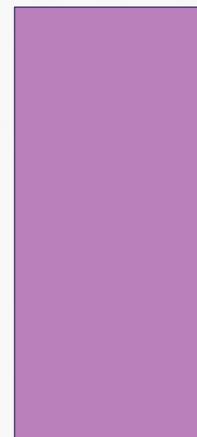


Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ»

СПЕКТРОСКОПИЯ  $^{8,9}\text{He}$  ПРИ  
ПОГЛОЩЕНИИ ОСТАНОВИВШИХСЯ  
ПИОНОВ ЯДРАМИ

Выполнила: Леонова Т.И.  
Научный руководитель: Гуров Ю. Б.



## Тяжелый изотоп гелия $^8\text{He}$

$^8\text{He}$  обладает наибольшим отношением  $N/Z = 3$  среди всех известных нуклонно-стабильных ядер.

➤ Энергия отделения нейтронов:

$$S_n = 2.58 \text{ МэВ}$$

$$S_{2n} = 2.14 \text{ МэВ.}$$

➤ Среднеквадратичный радиус:

$$R_m(^8\text{He}) = 2.52 \pm 0.03 \text{ фм}$$

$$R_m(^6\text{He}) = 2.50 \pm 0.05 \text{ фм}$$

*I.Tanihata et al., Progr. Part. Nucl. Phys. 68, (2013), 215*

## Тяжелый изотоп гелия $^9\text{He}$

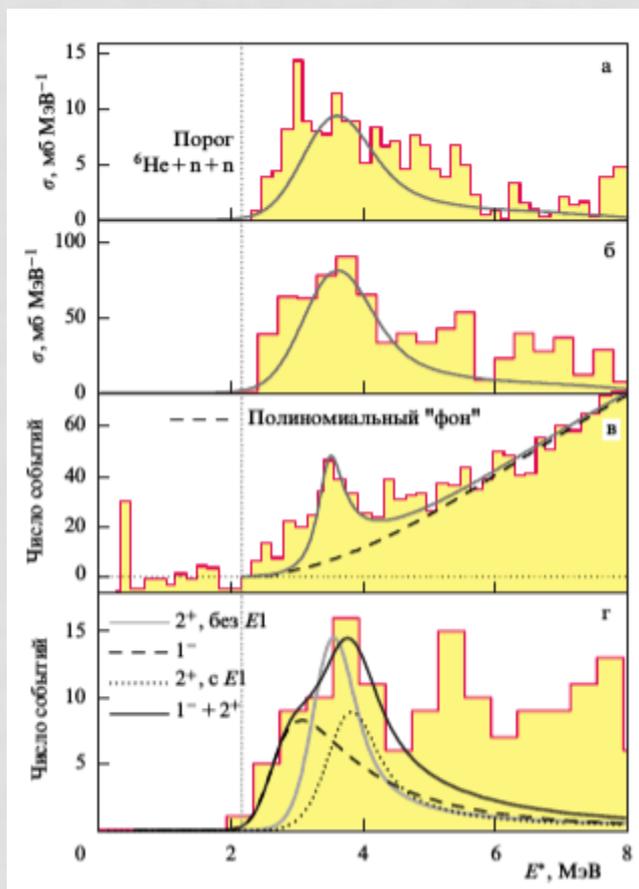
$^9\text{He}$  одно из наиболее нейтроноизбыточных ядер, наблюдавшихся в эксперименте, нуклонно-нестабильный.  $N/Z = 3.5$

# Возбужденные состояния $^8\text{He}$

$E_x$ , МэВ	$\Gamma$ , МэВ	Работа
2.7 ÷ 3.6	$0.6 \pm 0.2$	[1]
$3.62 \pm 0.14$	$0.3 \pm 0.2$	[2]
3.6 ÷ 3.9	~0.5	[3]
$3.9 \pm 0.2$	$0.3 \pm 0.1$	[4]
$4.36 \pm 0.2$	$1.3 \pm 0.5$	[1]
$4.6 \pm 0.3$	$0.3 \pm 0.1$	[4]
$5.4 \pm 0.5$	$0.3 \pm 0.5$	[2]
5.3 ÷ 5.5		[3]
$6.03 \pm 0.10$	$0.15 \pm 0.15$	[1]
$7.16 \pm 0.04$	$0.1 \pm 0.1$	[1]

1. D. R. Tilley et al., Nucl. Phys. A, 745, 155 (2005).
2. V. Lapoux et al., J. Phys. Conf. Ser., 49, 161 (2006).
3. M. S. Golovkov et al., Phys. Lett. B., 672, 22 (2009).
4. B.A. Chernyshev et al., KnE Ener. Phys. 2018, 78.

# Спектры недостающих масс $^8\text{He}$ .



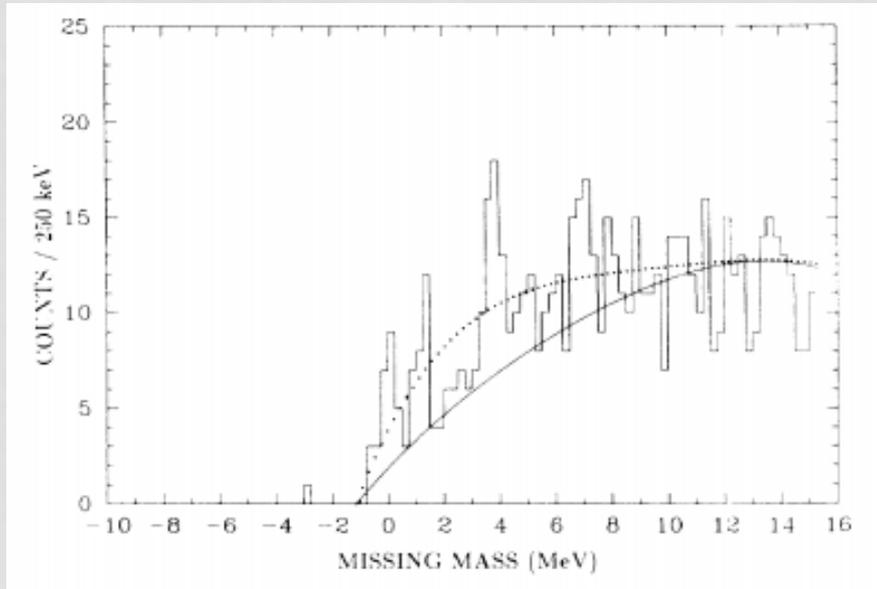
Головков и др., УФН, 186, 4 (2016)

# Возбужденные состояния ${}^9\text{He}$ .

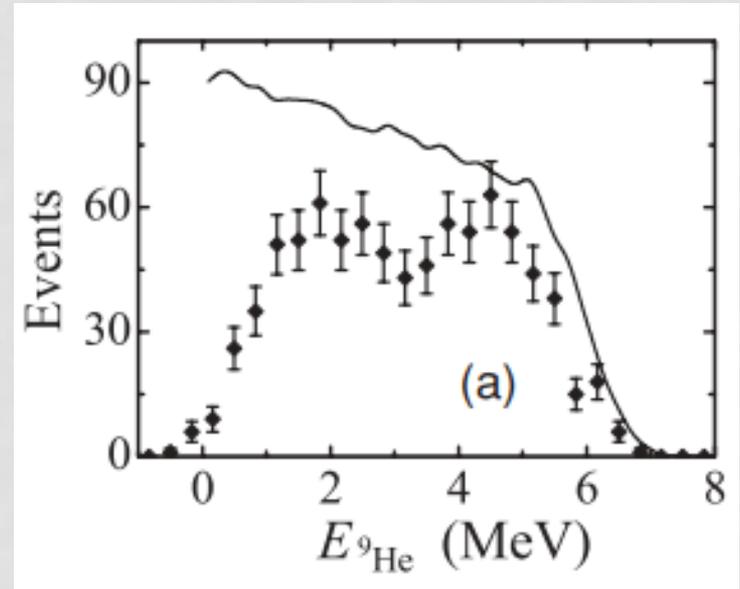
$E_x$ , МэВ	$\Gamma$ , МэВ	Реакция	Работа
$1.2 \pm 0.1$		${}^9\text{Be}(\pi^-, \pi^+){}^9\text{He}$	[1]
$1.15 \pm 0.10$	$0.7 \pm 0.2$	${}^9\text{Be}({}^{14}\text{C}, {}^{14}\text{O}){}^9\text{He}$	[2]
$1.33 \pm 0.08$	0.1	${}^1\text{H}({}^{11}\text{Li}, 2pn){}^9\text{He}$	[5]
$2.0 \pm 0.2$	2	${}^2\text{H}({}^8\text{He}, p){}^9\text{He}$	[4]
2.42	0.7	${}^1\text{H}({}^{11}\text{Li}, 2pn){}^9\text{He}$	[5]
$3.03 \pm 0.10$		${}^9\text{Be}({}^{14}\text{C}, {}^{14}\text{O}){}^9\text{He}$	[2]
$3.8 \pm 0.1$		${}^9\text{Be}(\pi^-, \pi^+){}^9\text{He}$	[1]
$3.98 \pm 0.12$		${}^9\text{Be}({}^{14}\text{C}, {}^{14}\text{O}){}^9\text{He}$	[2]
$\geq 4.2$	$>0.5$	${}^2\text{H}({}^8\text{He}, p){}^9\text{He}$	[4]
7.0		${}^9\text{Be}(\pi^-, \pi^+){}^9\text{He}$	[1]

1. Kamal K. Seth et al., Phys. Rev. Lett., 58, 1930 (1987).
2. H. G. Bohlen et al., Progr. in Part. and Nucl. Phys., 42, 17-26 (1999).
3. H. G. Bohlen et al. (1993). In: Proc. Int. School on Heavy-Ion Physics, Dubna, Russia, p. 17. JINR Publ. Dept., Dubna.
4. M. S. Golovkov et al., Phys. Rev. C, 76, 021605(R) (2007).
5. H. T. Johansson et al., Nucl. Phys. A 842 (2010) 15–32

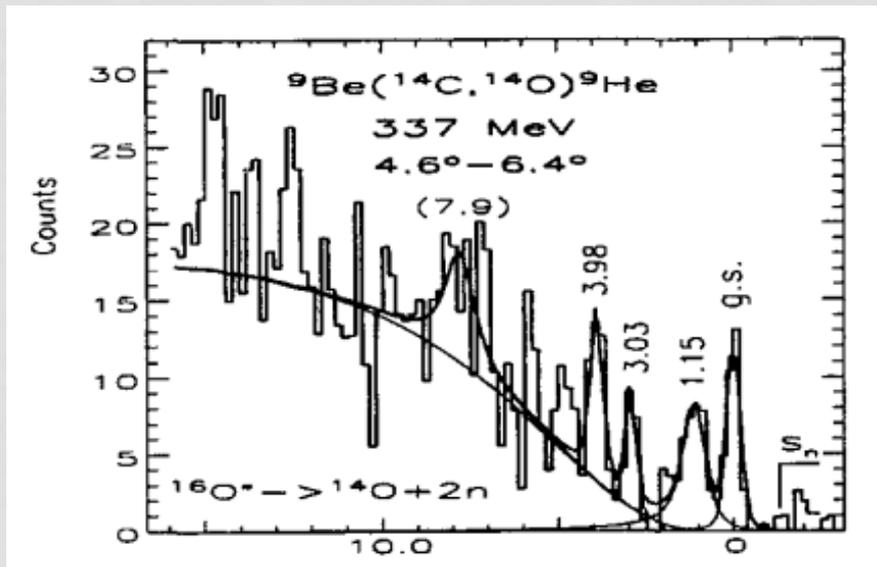
# Спектры недостающих масс ${}^9\text{He}$ .



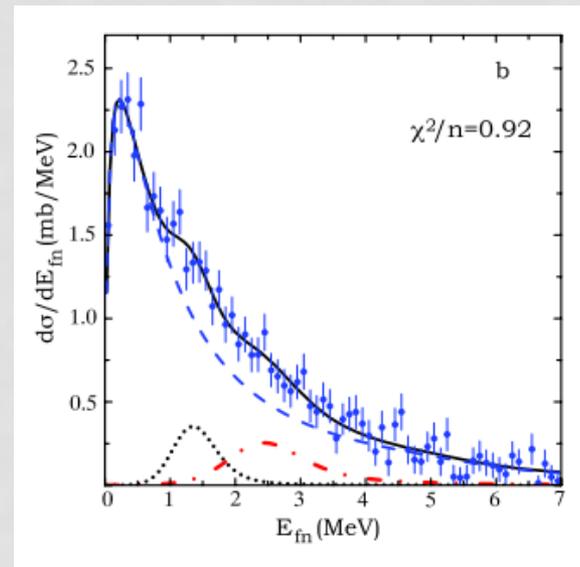
[1]



[4]

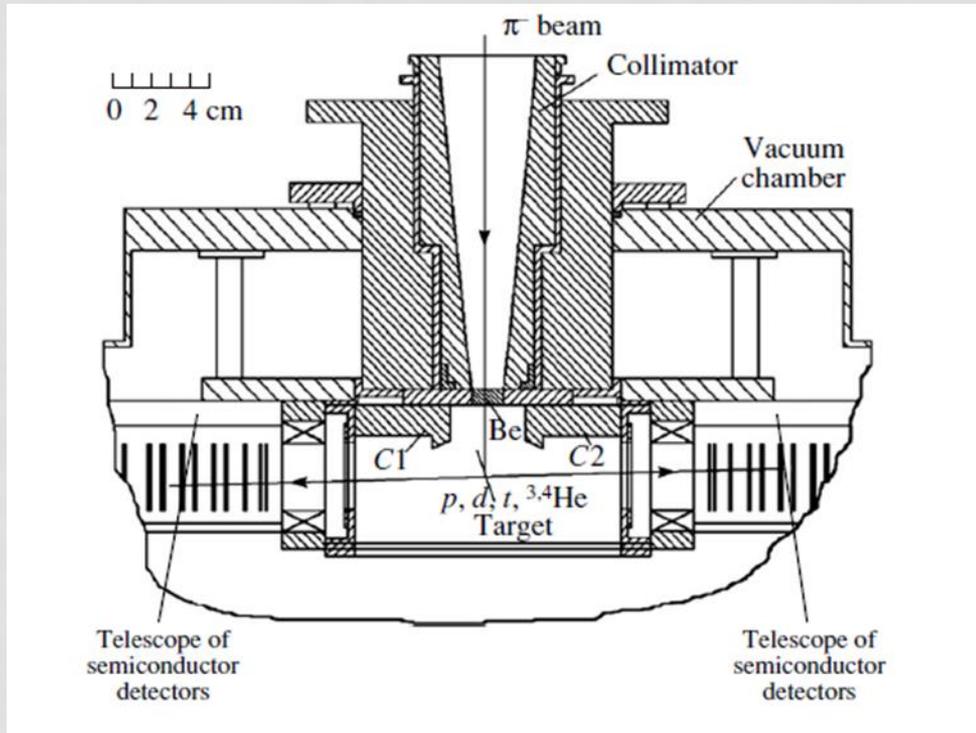


[2]



[5]

# Эксперимент LAMPF



« ${}^{14}\text{C}$ » ( ${}^{14}\text{C}$  - 77%,  ${}^{12}\text{C}$  - 23%)

Двухплечевой многослойный полупроводниковый спектрометр

$$\delta E(p, d, t) \leq 0.45 \text{ МэВ}$$

$$\delta E({}^{3,4}\text{He}) \leq 2 \text{ МэВ}$$

$$\delta MM(\text{H}, \text{H}) \leq 1 \text{ МэВ}$$

$$\delta MM(\text{H}, \text{He}) \leq 3 \text{ МэВ}$$

## Реакции образования $^8\text{He}$



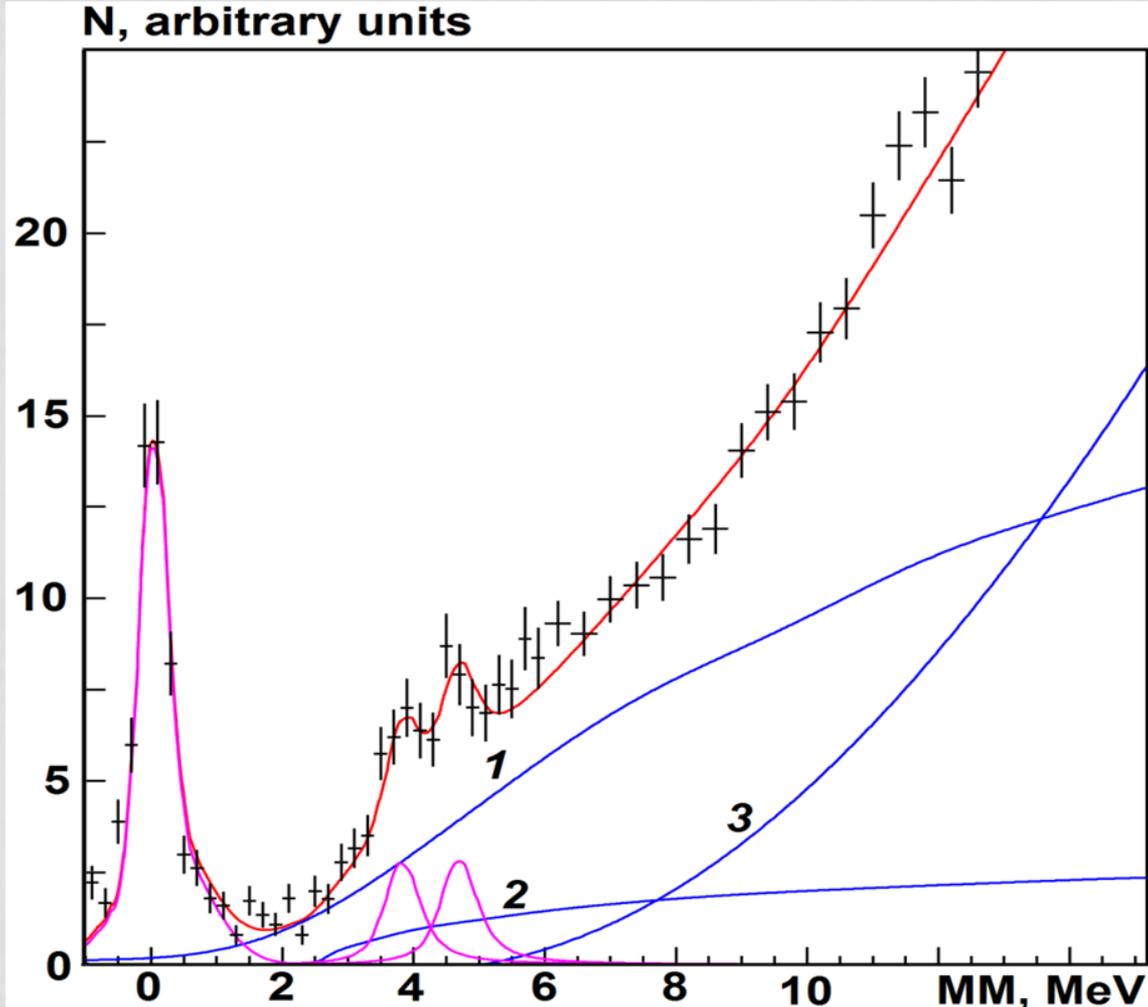
*B.A. Chernyshev et al., The 3rd International Conference on Particle Physics and Astrophysics, KnE Energy & Physics, p. 78–82.*



## Реакции образования $^9\text{He}$



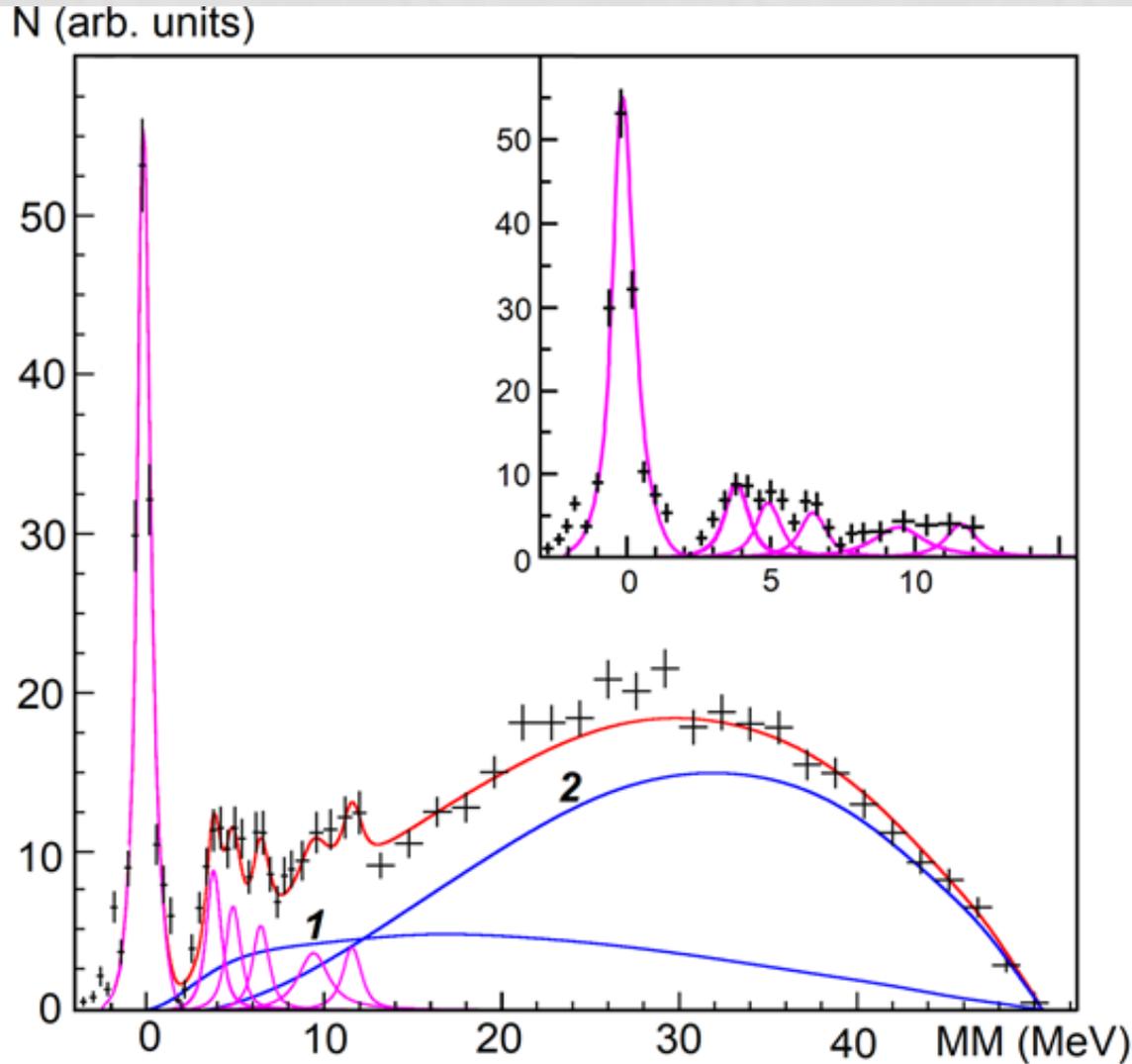
# Образование ${}^8\text{He}$ в реакции ${}^9\text{Be}(\pi^-, p)\text{X}$



$E_x$ , МэВ	$\Gamma$ , МэВ
$3.9 \pm 0.2$	0.3
$4.6 \pm 0.3$	0.3



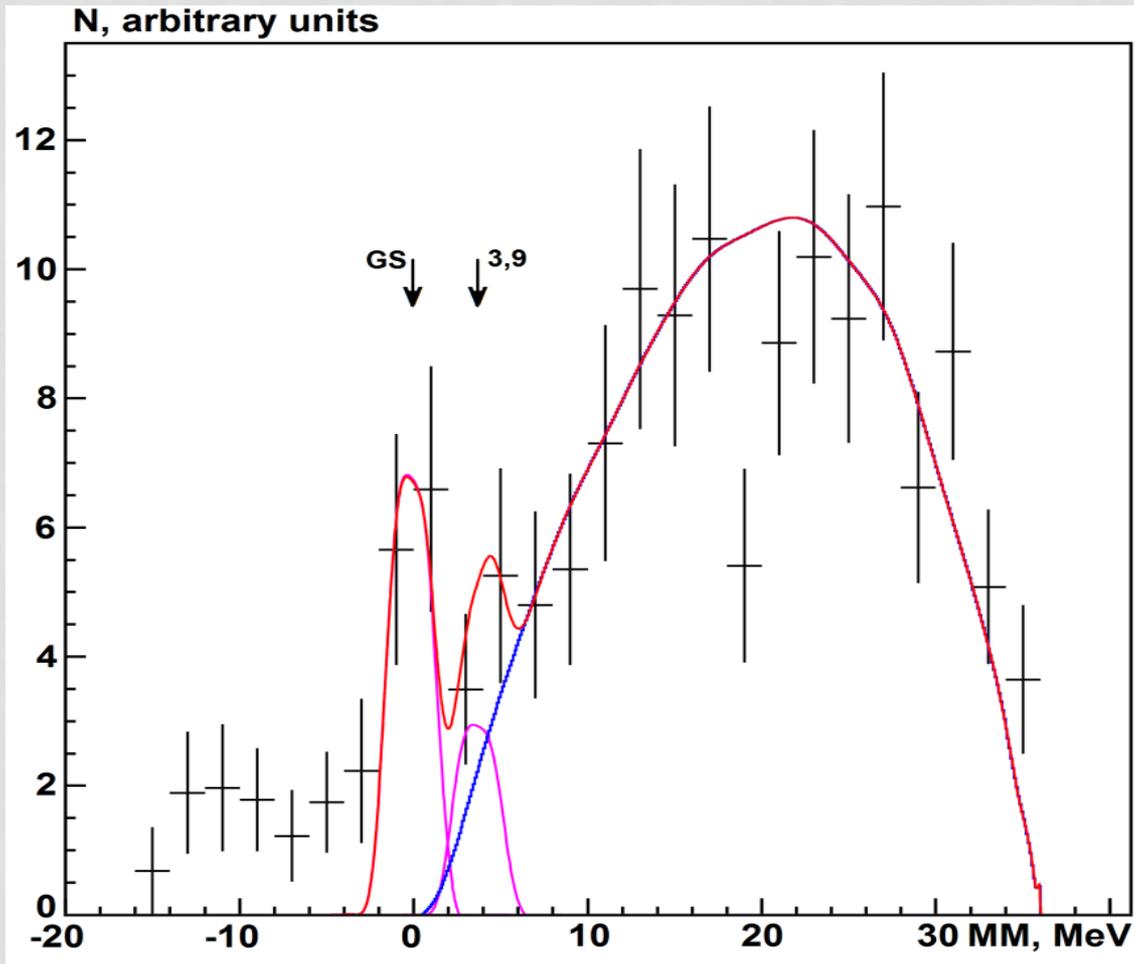
# Образование ${}^8\text{He}$ в реакции ${}^{11}\text{B}(\pi^-,pd)X$



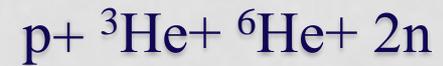
$E_x, \text{ MeV}$	$\Gamma, \text{ MeV}$
3.9	0.3
4.6	0.3
$\approx 6.4$	$\sim 0.5$
$\approx 9.3$	$\sim 1.5$
$\approx 11.5$	$\sim 1$



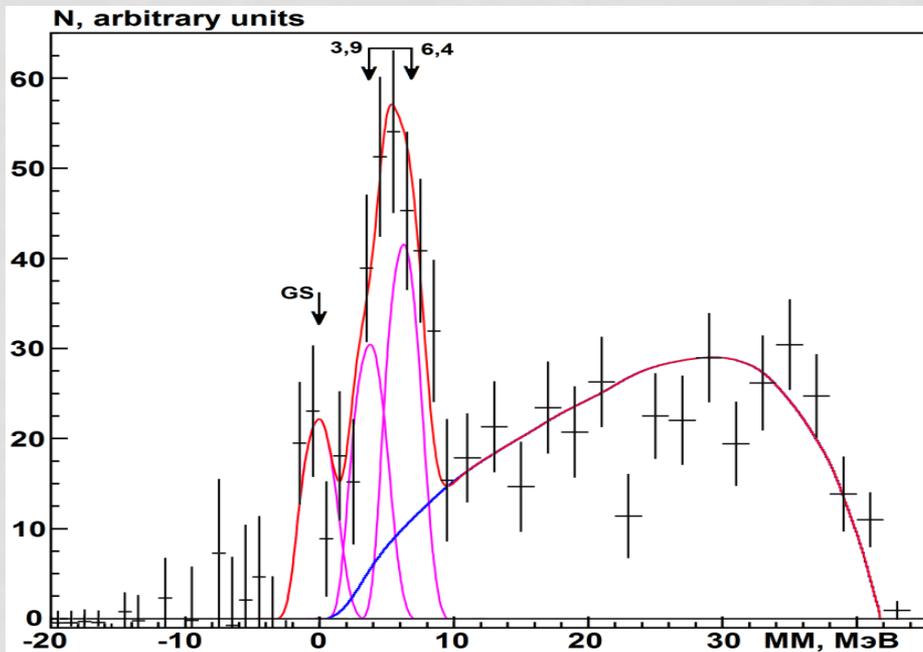
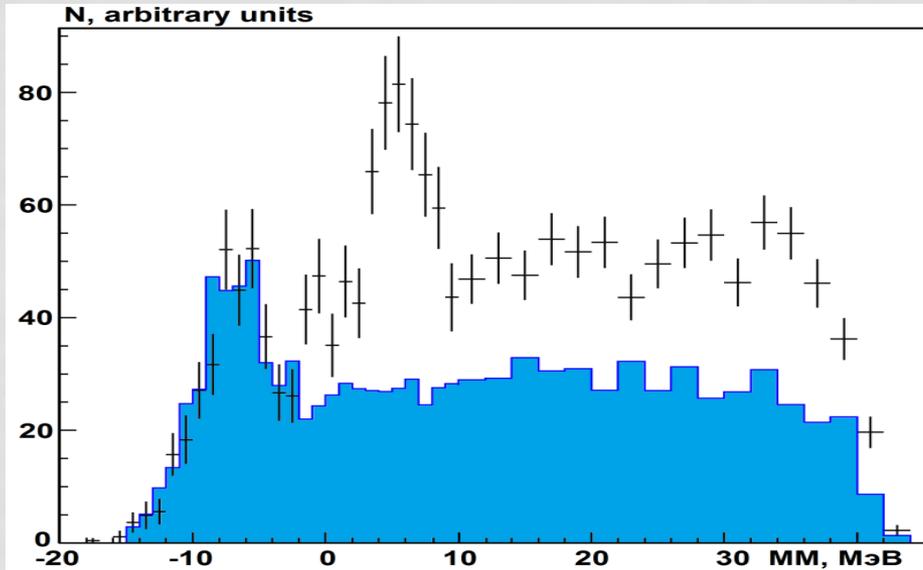
# Образование ${}^8\text{He}$ в реакции ${}^{12}\text{C}(\pi^-, p^3\text{He})X$



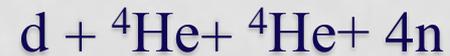
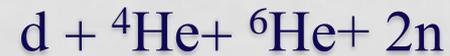
$E_x, \text{ МэВ}$	$\Gamma, \text{ МэВ}$
$\approx 3.9$	$\leq 1$



# Образование ${}^8\text{He}$ в реакции ${}^{14}\text{C}(\pi^-, d^4\text{He})X$

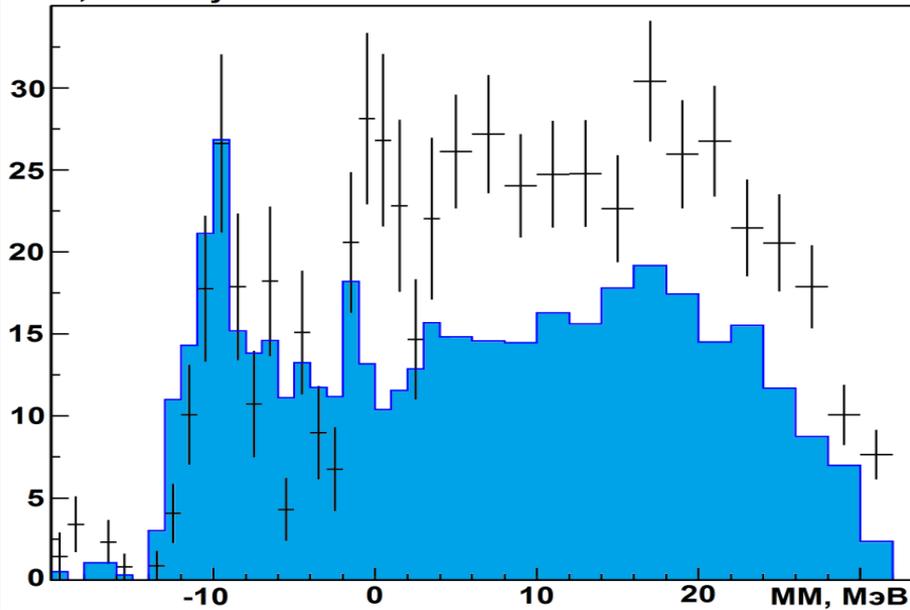


$E_x, \text{ МэВ}$	$\Gamma, \text{ МэВ}$
$\approx 3.9$	$\leq 1$
$\approx 6.4$	$\leq 1$

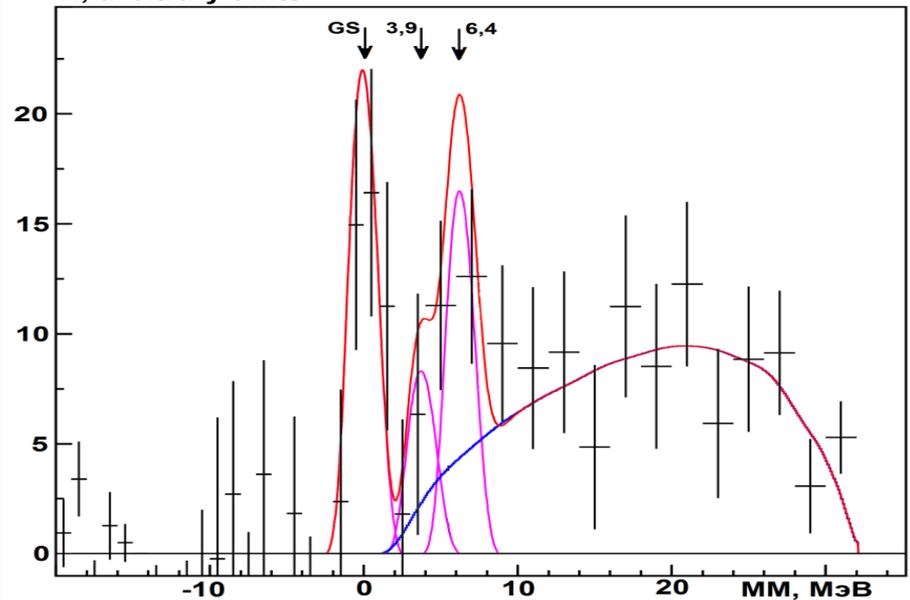


# Образование ${}^8\text{He}$ в реакции ${}^{14}\text{C}(\pi^-, t^3\text{He})X$

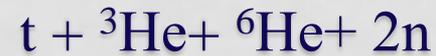
N, arbitrary units



N, arbitrary units



$E_x, \text{МэВ}$	$\Gamma, \text{МэВ}$
$\approx 3.9$	$\leq 1$
$\approx 6.4$	$\leq 1$

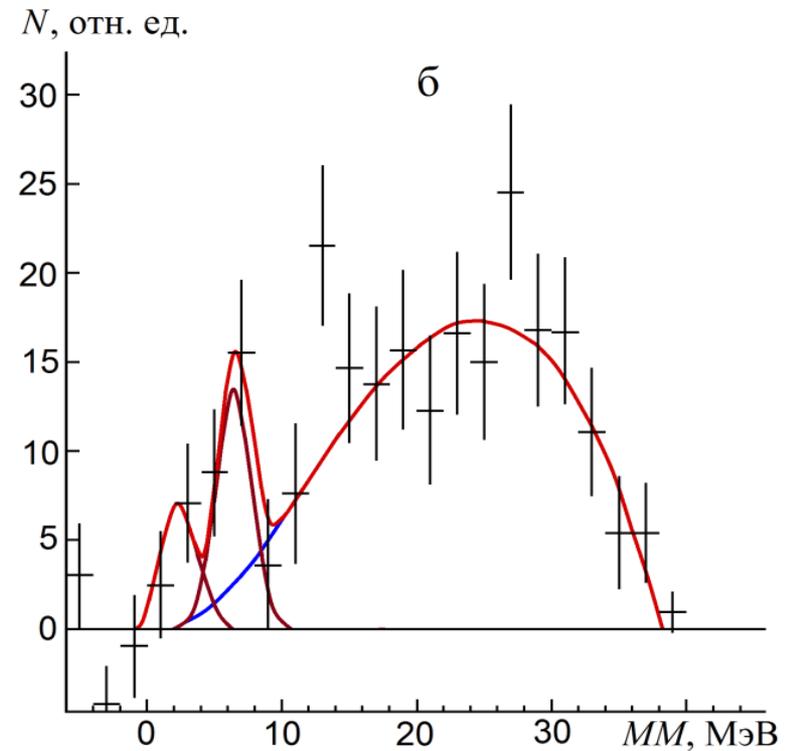
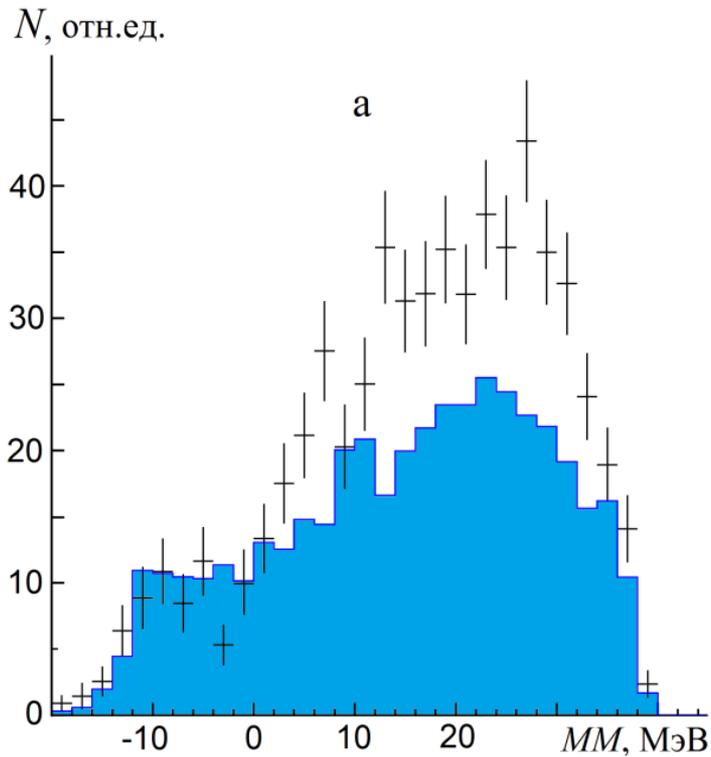


# Возбужденные состояния изотопа $^8\text{He}$

## в реакции поглощения остановившихся пионов

$E_x$ , МэВ	$\Gamma$ , МэВ	реакции
$3.9 \pm 0.2$	$0.3 \pm 0.1$	$^9\text{Be}(\pi^-, p)X$ $^{12}\text{C}(\pi^-, p^3\text{He})X$ $^{14}\text{C}(\pi^-, d^4\text{He})X$ $^{14}\text{C}(\pi^-, t^3\text{He})X$ $^{11}\text{B}(\pi^-, pd)X$
$4.6 \pm 0.3$	$0.3 \pm 0.1$	$^9\text{Be}(\pi^-, p)X$ $^{11}\text{B}(\pi^-, pd)X$
$\approx 6.4$	$\leq 1$	$^{11}\text{B}(\pi^-, pd)X$ $^{14}\text{C}(\pi^-, d^4\text{He})X$ $^{14}\text{C}(\pi^-, t^3\text{He})X$
$\approx 9.3$	2	$^{11}\text{B}(\pi^-, pd)X$
$\approx 11.5$	1	$^{11}\text{B}(\pi^-, pd)X$

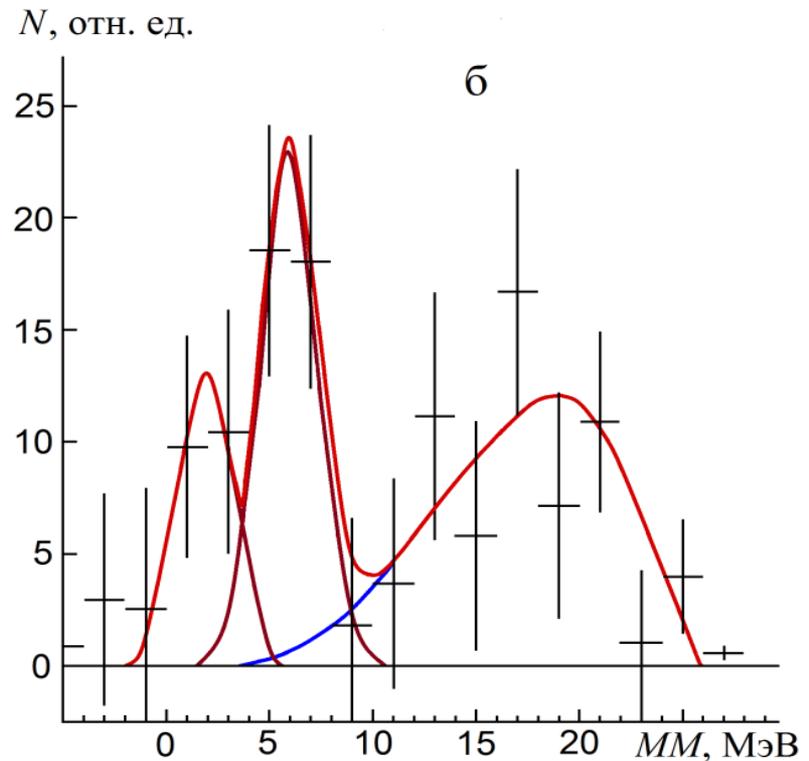
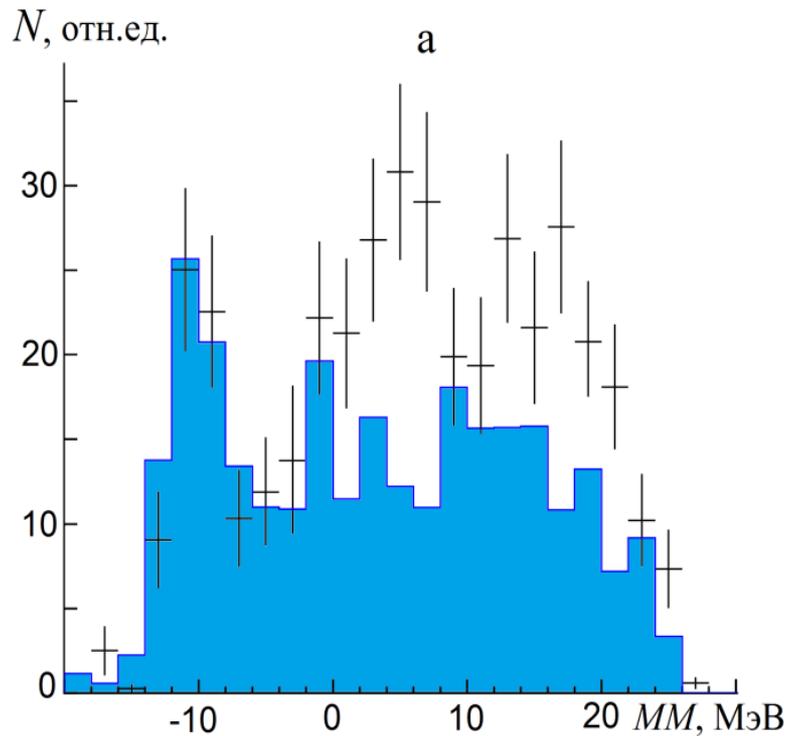
# Образование ${}^9\text{He}$ в реакции ${}^{14}\text{C}(\pi^-, p){}^4\text{He}X$



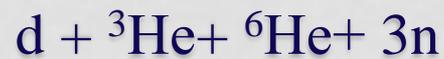
$E_x$ , МэВ	$\Gamma$ , МэВ
$\approx 2.5$	$\approx 2.0$
$\approx 6.5$	$\approx 1.5$



# Образование ${}^9\text{He}$ в реакции ${}^{14}\text{C}(\pi^-, d^3\text{He})X$



$E_x$ , МэВ	$\Gamma$ , МэВ
$\approx 2.0$	$\approx 2.0$
$\approx 6.0$	$\approx 1.5$



## Заключение:

- в реакциях поглощения остановившихся пионов на ядрах  ${}^9\text{Be}$ ,  ${}^{12,14}\text{C}$ ,  ${}^{11}\text{B}$  наблюдались возбужденные состояния тяжелого изотопа гелия  ${}^8\text{He}$ ;
- в реакциях поглощения остановившихся пионов на ядрах  ${}^{14}\text{C}$  наблюдались возбужденные состояния тяжелого изотопа гелия  ${}^9\text{He}$ ;
- впервые наблюдались состояния  $E_x \approx 6.4, 9.3$  и  $11.5$  МэВ для  ${}^8\text{He}$ .

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**