

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Изучение эллиптического и треугольного потоков  
идентифицированных адронов в столкновениях ядер  
золота при энергиях  $\sqrt{s_{NN}} = 11.5 - 62.4$  ГэВ в  
эксперименте STAR**

Выполнил:  
студент гр. М19-115 Поваров А.С.

Научный руководитель:  
ст. преп. ООП ОЯФиТ Нигматкулов Г.А.



Москва - 2020г

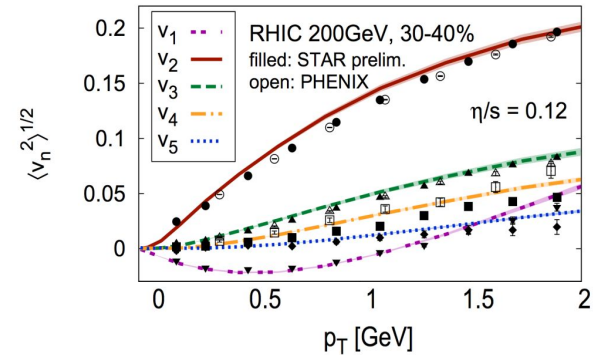
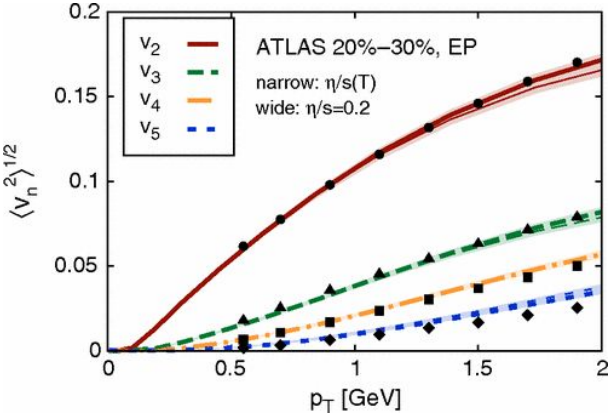
# Содержание



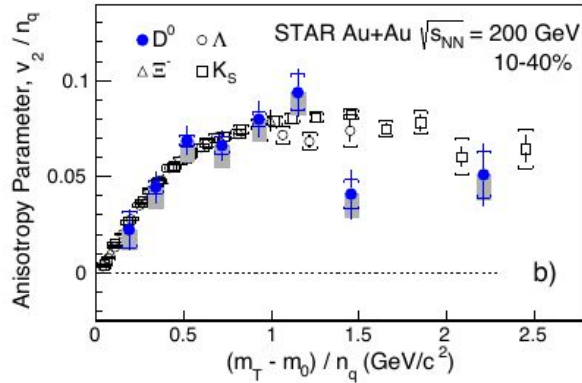
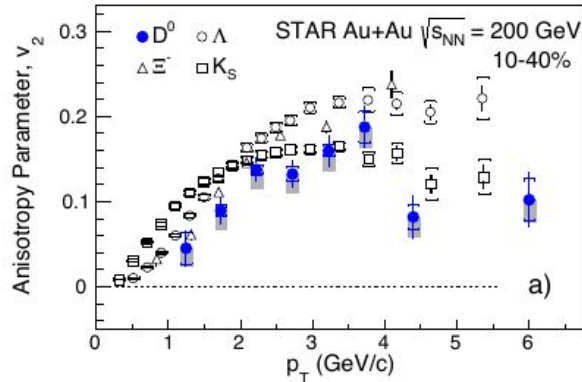
- Коллективные потоки на RHIC и LHC
- Эксперимент STAR
- Метод измерения коллективных потоков
- Результаты
- Заключение

# Коллективные потоки на RHIC и LHC

Gale et al., Phys. Rev. Lett. 110, 012302



STAR PRL118 (2017) 212301



$v_n(p_T, \text{centrality})$  - чувствителен к ранним стадиям столкновения.

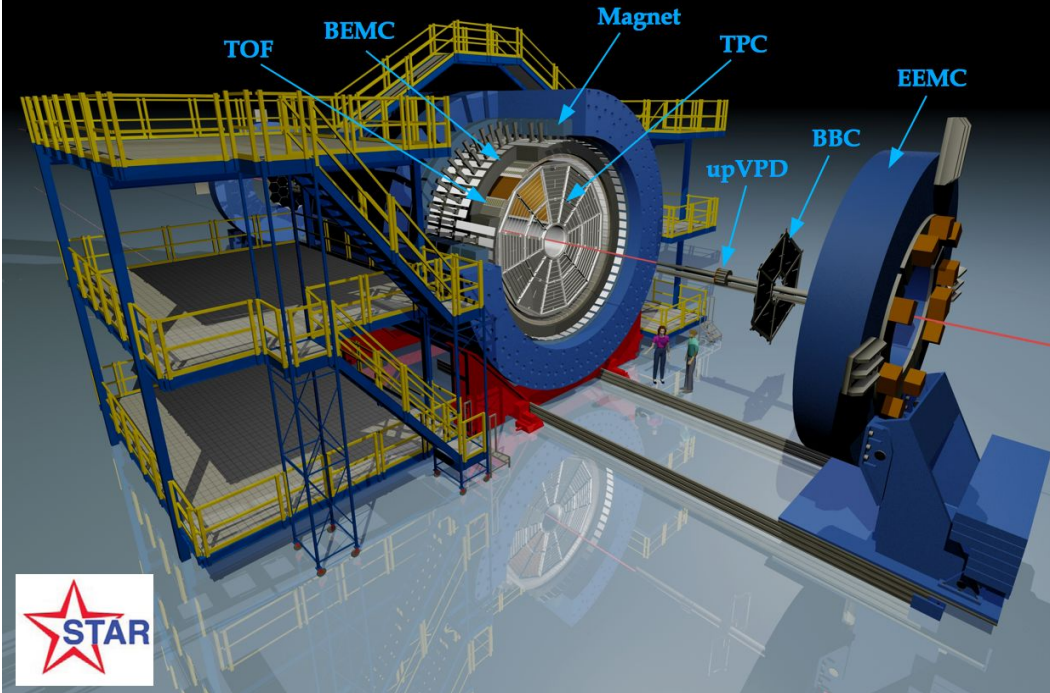
Можно извлечь ограничения на транспортные свойства: EOS,  $\eta/s$ ,  $\zeta/s$ .

**Массовое упорядочивание** при  $p_T < 2$  ГэВ/с (проявление радиального потока)

**Барион/мезонное расщепление** при  $p_T > 2$  GeV/c  $\Rightarrow$  масштабирование на количество валентных кварков

# Эксперимент STAR

## The Solenoidal Tracker At RHIC (STAR)



### Время-проекционная камера (TPC):

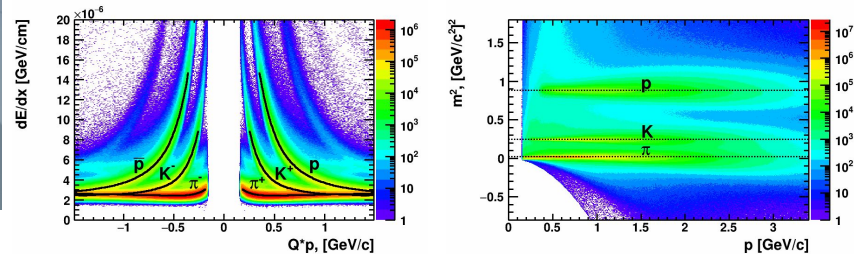
- Регистрация заряженных частиц с  $|\eta| < 1$ ,  $0 < \varphi < 2\pi$
- Для идентификации используется информация об удельных потерях энергии  $dE/dx$

### Времяпролетная система (TOF):

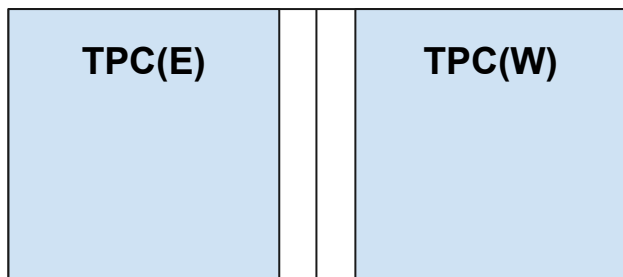
- $|\eta| < 0.9$ ,  $0 < \varphi < 2\pi$
- Идентификация по времени пролёта

### Наборы данных:

Au+Au,  $\sqrt{s_{NN}} = 11.5 - 62.4$  GeV



# Метод измерения: Метод плоскости реакции (EP)



$-1 < \eta < -0.05$

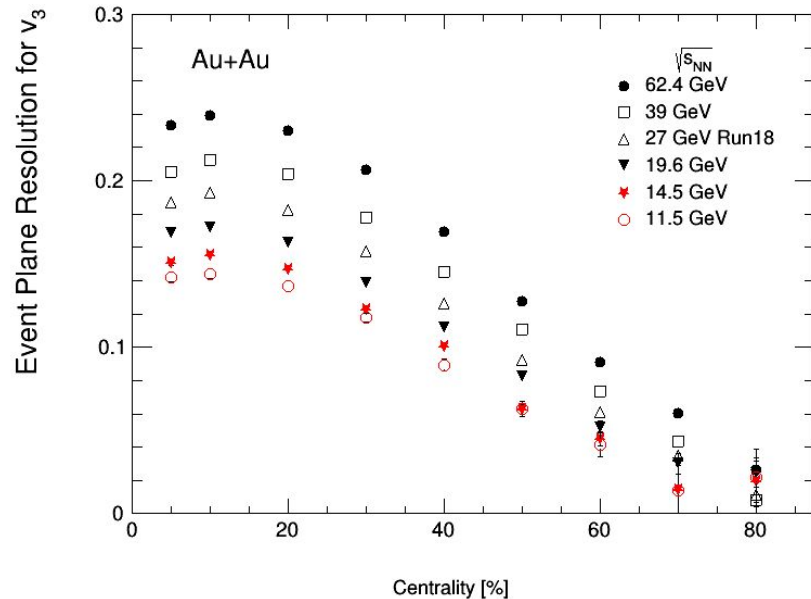
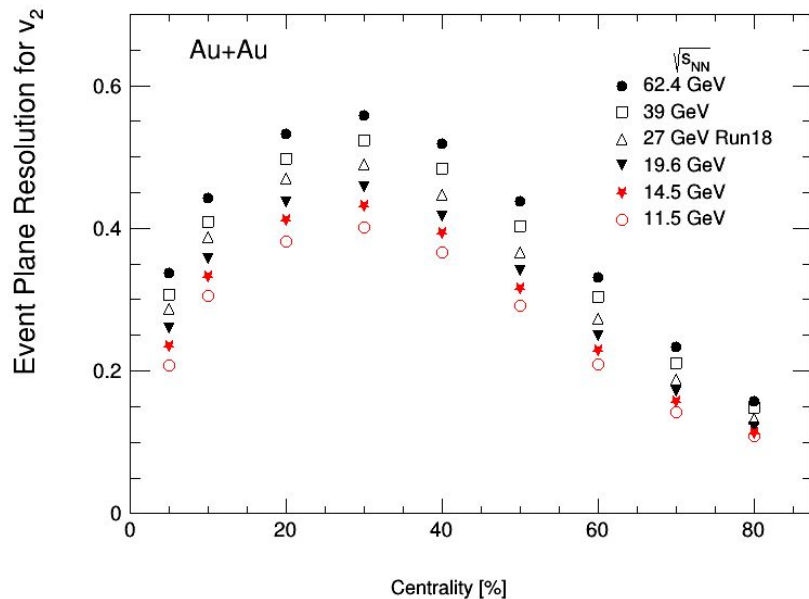
$0.05 < \eta < 1$

TPC(E) half ( $\eta < 0$ )  $\rightarrow \eta_-$

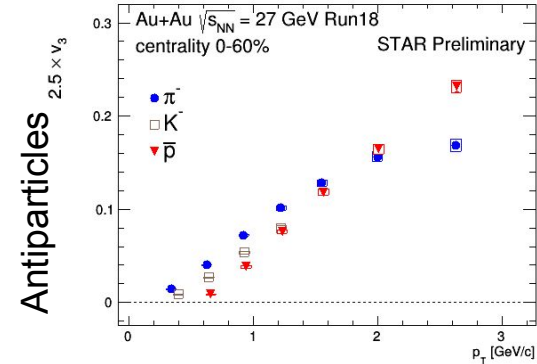
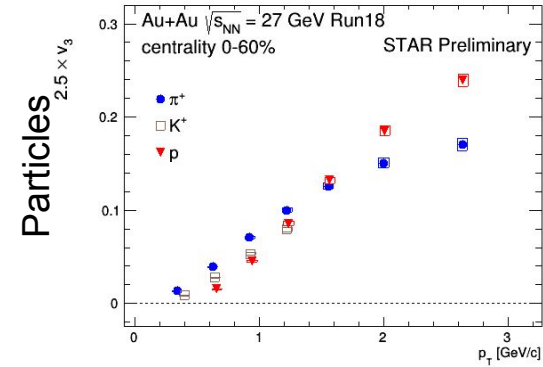
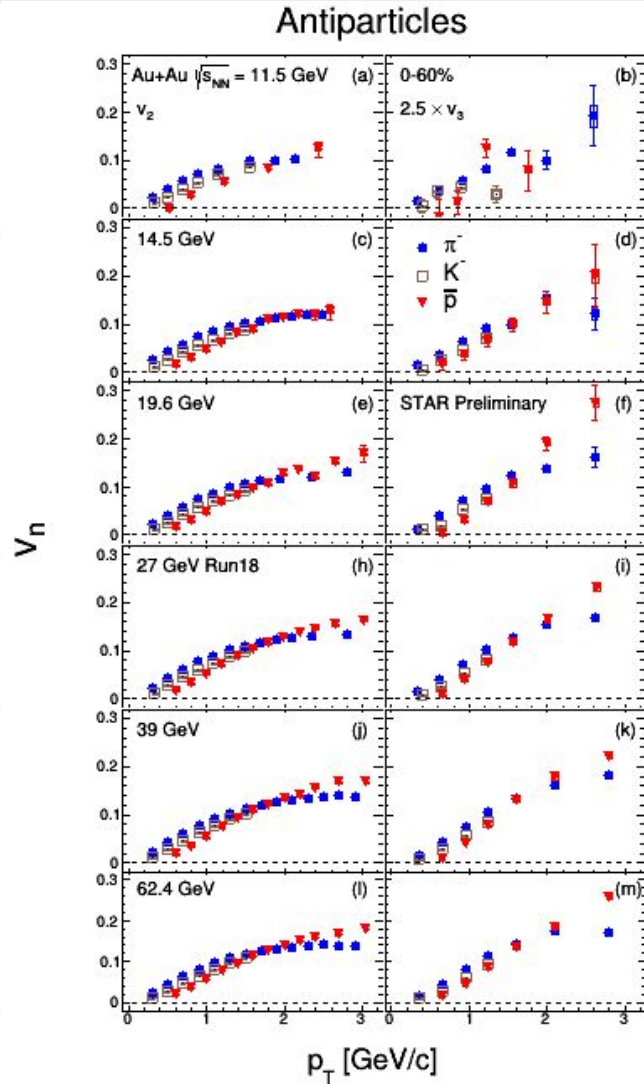
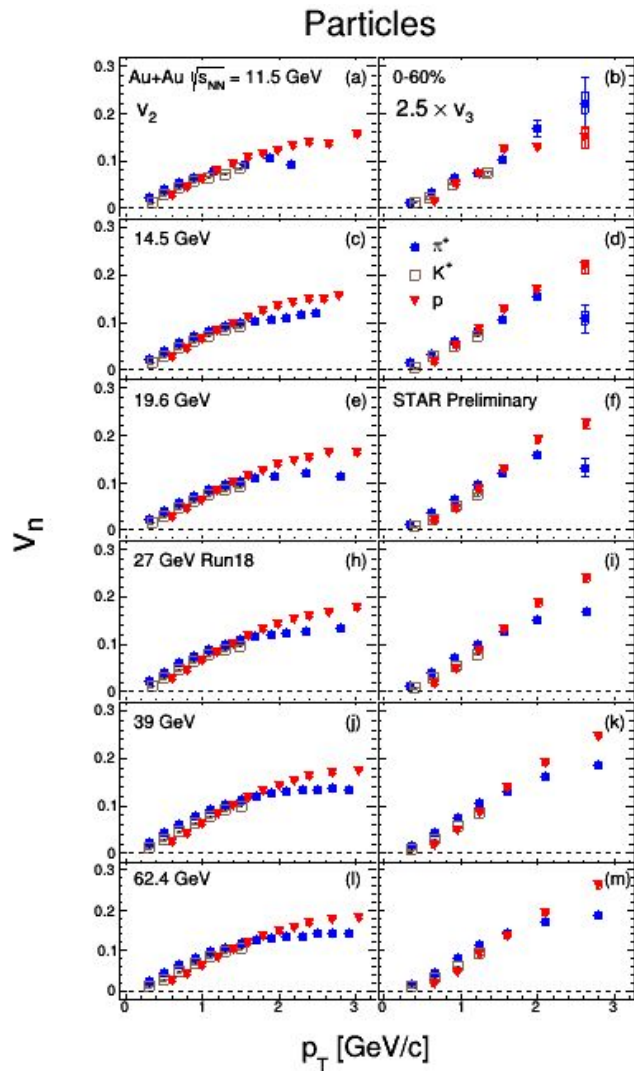
TPC(W) half ( $\eta < 0$ )  $\rightarrow \eta_+$

$$v_n = \frac{\langle \cos[n(\phi_{\eta_{\pm}} - \Psi_{n,\eta_{\mp}})] \rangle}{Res\{\Psi_n\}}$$

$$Res\{\Psi_n\} = \sqrt{\langle \cos[n(\Psi_{n,\eta_+} - \Psi_{n,\eta_-})] \rangle}$$



# $v_2(p_T)$ и $v_3(p_T)$ идентифицированных адронов

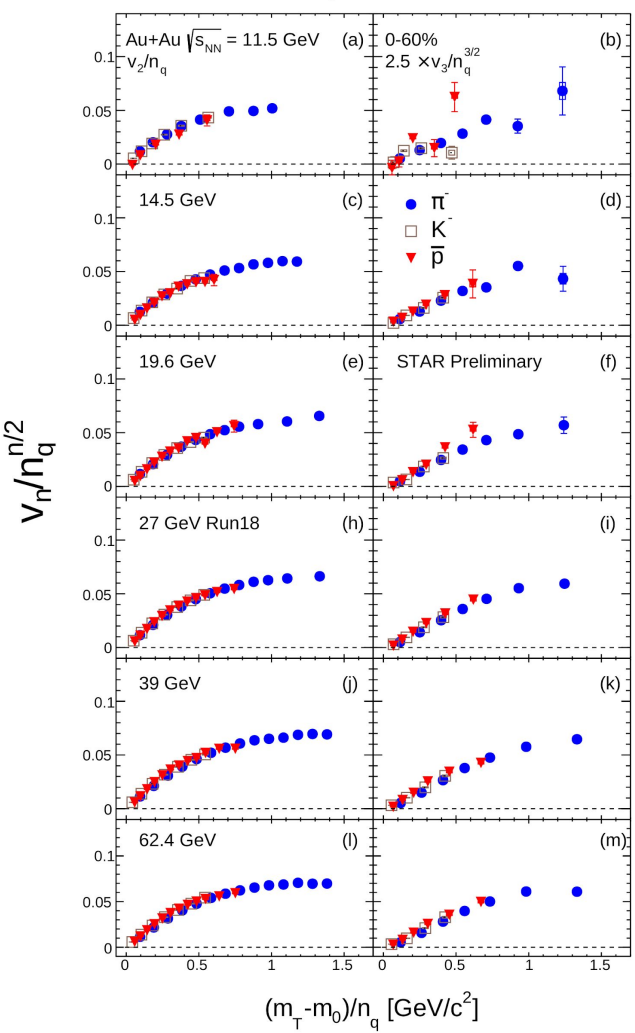
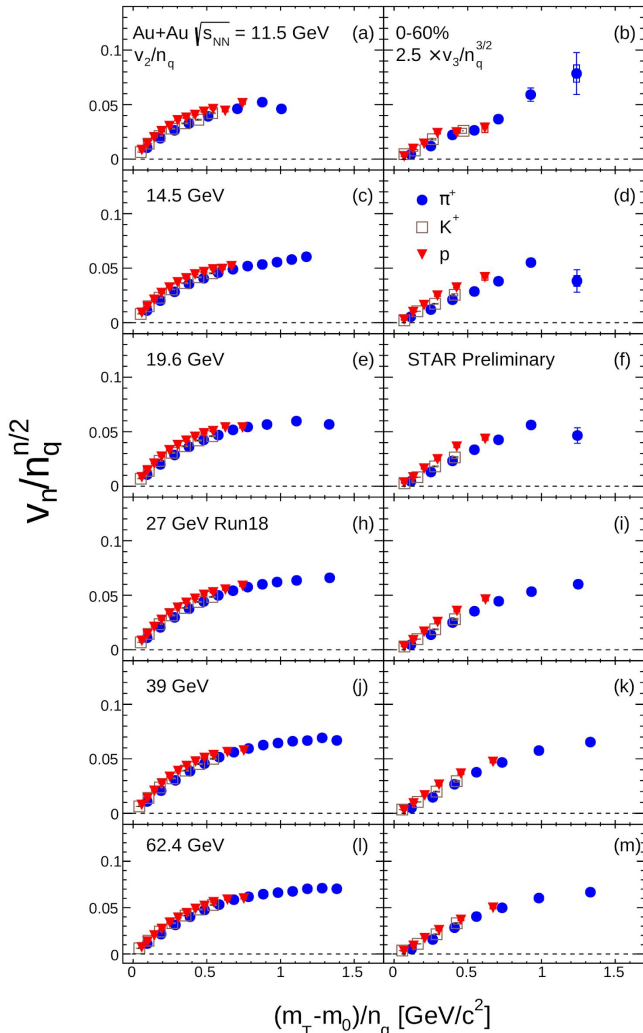


Массовое упорядочение при  $p_T < 1.5$  GeV/c  
 Барион/мезонное расщепление при  $p_T > 2$  GeV/c

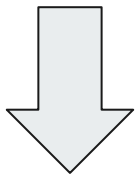
# Масштабирование на количество валентных кварков

Particles

Antiparticles



- Данное масштабирование было выполнено для  $v_2$  и  $v_3$  частиц и античастиц
- Лучше сохраняется для высоких энергий



Коллективные эффекты зарождаются на стадии деконфаймента кварков и глюонов

# Заключение



Были представлены результаты  $v_2$ ,  $v_3$  в столкновениях золота при  $\sqrt{s_{NN}} = 11.5 - 62.4$  ГэВ

**( $\sqrt{s_{NN}}$ , centrality, PID,  $p_T$ )-зависимость** для  $v_2$  для  $v_3$ :

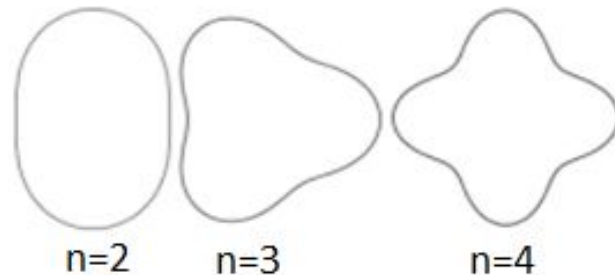
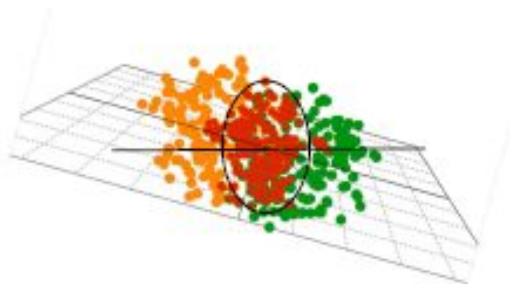
- Наблюдаются массовое упорядочение при  $p_T < 1.5$  GeV/c и барион/мезонное расщепление при  $p_T > 2$  GeV/c
- Было выполнено масштабирование на количество валентных кварков, оно лучше сохраняется для более высоких энергий. Может интерпретироваться как признак того, что коллективные эффекты зарождаются на партонной стадии.





# Запасные слайды

# Коллективные потоки

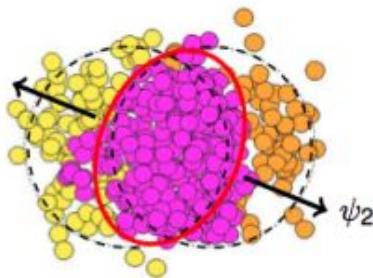


$$\epsilon_n = \sqrt{\frac{\langle r^n \cos n\phi \rangle + \langle r^n \sin n\phi \rangle}{\langle r^n \rangle}}$$

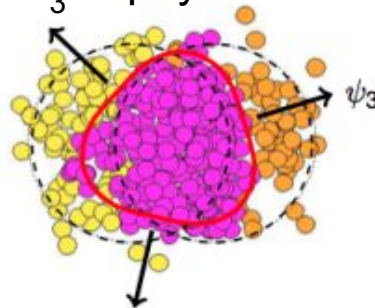
$$\frac{dN}{d\phi} \approx \left( 1 + 2 \sum_{n=1} v_n \cos[n(\phi - \Psi_n)] \right)$$

Начальный эксцентриситет (и сопутствующие ему колебания)  $\epsilon_n$  преобразуется в анизотропию импульса  $v_n$

$v_2$  - эллиптический



$v_3$  - треугольный

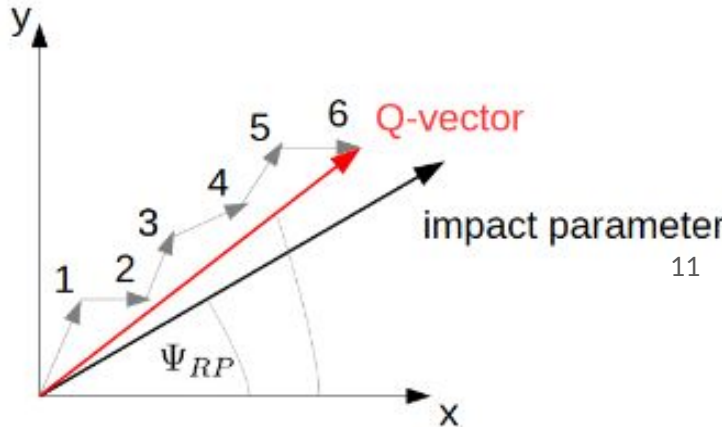
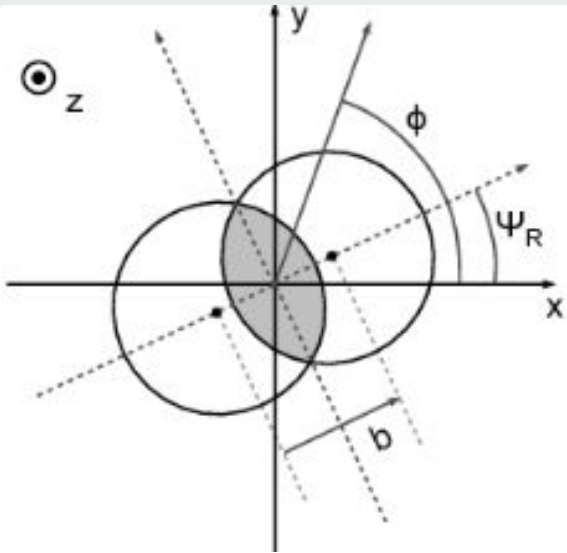
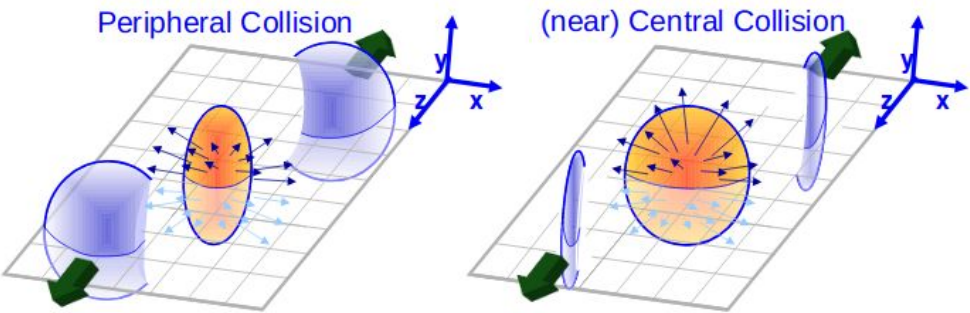


# Восстановление плоскости события

Для измерения потоков используется метод плоскости события (Event Plane method).

В столкновениях плоскость реакции определяют направлением оси пучка и вектором прицельного параметра:

$$tg(n\Psi_n) = \frac{Q_{ny}}{Q_{nx}} = \frac{\sum_i \omega_i \sin(n\phi_i)}{\sum_i \omega_i \cos(n\phi_i)}$$



# Отбор событий

Au+Au	$ Vz $ , см	$ Vr $ , см	Смещение по $Vy$ , см	До отбора	После отбора
Run10 11.5 GeV	< 50	< 2	0.0	12M	10M
Run14 14.5 GeV	< 70	< 1	-0.89	28M	24M
Run11 19.6 GeV	< 70	< 2	0.0	25M	21M
Run10 27 GeV	< 70	< 2	0.0	74M	62M
Run18 27GeV	< 70	< 2	0.0	550M	460M
Run10 39 GeV	< 40	< 2	0.0	126M	105M
Run10 62.4 GeV	< 40	< 2	0.0	56M	47M

# Отбор треков и идентификация частиц

## Отбор треков:

- Первичные треки
- $|\eta| < 1$
- $DCA < 1 \text{ cm}$  ( $\pi^\pm, K^\pm, p, \bar{p}$ )
- $N_{\text{hits}} > 15$
- $N_{\text{hits}}/N_{\text{hitsPoss}} > 0.52$

## Идентификация заряженных частиц:

- $dE/dx$  (TPC):  $|\ln\sigma| < 1.5$  (для 27 GeV и 62.4 GeV)
- $dE/dx$  (TPC):  $|\ln\sigma| < 3$  (для остальных)
- Идентификация по TOF:

$$-0.15 < m_\pi^2 < 0.1$$

$$0.2 < m_K^2 < 0.32$$

$$0.74 < m_p^2 < 1.2$$