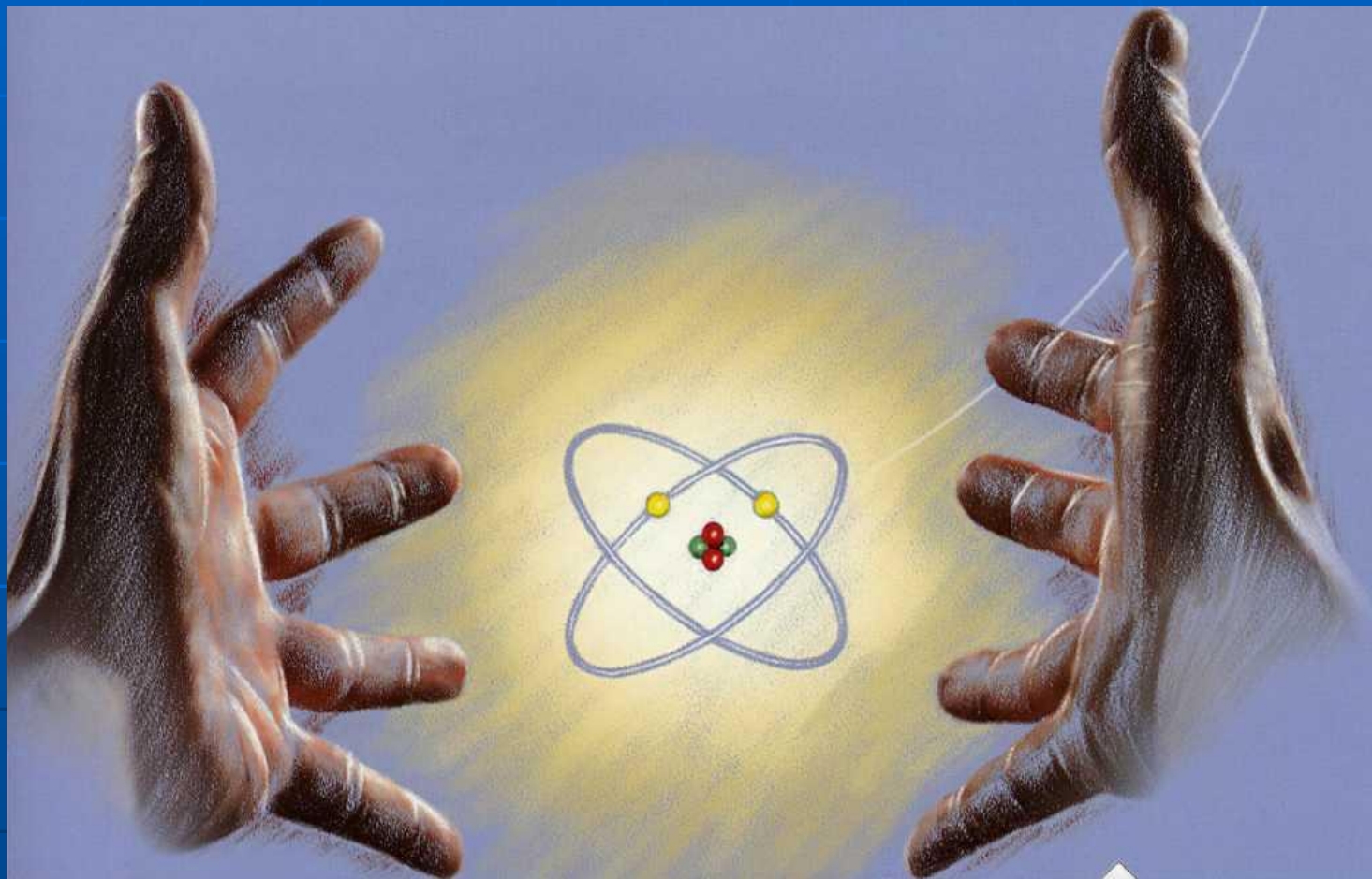
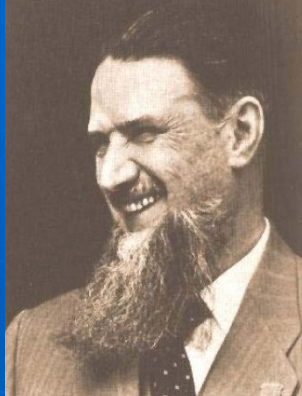


Методы разделения изотопов



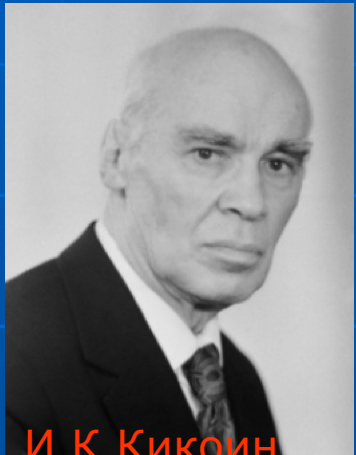
<u>Октябрь 1939 г.</u>	
Письмо Эйнштейна Рузвельту. Комитет по урану, с 1940 г. Комитет S-1 в Национальный комитет по оборонным исследованиям (наука и разработка)	
<u>Сентябрь 1942 г.</u>	<u>Октябрь 1942 г.</u>
«Манхэттенский проект» (производство оружия)	Записка Берии Сталину: Комитет № 1 - по атомной проблеме
<u>16 Июля 1945</u>	<u>20 августа 1945г.</u>
Испытание плутониевого заряда «Гаджет»	Специальный Комитет при ГКО СССР (Берия); Первое главное управление при СНК СССР (Ванников).
	<u>29 августа 1949г.</u>
	Испытание плутониевой бомбы РДС-1



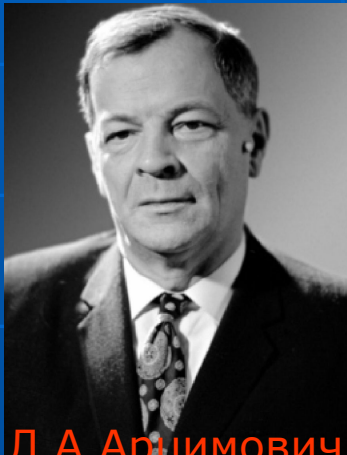
И.В.Курчатов



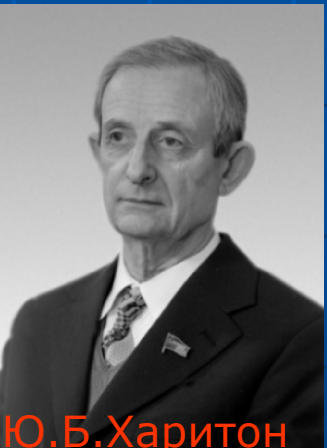
А.И.Алиханов



И.К.Кикоин



Л.А.Арцимович



Ю.Б.Харитон



К.И.Щелкин

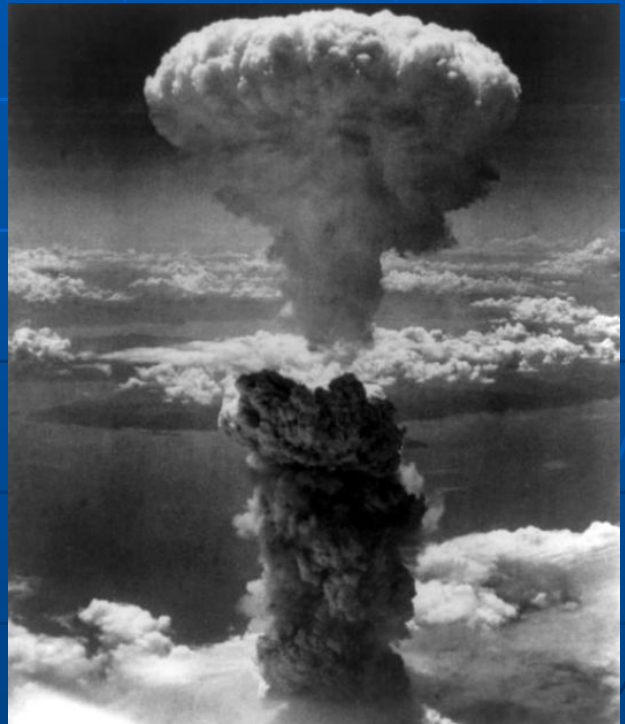
И.В. Курчатов – создание уран-графитового реактора и выделение плутония;
 А.И. Алиханов – постройка реактора на тяжелой воде;
 И.К. Кикоин – практическая разработка разделения изотопов урана газодиффузией;
 Л.А. Арцимович – разделение изотопов под действием магнитных полей;
 Ю.Б. Харитон и К.И. Щелкин – разработка конструкции урановой и плутониевой бомб.



Первое испытание атомной
бомбы в СССР



Первое испытание атомной
бомбы в США



Основные используемые методы разделения изотопов

- Электромагнитное разделение
- Газовая диффузия
- Жидкостная термодиффузия
- Газовое центрифугирование
- Аэродинамическая сепарация
- AVLIS (испарение с использованием лазера)
- Химическое обогащение
- Дистилляция
- Электролиз

Эффективности различных методов разделения

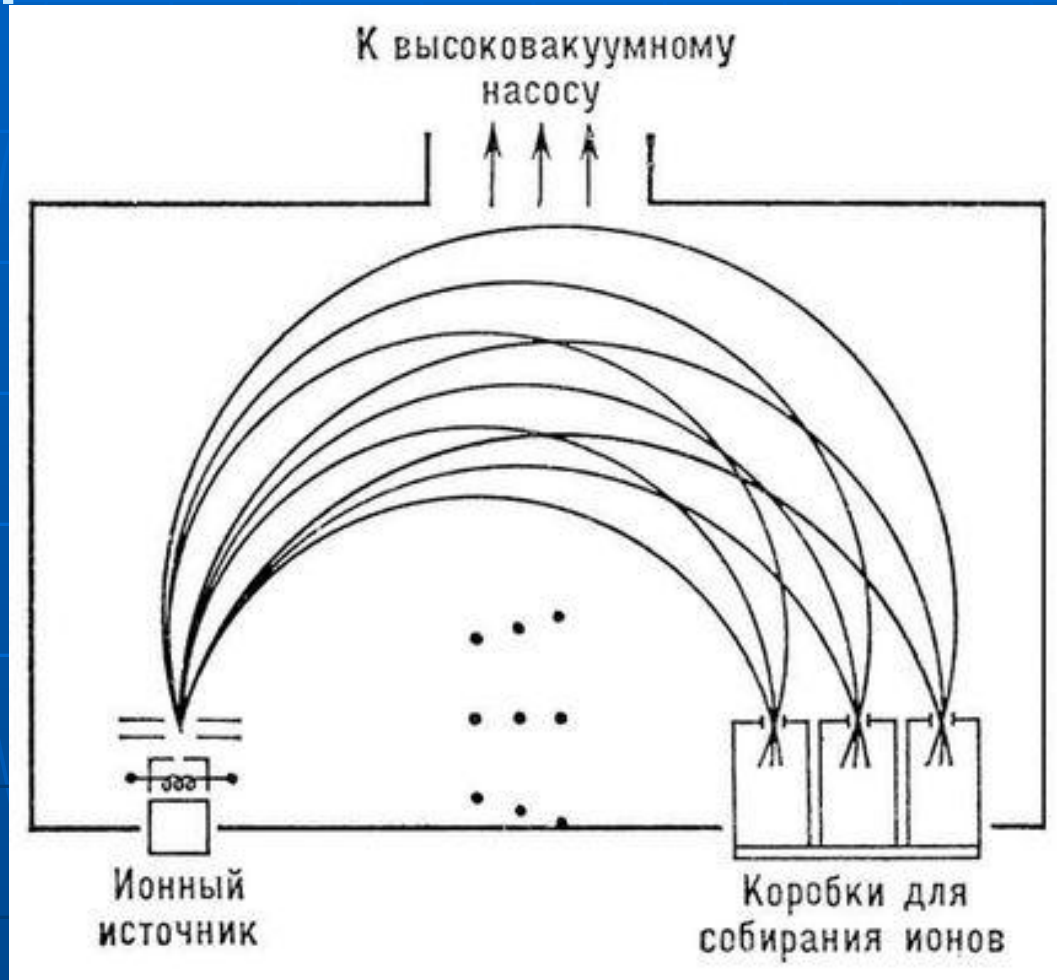
Метод разделения	H/D	C-12/13	U-235/238
Химическое обогащение	1.2-3	1.02	1.0015
Дистилляция	1.05-1.6	1.01	-
Газовая диффузия	1.2	1.03	1.00429
Центрифугирование (250 м/с)	1.01	1.01	1.026
Центрифугирование (600 м/с)	-	-	1.233
Электролиз	7	-	-

Электромагнитное разделение изотопов



Завод для электромагнитного разделения в Ок-Ридже (США)

Электромагнитное разделение изотопов



Схематическое изображение электромагнитного разделительного устройства; точки показывают направление магнитного поля, перпендикулярное плоскости рисунка

Газодиффузионное разделение изотопов

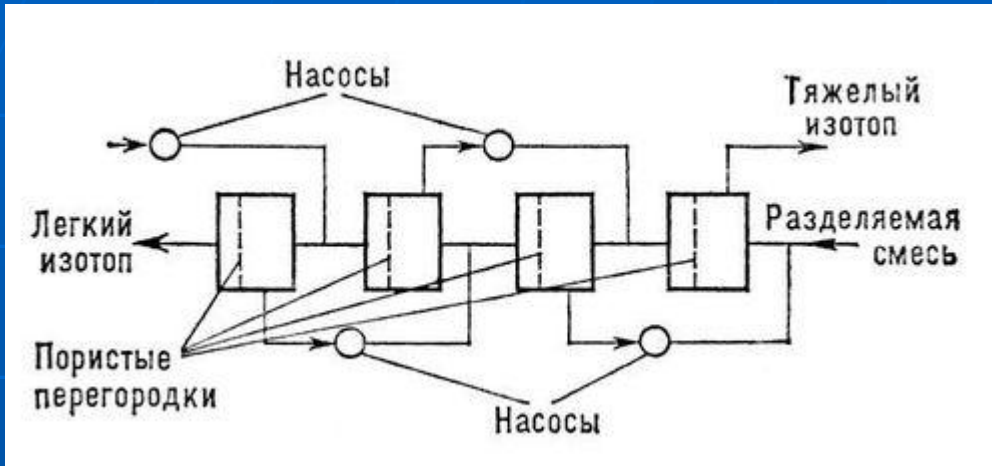


Схема устройства для разделения изотопов методом газовой диффузии

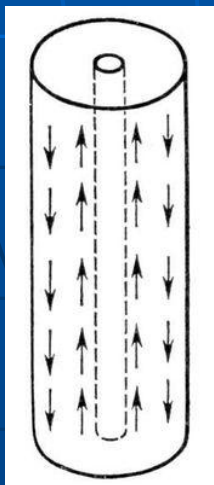


Схема термодиффузионной разделительной колонки

$$\alpha = \frac{\sqrt{M_2/M_1} - (\sqrt{M_2/M_1} - 1)k}{1 + (\sqrt{M_2/M_1} - 1)k(1-c')}, \quad k = \frac{P_1}{P_0}$$

$$\alpha_0 = \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{M_2 M_1}$$



Впервые диффузию через пористые перегородки как инструмент разделения смеси газов предложил использовать Густав Герц - племянник Генриха Герца, в честь которого названа единица частоты

Газодиффузионное разделение изотопов



Газодиффузионный завод для производства ^{235}U в Ок-Ридже (США)

Противоточная масс-диффузия

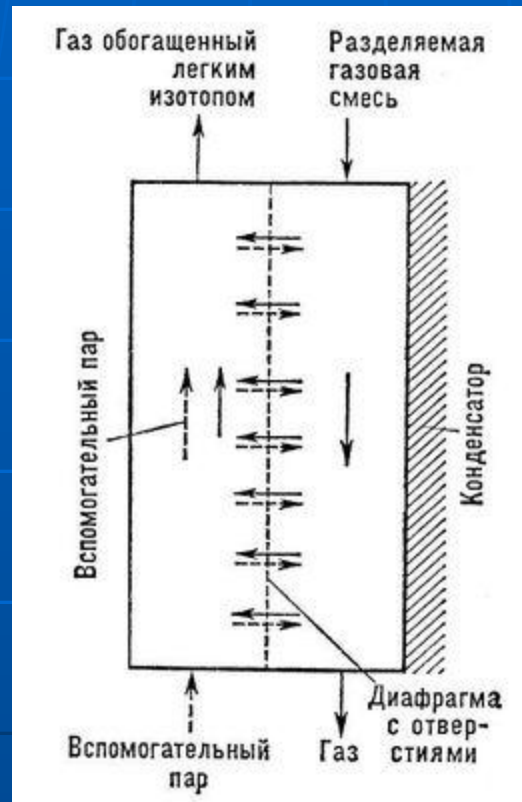
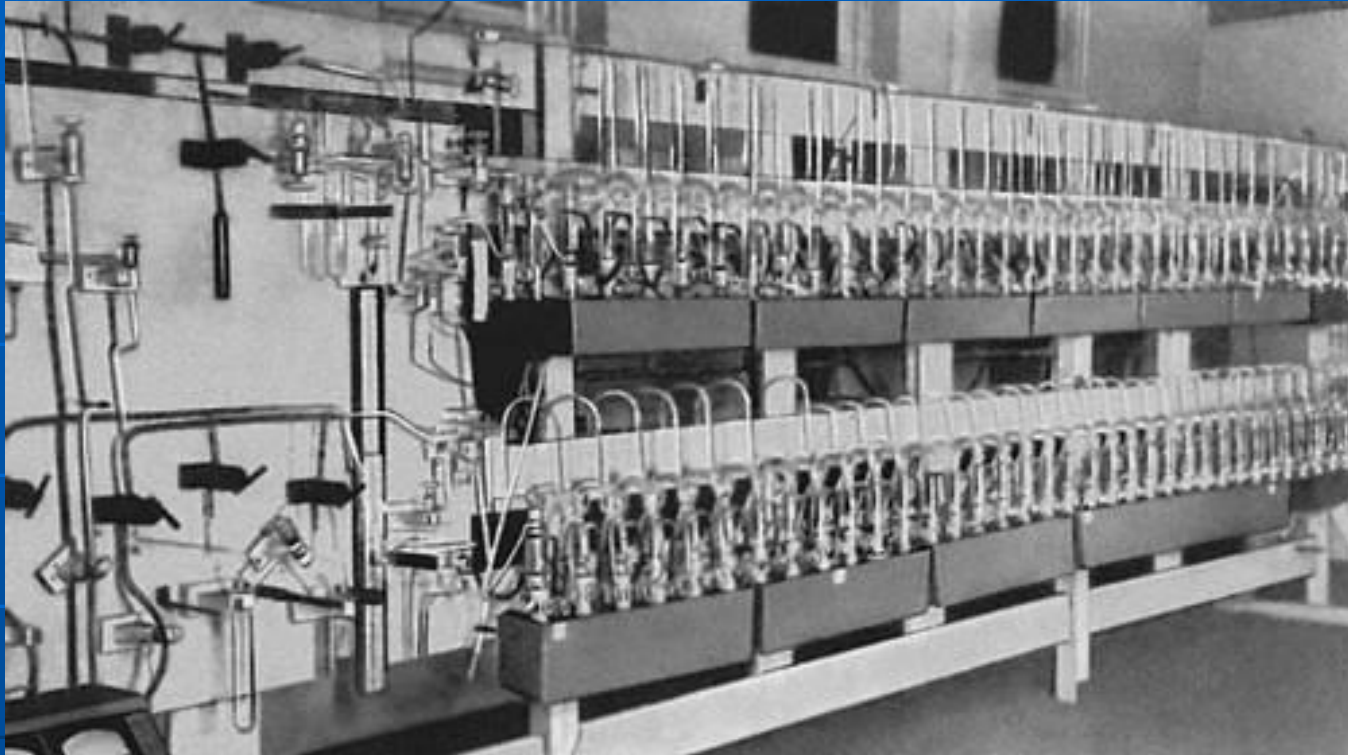


Схема устройства для разделения изотопов методом
противопоточной масс-диффузии

Противоточная масс-диффузия



Разделительная установка, работающая на противоточной масс-диффузии

Принцип каскада

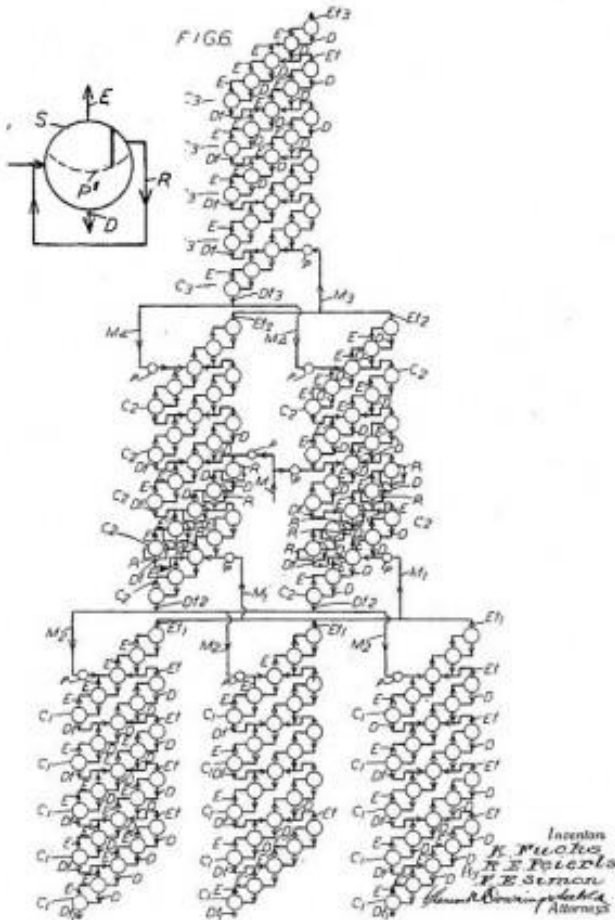
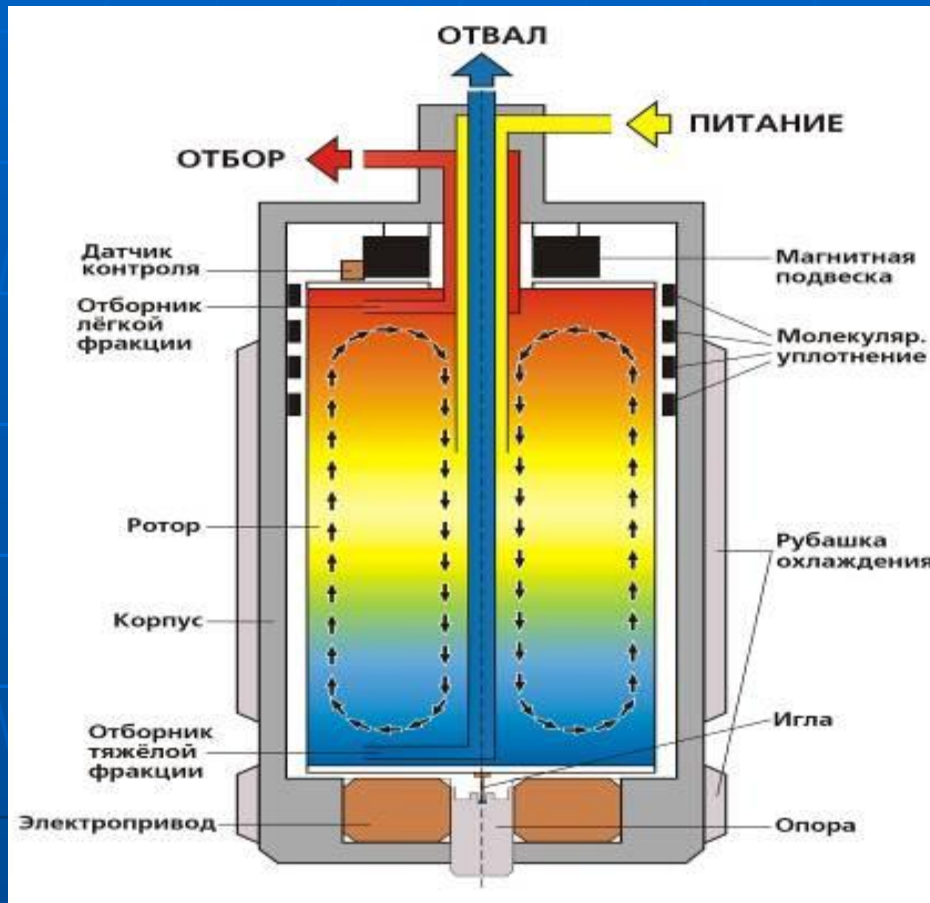


Схема отдельной ступени диффузионного разделения с локальной рециркуляцией части гексафторида урана; в центре – схема каскада стадий; правый нижний угол – подписи авторов: Фукс, Пайерлс, Саймон. По закону авторы патента США, положив руку на Библию, должны клясться, что в нем не содержится «заведомо ложная информация».

За один проход диффузионной камеры обогащенный поток может в лучшем случае содержать целевого урана 235 всего в 1.004 раз больше, чем обедненный. В природном уране этого изотопы 0,72 % , чтобы довести его содержание до 95%, т.е. до оружейных кондиций, на обогатительном заводе сырье пропускают через громадную систему, или каскад диффузионных машин.

Газовое центрифугирование



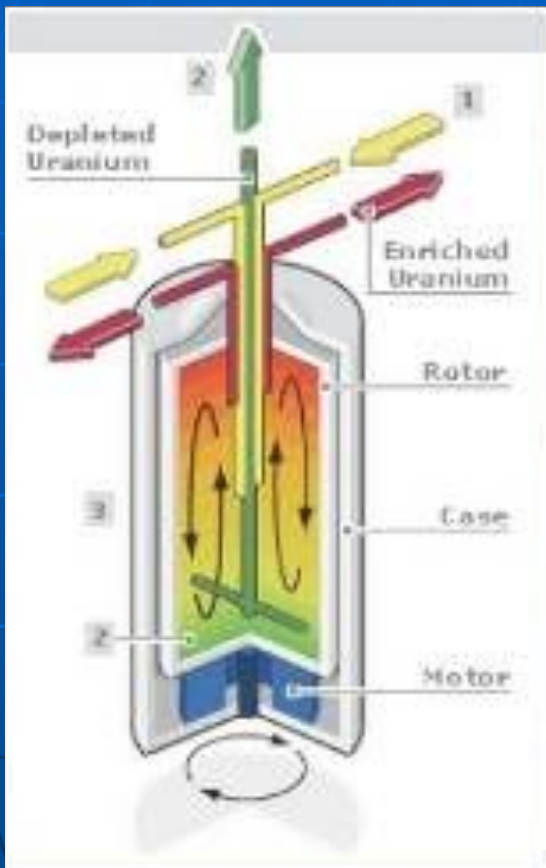
Степень разделения пропорциональна квадрату отношения скорости вращения к скорости молекул в газе. Типичные линейные скорости вращающихся роторов 250-350 м/с, в усовершенствованных центрифугах до 600 м/с.

Максимальная теоретическая разделительная мощность центрифуги определяется известной формулой Дирака

$$\delta U_{\max} = rD[(M_2 - M_1)V^2 / 2RT]^2 (Z / 2)$$

Схема разделительной газовой центрифуги

Газовое центрифугирование



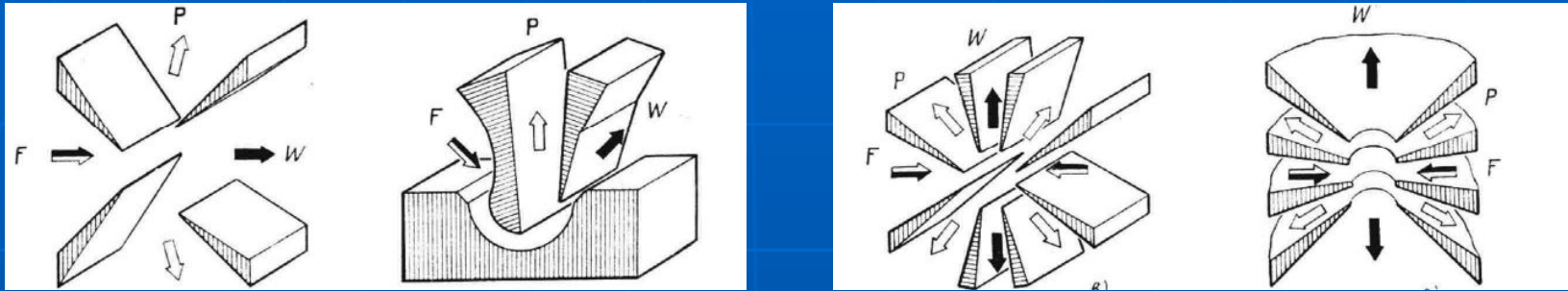
Внешний вид центрифуги фирмы URENCO

Газовое центрифугирование



Внешний вид каскада разделительных центрифуг

Аэродинамическая сепарация



Метод разрабатывался Центром научных исследований в Карлсруэ совместно с фирмой «Штеаг» (ФРГ). В 1975 г. фирмы «Нуклебрас» (Бразилия) и «Интератом» (ФРГ) объединили свои усилия. Первоначальная цель их деятельности состояла в конструировании демонстрационного разделительного завода (Бразилия)

Метод является основой промышленной разделительной системы, так называемый UCOR-метод, разработанный в ЮАР в обстановке секретности, является газодинамическим методом, используемым в режиме с большой молярной концентрацией водорода. Авторами он был назван методом усовершенствованной вихревой трубы

Химический изотопный обмен

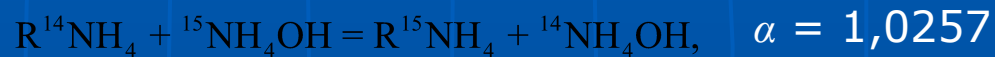
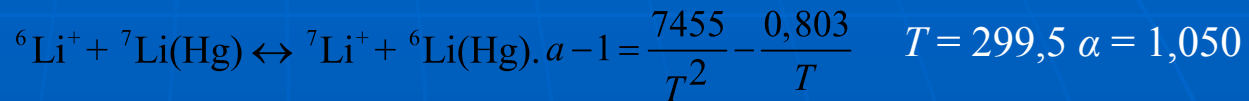
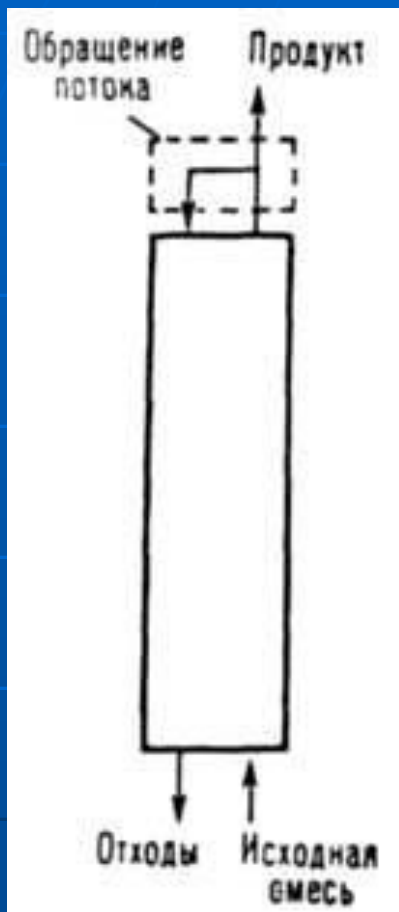


Схема противоточной колонны с обращением потока

Метод дистиляции

Ректификация воды – сложный массообменный процесс, который осуществляется в противоточных колонных аппаратах с контактными элементами – насадками или тарелками. В процессе ректификации воды происходит непрерывный обмен между движущимися относительно друг друга молекулами жидкой и паровой фазы. При этом жидкая фаза обогащается более высококипящим компонентом, а паровая фаза – более низкокипящим – тяжёлой водой и другими тяжёлыми изотопами трития ^3H и кислорода ^{18}O .

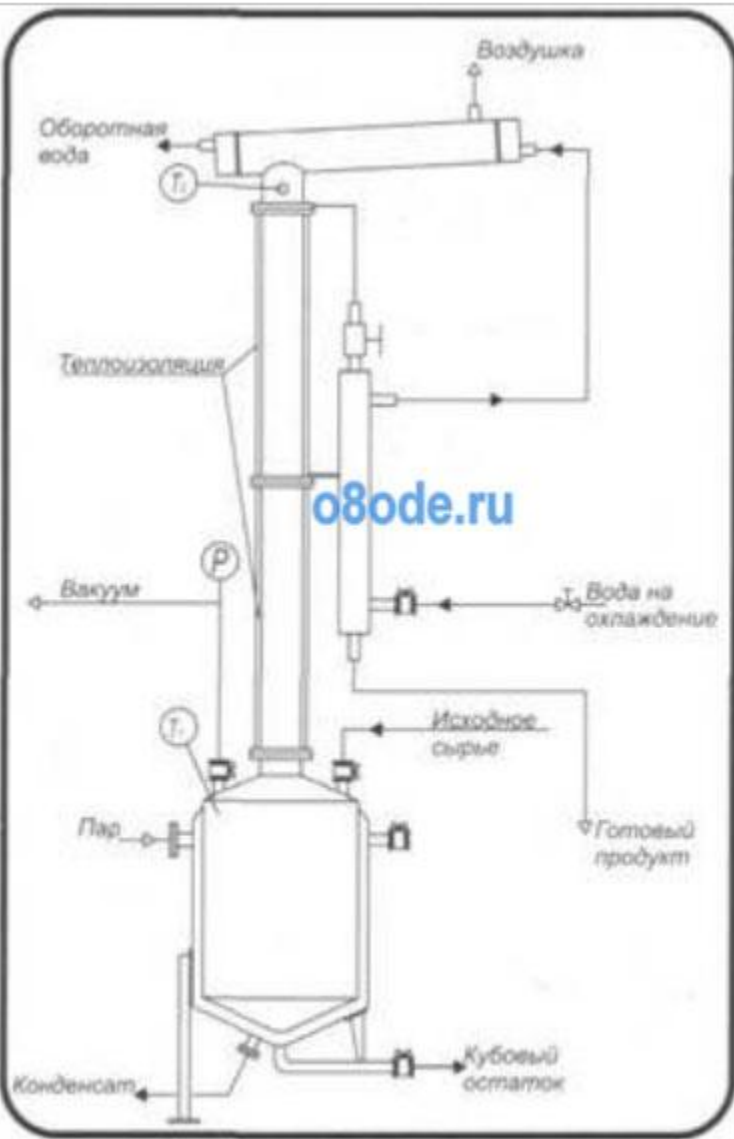
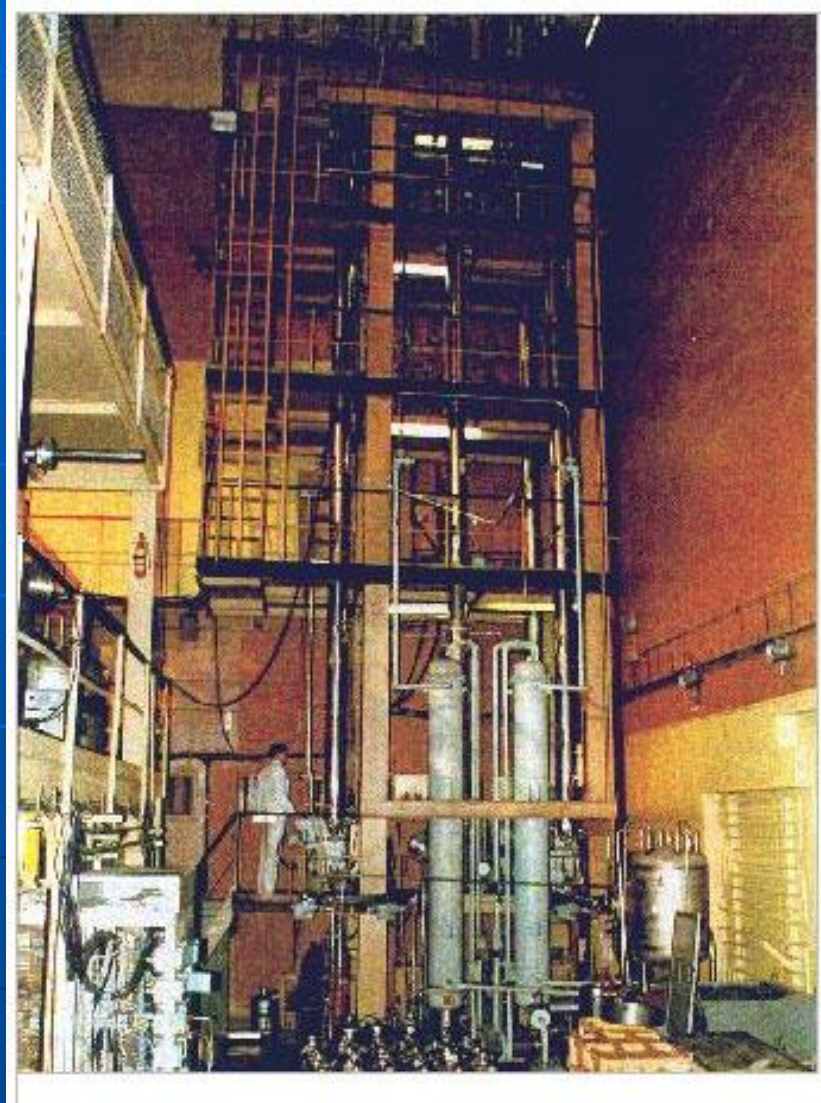


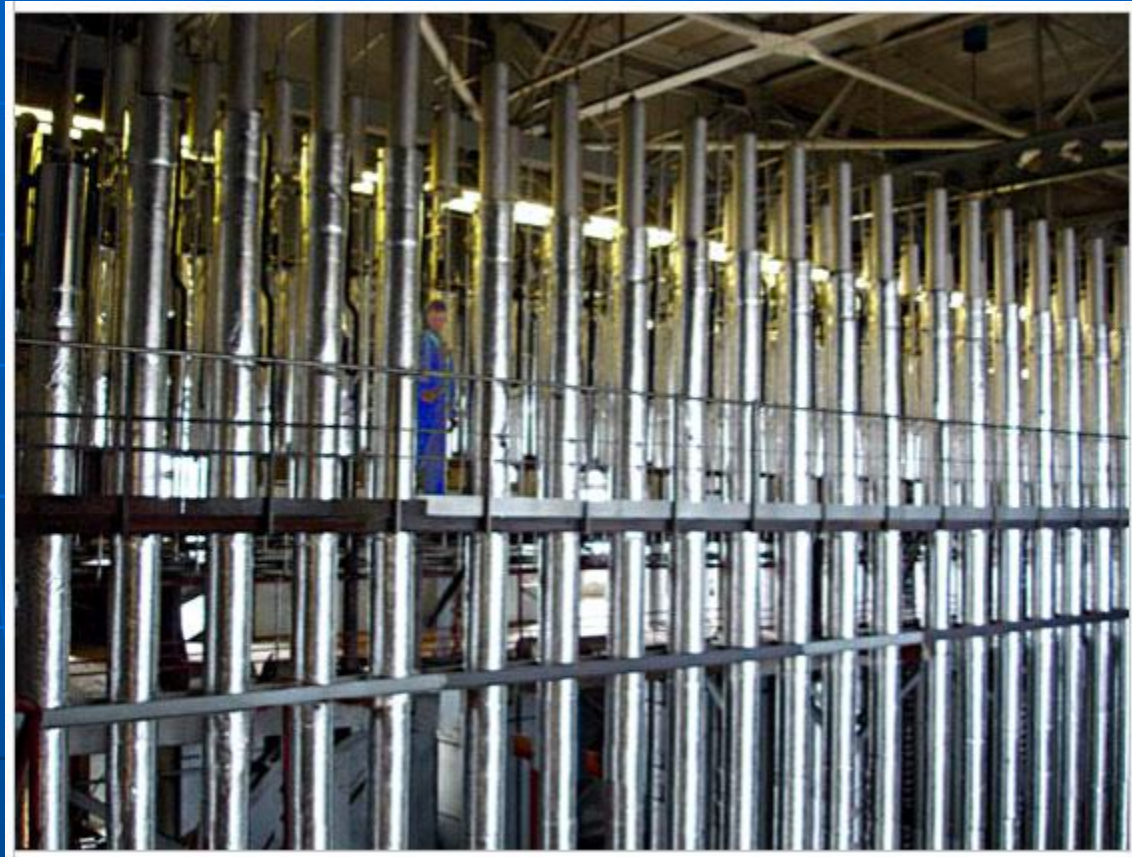
Схема ректификационной колонны

Метод дистилляции



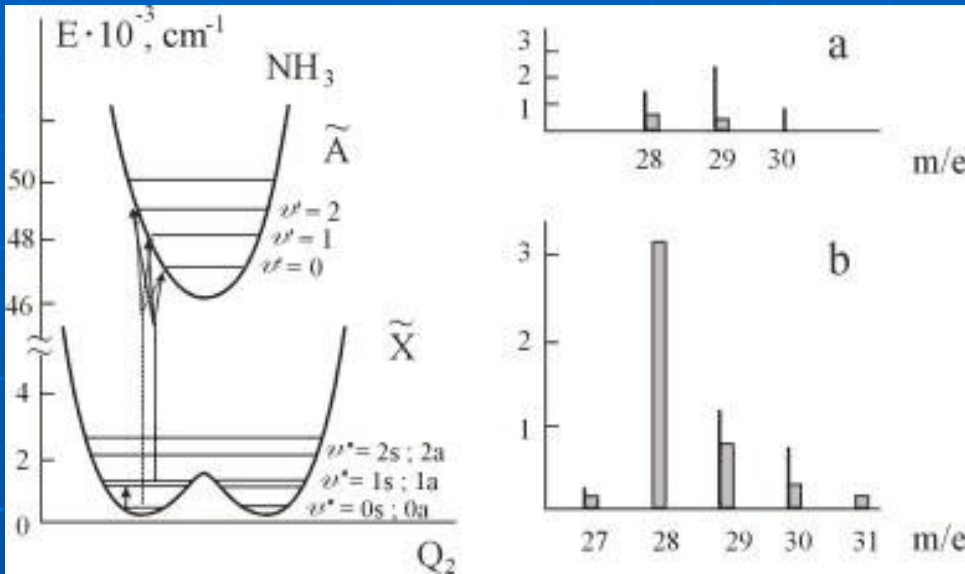
Вид промышленной ректификационной колонны

Метод дистилляции

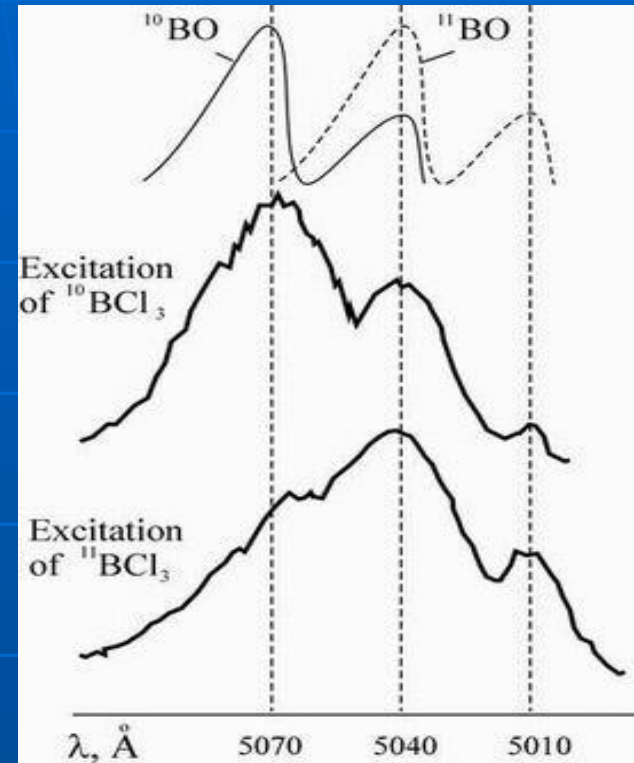


Общий вид батареи колонн ректификации для разделения молекул воды на "лёгкие" и "тяжёлые"

Оптические (лазерные) методы разделения

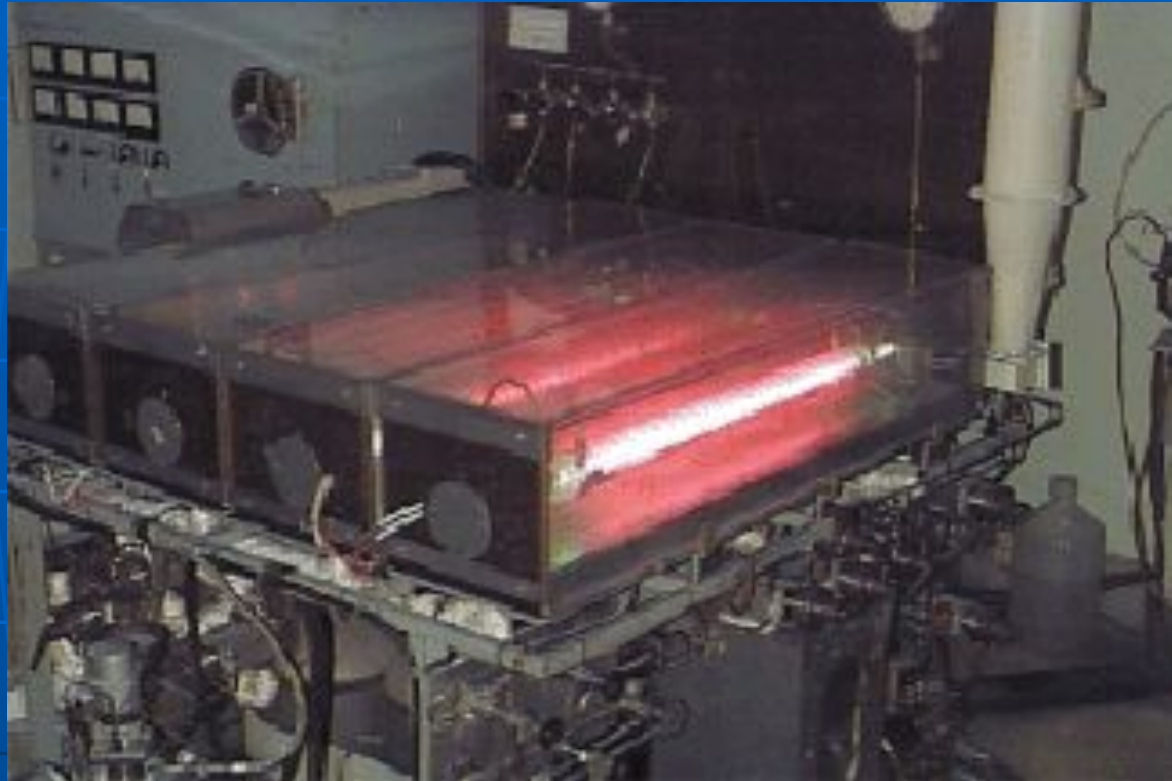


Слева: Схема изотопически-селективной двухступенчатой фотодиссоциации молекул аммиака. Селективно возбужденные ИК лазерным излучением молекулы диссоциируются УФ излучением. Справа: результаты по лазерному разделению изотопов азота. Масс-спектры N_2 при: (а) неселективной фотодиссоциации смеси $^{14}\text{NH}_3 + ^{15}\text{NH}_3$ (соотношение 1:1) и (б) селективной (по $^{15}\text{NH}_3$) двухступенчатой фотодиссоциации смеси. Заштрихованные линии соответствуют масс-спектрам смеси до облучения (фоновые линии)



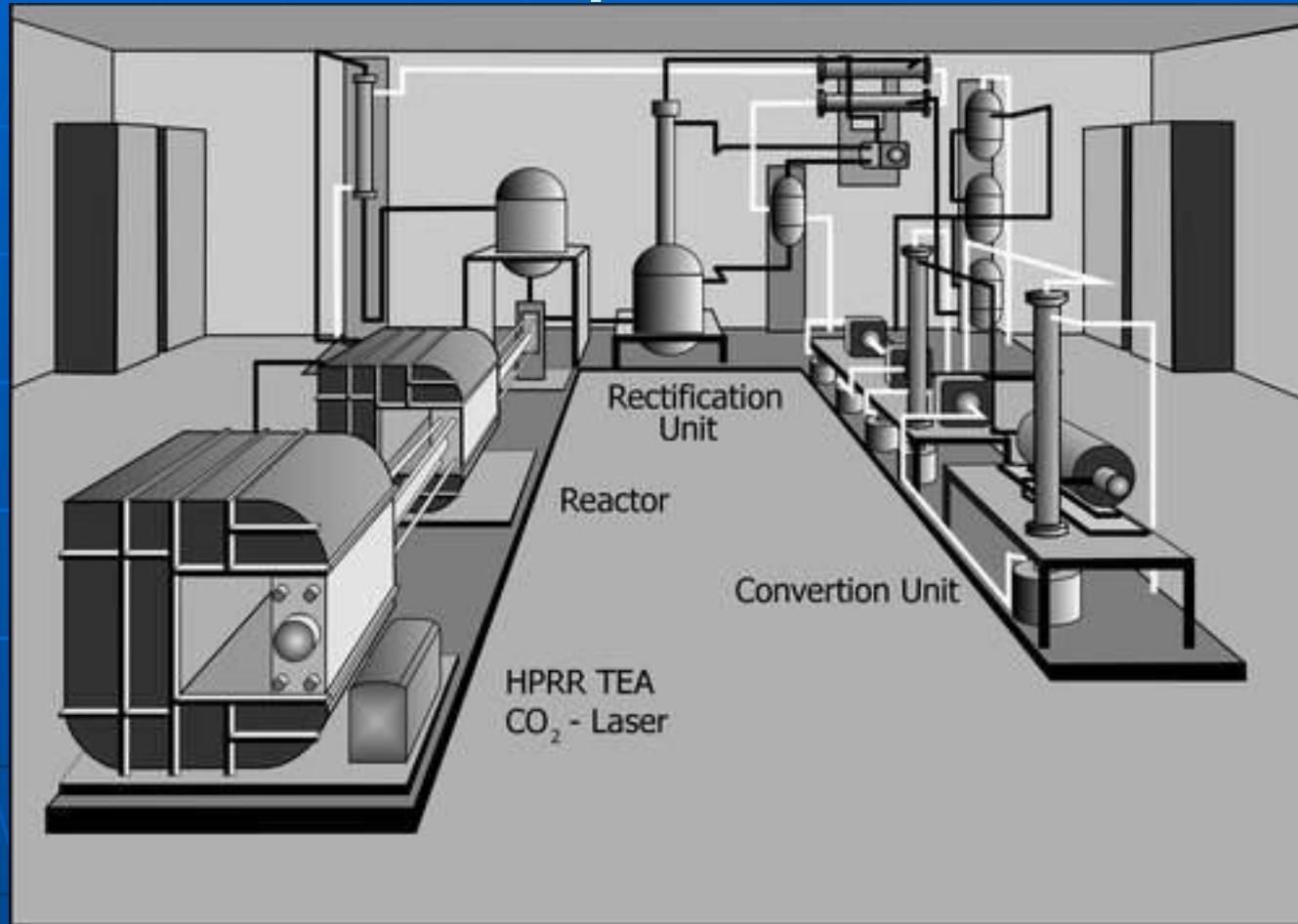
Наблюдение изотопической селективности ИК МФ диссоциации молекул: хемилюминесценция радикала BO^* при облучении CO_2 -лазером смеси $^{10}\text{BCl}_3$ и $^{11}\text{BCl}_3$ в присутствии кислорода. Вверху приведены модельные спектры радикалов ^{10}BO и ^{11}BO в отдельности

Оптические (лазерные) методы разделения



Установка «Фотон» для разделения изотопов ртути фотохимическим методом

Оптические (лазерные) методы разделения



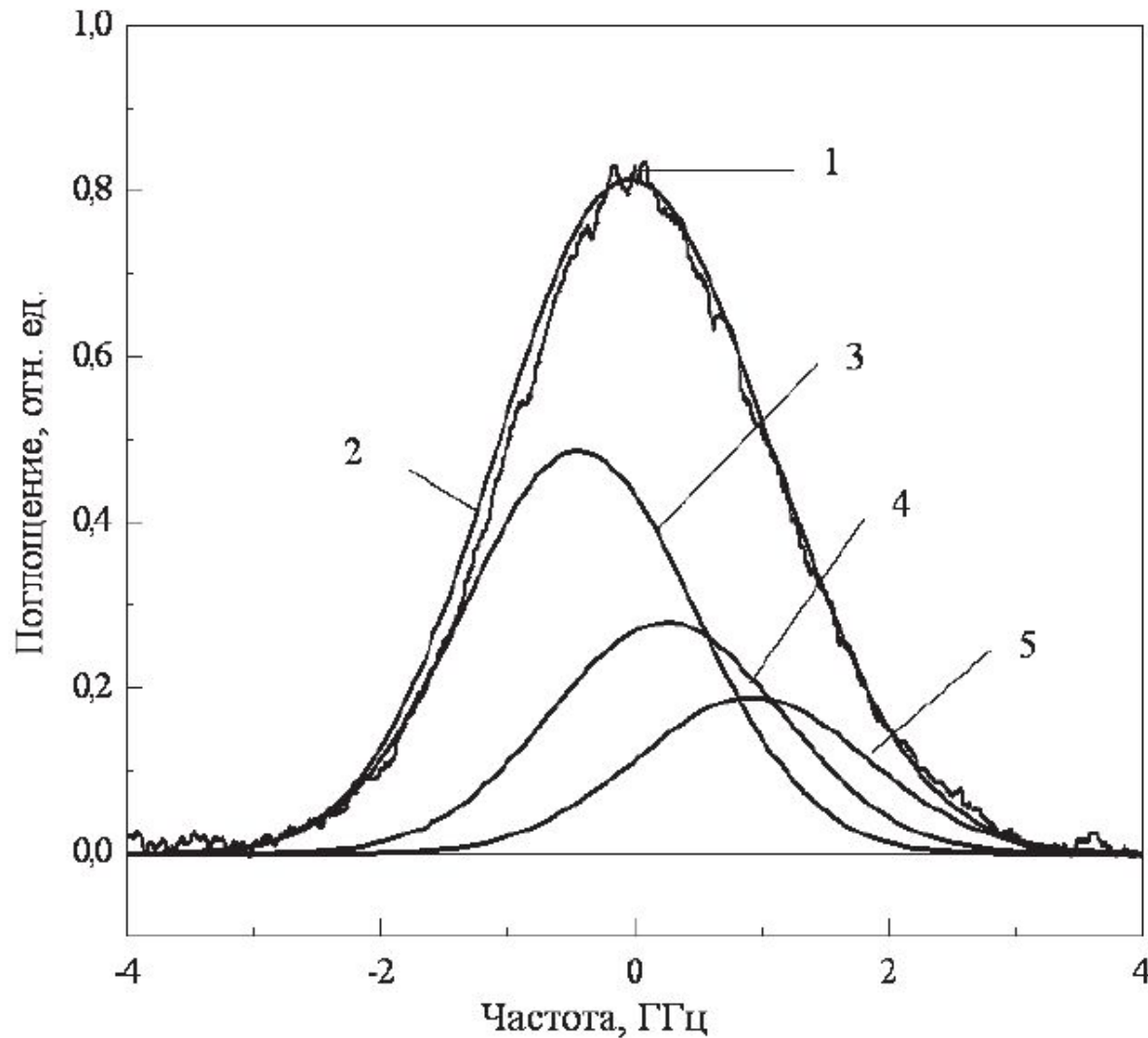
Блок-схема одного из модулей завода по лазерному разделению изотопов углерода. Модуль состоит из импульсно-периодического CO₂-лазера (средняя мощность – до 1,8 кВт); разделительного реактора; блока выделения обогащенного продукта; блока конверсии последнего в конечный продукт – ¹³CO₂

Оптические (лазерные) методы разделения



Лазерный участок завода по производству изотопов углерода

Оптические (лазерные) методы разделения



Спектр поглощения Zn на
переходе $4s^2 \ 1S_0 \rightarrow 4p^3P^o_1$:
1 — эксперимент; 2 — расчет;
3, 4, 5 — расчет для изотопов
 ^{64}Zn , ^{66}Zn , ^{68}Zn соответственно

Благодарю за внимание !