



Учет эффекта ядерной деформации в Монте-Карло модели ядро-ядерных соударений при высоких энергиях HYDJET++



И.П. Лохтин¹, Д.А. Мягков^{1,2}, С.В. Петрушанко¹, А.М. Снигирев¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет

HYDJET++

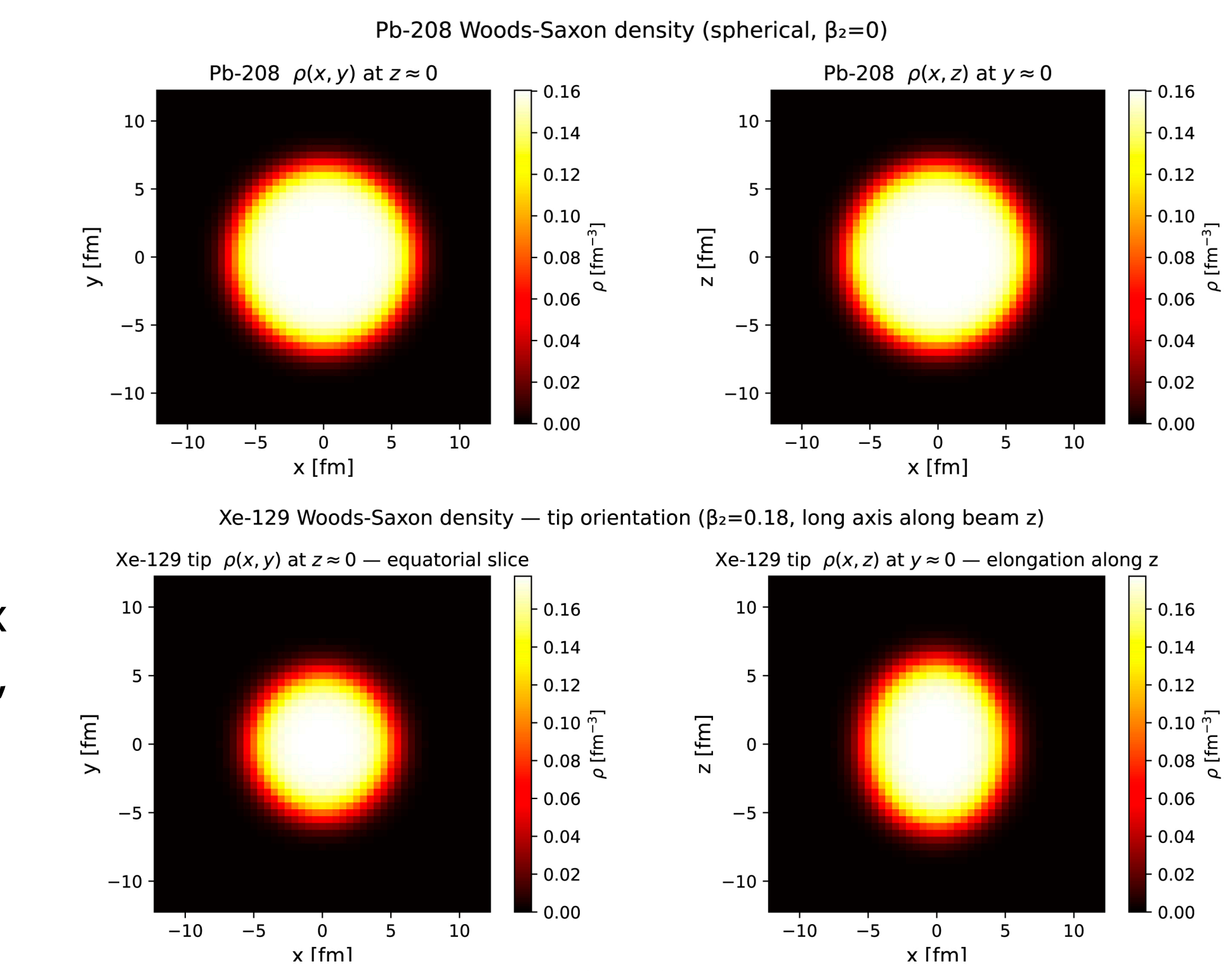
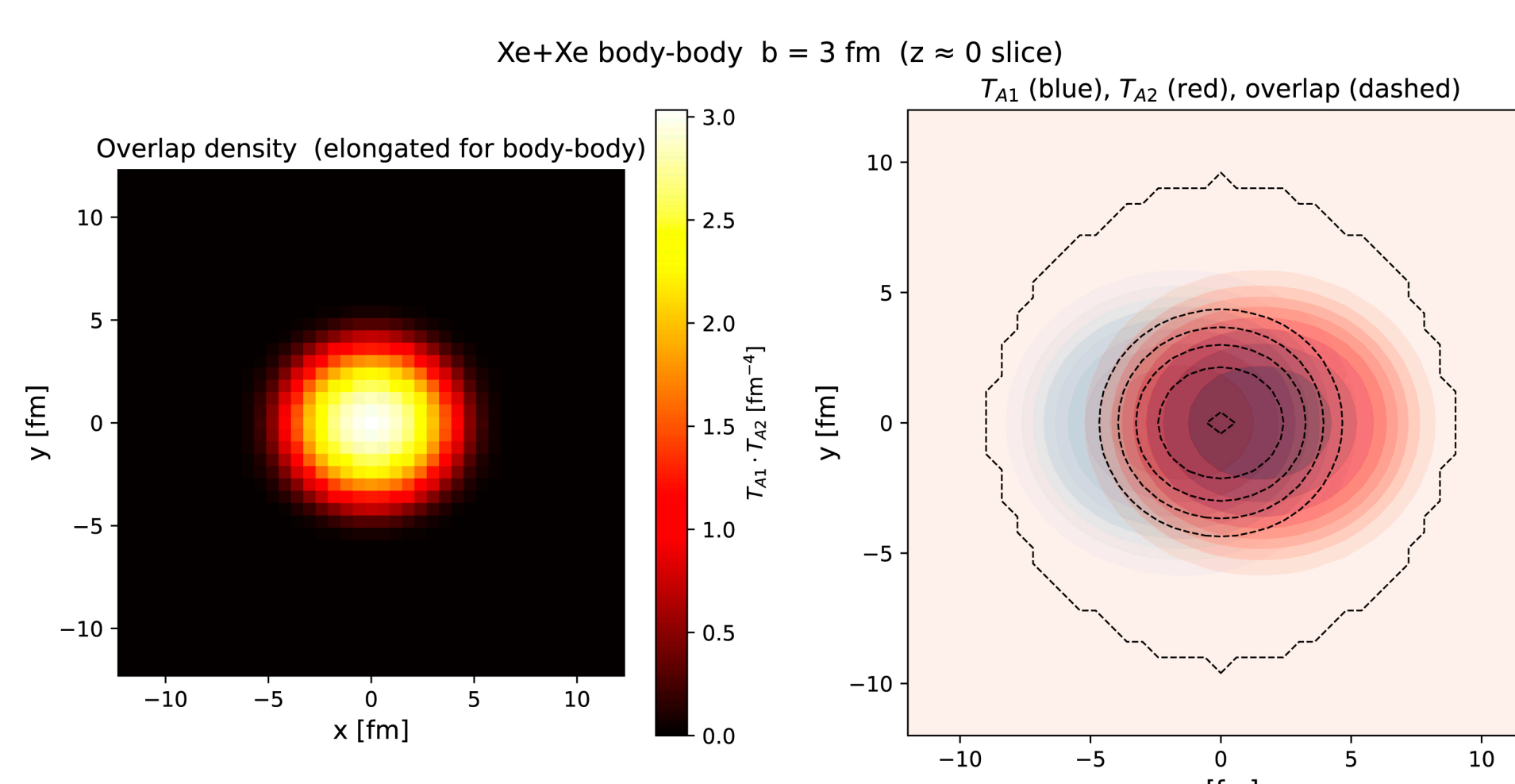
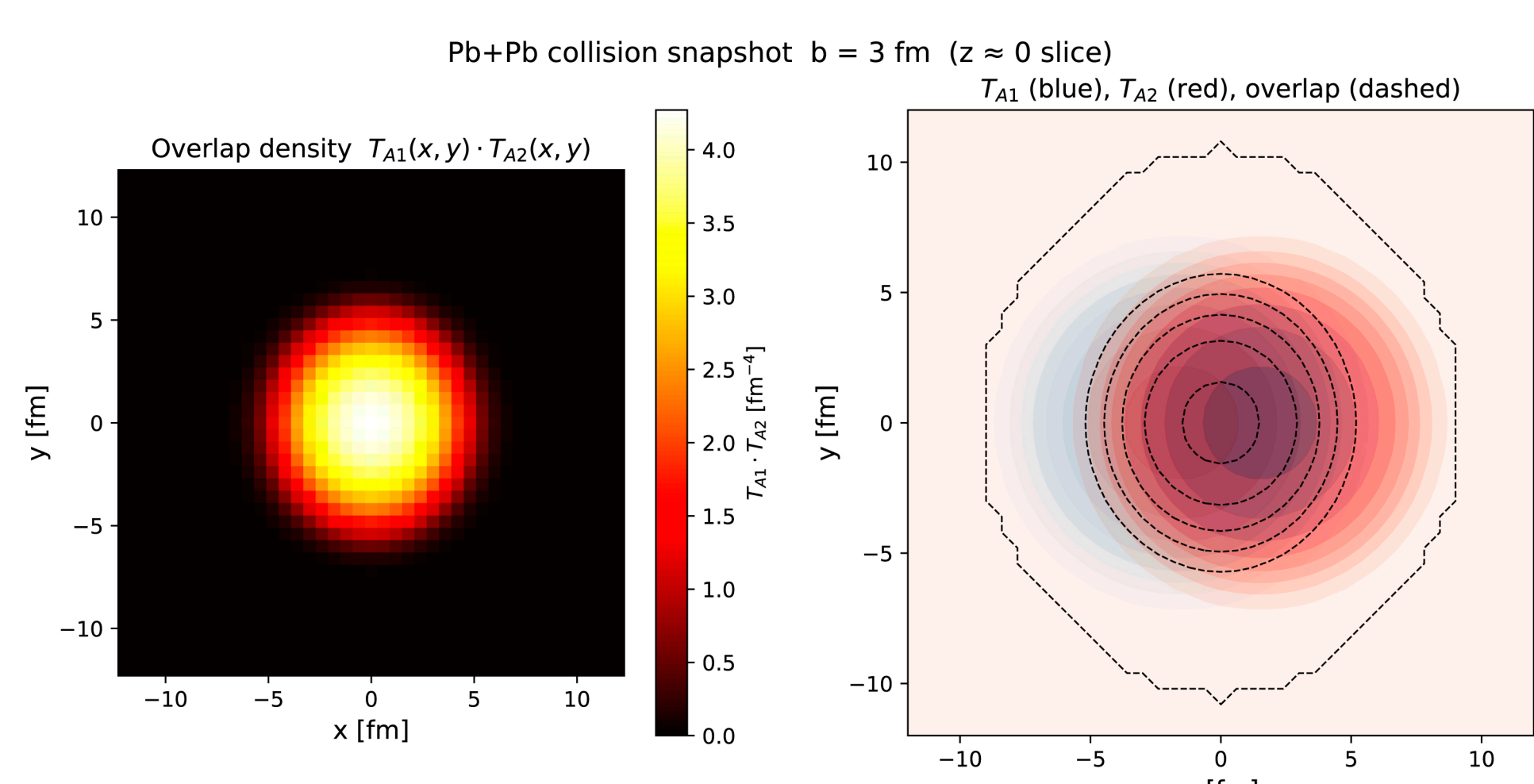
Монте-Карло модель, представляющая столкновения тяжелых ионов как суперпозицию двух независимых компонент (мягкой гидродинамической на основе FAST MC и жесткой с мультипартоным рассеянием на основе PYQUEN) I.P. Lokhtin, L.V. Malinina, S.V. Petrushanko, A.M. Snigirev, I. Arsene, K. Tywoniuk

<http://lav01.sinp.msu.ru/~igor/hydjet++/>

Является улучшенной версией, разработанного в НИИЯФ МГУ генератора событий HYDJET [1,2]

В работе представлены первые шаги по улучшению генератора — учету ядерной деформации в столкновениях тяжелых ионов. В деформированном потенциале Вудса-Саксона ядерная плотность вычисляется с квадрупольными, октупольными и гексадекапольными коэффициентами деформации β_n [3] по формуле:

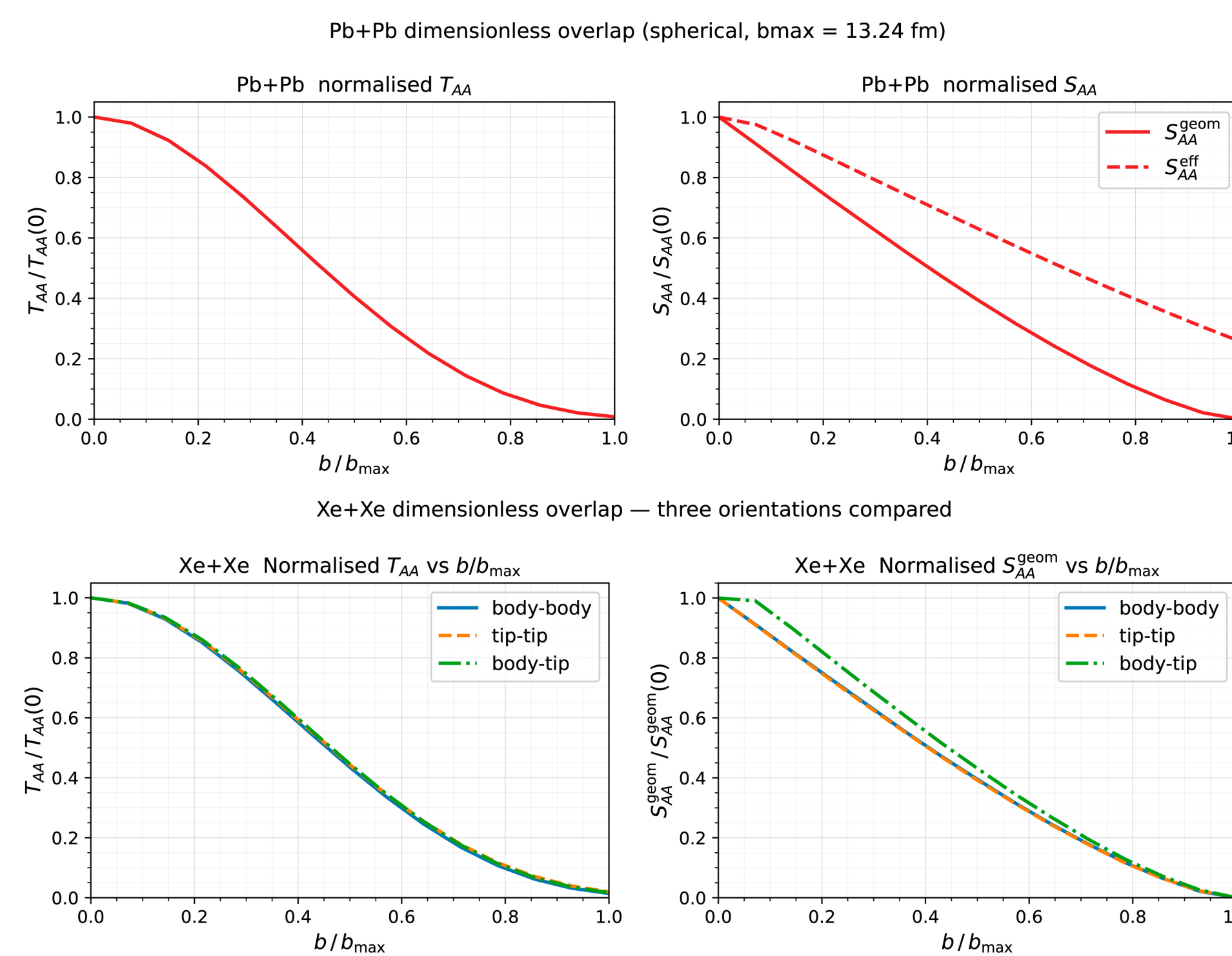
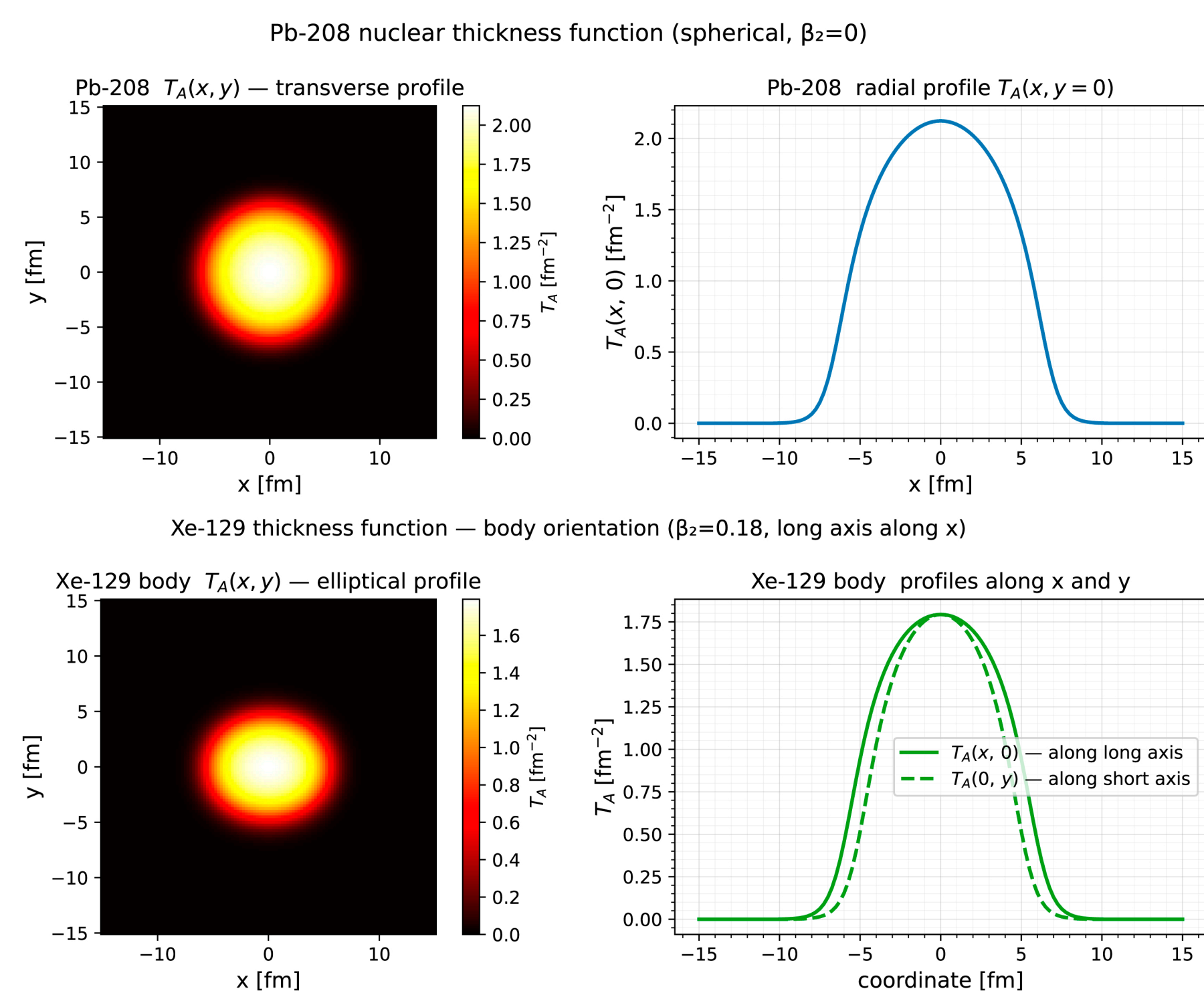
$$\rho(r, \theta) = \frac{\rho_0}{1 + \exp[(r - R(\theta))/a_0]}, \text{ где } R(\theta) = R_0[1 + \beta_2 Y_{20} + \beta_3 Y_{30} + \beta_4 Y_{40} + \dots]$$



Профиль распределения ядерной плотности в столкновениях Pb-Pb при параметре удара ($b=3$) фм в плоскости $z=0$. Слева показано распределение плотности перекрытия $T_{A1}(x,y) \cdot T_{A2}(x,y)$, характеризующее область наиболее интенсивного взаимодействия ядер. Справа приведены функции толщины двух ядер T_{A1} и T_{A2} , а пунктиром обозначена область их геометрического перекрытия.

Аналогичная проекция для столкновения Xe-Xe в конфигурации body-body, когда ядра летят на встречу друг другу вытянутыми сторонами. Слева — распределение плотности перекрытия, справа — функции толщины двух ядер. Деформация Xe существенно меняет форму области перекрытия: в конфигурации body-body начальное состояние приобретает выраженную эллиптичность уже на геометрическом уровне.

В конфигурации Xe-Xe tip-tip при том же ($b=3$) фм область перекрытия становится более компактной и близкой к осесимметричной. В сравнении с body-body это показывает, что ориентация деформированных ядер влияет не только на размер, но и на форму начальной области взаимодействия.



После вычисления ядерной плотности в деформированном потенциале Вудса-Саксона, вычисляются функции ядерных толщин, функции перекрытия и площади по стандартным формулам:

$$T_A(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \rho(x, y, z) dz \quad S_{AA} = \iint dxdy$$

$$T_{AA}(b) = \iint T_A^{(1)}(x, y) \cdot T_A^{(2)}(x, y) dxdy$$

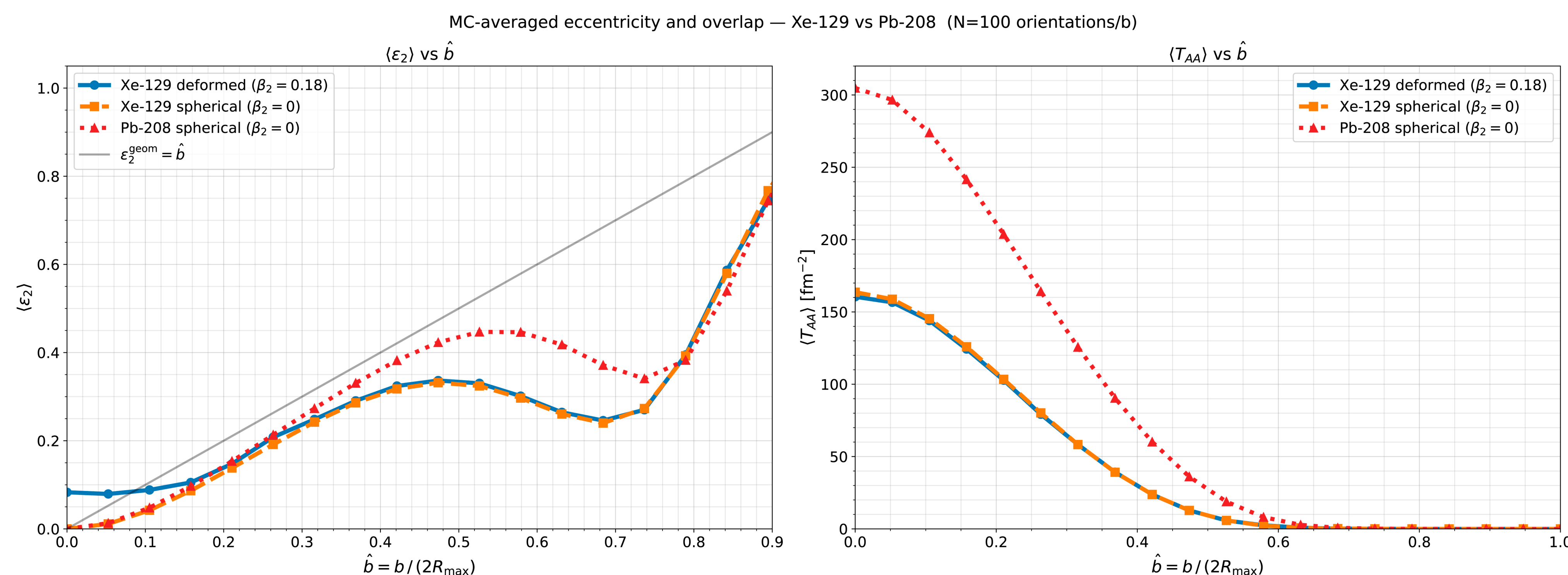
Распределения этих величин показаны на графиках слева для различных конфигураций столкновений ядер Xe-Xe и Pb-Pb. Различие сечений вдоль (x) и (y) отражает вклад квадрупольной деформации в начальную геометрию столкновения.

Главным результатом работы является расчет ядерных эксцентриситетов — основной геометрической величины, определяющей азимутальную анизотропию рождающихся в столкновениях тяжелых ионов частиц. В случае, когда центроид ядра не совпадает с центром координат, эксцентриситет ϵ_2 можно вычислить так:

$$\bar{x} = \frac{\iint x w dx dy}{\iint w dx dy}, \quad \bar{y} = \frac{\iint y w dx dy}{\iint w dx dy}, \quad w(x, y) = T_A^{(1)}(x, y) \cdot T_A^{(2)}(x, y)$$

$$\sigma_{xx} = \langle (x - \bar{x})^2 \rangle_w, \quad \sigma_{yy} = \langle (y - \bar{y})^2 \rangle_w, \quad \sigma_{xy} = \langle (x - \bar{x})(y - \bar{y}) \rangle_w$$

$$\epsilon_2 = \frac{\sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + 4\sigma_{xy}^2}}{\sigma_{xx} + \sigma_{yy}}$$



Усреднённые по ансамблю конфигураций зависимости эксцентриситетов ϵ_2 и функций перекрытия T_{AA} от нормированного параметра удара для Xe-129 и Pb-208. Расчёт показывает, что различия в начальной пространственной анизотропии возникают уже на уровне ядерной геометрии: деформация Xe-129 меняет поведение ϵ_2 даже без привлечения полной динамической модели столкновения. Поскольку эллиптический поток v_2 чувствителен к начальному эксцентриситету, такие геометрические различия могут служить естественным источником различий в азимутальной анизотропии Xe-Xe и Pb-Pb. Эта геометрическая интерпретация согласуется с физическим результатом работы CMS по многачастичным кумулянтам в XeXe и PbPb [3], где подчёркивается чувствительность коллективных потоков к начальному состоянию и деформации ядра.

Список литературы:

[1] Lokhtin I. P., Snigirev A. M. // Eur. Phys. J. C. 2006. 45, 211 // A model of jet quenching in ultrarelativistic heavy ion collisions and high- p_T hadron spectra at RHIC

[2] Lokhtin I. P., Malinina L. V., Petrushanko S. V., Snigirev A. M., Arsene I., Tywoniuk K. // Comput. Phys. Commun. 2009. 180, 779 // Heavy ion event generator HYDJET++ (HYDrodynamics plus JETs)

[3] The CMS Collaboration // Physics Letters B, 2026, 876, 140359 // Characterizing the initial state and dynamical evolution in XeXe and PbPb collisions using multiparticle cumulants