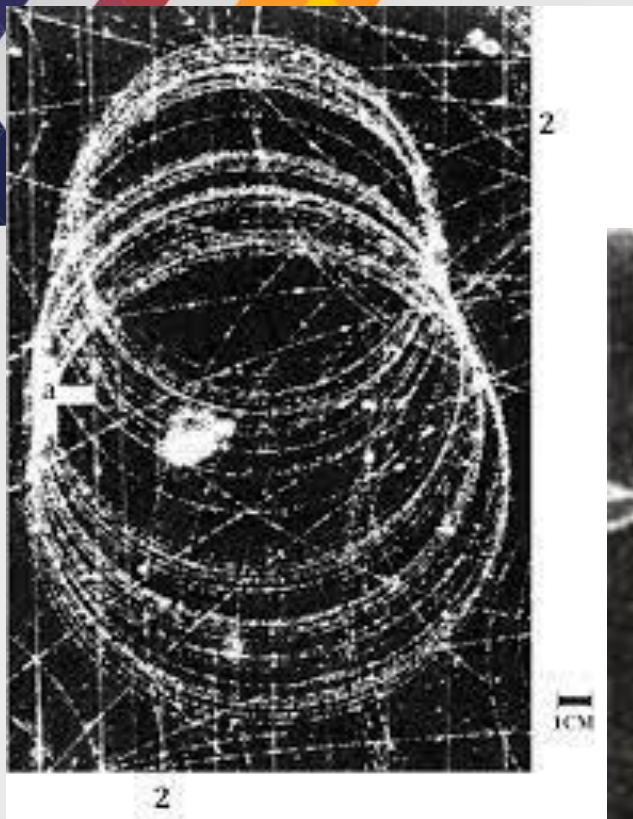
Метод товстошарових фотоемульсій відкрив Беккерель, 1896 рік, розвивали радянські фізики Л.В. Мисовський, Г.Б. Жданов і ін.

Фотоемульсійний метод



- Заряджена частинка руйнує молекули броміду срібла у зернах вздовж треку
- Треки з осівшого стрібла добре видні у мікроскоп
- За характеристиками треку оцінюють масу, швидкість, енергію частинок

Фотоемульсійний метод



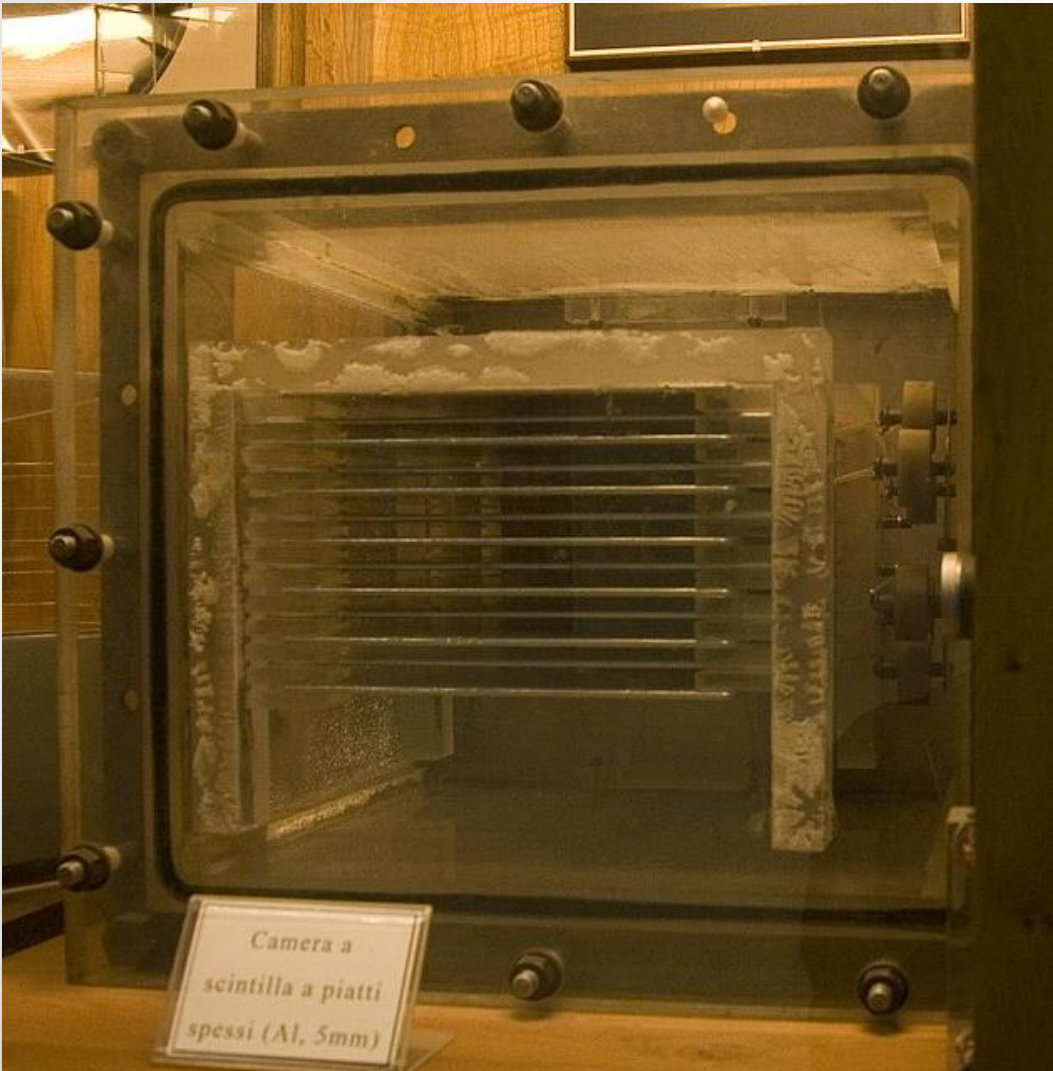
Переваги:

- Можлива меєстрація усіх частинок за певний проміжок часу.
- Трек не зникає, можливе відкладене у часі вивчення.
- Емульсія має велику гальмуючу здатність.
- Фотопластинка завжди готова до застосування.
- Найбільш дешевий метод реєстрації йонізуючого випромінювання

Недоліки:

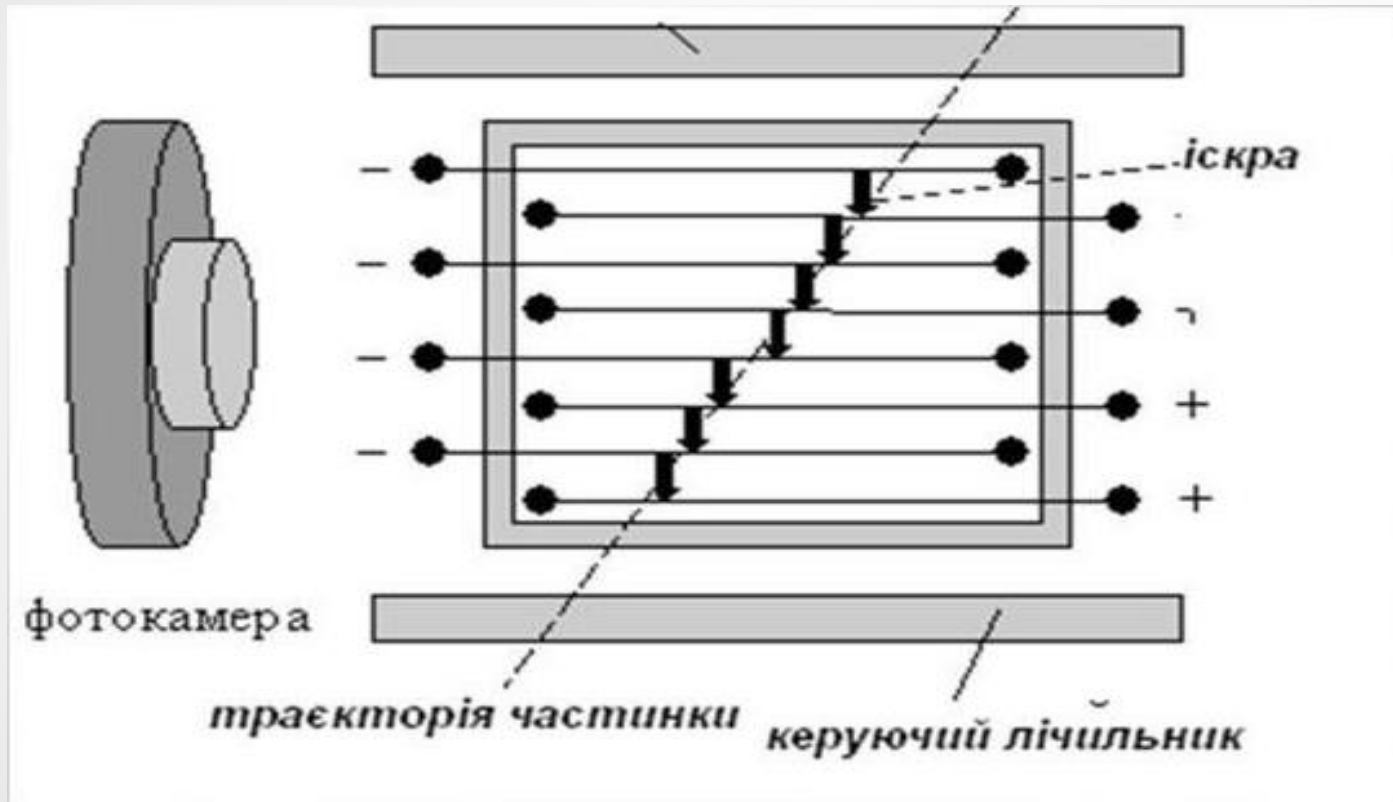
- Довготривалість і складність хімічної обробки
- Необхідність застосування сильних мікроскопів

Іскрова камера



- Це система паралельних металічних електродів, простір між якими(від 1-2 см до 10 см) заповнений інертним газом
- У місцях проходження зарядженої частинки виникає йонізація
- Трек утворює ланцюжок іскрових електричних розрядів вздовж траєкторії руху частинки

Іскрова камера



- 1959. С. Фукуї, С.Міямото. Розряд у газі при його ударній йонізації





- Трек у вузькощільній іскровій камері

The top corners of the slide feature decorative geometric patterns. On the left, a series of overlapping chevrons in shades of blue, purple, and red point towards the center. On the right, a similar pattern of overlapping chevrons in shades of orange, red, and purple points towards the center.

Методи дозиметричного контролю

Фотографічний,
Біологічний
Калориметричний,
Хімічний,
Нейтронно-активаційний

- 
- Фотографічний метод оснований на зміні ступеня почорніння фотоемульсії під впливом радіоактивних випромінювань. Гамма-промені, впливаючи на молекули бромистого срібла, яке знаходиться в фотоемульсії, призводять до розпаду і утворення срібла і броду. Кристали срібла спричиняють почорніння фотопластин чи фотопаперу під час проявлення. Одержану дозу випромінювання (експозиційну або поглинуту) можна визначити, порівнюючи почорніння плівки паперу з еталоном.
 - Біологічний метод дозиметрії ґрунтується на використанні властивостей випромінювань, які впливають на біологічні об'єкти. Дозу оцінюють за рівнем летальності тварин, ступенем лейкопенії, кількістю хромосомних аберацій, зміною забарвлення і гіперемії шкіри, випаданню волосся, появою в сечі дезоксицитидину. Цей метод не дуже точний і менш чутливий, ніж фізичний.
 - Калориметричний метод базується на зміні кількості теплоти, яка виділяється в детекторі поглинання енергії іонізуючих випромінювань.



Хімічний метод базується на властивості деяких хімічних речовин під впливом радіоактивних випромінювань внаслідок окислювальних або відновних реакцій змінювати свою структуру або колір. Так, хлороформ у воді під час опромінення розкладається з утворенням соляної кислоти, яка вступає в кольорову реакцію з барвником, доданим до хлороформу. У кислому середовищі двовалентне залізо окислюється в тривалентне під впливом вільних радикалів HO_2 і OH , які утворюються у воді при її опроміненні. Тривалентне залізо з барвником дає кольорову реакцію.

Нейтронно-активаційний метод зручний під час оцінювання доз в аварійних ситуаціях, коли можливе короткочасне опромінення великими потоками нейтронів. За цим методом вимірюють наведену активність, і в деяких випадках він є єдиною можливим у реєстрації особливо слабких нейтронних потоків, тому, що наведена ними активність мала для надійних вимірювань звичайними методами.