

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК

### ЭСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

#### EXPERIMENTAL STAND FOR SUPERVISION CHARGED PARTICLES

Науковий керівник - кафедра атомних електричних станцій; д.т.н., проф., консультант –  
Корольов О. В., магістр – Петрусь О. І.

Научный руководитель – кафедра атомных электрических станций; д.т.н., проф.,  
консультант –Королёв А. В., магистр – Петрусь А. И.

Supervisor - Department of Nuclear Power Plants; D.t.s., professor – Korolev O. V.,  
master – Petrus O. I.

**Анотація:** Був проведений історичний аналіз пристроїв для спостереження за елементарними частинками, а також вимірювання рівня іонізуючого випромінювання від них. Аналіз і комплектація елементної бази розробляємої дифузійної камери. Монтаж і налагодження дифузійної камери з урахуванням економічних показників. Дослідження і реєстрація заряджених частинок в дифузійній камері випромінюваних Америцієм - 241, Торієм - 90, Радон-220, Міднимуранітом (Торберніт), а також спостереження за природним радіаційним фоном планети.

**Ключові слова:** Дифузійна камера, камера Вільсона, туманна камера, бульбашкова камера, детектор Атлас, Великий Адронний Коллайдер, джерела іонізуючого випромінювання, перенасичений пар, треки частинок, відхилення частинок в магнітному полі, центри конденсації, Америцій-241, Торій-90, Радон -220, природний радіаційний фон планети, каон, мюон, позитрон.

**Аннотация:** Был проведён исторический анализ устройств для наблюдения за элементарными частицами, а также измерения уровня ионизирующего излучения от них. Анализ и комплектация элементной базы разрабатываемой диффузионной камеры. Монтаж и наладка диффузионной камеры с учетом экономических показателей. Исследование и регистрация заряженных частиц в диффузионной камере излучаемых Америцием - 241, Торием - 90, Радон-224, Медным уранитом (Торбернит), а также наблюдение за естественным радиационным фоном планеты.

**Ключевые слова:** Диффузионная камера, камера Вильсона, туманная камера, пузырьковая камера, детектор Атлас, Большой Адронный Коллайдер, источники ионизирующего излучения, перенасыщенный пар, треки частиц, отклонение частиц в магнитном поле, центры конденсации, Америций-241, Торий-90, Радон-220, природный радиационный фон планеты, каон, мюон, позитрон.

**Abstract:** A historical analysis of devices for observing elementary particles, as well as measuring the level of ionizing radiation from them, was carried out. Analysis and completion of the elemental base of the developed diffusion chamber. Installation and adjustment of the diffusion chamber, taking into account economic indicators. Research and registration of charged particles in the diffusion chamber emitted by America - 241, Thorium - 90, Radon-224, Copper uranite (Thorbernite), as well as observation of the natural background radiation of the planet.

**Keywords:** Diffusion chamber, Wilson chamber, fog chamber, bubble chamber, Atlas detector, Large Hadron Collider, ionizing radiation sources, supersaturated vapor, particle tracks, particle deflection in a magnetic field, condensation centers, Americium-241, Thorium-90, Radon-220, natural radiation background of the planet, kaon, muon, positron.

Фізика елементарних частинок на сьогоднішній день найбільш швидко розвиваючийся розділ фізики, що вивчає структуру і властивості елементарних частинок та їх взаємодії. Тільки з 2000-го року за внесок і нові відкриття в цьому розділі фізики були удостоєні Нобелівської премії шість лауреатів. За більш ніж 120 років фізика елементарних частинок зробила воістину гігантський стрибок у своєму розвитку, починаючи з відкриття електрона Томпсоном в 1897р., А пізніше і фотографування його Ч.Вільсоном за допомогою своєї туманною камери, закінчуючи пошуком бозона Хігса на Великому адронному колайдері в Європейському Центрі Ядерних Досліджень (ЦЕРН). Але на цьому пошуки і дослідження не зупиняються і ось вже всерйоз розглядається новий проект побудови «Суперколайдера», де довжина основного кільця, в якому елементарні частинки розганяють майже до швидкості світла, становить 100 км! Але на скільки складними повинні бути пристрої за допомогою яких ми можемо спостерігати елементарні частинки? По мірі розвитку науково-технічного прогресу і вдосконалення матеріальної бази (напівпровідники), стало можливим збирати найпростіші камери для спостережень за частинками в буквальному сенсі «на колінці». І в цій короткій статті розглянемо один з таких прикладів. Слід згадати, що піонером в області «спостереження» за елементарними частинками, є Ч.Вільсон, який ставив у своїй лабораторії наукові експерименти зі створення і дослідження штучних хмар, що і послужило причиною створення першої так званої «туманною камери» в якій Вільсон спостерігав «треки», які залишали заряджені частинки.

Довгий час цей феномен намагалися пояснити з точки зору науки, а запропоновані Вільсоном доводи на користь того, що сліди всередині туманною камери залишають елементарні частинки, які іонізують на своєму шляху молекули ефіру або спирту, завдяки чому на їх поверхні утворюються краплі, які об'єднуються в групи і утворюються чіткі сліди, піддавалися критиці і сумніву. Подібні сліди сильно нагадують слід від рухомого в небі літака, так званий інверсійний слід. Пізніше, коли стало зрозуміло, що Вільсон мав рацію цей механізм (туманна камера), постійно піддавався вдосконалення. Величезне значення для досліджень фізики елементарних частинок послужила ідея Д. Скобельціна (радянський фізик-експериментатор, фахівець в галузі космічних випромінювань і фізики високих енергій.) - помістити туманну камеру в магнітне поле, завдяки чому можна було проводити ряд точних експериментів і досліджень. Зокрема вже можна було визначати заряд частинки, по тому як вона відхилялася в магнітному полі, а знаючи силу цього поля, можна було вимірювати кінетичну енергію частинки по куту її відхилення, що також дозволяло визначати і вагу частинок. Ось лише короткий список відкриттів, які були зроблені за допомогою камери Вільсона:

- дослідження космічних променів;
- відкриття широких атмосферних злив;
- відкриття позитрона;
- відкриття слідів мюонів;
- відкриття так званих дивних часток;

Пізніше на базі камери Вільсона була створена Диффузійна камера, а також Бульбашкова камера, які повністю витіснили туманну камеру в експериментах. І якщо дія бульбашкової камери засноване на вскипанні перегрітої рідини, то принцип роботи дифузійної камери заснований на різкому переохолодженні рідини (спирт, ефір), що в нашому випадку є більш прийнятним. Саме принцип роботи дифузійної камери був узятий за основу при проектуванні нашого стенду для спостереження за зарядженими елементарними частинками.

Але тут відразу постала низка питань, а саме: 1) за допомогою яких речовин або фізичних процесів домогтися потрібних негативних температур (адже для створення пересиченого розчину спирту підходять температури від  $-35^{\circ}\text{C}$  і нижче)? 2) за допомогою чого підтримувати таку температуру тривалий час, достатній для спостереження фахівцями або просто любителями, а також для фото і відео фіксації треків? 3) яку оптимальну площу для спостереження необхідно створити, в дифузійній камері? Після проведення ряду досліджень в області низьких температур відповіддю на всі ці питання послужив термоелектричний ефект, який отримав назву «ефект Пельтьє». Ефект Пельтьє це термоелектричне явище перенесення енергії при проходженні електричного струму в місці контакту (спаю) двох різнорідних провідників, від одного провідника до іншого. Особливістю цього ефекту є те, що одне з місць спаю при пропусканні через провідники електричного струму починає нагріватися, а друге - навпаки, стрімко охолоджується. Подібні елементи вже тривалий час застосовуються для охолодження напівпровідникових елементів, а також створення на їх базі компактних холодильних установок. Але проблема таких елементів полягала в тому, що необхідних низьких температур вони не забезпечували і тоді було прийнято рішення використовувати каскадних тип з'єднання подібних елементів, сенс його дуже простий: ви берете два модуля Пельтьє, один більш потужний, другий менш потужний, і кладете їх один на інший забезпечивши щільне термоз'єднування між ними таким чином, щоб нижній більш потужний елемент відводив тепло від верхнього менш потужного, це дозволить нам розширити «температурну дельту» між сторонами модуля, і дозволить домогтися потрібних негативних температур. І тут ми стикаємося з тим, що необхідно вирішити друге питання - як нам тривалий час підтримувати таку низьку температуру? У випадку з модулями Пельтьє відповідь була лише одна - примусове охолодження гарячої сторони модулів. Варіантів для реалізації такого завдання може бути кілька: це або закритий контур охолодження з примусовою циркуляцією, або відкритий контур охолодження з можливістю підключення системи охолодження модулів до системи водопостачання. Залежно від того, як планується використовувати стенд (чи установка мобільного або стаціонарного) можна вибрати собі той чи інший варіант. У моєму випадку я віддав перевагу закритому контуру охолодження з примусовою циркуляцією, для цих цілей знадобився комплект радіаторів, а також компактний циркуляційний насос, що працює від напруги 12V, з продуктивністю 800 літрів на годину. Слід зазначити, що в демонстраційному стенді використовувалися тільки два рівня напруги це 12V і 5V. Це було обумовлено тим, що це найбільш поширені напруги, які використовуються в комп'ютерній і напівпровідниковій техніці, і проблем з тим, щоб знайти підходящі блоки живлення у нас не виникне. Характеристики демонстраційного стенда на базі дифузійної камери наступні:

- площа над якою здійснюється конденсація пересичених парів спирту  $8 * 16$  см, це обумовлено тим, що ми використовували 8 нижніх і 8 верхніх модулів, складених по 4 шт. у два ряди;
- загальна споживана потужність становить 770 Ватт;
- обсяг теплоносія для охолодження модулів Пельтьє близько 11 літрів (в нашому випадку використовувалася вода);
- основа стенду, на яку монтувалися всі основні вузли це лист ДСП товщиною 10 мм (всі основні розміри вказані на кресленні в додатку до статті);
- для охолодження радіаторів використовувалися 8 вентиляторів для комп'ютерних систем охолодження по 12 см і швидкістю оборотів 3000 в хвилину;

- так званий п'єдестал, на якому розміщуються каскади Пельтьє виконаний з дюралюмінію, на ньому розташовані основні, компактні радіатори для відведення тепла, які підключаються до «великого контуру охолодження» за допомогою силіконових шлангів;

- маршрут теплоносія всередині дифузійної камери: з розширювального бака (обсяг 10л) на головний циркуляційний насос, потім на перший компактний радіатор, вихід з якого з'єднаний зі входом другого компактного радіатора, потім з нього вихід підключається до входу першого радіатора з так званого «великого контуру охолодження», потім теплоносій надходить на другий «великий» радіатор, після на третій з якого вода повертається в розширювальний бак і цикл повторюється знову. Всі радіатори «великого контуру» додатково забезпечені активною системою охолодження (вентилятори діаметром 12см);

Джерелами електричного живлення послужили блоки живлення на 12V і 5V для підключення світлодіодної стрічки. Три потужних блоку живлення на 12V 400 Ватт були підключені паралельно з метою резервування потужності і підвищення надійності роботи установки і один блок живлення на 5V 200 Ватт забезпечував всі «холодні» модулі - вісім одиниць. Нижні «гарячі» модулі споживали в середньому близько 7А, що становить 84 Ватта на один модуль, нижні «холодні» споживали в середньому близько 1,8А, що становить близько 9 Ватт на один модуль. Щоб максимально виключити виникнення аварійних ситуацій, при налагодженні і налаштуванні електрообладнання, слід використовувати заземлення, а також пристрої захисного відключення. У зібраному вигляді конструкція має наступний вигляд:



Як ви могли помітити, для спостереження за треками заряджених частинок у верхній частині камери є спеціальний акваріум для спостережень, нижня частина якого має спеціальну рамку для підсвічування пересичених парів спирту, в яких відбувається утворення треків. Габарити акваріума висота 9 см, довжина 20 см, ширина 10,8 см, товщина скла 4 мм. Товщина пересиченого шару спирту в середньому від 3 мм до 4 мм і дуже сильно залежить від температури охолоджуючих модулів - чим вона нижча, тим товщина шару більше і як наслідок, кількість спостережуваних подій також буде більше. На фото нижче представлений приклад реєстрованих подій всередині камери, де знаходяться чотири джерела Америцій-241.



Які висновки ми можемо зробити з урахуванням виконаної роботи? Найголовніший висновок полягає в тому, що для складання пристроїв детектування і спостереження заряджених елементарних частинок нам не потрібно покупка дорогого устаткування, а більшу частину робіт по збірці і налаштування, людина може виконати самостійно при наявності відповідної освіти. А підсумкова робота може послужити прекрасним демонстраційним стендом як для профільних фахівців, так і для студентів, що навчаються на відповідних факультетах.

### **Висновки**

Був розроблений експериментальний стенд для спостереження за зарядженими частинками, з урахуванням економічних показників, враховуючи такі потреби як наочність, доступна матеріальна база, мобільність, та тривалість спостережень. Найближчий конкурент який займається комерційним випуском схожих пристроїв для спостереження за елементарними частинками (nuledo.com) перевищує за ціною мій стенд майже у 15 разів!

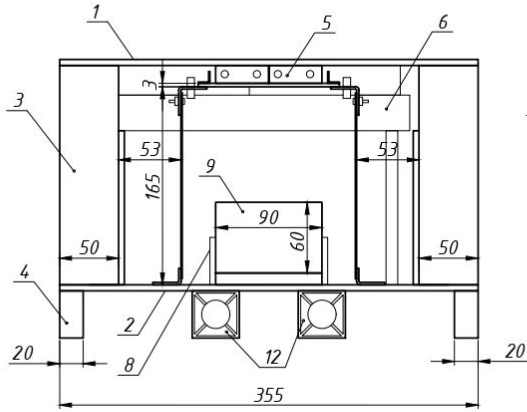
Вдалося провести фото та відео фіксацію різноманітних джерел іонізуючого випромінювання, а також зафіксувати в середині дифузійної камери такі рідкісні частинки як каони та мюони, а також вторинні космічні зливи.

Кафедра атомних станцій одеського політехнічного інституту отримала відмінний демонстраційний стенд, для проведення лабораторних робіт в рамках вивчення джерел іонізуючого випромінювання, а також наочних демонстрацій різних рівней інтенсивності альфа та бета випромінювань.

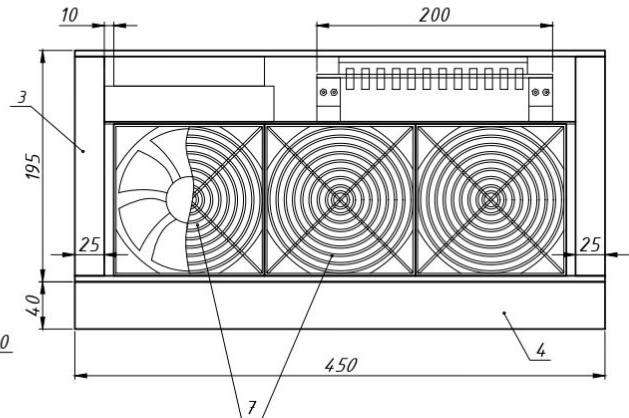
Додаток 1 : креслення з розмірами Дифузійної камери.

*Креслення-схема камери Вільсона (основні елементи)*

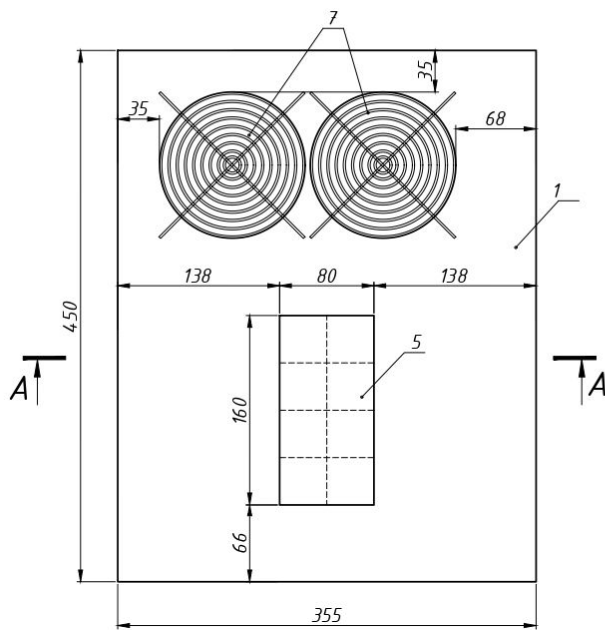
*Вид зпереду М 1:5*



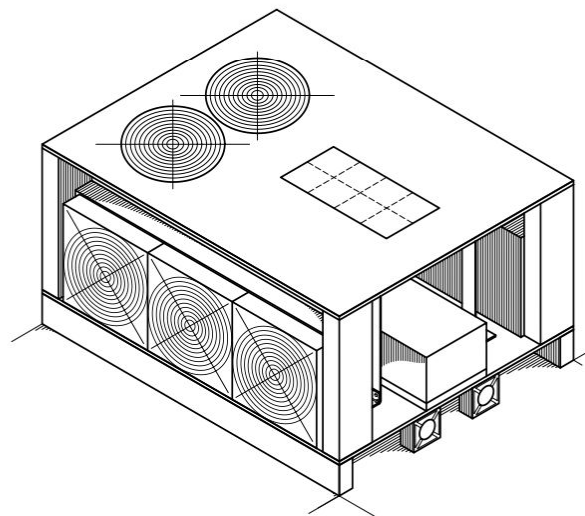
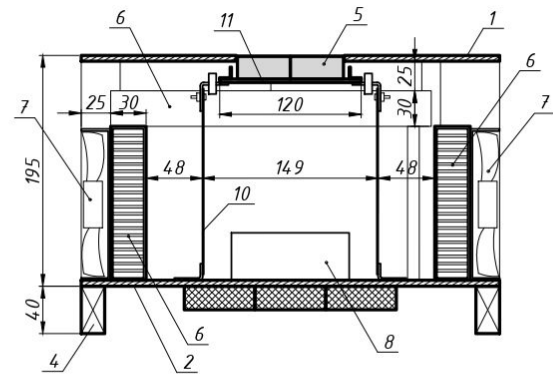
*Вид зліва М 1:5*



*Вид зверху М 1:5*

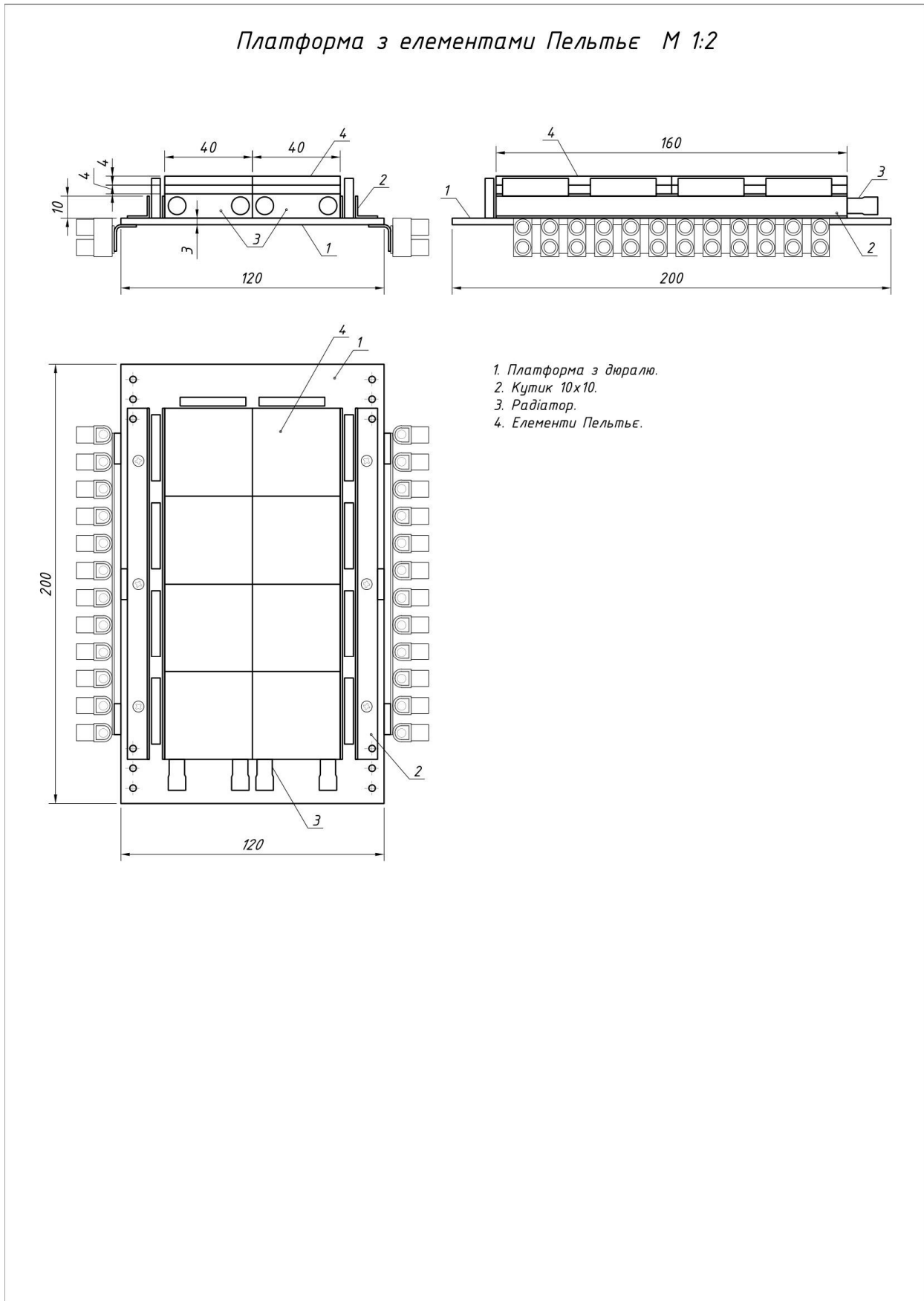


*Переріз по А-А М 1:5*



1. Верхня кришка.
2. Нижня кришка.
3. Стійка-брус 25x50.
4. Брус-постамент 20x40.
5. Елементи Пельтьє, два шари.
6. Радіатор.
7. Вентилятор з решіткою  $\Phi 120$ .
8. Блок живлення.
9. Високовольтний генератор.
10. Стійки платформи елементів Пельтьє.
11. Платформа елементів Пельтьє з дюралю.
12. Вентилятори блоку живлення.

Додаток 2. Креслення з розмірами платформи для елементів Пельтьє



### Список використаної літератури

1. Королев А. В. Анализ и моделирование теплоэнергетического оборудования, работающего с двухфазными течениями. Одесса. – Астропринт, 2010.
2. Вильсон Д ж. Камера Вильсона, пер. с англ., М., - 1954.
3. Дас Гупта Н., Гош С., Камера Вильсона и ее применения в физике, пер. с англ. - М., - 1947.
4. Принципы и методы регистрации элементарных частиц. [Сост-ред. Люк К. Л. Юан, Ву Цзянь-Сюн], пер. с англ. - М. – 1963.
5. Камера Вильсона или три Нобелевские премии добытые из тумана. (статья Ю.Романов 2014);
6. Камера Вильсона и ее применение. Справочник Химика 21. - Госхимиздат, 1944. – 398 с. Второе издание Справочника химика.
7. Fundamental principles and methods of particle detection. Academic Press. New-York. - 1961  
Luke C.L.Yuan.
8. Компактная диффузионная камера в качестве чувствительного детектора мягкого рентгеновского излучения с пространственным разрешением. ( Приборы и техника эксперимента. Российская академия наук, Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН 2018г);
9. Экспериментальные установки для исследования образования льда в атмосфере (В.Н. Никулин, В.В. Чукин, А.Ф. Садыкова Метеорология Ученые записки N38);
10. Атомная энциклопедия (2000-2009) ;

Корольов Олександр Вікторович,  
Королёв Александр Викторович,  
Korolev Alexander,  
Петрусь Олександр Ілліч,  
Петрусь Александр Ильич,  
Petrus Alexander.