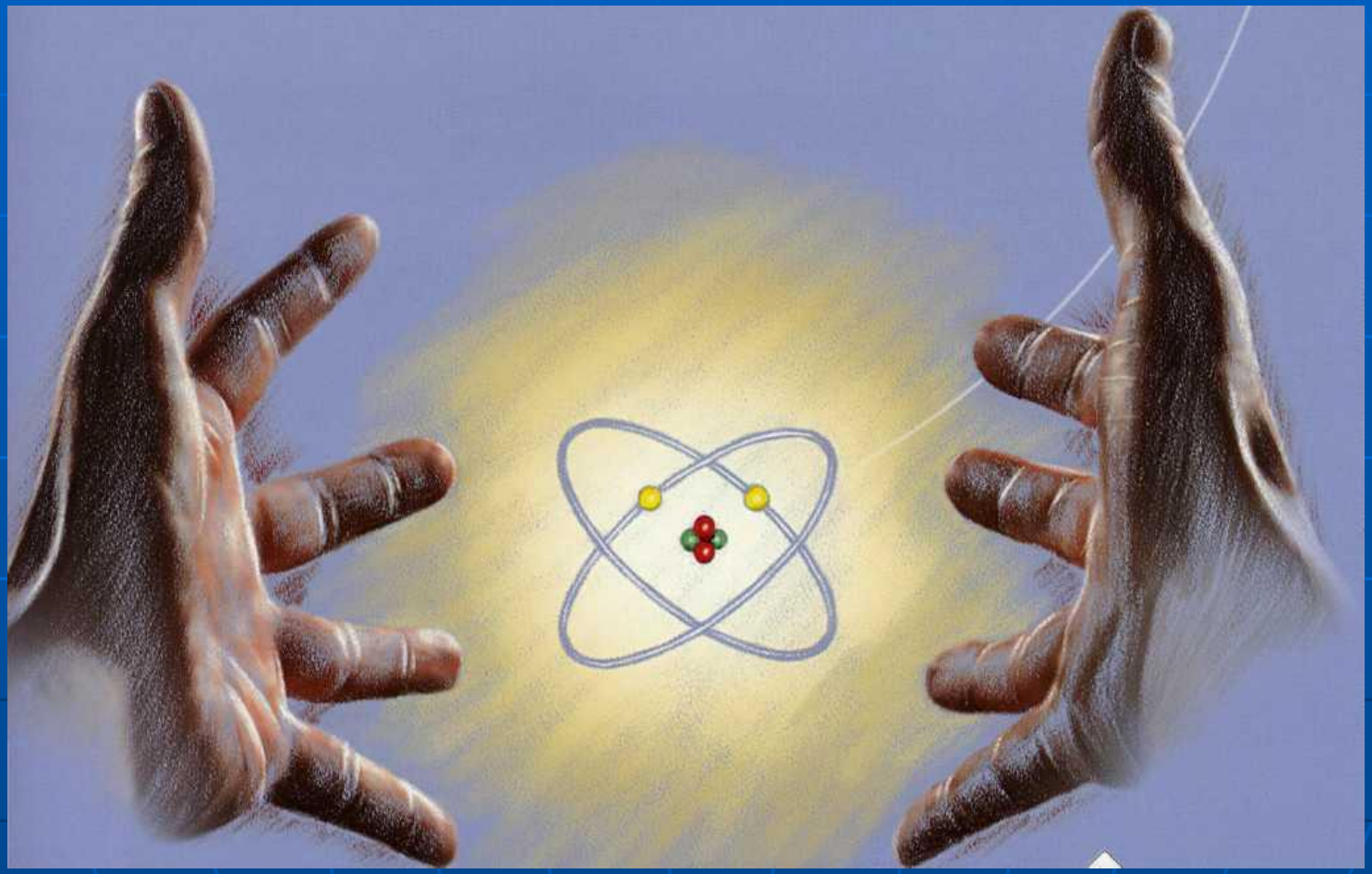
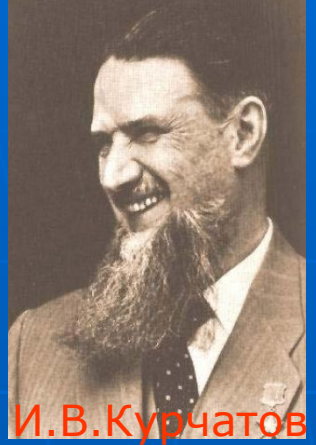
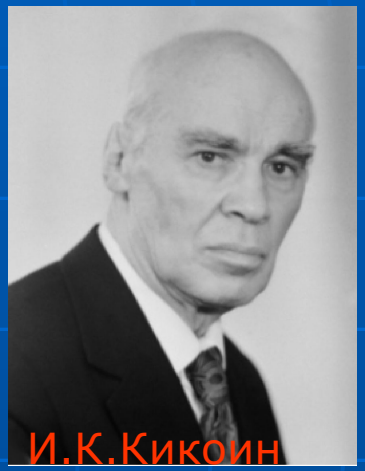
Методы разделения изотопов



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

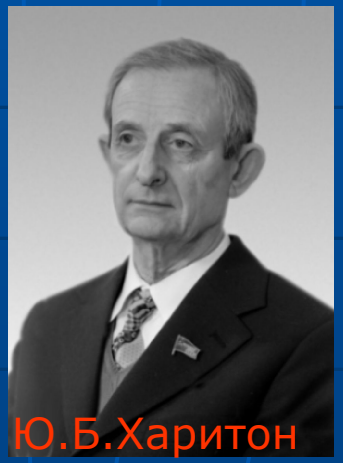

И.В.Курчатов

А.И.Алиханов


И.К.Кикоин

Л.А.Арцимович

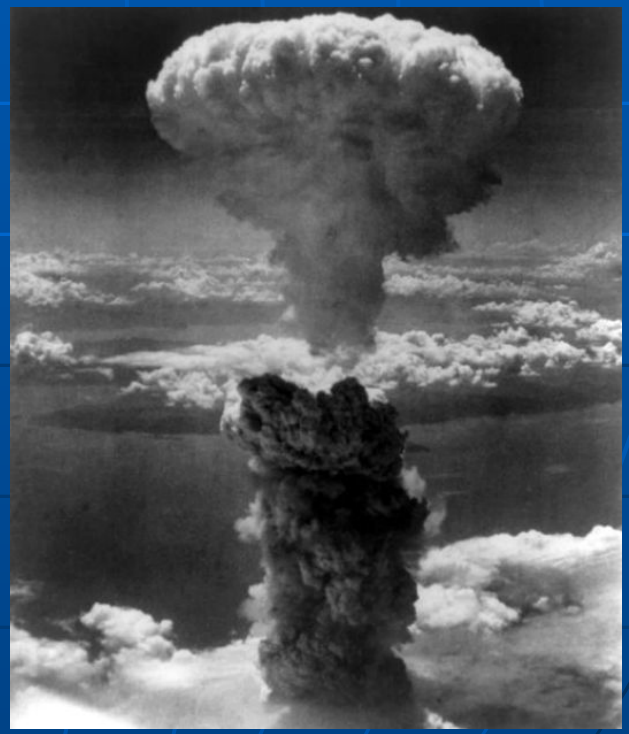
И.В. Курчатов – создание уран-графитового реактора и выделение плутония;
А.И. Алиханов – постройка реактора на тяжелой воде;
И.К. Кикоин – практическая разработка разделения изотопов урана газодиффузией;
Л.А. Арцимович – разделение изотопов под действием магнитных полей;
Ю.Б. Харитон и К.И. Щелкин –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


Ю.Б.Харитон

К.И.Щелкин

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

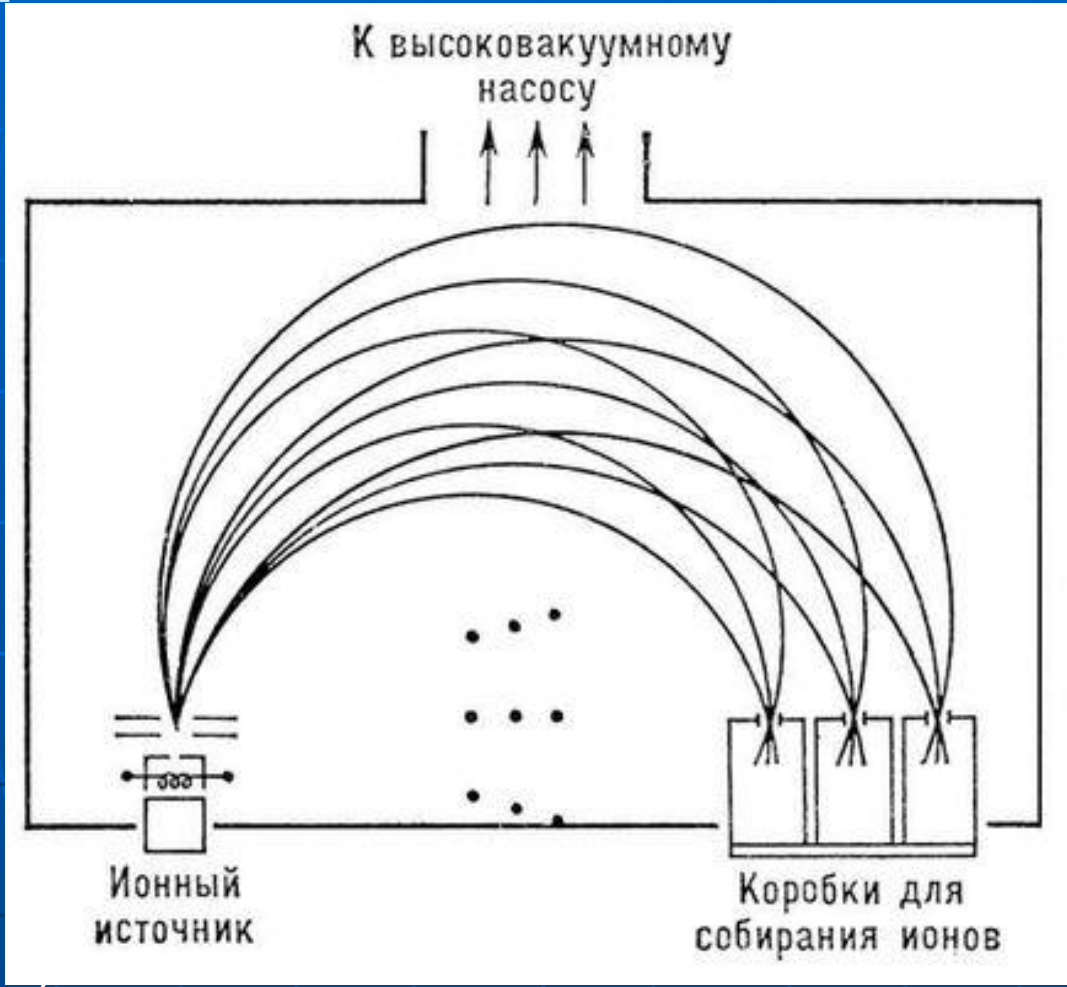
Эффективности различных методов разделения

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

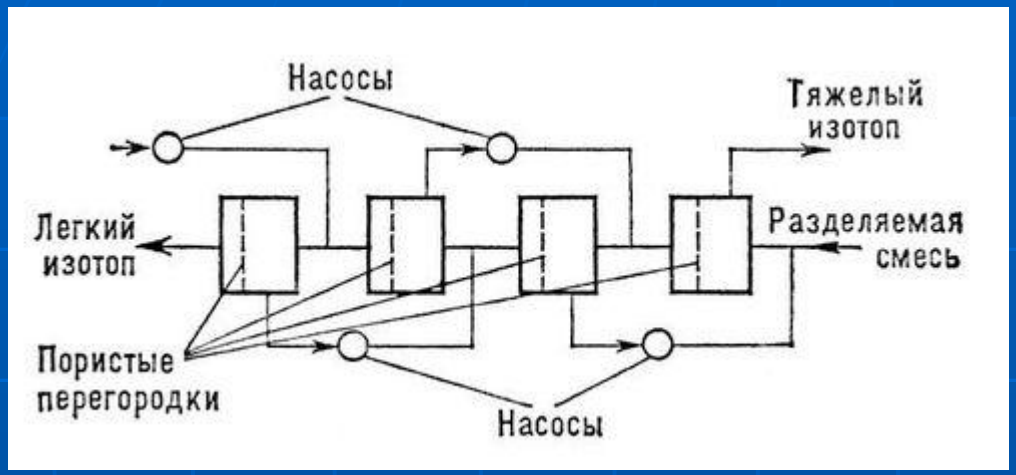


Схема устройства для разделения изотопов методом газовой диффузии

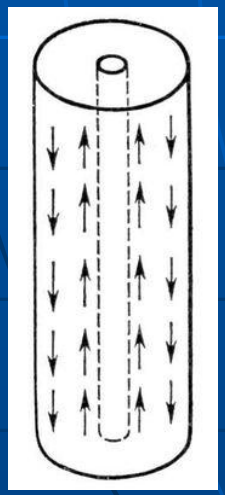


Схема термодиффузионной разделительной колонки

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

$$\alpha_0 = \frac{\bar{\nu}_1}{\bar{\nu}_2} = \sqrt{M_2 M_1}.$$

Patented Mar. 11, 1924. 1,486,521

UNITED STATES PATENT OFFICE.

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

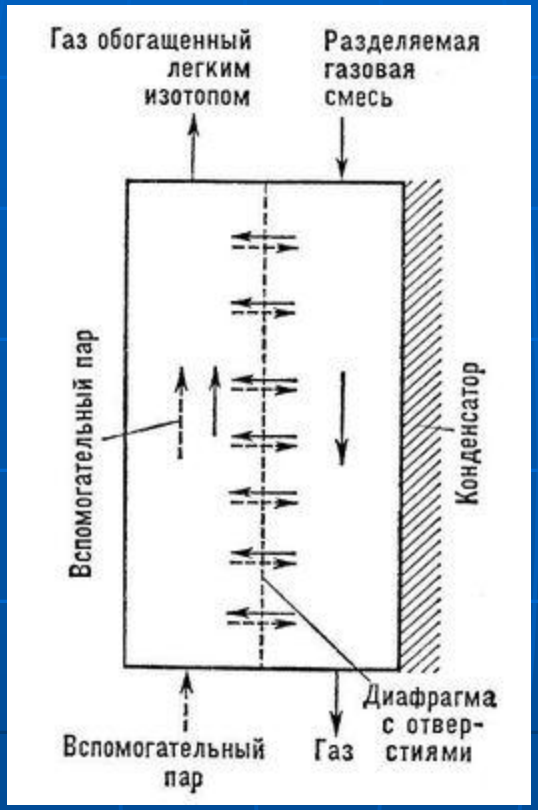
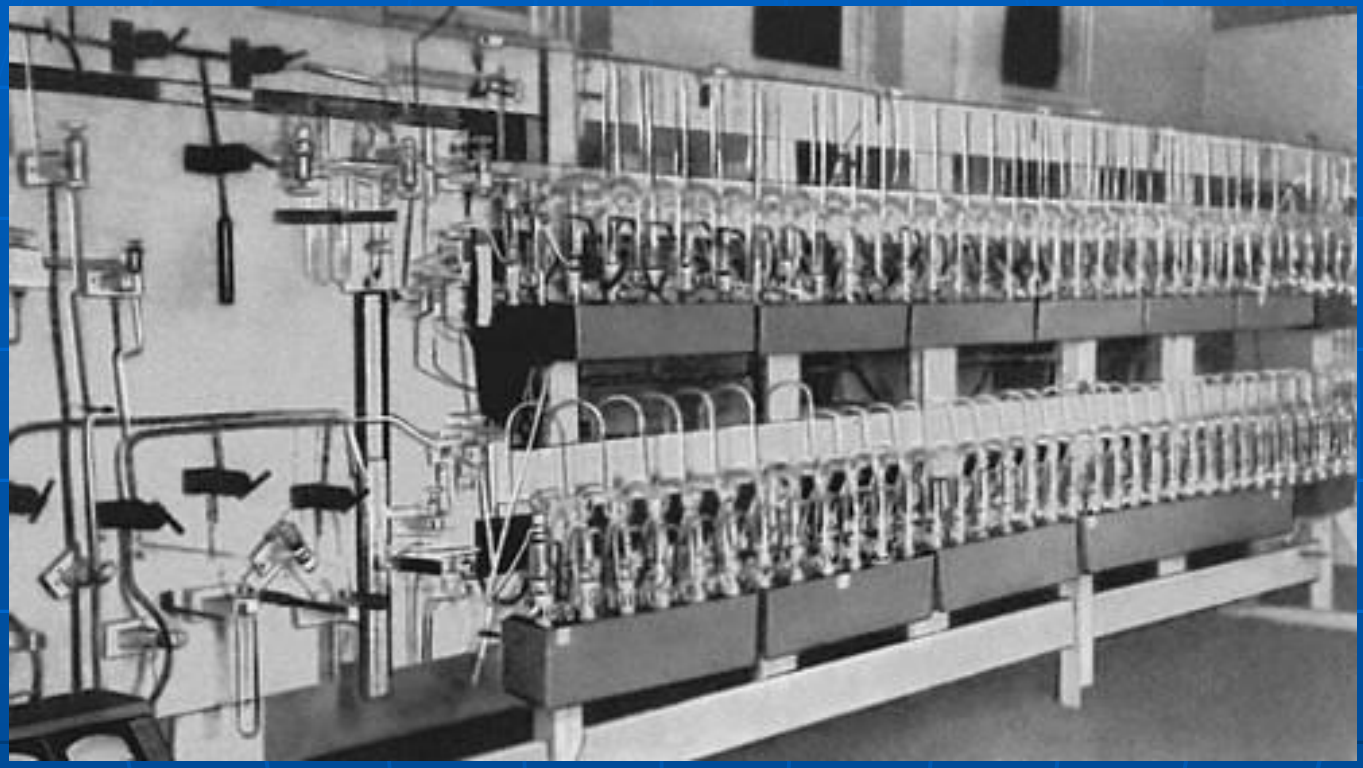


Схема устройства для разделения изотопов методом противопоточной масс-диффузии

Противоточная масс-диффузия



Разделительная установка, работающая на противопоточной масс-диффузии

Принцип каскада

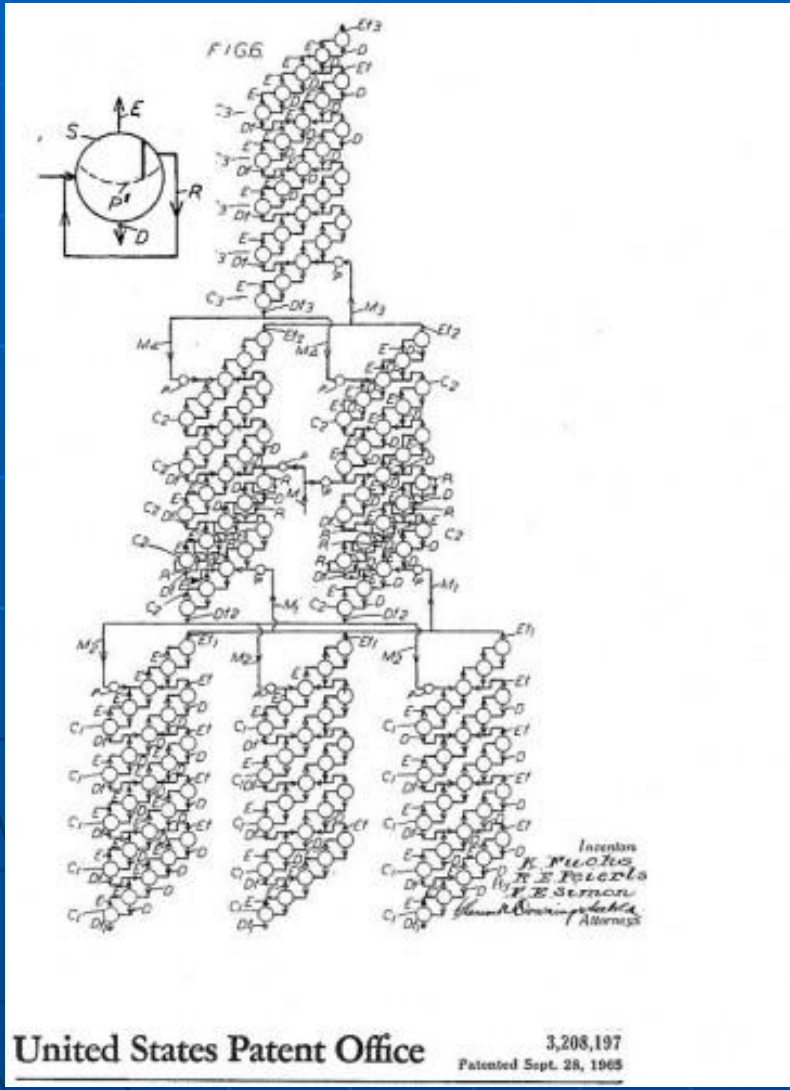


Схема отдельной ступени диффузионного разделения с локальной рециркуляцией части гексафторида урана;
в центре – схема каскада стадий;
правый нижний угол – подписи авторов: Фукс, Пайерлс, Саймон. По закону авторы патента США, положа руку на Библию, должны клясться, что в нем не содержится «заведомо ложная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

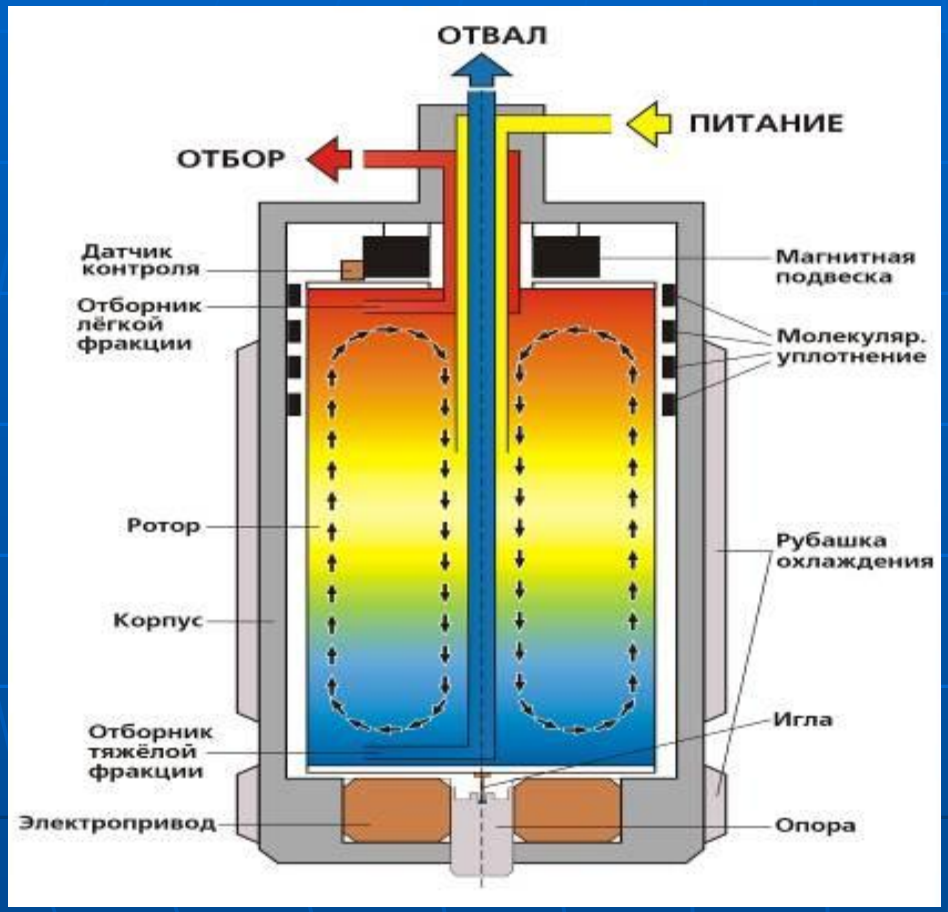


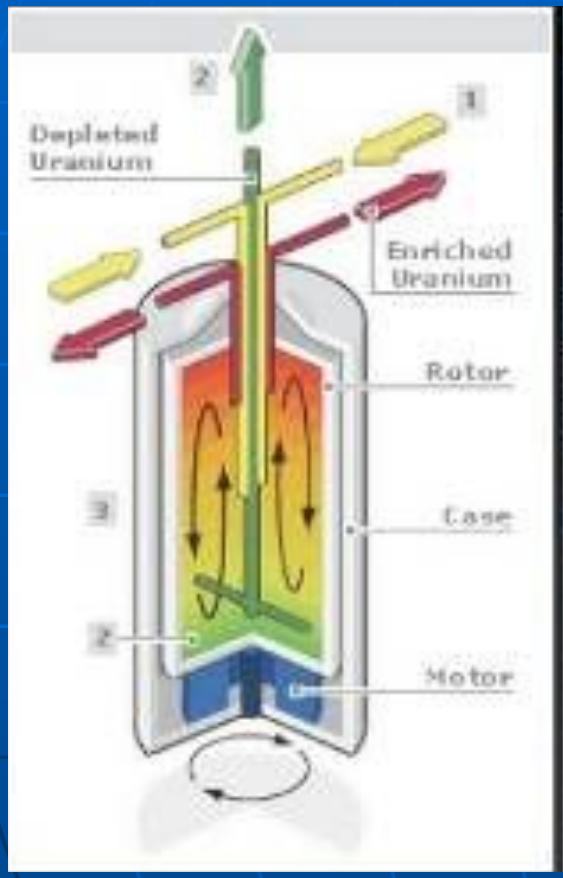
Схема разделительной газовой центрифуги

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

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

Газовое центрифугирование

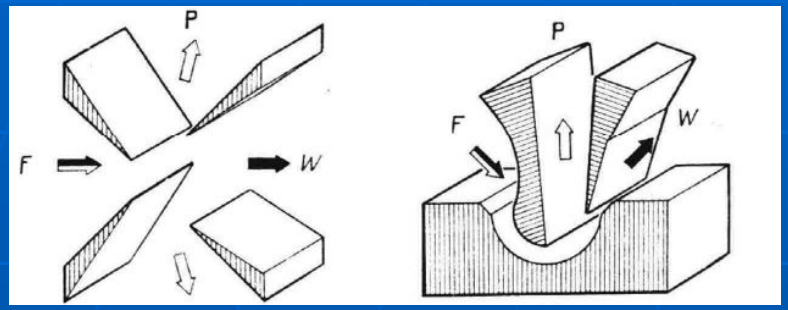


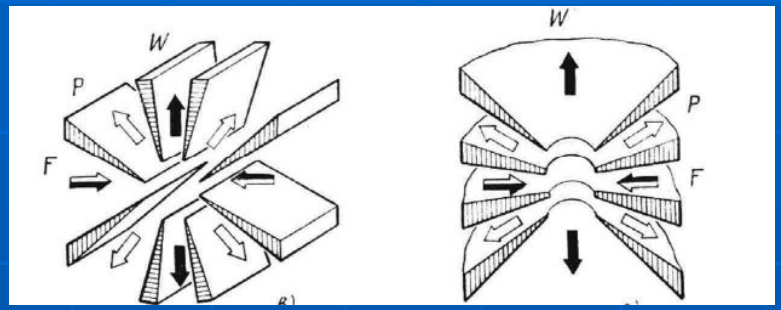
Внешний вид центрифуги фирмы URENCO

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

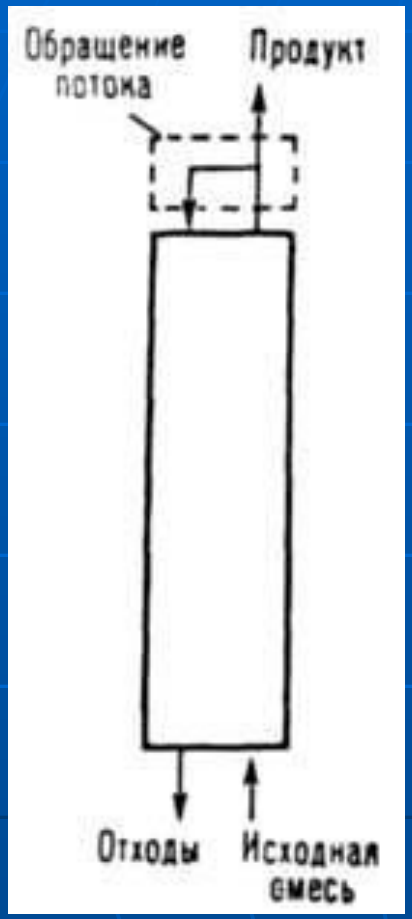


Схема противоточной колонны с обращением потока

$$^{6}Li^{+} + {}^{7}Li(Hg) \leftrightarrow {}^{7}Li^{+} + {}^{6}Li(Hg).\ a - 1 = \frac{7455}{T^2} - \frac{0{,}803}{T} \qquad T = 299{,}5\ \alpha = 1{,}050$$

$$R^{7}Li + {}^{6}LiCl = R^{6}Li + {}^{7}LiCl, \qquad \alpha = 1{,}004 - 1{,}007$$

$$R^{11}BO_2 + H^{10}BO_2 = R^{10}BO_2 + H^{11}BO_2, \qquad \alpha = 1{,}012$$

$$R^{14}NH_4 + {}^{15}NH_4OH = R^{15}NH_4 + {}^{14}NH_4OH, \qquad \alpha = 1{,}0257$$

Метод дистилляции

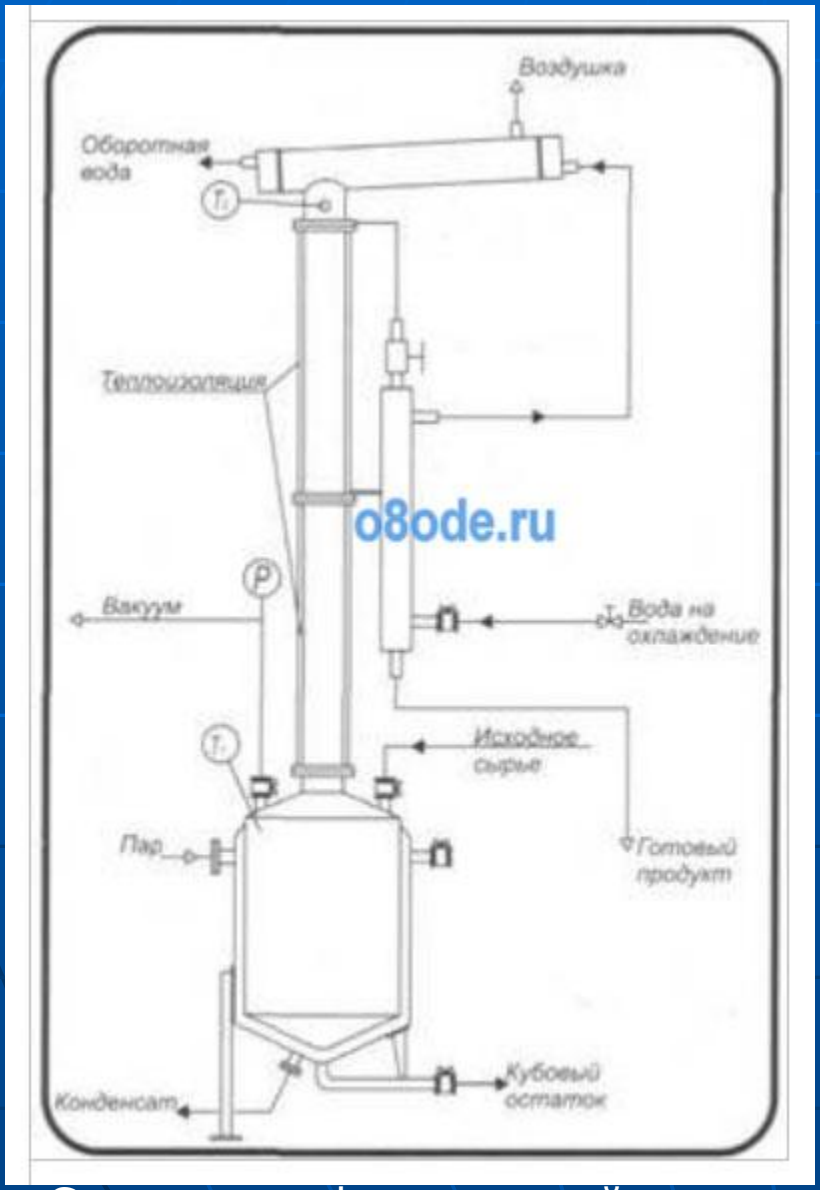
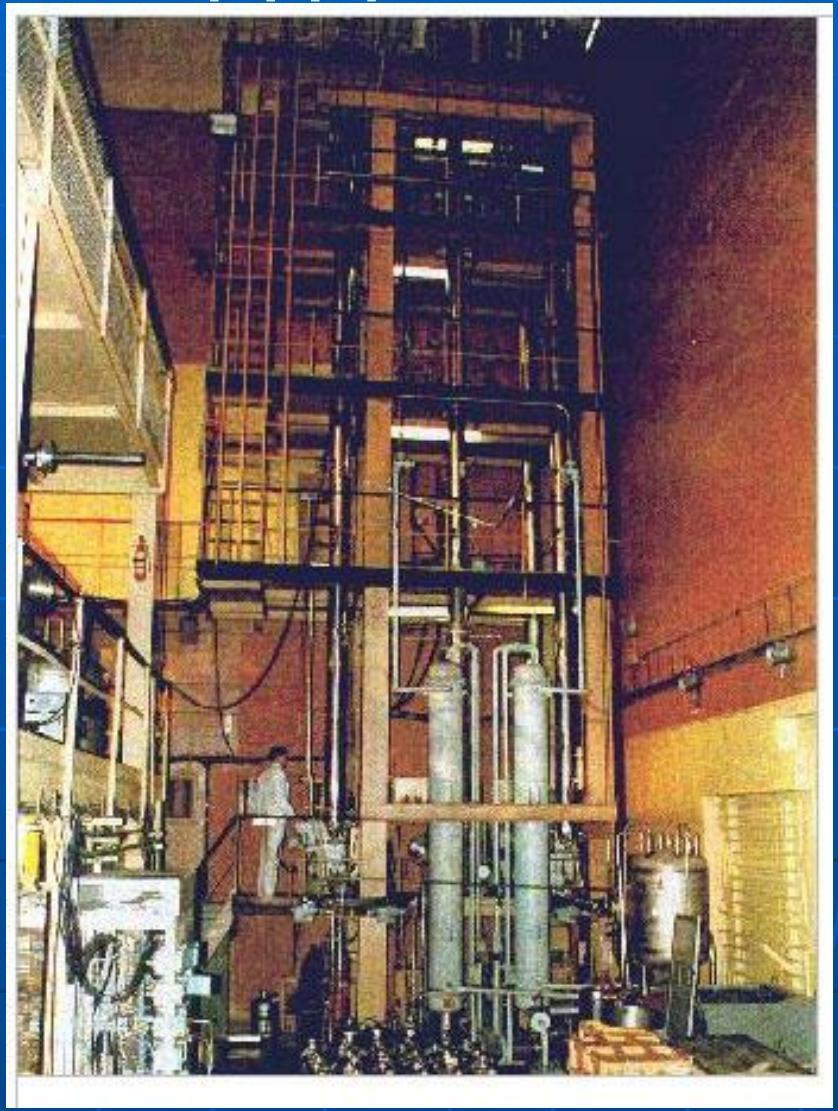


Схема ректификационной колонны

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 движущимся относительно друг друга молекул жидкой и паровой фазы. При этом жидкая фаза обогащается более высококипящим компонентом, а паровая фаза - более низкокипящим – тяжёлой водой и другими тяжёлыми изотопами трития ^{3}H и кислорода ^{18}O.

Метод дистилляции

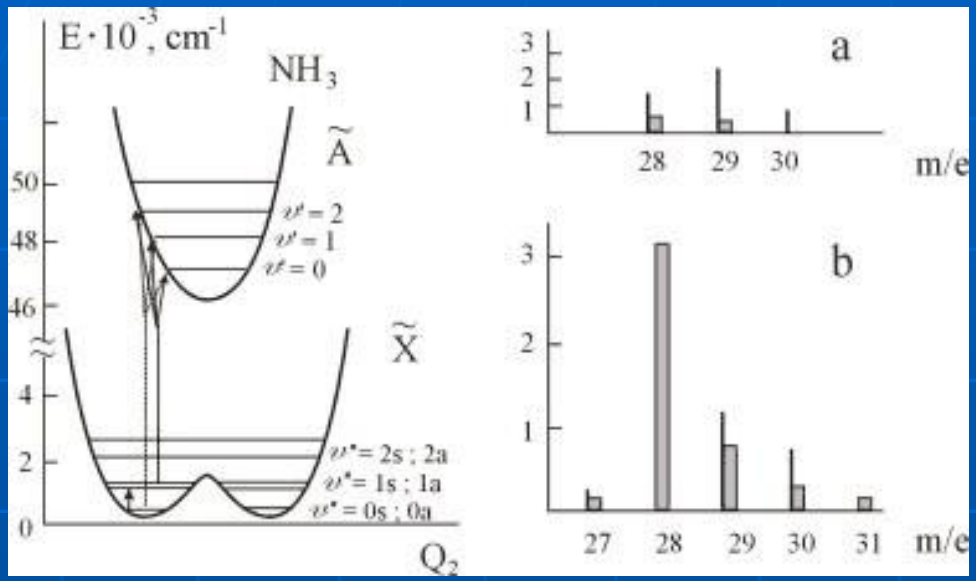


Вид промышленной ректификационной колонны

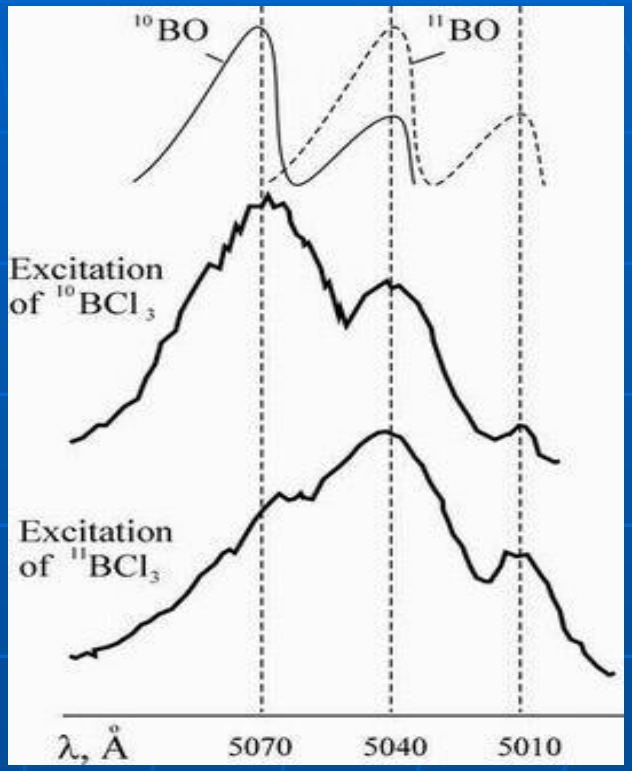
Метод дистилляции

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

Оптические (лазерные методы разделения

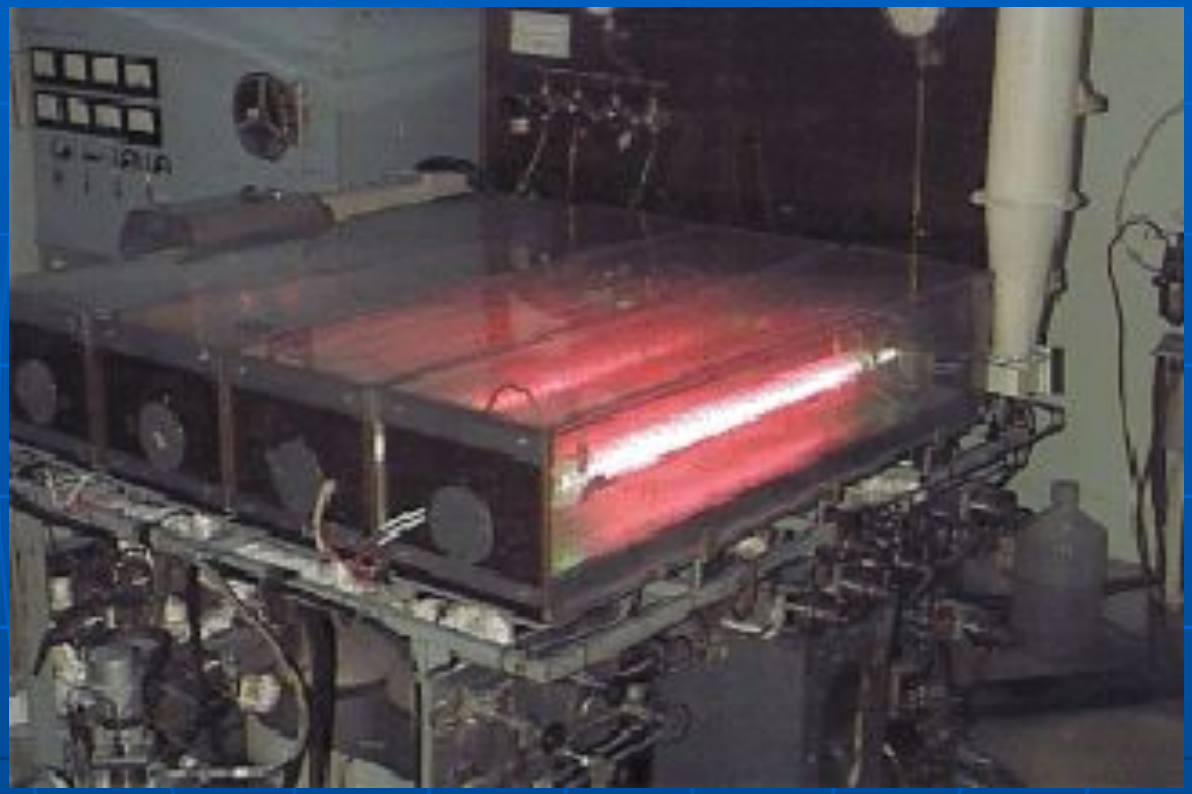


Слева: Схема изотопически-селективной двухступенчатой фотодиссоциации молекул аммиака. Селективно возбужденные ИК лазерным излучением молекулы диссоциируются УФ излучением. Справа: результаты по лазерному разделению изотопов азота. Масс-спектры N2 при: (***а***) неселективной фотодиссоциации смеси 14NH3+15NH3 (соотношение 1:1) и (***б***) селективной (по 15NH3) двухступенчатой фотодиссоциации смеси. Заштрихованные линии соответствуют масс-спектрам смеси до облучения (фоновые линии)



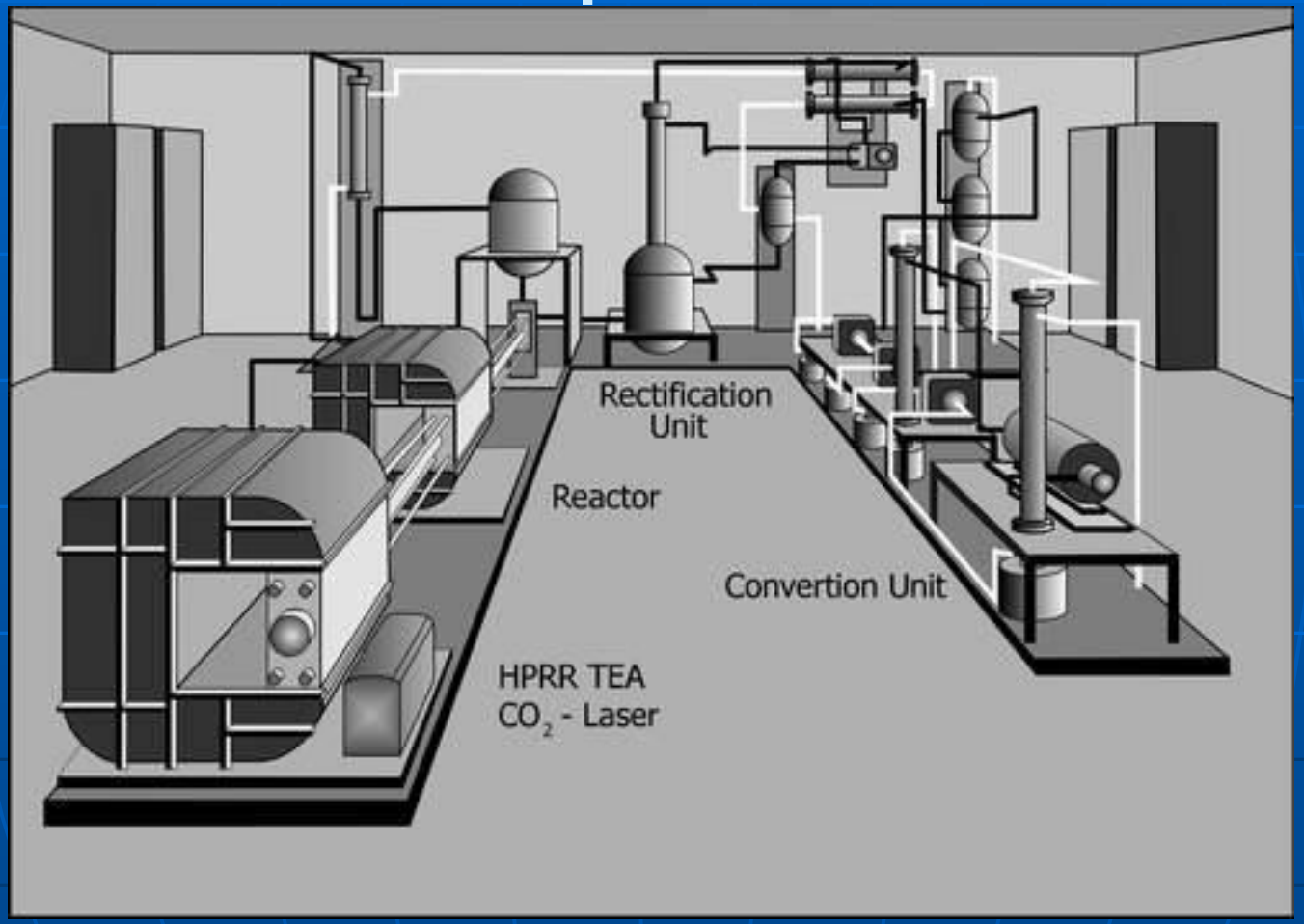
Наблюдение изотопической селективности ИК МФ диссоциации молекул: хемилюминесценция радикала BO* при облучении CO2-лазером смеси 10BCl3 и 11BCl3 в присутствии кислорода. Вверху приведены модельные спектры радикалов 10BO и 11BO в отдельности

Оптические (лазерные методы разделения



Установка «Фотон» для разделения изотопов ртути фотохимическим методом

Оптические (лазерные методы разделения

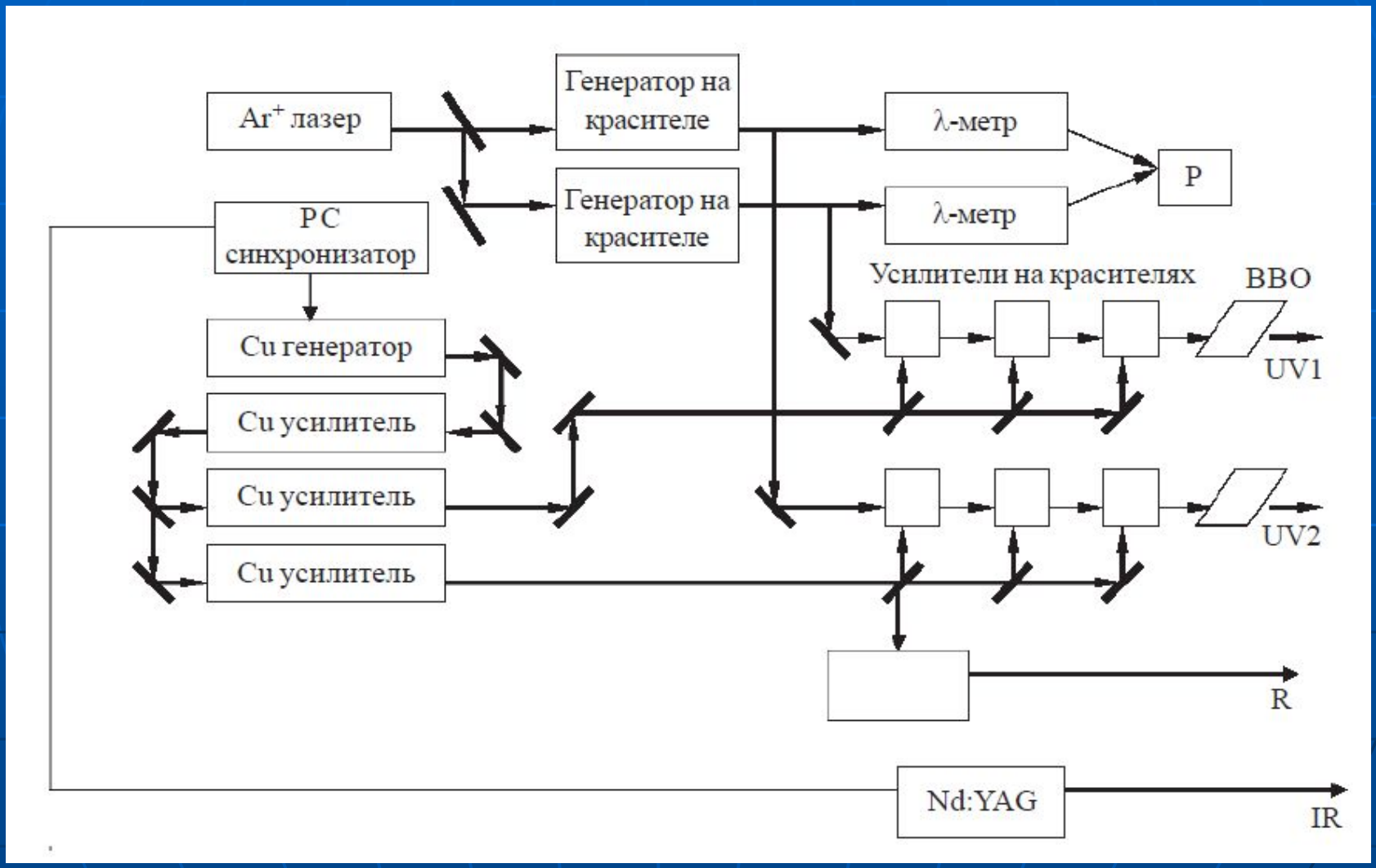


Блок-схема одного из модулей завода по лазерному разделению изотопов углерода. Модуль состоит из импульсно-периодического CO_2-лазера (средняя мощность – до 1,8 кВт); разделительного реактора; блока выделения обогащенного продукта; блока конверсии последнего в конечный продукт – $^{13}CO_2$

Оптические (лазерные методы разделения

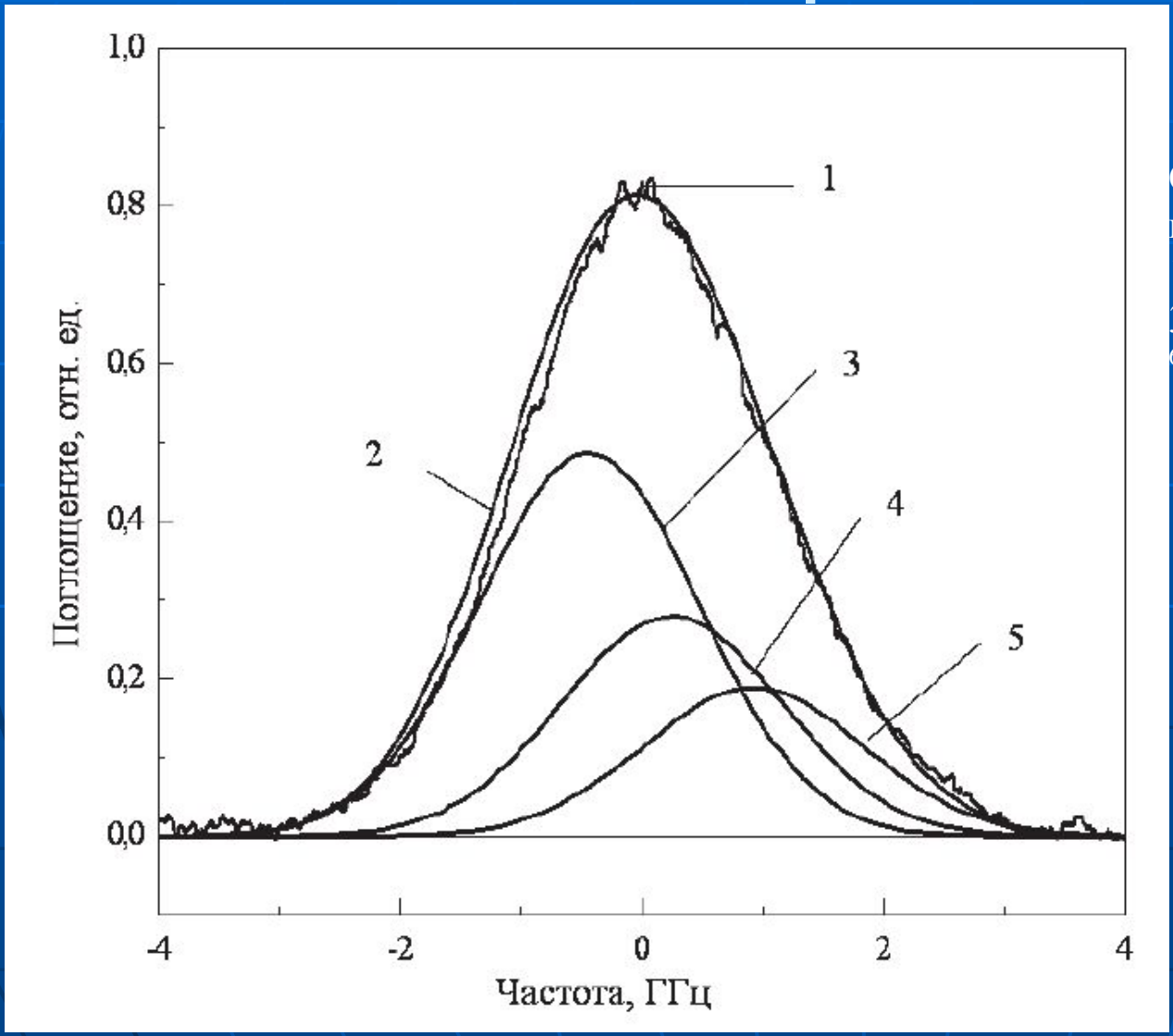
Лазерный участок завода по производству изотопов углерода

Оптические (лазерные методы разделения



Функциональная схема лазерного комплекса для разделения изотопов свинца

Оптические (лазерные методы разделения



Спектр поглощения Zn на переходе 4s2 1S0 → 4p3P01:
1 — эксперимент; 2 — расчет;
3, 4, 5 — расчет для изотопов ^{64}Zn, ^{66}Zn, ^{68}Zn соответственно

Благодарю за внимание !