

КРІОГЕННА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЯ

Лекція 1

Вступна лекція

- Загальна інформація про кріогеніку
- Історія розвитку кріогеніки
- Сучасні галузі промисловості та науки, де застосовується кріогенна техніка

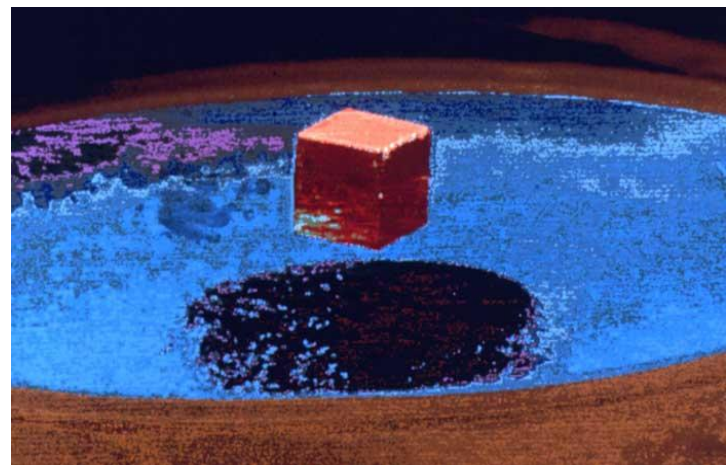
Визначення

Кріогенна техніка та технологія, або як її інакше називають кріогеніка

(з грецької *krýos* – холод, *-genes* – породження) – наука про одержання (кріогенна техніка) та використання (кріогенна технологія) низьких температур.

Об'єкт дослідження – кріогенні системи

Кріогенна система – група компонентів, що взаємодіють між собою та перебувають при кріогенних температурах.



Область кріогенних температур

XIII конгрес з холоду у 1971 році ухвалив рішення: вважати областю кріогенних температур зону нижче за **120 K (-153°C)**.

Температури кипіння звичних холодоагентів (аміак, фреони) лежать вище за цю точку, а нормальні температури зрідження найпоширеніших газів (азот, кисень, водень, гелій та ін.) – нижче за неї.

	K	C
довкілля	300	27
	273	0
R134a	247	-26
NH ₃	239	-34
R22	232	-41
R404a	227	-46
R13	192	-81
R14	145	-128
	120	-153
CH ₄	111	-162
O ₂	90	-183
N ₂	77	-196
Ar	40	-233
H ₂	20	-253
⁴ He	4,2	-268,8

Задача кріогеніки

Розроблення та
вдосконалення
низькотемпературних
технологій, процесів і
обладнання



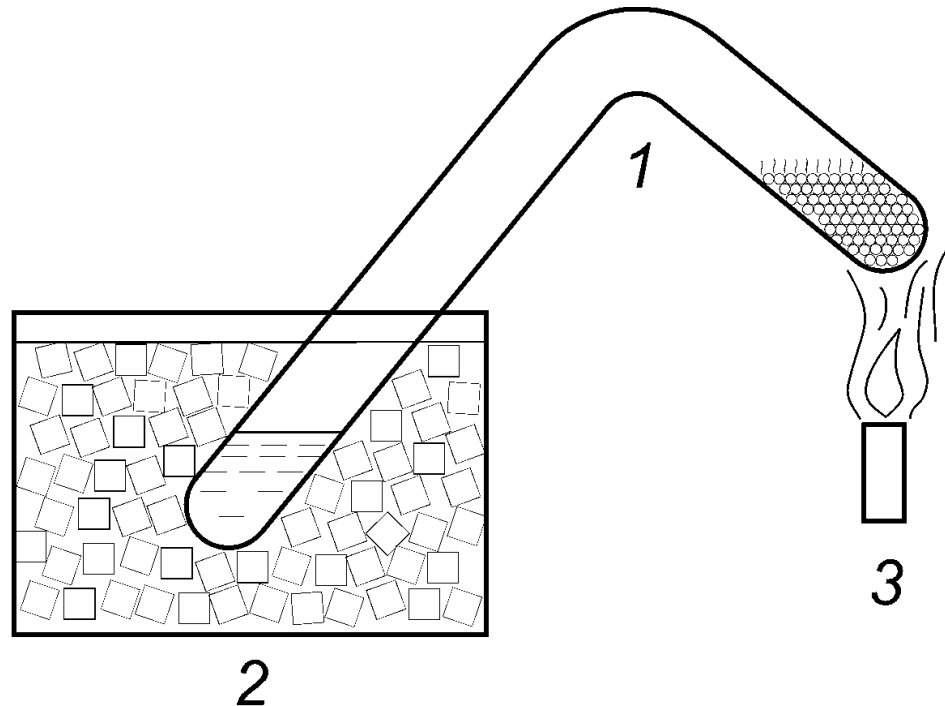
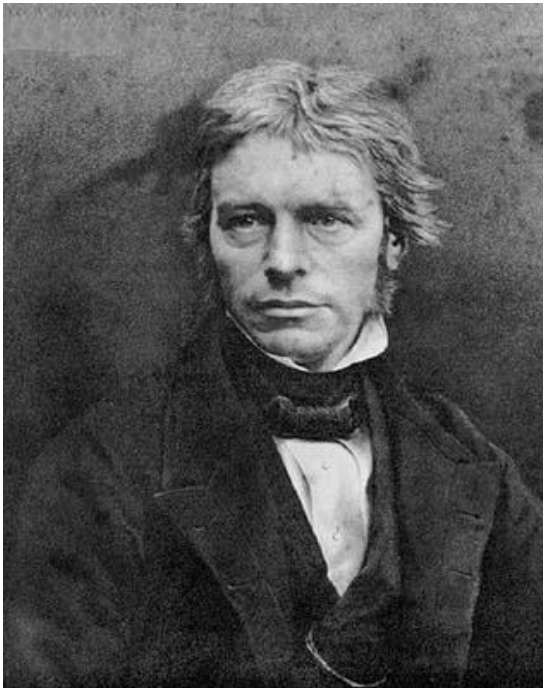
Споріднені науки

- **Кріофізика** – фундаментальні дослідження у кріогенній області
- **Кріобіологія** – досліджує властивості біологічних об'єктів при кріогенних температурах
- **Кріомедицина** – розробляє методи лікування з використанням кріотехнологій
- **Кріоелектроніка** – використовує кріогенні технології для створення електронних пристроїв

Історія розвитку кріогеніки

1823

Майкл Фарадей (Англія) довів можливість зрідження газів та отримав рідкий хлор



Історія розвитку кріогеніки

Середина XIX ст

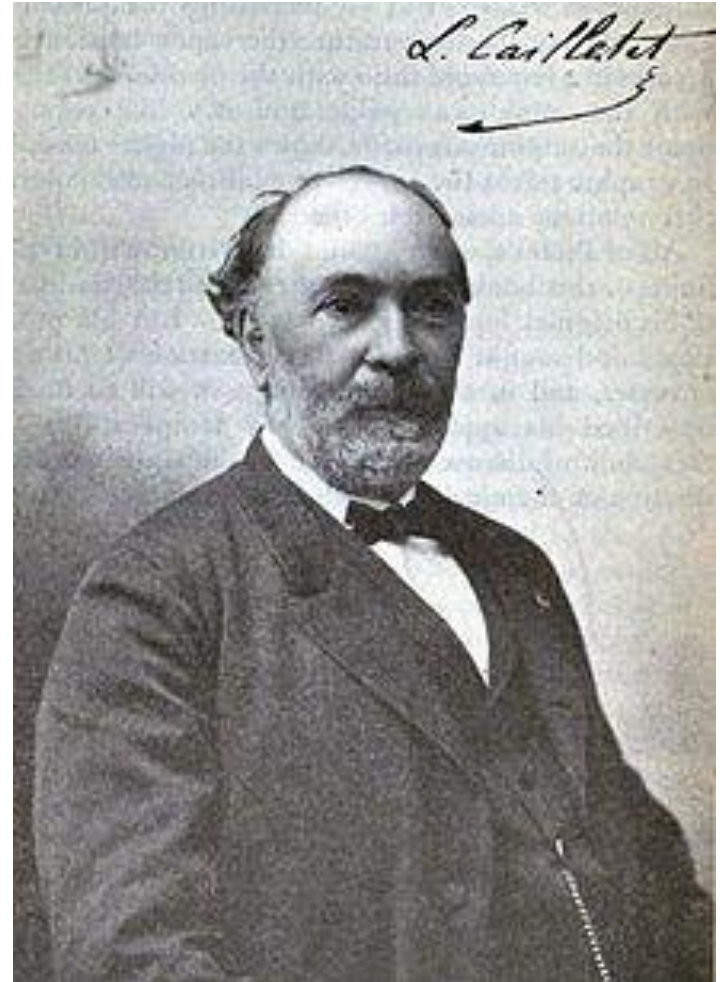
Постійні гази, що на думку вчених взагалі не можуть бути зріджені:

- Повітря
- Водень
- Кисень
- Азот
- Вуглекислий газ
- Монооксид вуглецю

Історія розвитку кріогеніки

1877

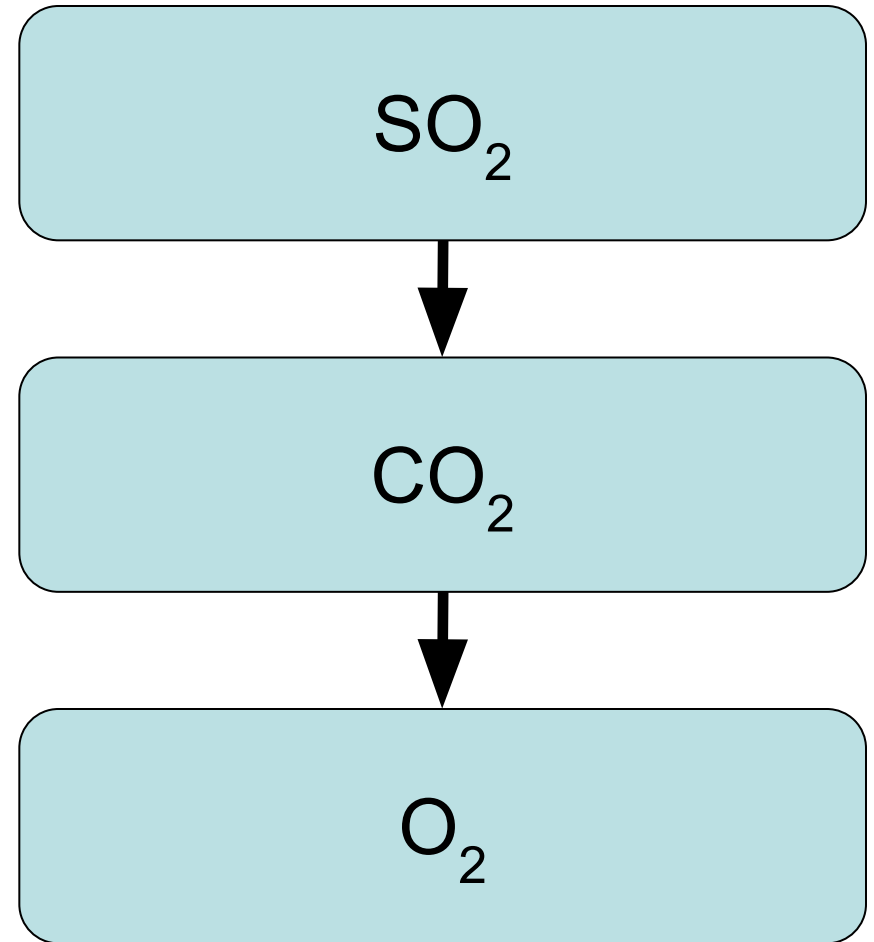
Гірничий інженер Луї Поль Кайєте (Франція) одержав туман з крапель рідкого кисню (90 К) шляхом попереднього охолодження посудини зі стисненим до 30 МПа киснем та подальшим раптовим розширенням кисню. Доведено можливість зрідження постійних газів.



Історія розвитку кріогеніки

1877

Рауль Пікте
(Швейцарія)
одержав туман з
рідкого кисню (90 К),
використавши
каскадну холодильну
машину



Історія розвитку кріогеніки

1883 – 1884

Кароль Вроблевський та Зігмунд Ольшевський створили лабораторію з фізики низьких температур у Краківському університеті (Польща), у якій одержали рідкий кисень у вигляді “спокійно киплячої у дослідній трубці рідини” у кількості достатній для вивчення його властивостей. Спосіб – одноразове адіабатне розширення стисненого газу, охолодженого киплячим під вакуумом етиленом. Через кілька днів на тій самій установці одержаний рідкий азот (77 K). Згодом зріджено водень.

Історія розвитку кріогеніки

1892

Джеймс Дьюар, професор хімії Королівського університету (Лондон) винайшов посудину з вакуумованими стінками для зберігання кріорідин (посудина Дьюара).



Історія розвитку кріогеніки

1895-1896

Карл Лінде (Німеччина) та Вільям Хемпсон (Англія) побудували лабораторні зріджувачі повітря безперервної дії. Лінде одержав патент на зрідження повітря. Заснована ним Linde Company – одна з провідних у кріогеніці.



THE LINDE GROUP

Linde

Історія розвитку кріогеніки

1895

Хайк Камерлінг Онесс заснував фізичну лабораторію у Лейденському університеті (Голандія). У ній у 1908 р одержано рідкий гелій (близько 60 см^3) (4 К), до 1919 р. продуктивність зріджувачів гелію сягнула 2 л/год.



Історія розвитку кріогеніки

1898

Джеймс Дьюар одержав 20 см³ рідкого водню, що вільно кипів у вакуумно ізольованій трубці (20,5 К). Через кілька місяців він одержав твердий водень (14 К).

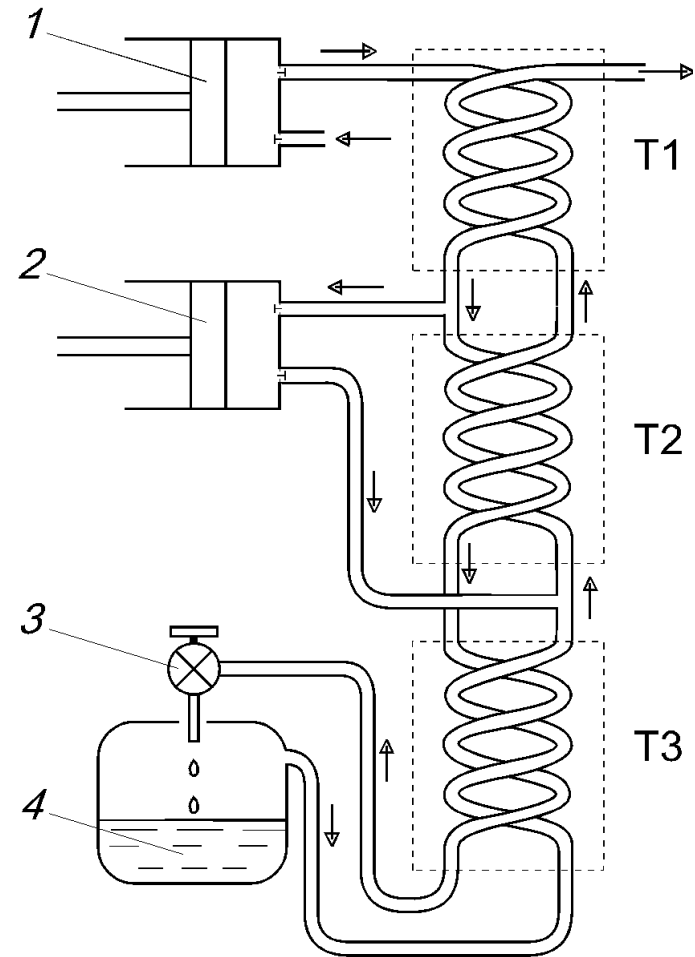


Історія розвитку кріогеніки

1902–1906

Ж. Клод (Франція)

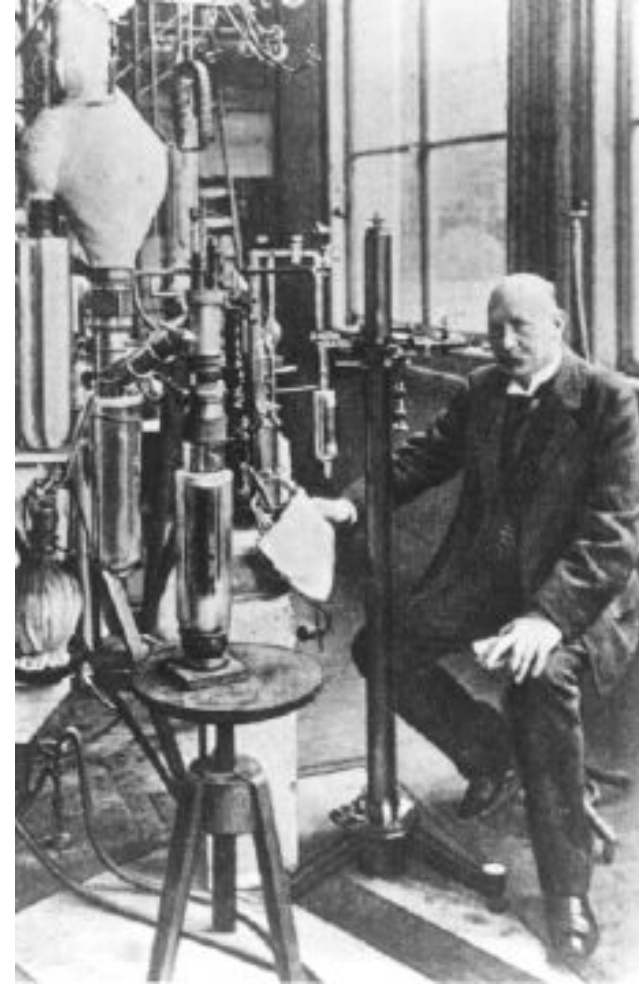
зрідив повітря в
установці з
детандером та
вдосконалив процес
розділення повітря в
ректифікаційній
колоні з
дефлегматором.



Історія розвитку кріогеніки

1910

У Лейденському університеті під час спроби отримання твердого гелію протягом тривалого часу підтримували рекордно низьку температуру 1,04 К. Але твердий гелій не отримали, бо для цього потрібен був тиск > 25 атм.



Історія розвитку кріогеніки

1911

Хайк Камерлінг Онесс
відкрив явище
надпровідності –
повної втрати
металом
електричного опору.
За це він отримав
Нобелівську премію
у 1913 році



Історія розвитку кріогеніки

1912

Побудовано промислові установки розділення повітря (Німеччина, Франція).

1915

К. Лінде одержав аргон шляхом ректифікації аргонної фракції



Історія розвитку кріогеніки

1921

У США створено гелієві заводи продуктивністю до 1000 м³/добу



1926 – 1932

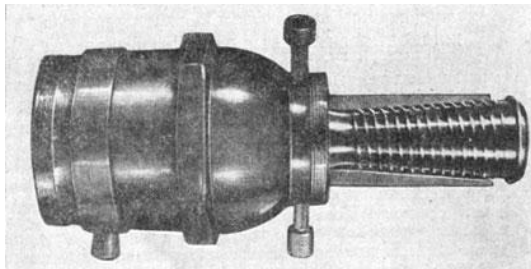
Френсіс Саймон зрідив гелій методом адіабатної десорбції, а згодом – одноступеневим адіабатним розширенням



Історія розвитку кріогеніки

1929-1930

Володимир Глушко,
Фрідріх Цандер,
Сергій Корольов
створили рідинні
ракетні двигуни,
окисником у яких
був рідкий кисень



Перед запуском ракеты ГИРД-Х конструкции Ф.А. Цандера на Нахабинском полигоне.

Слева направо: стоят – С.П. Королев, Н.И. Ефремов, Л.С. Душкин, Л.К. Корнеев, И.И. Хованский; сидят – Б.В. Флоров, Л.Н. Колбасина, К.К. Федоров, А.И. Полярный, Ф.Л. Якайтис, М.Г. Воробьев.

Ноябрь 1933 г.
РГАНТД. 1-19849.

Ракета «ГИРД-Х» – первая советская экспериментальная ракета с ЖРД, созданная в Группе изучения реактивного движения под руководством С.П. Королева. Исходный вариант проекта выполнен Ф.А. Цандером. Стартовая масса 29,5 кг, масса топлива 8,3 кг, длина 2,2 м. Двигатель «10» с вытеснительной подачей топлива (жидкий кислород и этиловый спирт) имел тягу 0,7–0,8 кН. Первый пуск состоялся 25 ноября 1933 г. Ракета взлетела вертикально на высоту 75–80 м. Конструкция «ГИРД-Х» получила развитие в более совершенных советских ракетах, созданных в 1935–1937 гг.

Історія розвитку кріогеніки

1930–50-ті

Активний розвиток ракетної техніки потребував вироблення зрідженого кисню у промислових масштабах. Активний розвиток киснедобувної промисловості у світі

1932

Віллем Кеезом (Нідерланди)

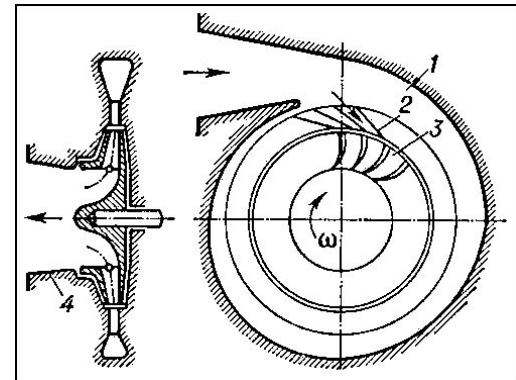
шляхом вакуумування рідкого гелію досягнув температури 0,71 К.



Історія розвитку кріогеніки

1934

Петро Капіца (СРСР - Англія) побудував зріджувач гелію з детандером (11 К). У 1939 р. він розробив активно-реактивний турбодетандер та здійснив розділення повітря на основі циклу низького тиску



Історія розвитку кріогеніки

1948

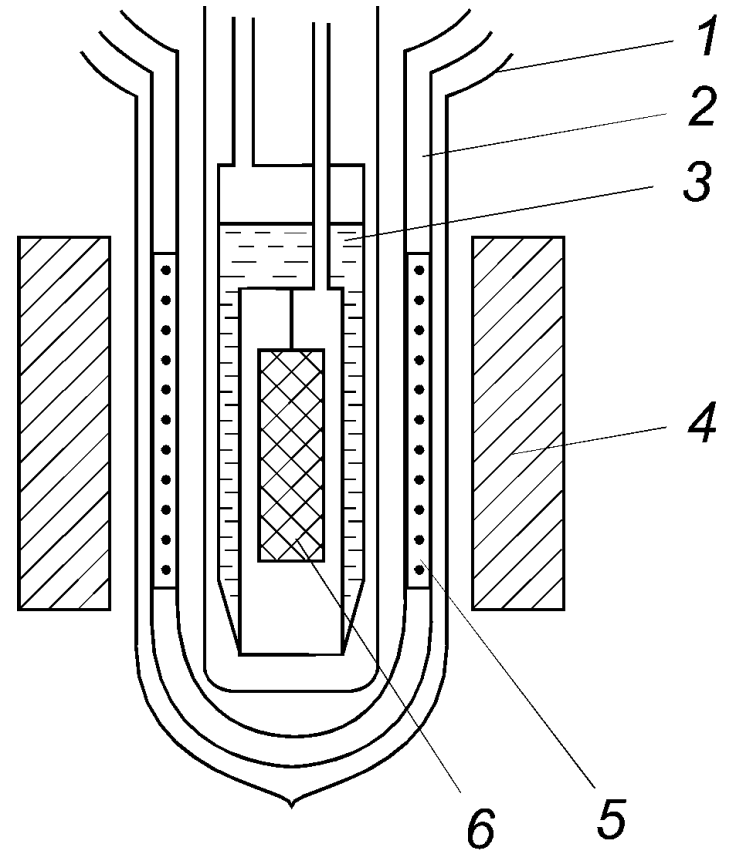
У Лос-Аламоській лабораторії (США) отримано рідкий гелій-3 (0,25 К)



Історія розвитку кріогеніки

1954

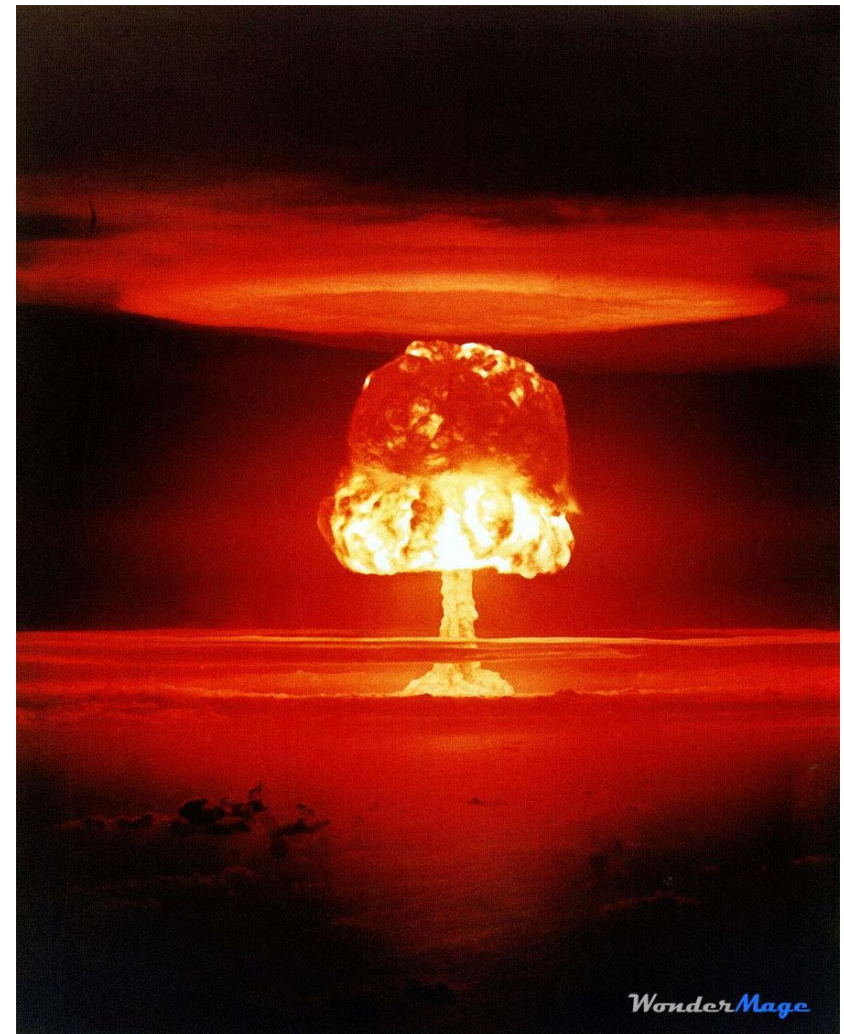
Д.Доунт, К.Барнес, К.Хір за допомогою розробленого ними магнітного кріорефрижератора отримали стійкі температури $0,2 \dots 0,3 \text{ K}$ та короточасні температури $0,0114 \text{ K}$



Історія розвитку кріогеніки

1955–1958

У СРСР винайдено промисловий спосіб виділення дейтерію з водню (М.П. Мєдведєв)



Історія розвитку кріогеніки

1965 – 1970

Початок практичного використання над-провідності у електричних машинах. До 1985 року їх потужність зросла до 500 МВт

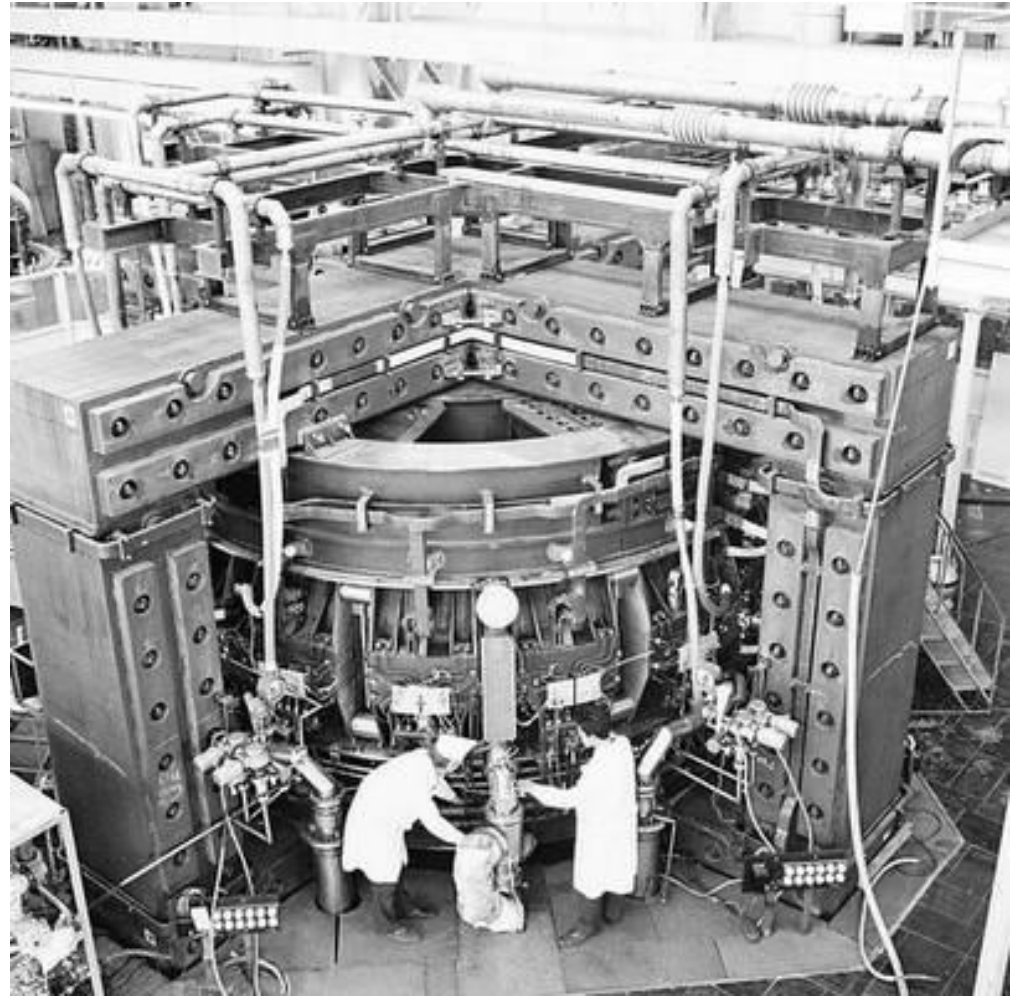


Історія розвитку кріогеніки

1980–1985

У СРСР

розроблені
надпровідні
установки для
прискорювачів
заряджених
часток та
плазмових
систем



Історія розвитку кріогеніки

1986

Карл Мюллер (Швейцарія) та Йоханес Георг Беднорц (Німеччина) встановили, що керамічний провідник, збудований з атомів лантану, барію, міді та кисню має температуру переходу у надпровідний стан 35 К – відкриття високотемпературної надпровідності.

Зараз критична температура сягнула 164 К – вийшла за межі кріогенної області.

Історія розвитку кріогеніки

1995

Карл Віман та Ерік Корнелл
(Університет штату
Колорадо, США) шляхом
розмагнічування ядер
рубідію досягли
найнижчої на сьогодні
температури $5,9 \cdot 10^{-12}$ К та
виробили конденсат
Бозе-Ейнштейна –
бозонну квантову рідину



Застосування кріогеніки

- Отримання, зрідження, зберігання газів
- Фізичні дослідження
- Надпровідні технології
- Вакуумна техніка
- Електроніка, комп'ютерна техніка
- Авіація, ракетно-космічна техніка
- Медицина, біологія, сільське господарство
- Харчова промисловість
- Утилізація відходів

Отримання, зрідження, зберігання, використання газів

- Розділення газових сумішей (повітря, природний газ, коксовий газ та ін.)
- Отримання газів (азот, кисень, водень, інертні гази)
- Зрідження природного газу для транспортування та зберігання



Отримання, зрідження, зберігання, використання газів



Кріорезервуар для
зрідженого азоту
(Гродно, Білорусь)



Кріорезервуари для
зрідженого кисню
(Байконур, Казахстан)

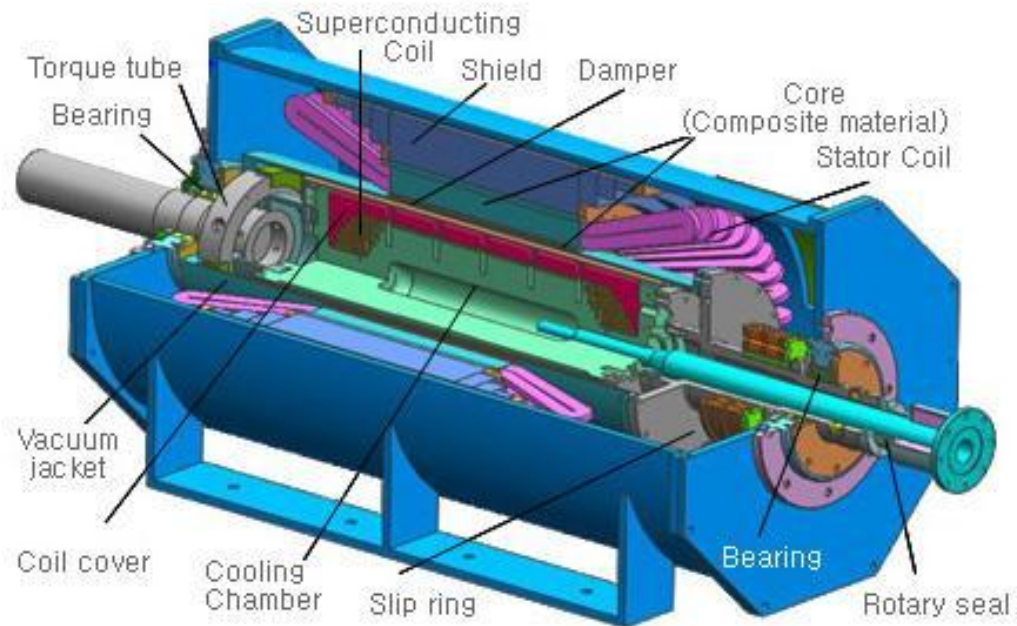
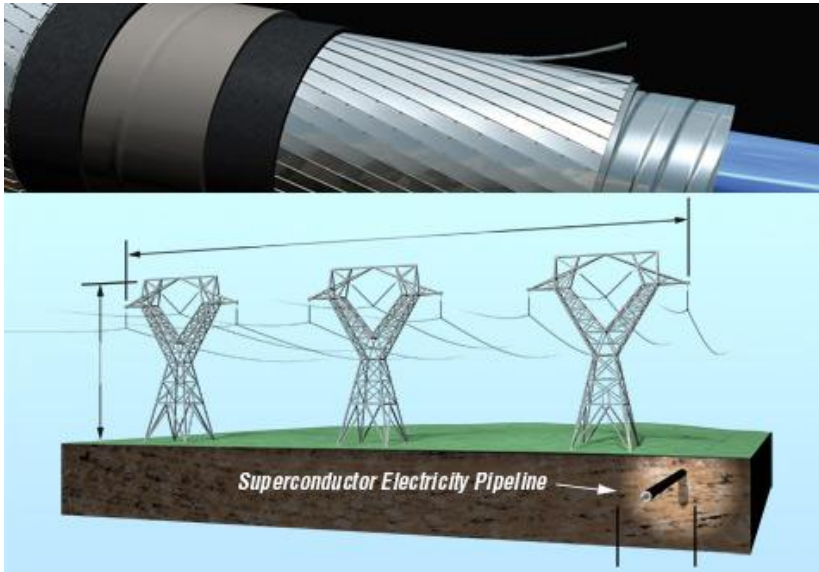
Фізичні дослідження

- Дослідження властивостей матеріалів
- Оптика
- Електромагнітні дослідження
- Ядерна фізика
- Дослідження елементарних часток



Надпровідні технології

- Потужні ЛЕП та струмопідведення (до 10 ГВт)
- Потужні генератори, електродвигуни трансформатори
- Вимірювальні прилади
- Потужні магнітні соленоїди



Вакуумна техніка

Створення надглибокого вакууму



Кріовакуумна установка – імітатор космічного простору для випробування елементів космічних апаратів



Частина системи азотно-гелієвого кріорефрижератора Великого адронного колайдера

Електроніка, комп'ютерна техніка



Охолодження комп'ютерного процесора Pentium IV зрідженим азотом для досягнення частоти 5,2 ГГц

Авіація, ракетно-космічна техніка



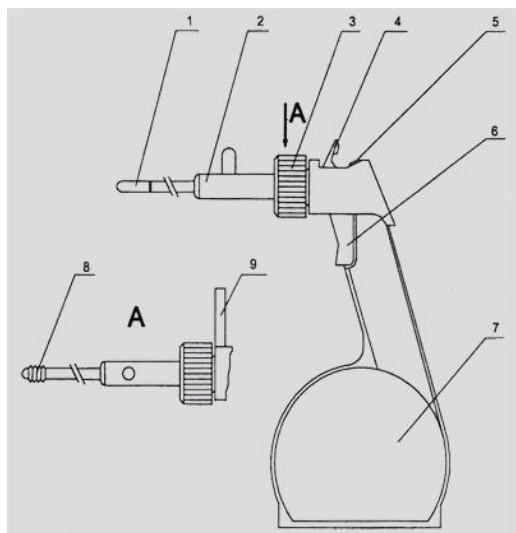
**Рідинні реактивні двигуни для літаків та ракет
($\text{LH}_2 - \text{LO}_2$)**

Зліва – Вернер фон Браун та ракетноносій Saturn-5 (1967)

Зправа – ракетноносій Союз (1957)

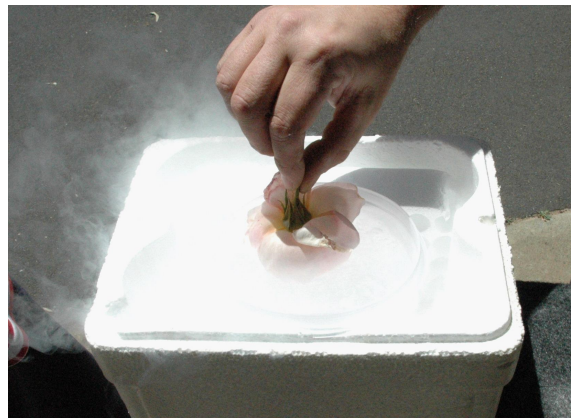
Медицина, біологія

- Кріотерапія
- Кріохірургія
- Кріоанестезія
- Косметологія
- Зберігання біологічних матеріалів
- МРТ-діагностика



Кріотехнології у харчовій промисловості

- Кріозаморожування
- Кріоподрібнення
- Сублімаційне висушування
- Кріогрануляція
- та інші



Інші галузі

- Кріоподрібнення для утилізації гумових покришок
- Автомобілі на водні (BMW Hydrogen 7) та рідкому азоті (Україна, США, Велика Британія)



Дякую за увагу!