# Ядерная физика и Человек

# Сверхтяжелые элементы





- Большой Взрыв
- Малые звезды

- Космические лучи
- Массивные звезды

- Сверхновая

### Распространенность нуклидов во Вселенной



### АКТИНОИДЫ

1940 г. <sub>93</sub>Np Нептуний ( Макмиллан, Абельсон) 1941 г. <sub>94</sub>Pu Плутоний (Макмиллан, Сиборг, Кеннеди, Валь)  $^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \stackrel{\beta}{\rightarrow} ^{239}\text{Np} \stackrel{\beta}{\rightarrow} ^{239}\text{Pu}$ 

1944 г. <sub>95</sub>Am Америций, <sub>96</sub>Cm Кюрий 1949 г. <sub>97</sub>Bk Берклий, <sub>98</sub>Cf Калифорний (Г.Т. Сиборг, А. Гиорсо и др. (Беркли, США))  $^{238}$ U +  $^{4}$ He  $\rightarrow ^{241}$ Pu + n,  $^{241}$ Pu  $\stackrel{\beta}{\rightarrow} ^{241}$ Am  $^{239}$ Pu +  $^{4}$ He  $\rightarrow ^{242}$ Cm + n $^{241}$ Am +  $^{4}$ He  $\rightarrow ^{242}$ Cm + n $^{242}$ Cm +  $^{4}$ He  $\rightarrow ^{243}$ Bk + 2n $^{242}$ Cm +  $^{4}$ He  $\rightarrow ^{245}$ Cf + n



#### Нобелевская премия по химии

**1951 г. – Э. М. Макмиллан, Г.Т. Сиборг.** За открытия в области химии трансурановых элементов

# Движение частиц в электромагнитном поле

#### Электрическое поле



$$E_{\rm KMH} = q(\varphi_2 - \varphi_1)$$

#### Магнитное поле



$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$



### Циклотрон

1929 г. Э. Лоуренс предложил идею циклотрона

1932 г. *Е<sub>кин</sub>* (**p**)= 1,2 МэВ (D = 25 cm)



### АКТИНОИДЫ

*1952* г. А. Гиорсо и др. (Беркли, США) <sub>99</sub>Es Эйнштейний, <sub>100</sub>Fm Фермий <sup>238</sup>U + 15 $n \rightarrow {}^{253}U \xrightarrow{\beta} {}^{253}Np \dots \xrightarrow{\beta} {}^{253}Es$ <sup>238</sup>U + 17 $n \rightarrow {}^{255}U \xrightarrow{\beta} {}^{255}Np \dots \xrightarrow{\beta} {}^{255}Fm$ 



Наиболее долгоживущие изотопы

Изотоп	T <sub>1/2</sub>
<sup>252</sup> Es	472 дня
<sup>257</sup> Fm	100 дней

1 ноября 1952 года. Атолл Эниветок. Айви Майк

### Трансфермиевые элементы

Элемент	Год	Лаборатория	Реакция
<b><sub>101</sub>Md</b> Менделевий	1955	Беркли, США	$^{253}\text{Es} + {}^{4}\text{He} \longrightarrow {}^{256}\text{Md} + n$
<b><sub>102</sub>No</b> Нобелий	1963	Дубна, СССР	$^{248}Cm + {}^{13}C \rightarrow \rightarrow {}^{257}No + 4n$
<b><sub>103</sub>Lr</b> Лоуренсий	1961	Беркли, США	$ \overset{249}{\longrightarrow} \text{Cm} + \overset{10'11}{\longrightarrow} \text{B} \rightarrow \overset{255'}{\longrightarrow} \overset{255'}{\longrightarrow} \text{Lr} + (4,5)n $
	1965	Дубна, СССР	$ \overset{243}{\longrightarrow} \text{Am} + \overset{16'18}{\longrightarrow} 0 \rightarrow \\ \xrightarrow{255'} \overset{256}{\longrightarrow} \text{Lr} + (3,5)n $

## Наиболее долгоживущие изотопы

-
T <sub>1/2</sub>
56 суток
58 минут
4 часа

#### проблемы:

•Отсутствие в требуемых количествах мишеней из тяжелых трансурановых элементов.

•Существенное уменьшение по мере увеличения Z времени жизни изотопов, что значительно усложняет их идентификацию.







Ю.Ц. Оганесян, Дубна, 15 марта 2019 г.



![](_page_13_Figure_0.jpeg)

![](_page_13_Figure_1.jpeg)

![](_page_14_Figure_0.jpeg)

### Горячее слияние

Элемент	Год	Лаборатория	Реакция
<b><sub>104</sub>Rf</b> Резерфордий	1964	Дубна, СССР	<sup>242</sup> Pu + <sup>22</sup> Ne → → <sup>260' 259</sup> Rf + (4,5)n
	1969	Беркли, США	$^{249}\text{Cf} + {}^{12}\text{C} \longrightarrow {}^{257}\text{Rf} + 4n$
<b><sub>105</sub>Du</b> Дубний	1970	Дубна, СССР	$^{242}Am + ^{22}Ne \rightarrow ^{264}Db$
	1970	Беркли, США	$^{242}Cf + {}^{15}N \longrightarrow {}^{264}Db + 4n$
<b><sub>106</sub>Sg</b> Сиборгий	1974	Беркли, США	$^{249}\text{Cf} + {}^{18}\text{O} \longrightarrow {}^{263}\text{Sg} + 4n$
	1974	Дубна, СССР	$ \overset{243}{\longrightarrow} \text{Am} + \overset{16'18}{\longrightarrow} 0 \rightarrow \\ \xrightarrow{255'} \overset{256}{\longrightarrow} \text{Lr} + (3,5)n $

Наиболее	
долгоживущие изотопы	

Изотоп	T <sub>1/2</sub>
<sup>263</sup> Rf	10 минут
<sup>268</sup> Db	32 часа
<sup>271</sup> Sg	2,4 минуты

### 15-летний штурм "Острова Стабильности" 1970-1985

Los Alamos (USA) **Berkeley (USA)** Dubna (JINR) Oak Ridge (USA) Mainz (Germany) **Darmstadt (Germany) Orsay** (France) Würenlingen (Switzerland) **Tokyo (Japan) some later** 

### Производство тяжелых изотопов

#### HFIR, ORNL, Oak Ridge, USA, 85 MW

![](_page_17_Picture_2.jpeg)

#### СМ-3, IAR, Димитровград, РФ, 100 MW

![](_page_17_Picture_4.jpeg)

### Мишень

![](_page_18_Picture_1.jpeg)

![](_page_18_Picture_2.jpeg)

Work on mixed Cf at REDC ORNL

249Cf (351 y)250Cf (13 y)251Cf (898 y)5.61 mg1.43 mg4.03 mg50.7%12.9%36.4%Average thickness 0.35 mg/cm²

![](_page_18_Picture_5.jpeg)

перед экспериментом...

и после

### Сверхпроводящий источник ионов 18 GHz ECR

#### **DECRIS-SC2**

### Пучок <sup>48</sup>Са на ускорителе тяжелых ионов **U400**

```
Энергия: 235-250 МэВ
(v ≈ 0.1 c);
Интенсивность: 1.0-1.5 рµА
(n×10<sup>12</sup> ÷ 10<sup>13</sup> 1/c);
Потребление: 0.5-0.8 мг/ч
Доза: (0.3-3.0)·10<sup>19</sup>
```

![](_page_19_Picture_4.jpeg)

Цена за 1 мг

<sup>197</sup>Au ≈ 0.045 US\$ <sup>nat</sup>U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> ≈ 0.03 US\$ <sup>239</sup>Pu ≈ 4 US\$ <sup>48</sup>Ca ≈ 80 US\$ <sup>249</sup>Cf ≈ 60,000 US\$

![](_page_19_Picture_7.jpeg)

### Синтез сверхтяжелых элементов (U-400)

Пучки ускоренных ионов A = 4 – 209 с энергией 3 – 29 МэВ/нуклон Магнит 2100 тонн, диаметр 4 м Потребление энергии 1,5 МВт

OTACHO

![](_page_21_Figure_0.jpeg)

#### Низкофоновая схема детектирования

![](_page_22_Figure_1.jpeg)

![](_page_23_Figure_0.jpeg)

![](_page_24_Figure_0.jpeg)

Ю.Ц. Оганесян, Дубна, 15 марта 2019 г.

![](_page_25_Figure_0.jpeg)

Ю.Ц. Оганесян, Дубна, 15 марта 2019 г.

![](_page_26_Figure_0.jpeg)

FROM Yuri Oganessian. ARIS 2014, June 5, 2014 in Tokyo, Japan

![](_page_27_Picture_0.jpeg)

![](_page_27_Picture_1.jpeg)

![](_page_27_Picture_2.jpeg)

![](_page_27_Picture_3.jpeg)

# Трековые мембраны

![](_page_28_Picture_1.jpeg)

#### ИЦ-100

диаметр полюсов 1 метр Потребление энергии 150 кВт.

Энергия ионов (Xe, Kr) Толщина пленки 1,2 МэВ/нуклон 20 мкм

### Твердотельные детекторы

![](_page_29_Picture_1.jpeg)

# Трековые мембраны

![](_page_30_Figure_1.jpeg)

# Трековые мембраны

![](_page_31_Picture_1.jpeg)

![](_page_31_Picture_2.jpeg)

толщина – от 12 мкм до 21 мкм;

диаметр пор – от 30 нм до 15000 нм;

плотность – 10<sup>6</sup> ÷ 10<sup>8</sup> пор/см<sup>2</sup>

![](_page_31_Picture_6.jpeg)

Загрязнение на поверхности мембраны в результате очистки водопроводной воды

![](_page_31_Picture_8.jpeg)

Принципиальная схема разделения крови на плазму и эритроцитарную массу на мембранном фильтре

![](_page_32_Figure_1.jpeg)

Премия Правительства РФ 2008 года в области науки и техники за разработку и создание технологии плазмафереза и внедрение ее в медицинскую практику

# Трековые мембраны

![](_page_33_Figure_1.jpeg)

Медная трубка с микроструктурами на поверхности гораздо лучше отводит тепло, чем гладкая. На фото видно, что на участке с микроструктурами происходит интенсивное кипение охлаждающей жидкости.

![](_page_34_Picture_0.jpeg)