Выделение сигнала в инклюзивном процессе $pp \rightarrow ZZ \rightarrow \ell \ell \nu \nu$ в эксперименте АТЛАС на данных второго сеанса работы БАК.

Зубов Дмитрий

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Научный руководитель: Солдатов Е.Ю.

03.07.2024

・ロト・西ト・山田・山田・山口・

Мотивация и цели

Мотивация:

- Отсутствие ZZZ или ZZγ вершин взаимодействия → косвенный поиск эффектов, предсказанных теориями за пределами CM.
- ▶ *pp* → ZZ важный фон для процесса рождения бозона Хиггса.
- Канал распада *ℓℓνν* чувствителен к проявлениям вкладов aTGC и CP-нарушения.
 Цель исследования:
 - Прецизионная проверка Стандартной модели

Задача:

• Измерение интегральных сечений рождения ZZ и ZZjj в канале распада $\ell\ell
u$



Инклюзивный процесс $ZZ ightarrow I\!\!I u u$

- В событии два разноименно-заряженных лептона одного аромата (e⁺e⁻или µ⁺µ⁻), при этом, поперечный импульс первого больше 30 ГэВ, второго больше 20 ГэВ;
- Вето на третий заряженный лептон;
- ▶ 76 Γ∍B < M_{II} < 106 Γ∍B;</p>
- $E_T^{miss} > 70 \ \Gamma \Rightarrow B.$
- Отбор объектов описан в бэкапе

	Signal
ZZ (~ 0.7%)	Рождение двух Z-бозонов и последующий распад в $I\!I u u$
	Background
Z+струи	рождение Z-бозона и струи, с распадом Z-бозона в пару заря-
$(\sim 85.6\%)$	женных лептонов и большим ложным потерянным попереч-
	ным импульсом
$t\overline{t}, tW, ttV$ (~	рождение пары топ-кварков и последующим распадом вклю-
11.9%)	чающим конечное сосяние $I\!I u u$ (не резонансное рождтоение
	<i>ΙΙνν</i>)
WZ ($\sim 1.0\%$)	рождение пары бозонов Z и W, с распадом Z-бозона в пару
	заряженных лептонов и лептонным распадом W
$WW(\sim 0.5\%)$	рождение пары W с распадом в $I l \nu \nu$ (не резонансное рождение $I l \nu \nu$)
Пругие (4/ //аа	Фоновые процессы, которые вносят незначительный вклал в
$V/V/Z(\pi\pi) M/\pm$	общее цисло событий и оцениваются с помощью МК
v v v, $Z(77)$, $VV + iots$	оощее число сообнии и оцениваются с помощью итк
Jets) (~ 0.370)	

3

Определение инклюзивного сигнального региона.

Уровень реконструкции

Отборы получены при максимизации сигнальной значимости:

Триггер	Как минимум один лептон
Вершина	Как минимум одна вершина
	с двумя и более трэками
p_T^{lead} , $p_T^{sublead}$	30 ГэВ, 20 ГэВ
Разноименно заряжен	ные лептоны одного аромата
	$80 < m_{\ell \ell} < 100$ ГэВ
ET	> 110 ГэВ
$\Delta \dot{R}(\ell \ell)$	< 1.8
$\Delta \varphi(p_{\mathbf{T}}^{Z \to \nu \nu}, p_{\mathbf{T}}^{Z \to \ell \ell})$	> 2.2
E_{T}^{miss}/H_{T}	> 0.65
b-струи	= 0

Число сигнальных событий 1647±13 Число фоновых событий 1110±20

Отбор объектов описан в дополнительных слайдах

Уровень партонов (truth) Доверительные (fiducial) области определяются как области, относительно близкие к выделениям событий на уровне реконструкции, но более расслабленные:

- Лептоны «одетые» в фотоны внутри $\Delta R(\ell \ell) < 0.1;$
- $|\eta^{\ell}| < 2.5;$
- Truth p_T^{lead} , $p_T^{sublead}$;
- ▶ 76 < m_{ℓℓ} < 106 ГэВ</p>
- ► E^{miss}_T > 95 ГэВ
- $\Delta R_{\ell\ell} < 1.8$
- $\blacktriangleright \quad \Delta \varphi(p_{\mathbf{T}}^{Z \to \nu \nu}, p_{\mathbf{T}}^{Z \to \ell \ell}) > 2.7$
- $E_{T}^{miss}/H_{T} > 0.65$

Определение контрольных регионов

 З-лептонный КР: наличие третьего лептона и ограничение на поперечную массу W, определяемую по формуле:

$$m_T^W = \sqrt{2 p_T^{\ell^3} E_T^{\mathsf{miss}} \left[1 - \cos\left(\Delta \phi \left(p_T^{\ell^3}, E_T^{\mathsf{miss}}
ight)
ight]
ight]}$$

Нерезонансный КР: наличие лептонной пары с разным ароматом и противоположным зарядом и разделение на 2 категории по числу b-струй

Z+струи КР: Имеет сложное определение, как показано на схеме. Позволяет рассматривать как события с высоким E^{miss}_T, так и события с высоким E^{miss}_T/H_T. Разделяется на 3 категории по числу струй

	WZ KP	WW and Top KP-ы	<i>Z</i> +струи КР-ы
<i>т_{ℓℓ},</i> ГэВ	∈ [80; 100]	∈ [80; 100]	∈ [80; 100]
Е <mark>т^{iss}, ГэВ</mark>	> 70	> 70	_
$\Delta R(\ell \ell)$	< 2	< 2	< 1.8
$\Delta \phi(\vec{E}_{T}^{miss}, Z)$	> 2.2	> 2.2	> 2.2
E ^{miss} /H _T	> 0.3	> 0.3	_
Nb-струй	= 0	$\{0; \geq 1\}$	= 0
N _{струй}	≥ 0	≥ 0	$\{0;1;\geq 2\}$
Пара лептонов	$\{ee; \mu\mu\}$	$e^{\pm}\mu^{\mp}$	$\{ee; \mu\mu\}$
N _{лептонов}	= 3	= 2	= 2
<i>т</i> , ГэВ	> 30	—	—



Стратегия оценки интегрального сечения

• Статистическая модель описывается функцией правдоподобия:

$$\mathcal{L}(\mu,\theta) = \prod_{i}^{\text{regions}} \left[\prod_{i}^{\text{bins} \in r} \mathsf{Pois}(N_{i}^{\mathsf{data}} | \mu \nu_{i}^{s} \eta^{s}(\theta) + \nu_{i}^{b} \eta^{b}(\theta)) \right] \cdot \prod_{i}^{\mathsf{nuis. par.}} \mathcal{L}(\theta_{i}),$$

• Сила сигнала и интегральное сечение в доверительной области:

$$\mu = rac{\textit{N}_{meas.}}{\textit{N}_{SM}}, \quad \sigma_{measured}{}^{fid} = \mu_s \sigma_{MC}{}^{fid}$$

- Для оценки ожидаемой силы сигнала фитирование происходило в три этапа:
 - Фит Монте-Карло к данным в КР с нормировочными коэффициентами (µ) в качестве параметов интереса (POI)
 - Создание псевдоданных Азимова в СР на основании полученных нормировочных коэффициентов
 - Фитирование МК к псевдоданным Азимова в СР и данным в КР с µ(ZZ) в качестве РОІ и оценка ожидаемое неопределенности РОІ.
- Оценка наблюдаемой силы сигнала происходила осуществлялась с использованием статистической модели используемое для оценки ожидаемых результатов. Фит происходил к экспериментальным данным во всех регионах.

Распределения в инклюхивных сигнальном и контрольных регионах до и после фита.



Зубов Д.

Сила сигнала для инклюзивного процесса $ZZ ightarrow \ell \ell u u u$

Норм фактор	Ожидаемый	Наблюдаемый	Эффективные вклады систематических погрешностей				
			в оценку силы сигнала μ_{ZZ}				
μ_{ZZ}	$1.00^{+0.05}_{-0.05}$ (full)	$1.05^{+0.05}_{-0.05}$ (full)	Источник	Ожидаемый	Наблюдаемый		
	0.05	0.00	Восстановление электронов	0.33 %	0.37 %		
μ_{Zi} , $N_{inter} = 2$	0.97 ^{+0.38} (full)	$1.10^{+0.44}$ (full)	Идентификация <i>b</i> —адронных струй	0.26 %	0.28 %		
/~2j, ~jets =	-0.27(****)		МК статистика	1.60 %	1.63 %		
···· 1	$1.07^{\pm 0.39}$ (f.11)	1.07 ± 0.37 (f.11)	Энергетическая шкала и разрешение	1 70 %	1 65 %		
$\mu_{Zj}, n_{jets} = 1$ 1.07 -0.2	1.07 - 0.28 (1011)	1.07-0.28 ⁽¹⁰¹¹⁾	адронных струй	1.79 /0	1.05 /8		
	±0.43 <i>ca</i>	+0 44 <i>c</i>	ET	1.51 %	1.35 %		
$\mu_{Zj}, N_{jets} = 0$	$\mu_{Zj}, N_{jets} = 0$ $1.11^{+0.43}_{-0.30}$ (full) $1.14^{+0.44}_{-0.30}$ (full)	Восстановление мюонов	0.33 %	0.35 %			
			Моделирование множественных	0.51.9/	0.20.9/		
μ_{Top}	0.98 ^{+0.13} _{-0.10} (full)	0.98 ^{+0.13} / _{-0.10} (full)	<i>pp</i> —столкновений	0.51 %	0.39 %		
· · ·	-0.10	-0.10	Функция плотности партонов (PDF)	0.16 %	0.15 %		
11.1404/	$1.25^{+0.18}$ (full)	$1.27^{+0.18}$ (full)	Ренормализация и факторизация	0.91 %	0.99 %		
P~ VV VV	-0.17(1011)	-0.17(1011)	Светимость	0.83 %	0.87 %		
	$0.00^{\pm0.06}$ (c.11)	1 00+0.06 (6.11)	Альтернативное моделирование ZZ	0.25 %	0.38 %		
μ_{WZ}	$0.99_{-0.05}$ (full)	$1.00_{-0.05}$ (full)	Полная систематическая погрешность	3.20 %	3.10 %		

Ожидаемая сила сигнала:

 $\mu_{ZZ}=1.00\pm0.048$ (полн.) = 1.00 ± 0.036(стат.) ± 0.030(эксп.) ± 0.010(теор.) ± 0.008(свет.) Наблюдаемая сила сигнала:

 $\mu_{ZZ} = 1.047 \pm 0.048$ (полн.) = 1.047 ± 0.036 (стат.) ± 0.028 (эксп.) ± 0.011 (теор.) ± 0.009 (свет.)

Интегральное сечение рождения *ZZ*

Оценка сечения в доверительной области:

Ожидаемое: $\sigma_{ZZ}^{\text{fid},\text{expected}} = 20.08 \pm 0.97 (\text{полн.}) = 20.08 \pm 0.72 (\text{стат.}) \pm 0.59 (\text{эксп.}) \pm 0.19 (\text{теор.}) \pm 0.17 (\text{свет.})$ фб

Наблюдаемое :

 $\sigma_{ZZ}^{\text{fid}} = 21.03 \pm 0.97$ (полн.) $= 21.03 \pm 0.73$ (стат.) ± 0.57 (эксп.) ± 0.22 (теор.) ± 0.17 (свет.) фб

Оценка полного сечения:

Предсказанное: $\sigma_{\rm SM}^{\rm total}(pp \to ZZ) = 15.4 \pm 0.4$ пб. Измеренное: $\sigma_{\rm measured}^{\rm total}(pp \to ZZ) = 15.4 \pm 0.8$ пб. ($\delta_{\rm стат.} = 3.4$, $\delta_{\rm сист.} = 3.1$) Предыдущий результат (arXiv:1905.07163): $\sigma_{\rm measured}^{\rm total}(pp \to ZZ) = 17.8 \pm 1.3$ пб. ($\delta_{\rm стат.} = 5.5$, $\delta_{\rm сист.} = 3.5$)

Определение сигнального региона для процесса ZZjj.

Уровень реконструкции

Триггер	Как минимум один лептон
Вершина	Как минимум одна вершина
	с двумя и более трэками
p_T^{lead} , $p_T^{sublead}$	30 ГэВ, 20 ГэВ
Разноименно заряженны	ые лептоны одного аромата
	$80 < m_{\ell \ell} < 100$ ГэВ
ET	$> 150 \ ГэВ$
$\Delta \dot{R}(\ell \ell)$	< 1.8
$\Delta \varphi(p_{\mathbf{T}}^{Z \to \nu \nu}, p_{\mathbf{T}}^{Z \to \ell \ell})$	> 2.2
E_{T}^{miss}/H_{T}	> 0.65
Число струй	≥ 2
Число <i>b</i> -струй	= 0
$p_T^{lead.jet}$ v $p_T^{subleadingjet}$	> 30 Гэв

Число сигнальных событий 109 ± 2 Число фоновых событий 74 ± 2

Отбор объектов описан в дополнительных слайдах

Уровень партонов (truth) Доверительные (fiducial) области — определяются как области, относительно близкие к выделениям событий на уровне реконструкции, но более расслабленные:

- Лептоны «одетые» в фотоны внутри $\Delta R(\ell \ell) < 0.1;$
- $|\eta^{\ell}| < 2.5;$
- Лептоны: p_T^{lead} > 30 ГэВ, p_T^{sublead} > 20 ГэВ;
- Струи: p_T > 30 ГэВ, N_{струй} ≥ 2
- ▶ 76 < m_{ℓℓ} < 106 ГэВ</p>
- ► E^{miss}_T > 130 ГэВ
- $\Delta R_{\ell\ell} < 1.8$
- $\blacktriangleright \quad \Delta \varphi(p_{\mathbf{T}}^{Z \to \nu \nu}, p_{\mathbf{T}}^{Z \to \ell \ell}) > 2.7$
- $E_{T}^{miss}/H_{T} > 0.65$

Контрольные регионы для процесса ZZjj

 Контрольные регионы для процесса Z+струи не рассматривались из-за малого вклада процесса в сигнальный регион

	WZ KP	WW и Top KP
<i>т</i> _{ℓℓ} , ГэВ	∈ [80; 100]	\in [80; 100]
Ет ^{miss} , ГэВ	> 70	> 70
$\Delta R(\ell \ell)$	< 2	< 2
$\Delta \phi(\vec{E}_{T}^{miss}, Z)$	> 2.2	> 2.2
$E_{\rm T}^{\rm miss}/H_T$	> 0.3	> 0.3
N _{b-струй}	= 0	= 0
N _{струй}	≥ 2	≥ 2
р ^{струй} , ГэВ	>30	30
Пара лептонов	$\{ {\it ee}; \mu \mu \}$	$e^{\pm}\mu^{\mp}$
$N_{\rm лептонов}$	= 3	= 2
<i>т</i> , ГэВ	> 30	_

Числа событий и распределения в сигнальном и контрольных регионах до и после фита.







До фита

	CP	WZ KP	WW и Top KP	
ZZ	108 ± 12	1.0 ± 0.3	0.006 ± 0.004	
WZ	62 ± 12	281 ± 61	4.8 ± 1.0	
Z+струи	2.4 ± 1.2	15 ± 8	0.4 ± 0.2	
WW и Top	7.2 ± 1.5	8.2 ± 1.8	621 ± 91	
Другие	3.0 ± 0.7	12 ± 3	12 ± 14	
Всего	183 ± 21	317 ± 62	638 ± 96	
Данные	184	317	678	

После фита

	CP	WZ KP	WW и Top KP
ZZ	109 ± 4	1.0 ± 0.4	0.007 ± 0.004
WZ	61 ± 6	279 ± 20	4.9 ± 0.8
Z+Струи	2.5 ± 1.2	16 ± 7	0.4 ± 0.2
WW и Top	7.7 ± 1.4	9.0 ± 1.7	664 ± 27
Другие	3.0 ± 0.6	12 ± 3	9 ± 9
Всего	183 ± 14	317 ± 18	679 ± 26
Данные	184	317	678

Зубов Д

Результаты для инклюзивного процесса $ZZjj ightarrow \ell\ell u u jj$

Норм фактор	Ожидаемый	Наблюдаемый	Эффективные вклады систематических погрешностей				
			в оценку силы сигнала μ_{ZZ}				
μ_{ZZ}	$1.00^{+0.19}_{-0.17}$ (full)	$1.02^{+0.19}_{-0.17}$ (full)	Источник	Ожидаемый	Наблюдаемый		
	0.17	0.17	Восстановление электронов	0.23 %	0.24 %		
HMM and Tan	$1.08^{+0.18}$ (full)	$1.08^{+0.19}$ (full)	Идентификация <i>b</i> —адронных струй	1.24 %	1.22 %		
P WW and TOp	-0.15		МК статистика	2.86 %	2.86 %		
μ _{WZ}	$1.00^{+0.24}_{-0.20}$ (full)	$0.98^{+0.23}_{-0.20}$ (full)	Энергетическая шкала и разрешение адронных струй	1.79 %	1.65 %		
			E ^{miss}	0.91 %	0.97 %		
			Восстановление мюонов	0.40 %	0.42 %		
			Моделирование множественных pp—столкновений	4.03 %	4.12 %		
			Функция плотности партонов (PDF)	0.45 %	0.42 %		
			Ренормализация и факторизация	3.24 %	3.53 %		
			Светимость	0.80 %	0.82 %		
			Альтернативное моделирование ZZjj	0.94 %	0.93 %		
			Оценка фона Z+струи	0.42 %	0.43 %		
			Полная систематическая погрешность	10.94 %	10.85 %		

Ожидаемые:

 $\begin{aligned} & \sigma_{ZZjj}^{\text{fid}} = 1.00^{+0.19}_{-0.17}(\text{полн.}) = 1.00^{+0.16}_{-0.12}(\text{стат.})^{+0.10}_{-0.04}(\text{теор.})^{+0.01}_{-0.01}(\text{свет.}) \\ & \sigma_{ZZjj}^{\text{fid}} = 1.00^{+0.19}_{-0.17}(\text{полн.}) = 0.94 \pm 0.13(\text{стат.}) \pm 0.10(\text{эксп.})^{+0.01}_{-0.04}(\text{теор.}) \pm 0.01(\text{свет.}) \\ & \text{Ha6людаемые:} \\ & \mu_{ZZjj} = 1.02^{+0.19}_{-0.17}(\text{полн.}) = 1.02^{+0.16}_{-0.12}(\text{стат.})^{+0.10}_{-0.01}(\text{эксп.})^{+0.01}_{-0.04}(\text{теор.})^{+0.01}_{-0.01}(\text{свет.}) \\ & \sigma_{ZZjj}^{\text{fid}} = 0.96 \pm 0.17(\text{полн.}) = 0.96 \pm 0.13(\text{стат.}) \pm 0.13(\text{эксп.}) \pm 0.03(\text{теор.}) \pm 0.01(\text{свет.}) \\ \end{aligned}$

Зубов Д.

Заключение

- ▶ Измерено интегральное сечение рождения ZZ:
 - Согласуется с предсказанием Стандартной модели
 - Уменьшена погрешность измерения полного интегрального сечения с 7.3% до 5.2%
- Измерено интегральное сечение рождения ZZjj
 - Согласуется с предсказанием Стандартной модели
- Ведется работа над завершением статьи и подготовка к публикации

Дополнительные слайды

Публикации:

- Zubov D., Pyatiizbyantseva D., Soldatov E. An improved selection optimization method used for the measurement of ZZ production under conditions of ATLAS experiment during LHC Run II.//Physics of Particles and Nuclei. 54 (2023) 1, 232-238
- Zubov D., Kurova A., Soldatov E. Estimation of electron-to-photon misidentification rate in Z() measurements for conditions of ATLAS experiment during Run II// Physics of Particles and Nuclei. 54 (2023) 1, 227-231

Выступления:

- The LXXI International conference "NUCLEUS 2021. Nuclear physics and elementary particle physics. Nuclear physics technologies "An improved selection optimization method used for the measurement of ZZ production under conditions of ATLAS experiment during LHC Run II". Online, September 20, 2021.
- International School on Nuclear Physics and Engineering NPhE-2020, "Optimization of event selection of electroweak production of two jets and a Z-boson pair in proton-proton collisions at centre-of-mass energy of 13TeV using the Z(II)Z(nunu) decay channel with the ATLAS detector". Online, November 19-20, 2020.
- The 7th international conference on particle physics and astrophysics, Separation of QCD and VBS processes of vector diboson production using machine learning algorithms with third-jet information. Moscow, September 21, 2024

Отбор объектов

Электроны:

- Likehood medium
- ▶ p_T lead > 30 ГэВ
- ▶ p_T sublead > 20 ГэВ
- ▶ $|\eta|$ calo cluster < 2.47
- ► |∆(z0) * sin(θ)| < 0.5 мм</p>
- ► |d₀Significance| < 5</p>
- Изоляция WP FixedCutLoose
- Crack region veto
- Исключение пересечений с мюонами и струями

Мюоны:

- Medium
- ▶ $|\eta| < 2.5$
- ▶ p_T lead > 30 ГэВ
- ▶ *p*_T sublead > 20 ГэВ
- Combined muons
- ► |Δ(z0) * sin(θ)| < 0.5 мм
- ► |d₀Significance| < 3</p>
- Изоляция WP FixedCutPflowLoose
- Исключение пересечений со струями

Струи:

- AntiKt4EMPFlow
- ▶ *p_t* > 30 ГэВ
- ▶ || < 4.5
- ▶ JVT >0.5
- Event-level cleaning for LooseBad jets
- ET :
 - Tight WP, rebuilt with METMaker using selected leptons and all calibrated jets

Числа событий в инклюхивных сигнальном и контрольных регионах до и после фита.

	Signal Region	WZ CR	WW CR	Top CR	Z+0 jets CR	Z+1 jets CR	Z+at least 2 jets CR
ZZ	1647 ± 36	2.6 ± 0.7	0.58 ± 0.11	0.005 ± 0.011	99 ± 12	147 ± 20	164 ± 34
WZ	742 ± 43	2106 ± 139	22 ± 2	0.9 ± 0.3	80 ± 12	250 ± 28	306 ± 60
Z+0 jets	79 ± 34	36 ± 17	0.6 ± 1.0	0 ± 0	1724 ± 668	0 ± 0	0 ± 0
Z+1 jets	78 ± 40	35 ± 14	2.2 ± 0.7	0.12 ± 0.08	0 ± 0	3829 ± 1461	0 ± 0
Z+at least jets	13 ± 7	16 ± 12	0.4 ± 0.6	0.15 ± 0.16	0 ± 0	0 ± 0	4686 ± 1694
WW	36.2 ± 1.9	0.65 ± 0.12	672 ± 41	13.9 ± 1.6	48 ± 6	46 ± 5	18.5 ± 1.9
Тор	114 ± 20	57 ± 8	1850 ± 287	5700 ± 708	92 ± 25	198 ± 39	246 ± 43
Other	48 ± 4	91 ± 7	46 ± 13	3.4 ± 1.3	12 ± 3	44 ± 10	48 ± 10
Total	2757 ± 119	2344 ± 146	2594 ± 305	5718 ± 708	2054 ± 696	4514 ± 1499	5469 ± 1732
Data		2409	2903	5736	2691	5733	5769

Table 24: Pre-fit Yields of the CR-only fit in inclusive phase space.

	Signal Region	WZ CR	WW CR	Top CR	Z+0 jets CR	Z+1 jets CR	Z+at least 2 jets CR
ZZ	1740 ± 72	2.8 ± 0.7	0.62 ± 0.12	0.008 ± 0.017	108 ± 12	163 ± 22	169 ± 33
WZ	766 ± 30	2162 ± 53	22.9 ± 1.5	0.9 ± 0.2	86 ± 9	268 ± 18	315 ± 33
Z+0 jets	108 ± 28	37 ± 14	1.1 ± 1.7	0 ± 0	2317 ± 62	0 ± 0	0 ± 0
Z+1 jets	72 ± 29	43 ± 17	1.9 ± 0.8	0.12 ± 0.08	0 ± 0	4975 ± 93	0 ± 0
Z+at least jets	14 ± 8	13 ± 7	0.3 ± 0.5	0.19 ± 0.18	0 ± 0	0 ± 0	4965 ± 122
WW	47 ± 6	0.84 ± 0.15	872 ± 90	18 ± 2	65 ± 8	61 ± 7	23 ± 3
Тор	122 ± 8	59 ± 3	1954 ± 92	5719 ± 75	103 ± 16	217 ± 21	249 ± 22
Other	49 ± 3	92 ± 7	45 ± 13	3.6 ± 0.9	13 ± 3	47 ± 9	48 ± 10
Total	2918 ± 54	2409 ± 49	2897 ± 53	5741 ± 75	2691 ± 56	5732 ± 84	5769 ± 92
Data	2917	2409	2903	5736	2691	5733	5769

Table 34: Post-fit observed yields for the inclusive phase-space from the data fit.

Зубов Д.