# The yields of the nuclei formed in the <sup>237</sup>Np and <sup>241</sup>Am samples irradiated by the neutron field.

Brukva A.E.<sup>1</sup>, Khushvaktov J.<sup>1</sup>, Kobets V.V.<sup>1</sup>, Kryachko I.A.<sup>1</sup>, Rasulova F.A.<sup>1</sup>, Shakun N.G.<sup>1</sup>, Stegailov V.I.<sup>1</sup>, Tran T.N.<sup>1,2</sup>, Yuldashev B.S.<sup>1</sup>, Tyutyunnikov S.I.<sup>1</sup>, Rozov S.V.<sup>1</sup>, Perevoshikov L.L.<sup>1</sup>, Guseva S.V.<sup>1</sup>, Balandin A.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> - Joint Institute for Nuclear Research, Joliot-Curie 6, Dubna, Moscow region, Russia, 141980
 <sup>2</sup> - Institute of Physics, Vietnam Academy of Science and Technology, Hanoi, Vietnam e-mail: stegajlov2013@yandex.ru

Коллаборация « Энергия + Трансмутация » ОИЯИ, Дубна, 2020 г.

### **Содержание**

#### Введение

I. Экспериментально-методическая база

II. Методика определения абсолютной эффективности при измерении гамма-спектров неидеальных образцов в неидеальных условиях.

III. Экспериментальные результаты по выходам продуктов
 многочастичных (γ,Хп) реакций и реакций деления, полученные на
 мишенях <sup>209</sup>Bi , <sup>238</sup>U, <sup>237</sup>Np и <sup>241</sup>Am. Сравнение с литературой.
 IV. Экспериментальные результаты по выходам, полученные на

мишени <sup>237</sup>Np при облучении лазерным излучением .

V. Обсуждение полученных результатов.

Заключение

#### Введение

..Данная работа проводилась в рамках в рамках коллаборации « Энергия + Трансмутация ».

Целью настоящей работы является обоснование методики проведения экспериментов по трансмутации актинидов <sup>237</sup>Np и <sup>241</sup>Am на пучках заряженных частиц с энергией более 1000МэВ и обоснование методик с использованием лазерного излучения.

..При обработке результатов нами введено понятие реальной абсолютной эффективности системы, которая содержит не точечный образец с детектором. ..Получены выходы многочастичных (Х,н) реакций с использованием мишеней моноизотопа висмута получено хорошее совпадение с литературными данными.

..Далее нами получены массовые распределения продуктов двойного деления урана, что явилось обоснованием правильности и достоверности нашей методики, используемой при изучении актинидов <sup>237</sup>Np и <sup>241</sup>Am.

..Приводятся результаты экспериментов, связанных с облучением урановой мишени в поле тормозного излучения электроного пучка с энергией 140 МэВ. Представлены массовые распределения продуктов деления образующихся в мишени <sup>238</sup>U и <sup>237</sup>Np.

## I. Экспериментально-методическая база







Протонный ускоритель ФАЗОТРОН в ЛЯП Ускоритель НУКЛОТРОН в ЛФВЭ



Линейный ускоритель ЛИНАК-200 в ЛЯП



Лазерный

Nd-лазер в ИОФАН (Москва)

#### Детекторы гамма-излучения



...Наша коллаборация
...располагает:
а)10 НРGе и 2 Si гаммадетекторами ,
б) ПО для регистрации обработки гамма-

спектров:

- ORTEC MAESTRO 6.08 (регистрация и первичная обработка)

- Deimos 3.5 (основная программа для обработки и разделения мультиплетных гамма-линий)

- Origin 9.0 (финальная обработка и визуализация)

Рис.1. Комната измерения облученных мишеней: детекторы и аппаратура

#### II. Методика определения *реальной* абсолютной эффективности при измерении гамма-спектров неидеальных образцов в неидеальных условиях.

Параметры ОСГИ

Общая толщина активной части с двумя плёнками - **0,1 мм**.

Диаметр активной части не более 3 мм.

В наших исследованиях используются мишени толщиной 1-3 мм (примерно в 10-30 раз толще чем ОСГИ).

Диаметр мишени 15-21 мм (в 5-7 раз больше чем ОСГИ).

#### Три основные проблемы реальных образцов:

- неточечность;
- самопоглощение;
- необходимость фильтрации излучения в рентгеновской части спектра.





Рис.14. Положение идеальной и реальной абсолютных эффективностей в измерении спектра мишени <sup>209</sup>Ві после облучения на Е<sub>е</sub>=60 МэВ





Рис.15. Выходы фотоядерных реакций относительно (ү, 3n) реакции в мишени <sup>209</sup>Ві и результаты группы Белышева

Belyshev, S.S., Filipescu, D.M., Gheoghe, I. *et al.* Multinucleon photonuclear reactions on <sup>209</sup>Bi: Experiment and evaluation. *Eur. Phys. J. A* **51**, 67 (2015).



Рис.12. Выход изотопов висмута в «таблетке» №2 с учётом нейтронов и без.



Рис.12. Выход изотопов висмута в «таблетке» №2 с учётом нейтронов и без.



Рис.19. Диаграмма образовавшихся ядер в мишени <sup>238</sup>U на пучке е<sup>-</sup>: 1-<sup>78</sup>Ge, 2-<sup>84</sup>Br, 3-<sup>79</sup>Kr, <sup>85m</sup>Kr, <sup>87</sup>Kr, <sup>88</sup>Kr, 4-<sup>88</sup>Rb, <sup>89</sup>Rb, 5-<sup>91</sup>Sr, <sup>92</sup>Sr, 6-<sup>91m</sup>Y, <sup>92</sup>Y, <sup>94</sup>Y, 7-<sup>95</sup>Zr, <sup>97</sup>Zr, 8-<sup>97</sup>Nb, 9-<sup>94m</sup>Tc, <sup>95</sup>Tc, 10-<sup>99</sup>Pd, 11-<sup>104</sup>Cd, 12-<sup>105</sup>Ru 13-<sup>112</sup>Ag, <sup>113</sup>Ag, 14-<sup>108m</sup>In, <sup>109</sup>In, <sup>114m</sup>In, 15-<sup>123m</sup>Sn, <sup>127</sup>Sn, <sup>128</sup>Sn, 16-<sup>117</sup>Sb, <sup>128</sup>Sb, <sup>129</sup>Sb, <sup>130</sup>Sb, 17-<sup>131</sup>Te, <sup>133m</sup>Te, <sup>134</sup>Te, 18-<sup>123</sup>I, <sup>132</sup>I, <sup>133</sup>I, <sup>134</sup>I, <sup>135</sup>I, 19-<sup>135</sup>Xe, <sup>135m</sup>Xe, 20-<sup>138</sup>Cs, 21-<sup>141</sup>Ce, 22-<sup>142</sup>La, 23-<sup>146</sup>Pr, 24-<sup>149</sup>Nd



Рис.20. Выходы продуктов деления <sup>238</sup>U на пучке электронов,  $E_{e}$  = 140 МэВ: 1- <sup>78</sup>Ge, 2- <sup>79</sup>Kr, 3- <sup>84</sup>Br, 4- <sup>85</sup>Kr, 5- <sup>89</sup>Rb, 6- <sup>94</sup>Y,<sup>94m</sup>Tc, 7- <sup>97</sup>Zr,<sup>97</sup>Nb, 8- <sup>99</sup>Pd, 9- <sup>104</sup>Cd, 10- <sup>105</sup>Rh, 11- <sup>112</sup>Ag, 12- <sup>114m</sup>In, 13- <sup>117</sup>Sb, 14- <sup>123</sup>I, 15- <sup>127</sup>Sn, 16- <sup>128</sup>Sn, <sup>128</sup>Sb, 17- <sup>129</sup>Sb, 18- <sup>130</sup>Sb, 19- <sup>132</sup>I, 20- <sup>133</sup>I, <sup>133</sup>Te, 21- <sup>134</sup>I, <sup>134</sup>Te, 22- <sup>135</sup>I, <sup>135m</sup>Xe, 23- <sup>138</sup>Cs, 24- <sup>141</sup>Ce, <sup>141</sup>Ba, 25- <sup>142</sup>La, 26- <sup>146</sup>Pr, 27- <sup>149</sup>Nd.



Fission products from <sup>237</sup>Np irradiated by neutron field of "QUINTA"-setup from proton beam with E = 660 MeV.

# Изменение периода полураспада ядра <sup>239</sup>Np (Т<sup>1</sup>/2=2.36 д) под действием лазерного излучения.



Экспериментальная установка для исследования взаимодействия мощного лазерного излучения с радиоактивным раствором <sup>137</sup>Cs.



## **Np-237 fission and capture rate for each experiment.**



#### Обсуждение полученных результатов

1. Использовано понятие реальной абсолютной эффективности в системе, которая содержит неточечный образец с детектором и алгоритм её определения.

2. Анализ реакций (ү, Хл), наблюдаемых в проведённых экспериментах для мишени <sup>209</sup>Ві и выводы по определению выходов реакций сделаны на основе использования именно понятия реальной абсолютной эффективности. 3.Сравнение реакций деления, наблюдаемых в проведённых экспериментах для мишеней <sup>209</sup>Bi, <sup>238</sup>U, <sup>237</sup>Np и <sup>241</sup>Am на фазотроне и ускорителе электронов позволило определить возможности ЛИНАК-200 для целей трансмутации в рамках нашей программы и сравнить полученные результаты с результатами облучения на пучках заряженных частиц с энергией более 1000 МеВ, и что позволяет оценить аналогичные экспериментальные ситуации в условиях мультифрагментации, т.е. при больших (более 1000 МеВ) энергиях.

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!