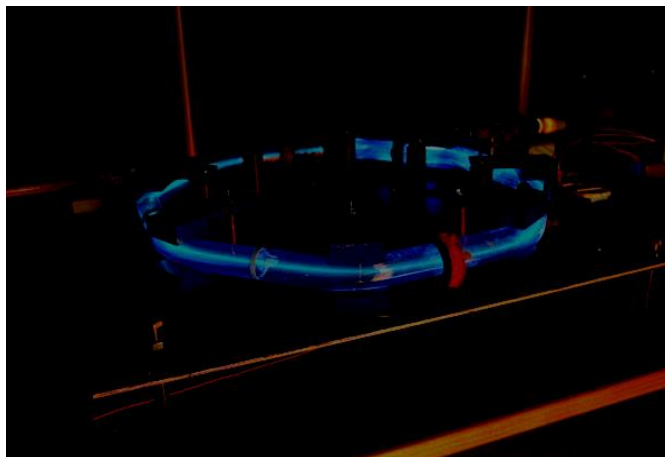


Зміст.

1. Зміст
2. Постановка задачі
3. Основні фізичні та технологічні принципи
4. Основні необхідні матеріали
5. Обговорення основних проблем побудови даного експерименту
 - *Інертний газ*
 - *Вимірювання вакууму*
 - *Перевірка електронної гармати та механізму висвічування аргону*
 - *Симуляція проходження електронів крізь газонаповнене середовище.*
 - *Магніти*
 - *Матеріал трубки*

Постановка задачі.

Головна ідея даного проекту — зробити невеликий «прискорювач» електронів, метою якого є демонстрація деяких ґрунтовних принципів прискорювання елементарних частинок. Такий проект вже був зроблений в лабораторії LAL в межах створення чогось подібного до музею. Інформацію про цю установку можна побачити за наступним посиланням: [Grande ronde des électrons : un accélérateur de table](#) .



Основні фізичні та технологічні принципи.

Спочатку електрони інжектуються за допомогою ЕПТ зі звичайного телевізора й набувають енергії порядку декількох keV. Далі ми під'єднуємо до нашої електронної гармати скляне кільце (це в певному наближенні, в дійсності ж ми беремо певну кількість прямих трубок, які зпаюємо в один багатокутник) діаметром до 50 см, з якого відкачане повітря. Ця скляна трубка наповнена інертним газом, за рахунок чого, електрони, рухаючись в трубці, збуджують атоми газу, які потім випромінюють. Для руху по колу в місцях з'єднання трубок будемо використовувати невеликі магніти.

Основні необхідні матеріали.

- Електронна гармата (пропонується взяти електронно-променеу трубку або самостійно зробити за допомогою двох імпровізованих електродів).
- Джерело постійної напруги.
- набір скляних (або **плексигласових**) трубок для створення кільця.
- Інертний газ (гелій, неон або **аргон**).

- Компресор для відкачки повітря.
- Вольтметр, амперметр.
- Матеріали для магнітів (катушки та ізольовані кабелі).
- Додаткові матеріали для кріплення.

Обговорення основних проблем побудови даного експерименту.

Інертний газ

Найідеальнішими для використання є Гелій ($A = 4,0026$) та Неон ($A = 20,179$), оскільки вони є найбільш інертними й найменше окислюються. Але ці гази дуже важко дістати й їхня ціна не є оптимальною. За ціною для нашого експерименту підходить Аргон ($A = 39,948$). Порівняно мала вартість пов'язана з тим, що він є побічним продуктом масового виготовлення азоту та кисню. Свідченням про можливість наповнення ним нашої трубки є масове використання аргону при виготовленні газорозрядних трубок.

Вимірювання вакууму

Для вимірювання вакууму на заміну ВІТ-2 нами був створений власний термодіодний вакууметр. Він є невеликих розмірів та побудований з використанням мікропроцесора STM32. Подробиці див. у презентації.

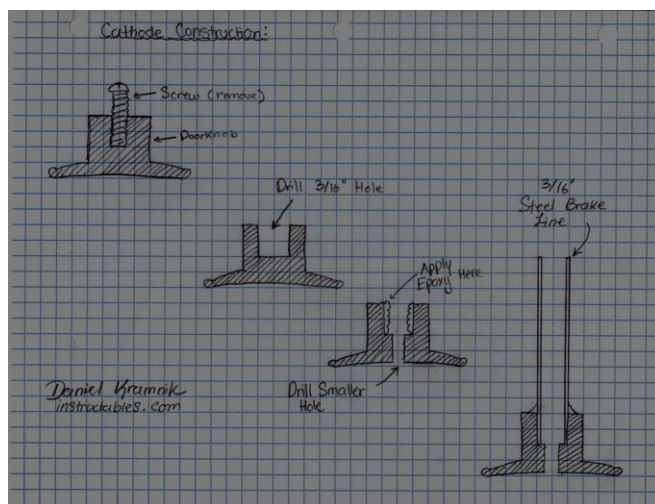
Перевірка електронної гармати та механізму висвічування аргону

Для цього пропоную спочатку зібрати полегшений варіант приладу. Візьмемо запаяну з одного кінця скляну трубку (ідеально може підійти звичайна винна пляшка) та підключимо електронну гармату до неї. Для відкачки повітря й накачування газу потрібно зробити невеликий отвір у бічній стороні пляшки й приклеїти за допомогою епоксидного клею самостійно зроблений за приведеною схемою клапан.

Як альтернативу можна зробити цікавий підготовчий проект, запропонований

за наступним посиланням: [DIY Electron Accelerator: A Cathode Ray Tube in a Wine Bottle](#) .

Отже, існує варіант створення полегшеного варіанту електронної гармати за допомогою пляшки з відкачаним повітрям та двох електродів.



Симуляція проходження електронів крізь газонаповнене середовище.

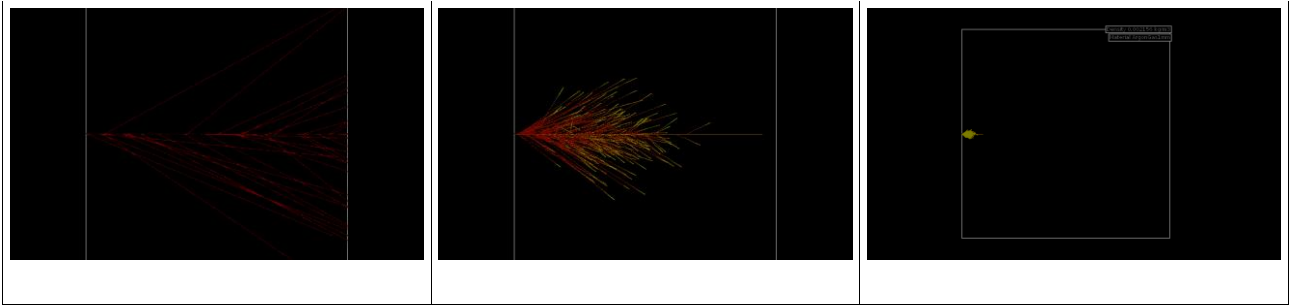
Симуляція проводиться за допомогою програмного забезпечення GEANT4. Симулюємо електрони енергії 5 кеВ, 20 кеВ, що проходять крізь камеру наповнену аргonom (довжина 10 м). Температура — 293.15 К. Тиск газу — 1 мм.рт.ст., 0.1 мм.рт.ст., 0.01 мм.рт.ст.

Густина аргону вираховується за формулою:

$$\rho = \frac{p * \mu}{R * T}$$

Для 5 кеВ:

0.01 мм. рт. ст	0.1 мм. рт. ст	1 мм. рт. ст
-----------------	----------------	--------------

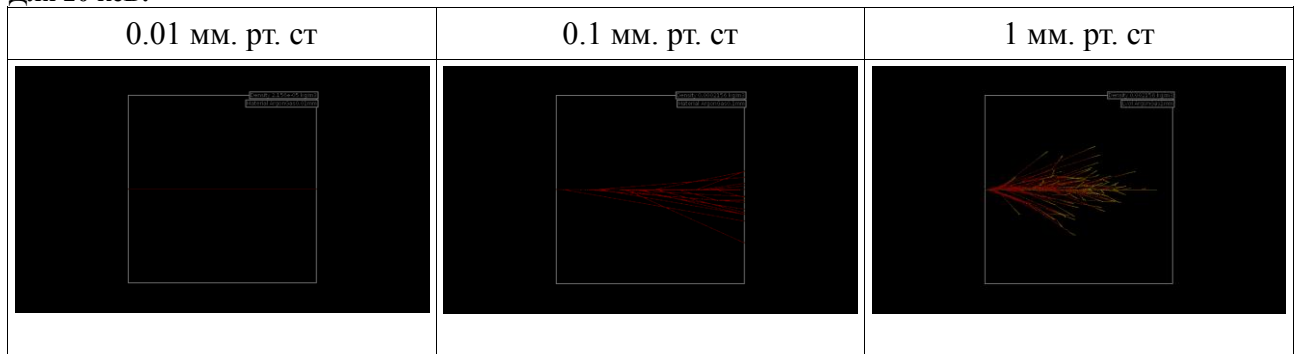


The run was 1000 e- of 5 keV through 10 m of ArgonGas1mm (density: 0.00216 kg/m3)
TrackLength= 60.34 cm nb of steps= 61.727 stepSize= 9.7753 mm
d-rays : eLoss/primary= 238.19 eV nb of d-rays= 0.174 <Tkin>= 1.3689 keV Tmin= 991.73 eV Tmax= 2.3476 keV
deposit : eLoss/primary= 4.7577 keV <dEcut > table= 4.6612 keV ---> simul/reference= 1.0207
total : eLoss/primary= 5 keV <dEfull> table= 5 keV ---> simul/reference= 1

The run was 1000 e- of 5 keV through 10 m of ArgonGas0.1mm (density: 0.000216 kg/m3)
TrackLength= 5.9968 m nb of steps= 74.106 stepSize= 8.0922 cm
d-rays : eLoss/primary= 249.9 eV nb of d-rays= 0.182 <Tkin>= 1.3731 keV Tmin= 995.81 eV Tmax= 2.4306 keV
deposit : eLoss/primary= 4.7501 keV <dEcut > table= 4.577 keV ---> simul/reference= 1.0378
total : eLoss/primary= 5 keV <dEfull> table= 5 keV ---> simul/reference= 1

The run was 1000 e- of 5 keV through 10 m of ArgonGas0.01mm (density: 2.16e-05 kg/m3)
TrackLength= 10.026 m nb of steps= 2.063 stepSize= 4.8598 m
d-rays : eLoss/primary= 45.548 eV nb of d-rays= 0.031 <Tkin>= 1.4693 keV Tmin= 1.0023 keV Tmax= 2.3288 keV
deposit : eLoss/primary= 486.87 eV <dEcut > table= 493.99 eV ---> simul/reference= 0.98558
total : eLoss/primary= 532.42 eV <dEfull> table= 553 eV ---> simul/reference= 0.96277

Для 20 кеВ:



Магніти (один з варіантів)

При побудові кільця нам знадобиться в кожній точці встановити невеликий електромагніт для закруглення траєкторії електронів. Я пропоную використовувати цікавий вигляд електромагніту — котушки Гельмгольца. Якщо розташувати магніт так, щоб поле було перпендикулярне напрямку руху частинки, її траєкторія буде закруглюватися прямопропорційно силі магнітної індукції. Якщо нам відомий радіус закруглення і енергія частинки, то нескладно розрахувати поле.

$B = \frac{\beta E}{eR}$ — формула для магнітної індукції

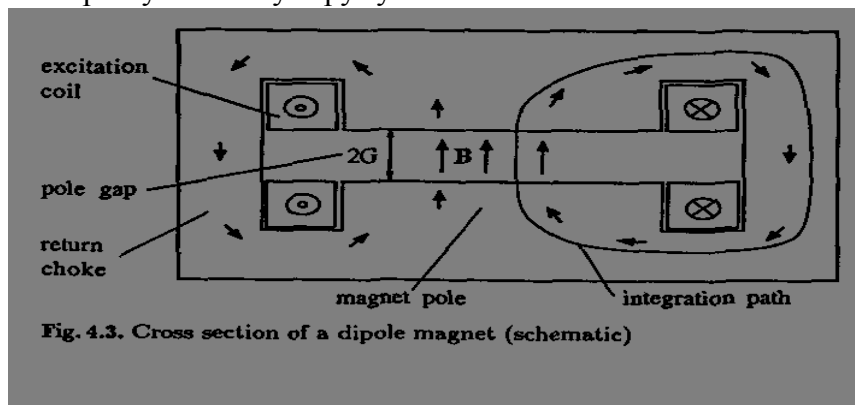
Після деяких перетворень:

$$B\rho[\text{Тесла} \cdot \text{м}] = \frac{10}{2.998} \beta E[\text{GeV}] B\rho[\text{Тесла} \cdot \text{м}] = \frac{10}{2.998} \sqrt{1 - \frac{1}{(1 + \frac{E}{mc^2})^2}} E[\text{GeV}]$$

$$B\rho(5\text{keV}) = 2.31 \cdot 10^{-6} \text{ Тл} \cdot \text{м}$$

$$B\rho(20\text{kV}) = 18.14 \cdot 10^{-6} \text{ Тл} \cdot \text{м}$$

Тепер порахуємо потрібну нам силу струму:



$$I_{tot} = \frac{1}{0.4\pi} B[G] G[cm]$$

B — індукція магнітного поля в одиницях Гаусс (1 T = 10000 G)

G — відстань між котушками

Радіус траєкторії візьмемо 30 см

Загальний струм в обох котушках:

$$I(5 \text{ keV}) = 0.061275 \text{ A}$$

$$I(20 \text{ keV}) = 0.481178 \text{ A}$$

На справі струм, котрий ми повинні подавати на котушки повинний бути в 2N разів менше, де N — кількість витків в одній котушці.

Матеріал трубки

На початку матеріалом трубки вважалось скло, але можливості по виготовленню такої конструкції зі скла є дуже обмеженими, і навіть якщо вдасться це зробити, постає інша проблема: а що якщо хтось її розіб'є? Отже, потрібно шукати якісь інші матеріали.

Непоганим варіантом є органічне скло (плексиглас). Адже його можна склеїти власноруч з

використанням спеціальних клеїв.

Ціни

[illegible]