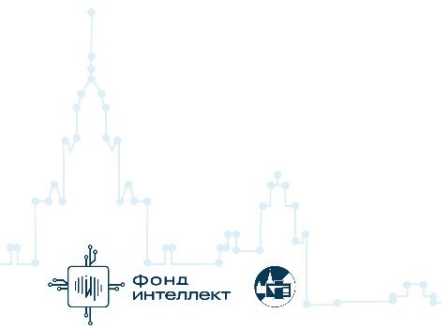


Применение нейронных сетей для вычисления функциональных интегралов в квантовой теории поля

Чистяков В. В.

научный консультант на курсе MSU.AI: Васильев А. В.

научный руководитель: Белокуров В. В.

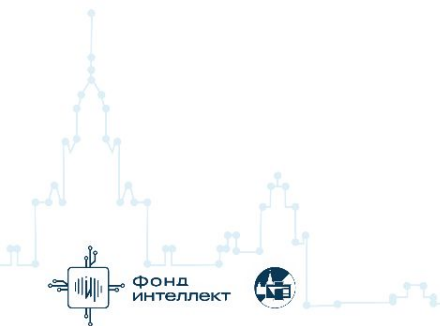


Введение в тему

$$\langle O(x(t_1), \dots, x(t_n)) \rangle = \int D[x(t)] \frac{\exp(-S[x(t)])}{Z} O(x(t_1), \dots, x(t_n)) \approx$$

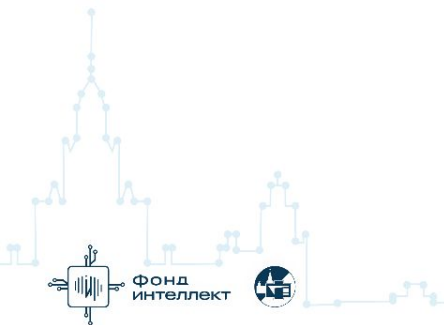
$$\approx \int d^N x P(x) O(x) \approx \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M O(X_k)$$

$$X_k \sim P(x) \quad P(x) = \frac{\exp(-S(x))}{Z}$$

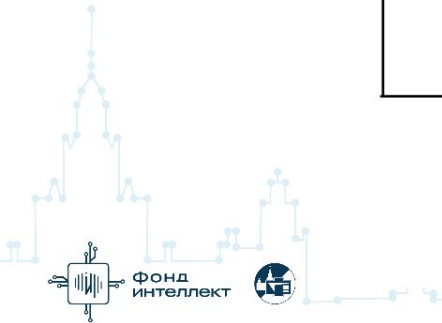
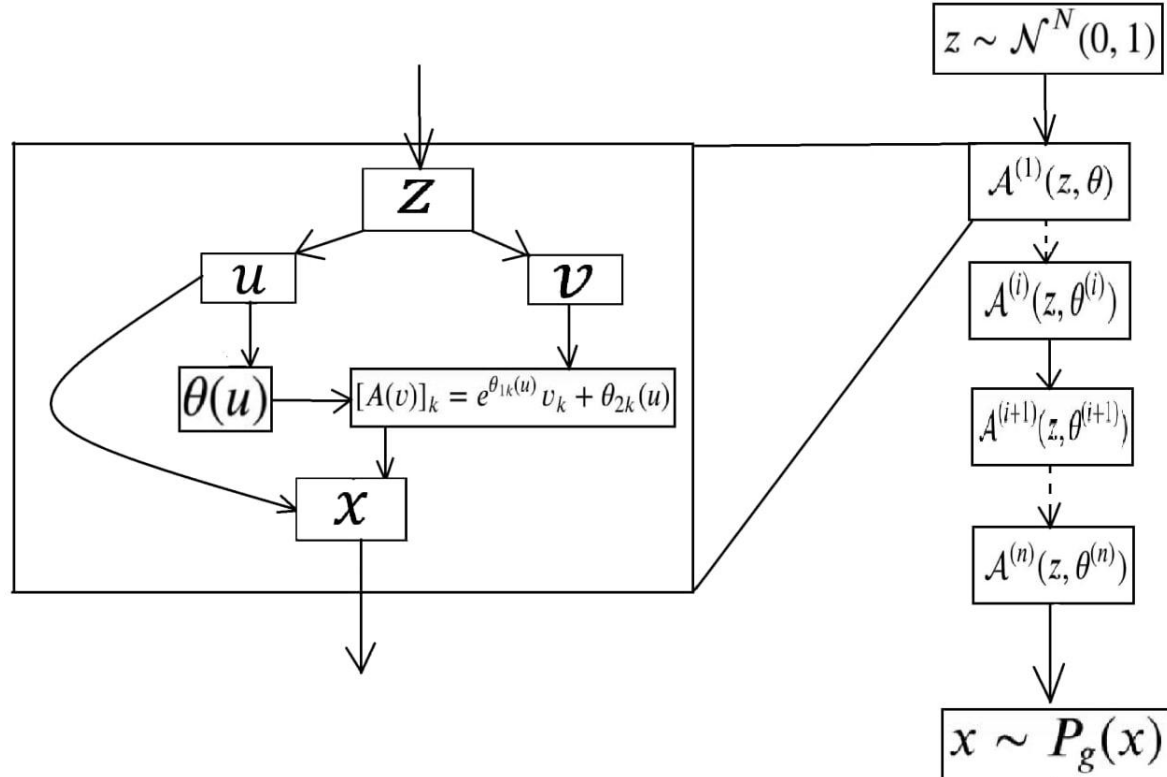


Задача генерации

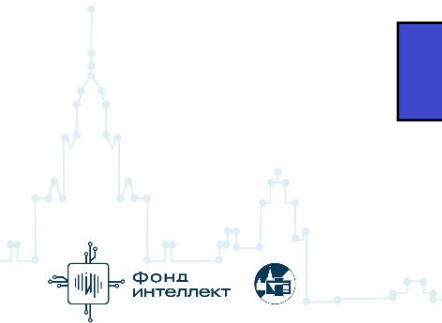
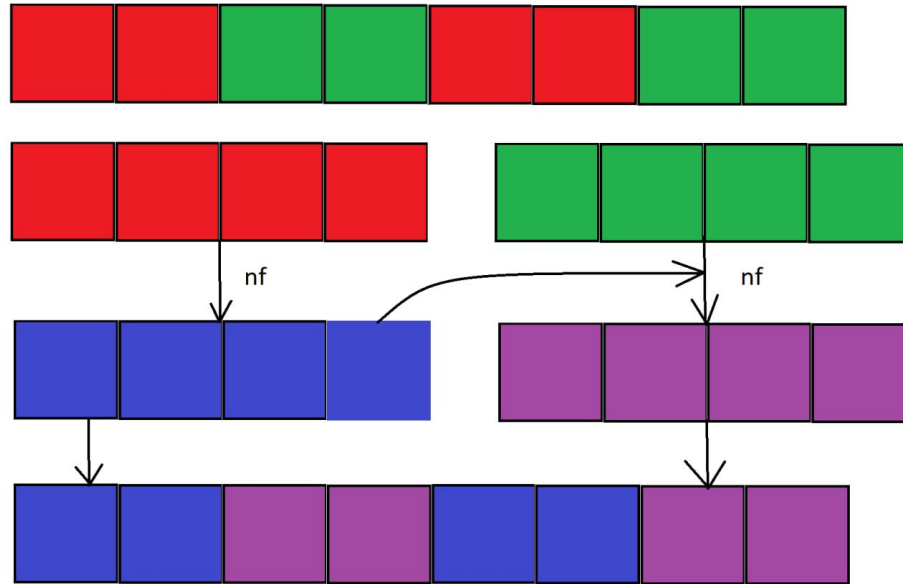
- Необходимо генерировать набор траекторий
- MCMC (Metropolis)
 - затрачивает существенное время
 - не учитывает симметрии задачи



Normalizing flow



multiscale architecture

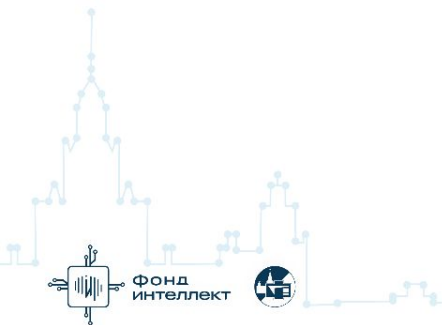


Loss

$$P_g(x) = r(z) \left| \det \frac{\partial g}{\partial z} \right|^{-1} \quad z = g^{-1}(x) \quad r(z) = \frac{1}{(2\pi)^{N/2}} \exp\left(-\frac{1}{2} z^2\right)$$

$$L[w] = D_{KL}(P_g|P) - \ln Z = \int dx P_g(x) (\ln P_g(x) + S(x)) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (S(x_i) + \ln P_g(x_i))$$

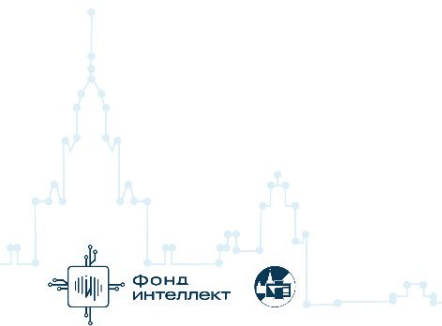
$$L[w] = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left(S(g(z_i)) - \ln \left| \det \frac{\partial g}{\partial z} \right| \right) + const$$



Метрики

- Вычислить Z по сгенерированному набору, после чего найти KL-дивергенцию
- квадрат волновой функции
- двухточечная функция Грина.

$$G(s) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \langle x_i x_{i+s} \rangle$$



$$H = \frac{p^2}{2} + V(x) \quad S = \sum_{i=1}^N \frac{(x_{i+1} - x_i)^2}{2a} + aV(x_i)$$

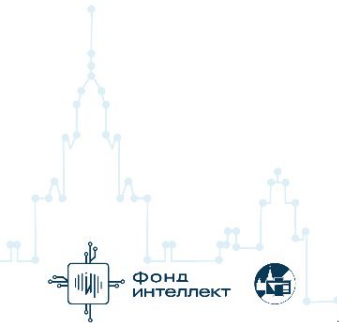
$$H = |p| + V(x) \quad S = \sum_{i=1}^N \ln \left(1 + \frac{(x_{i+1} - x_i)^2}{a^2} \right) + aV(x_i)$$

$$H = \sqrt{p^2 + 1} + V(x)$$

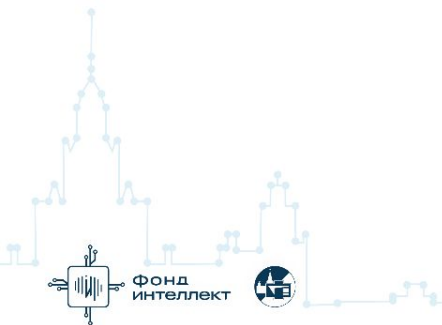
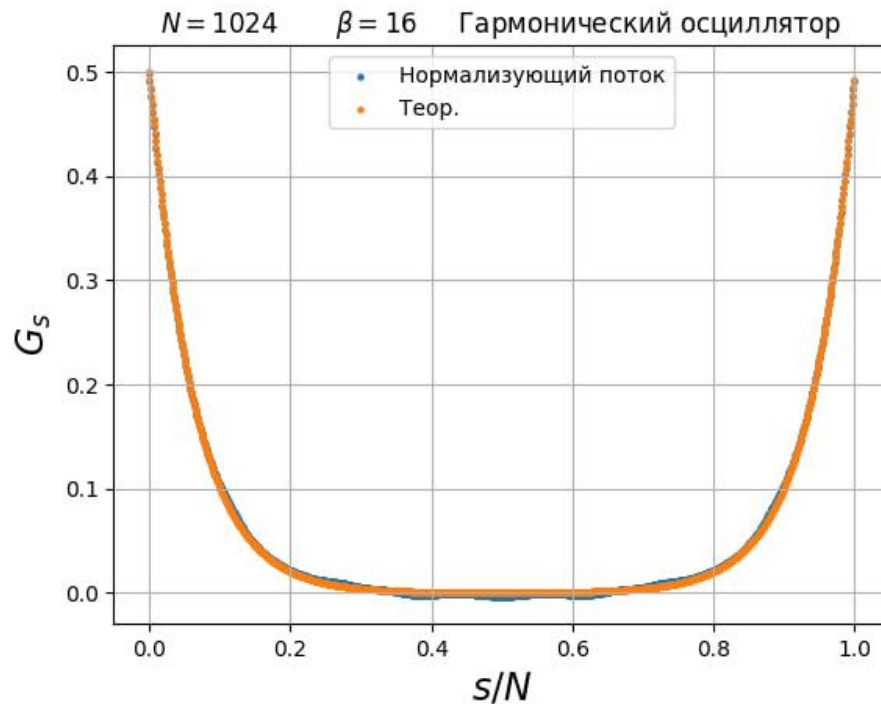
$$S = \sum_{i=1}^N \ln(y_i K_1(ay_i)) + aV(x_i) \quad y_i = 1 + \frac{(x_{i+1} - x_i)^2}{a^2}$$

K_1 -функция Макдональда

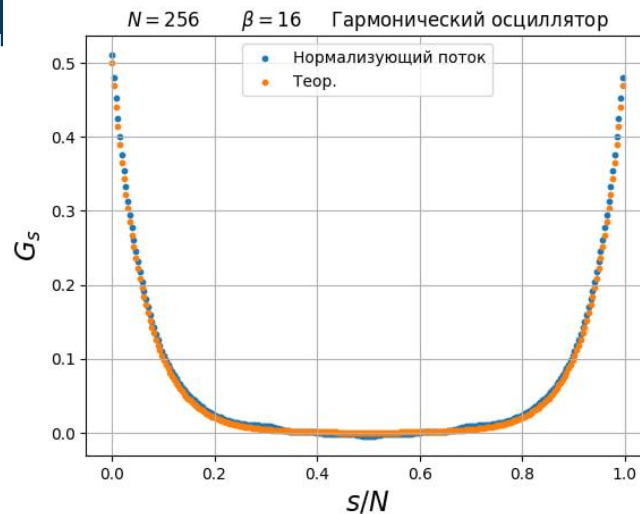
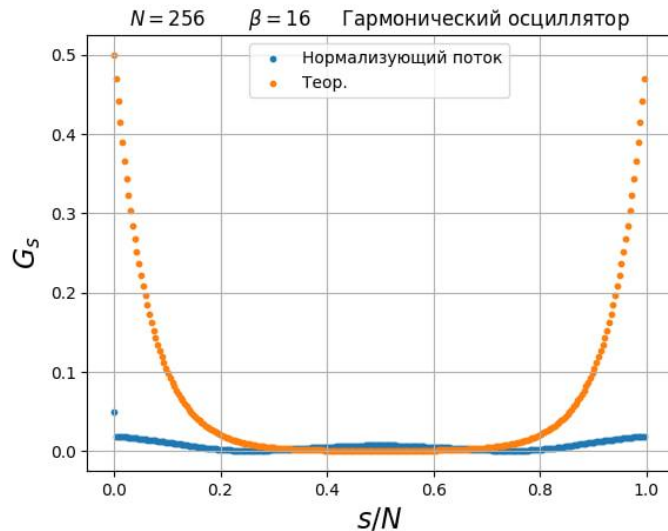
осциллятор: $V(x) = \frac{x^2}{2}$



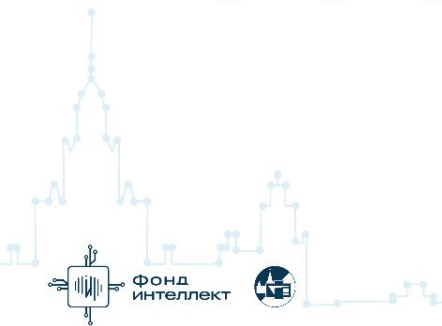
Двухточечная функция Грина осциллятора



Учёт симметрии ортогональной матрицы

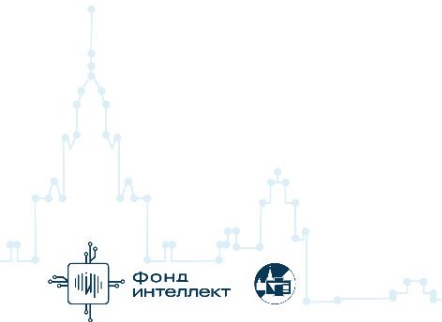
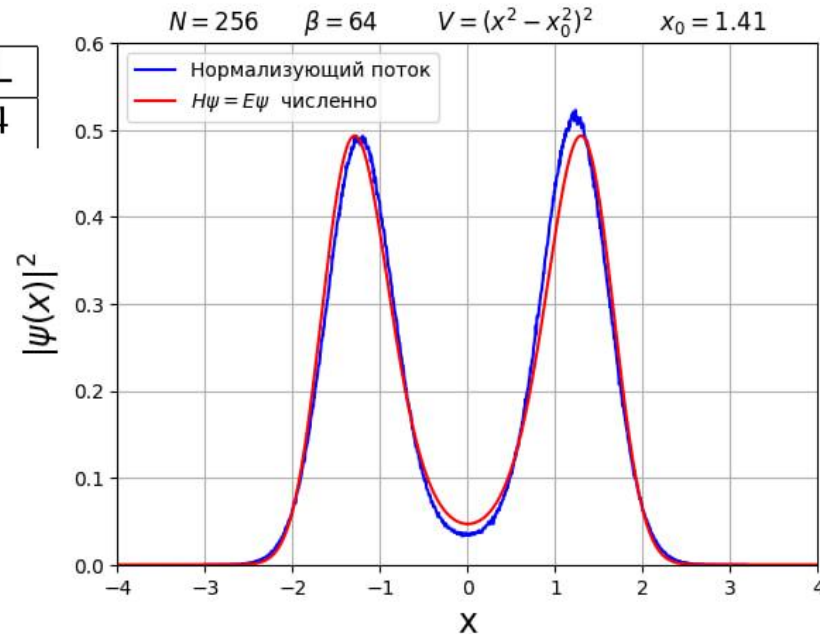


$$y = g(z)$$
$$x = Oy$$

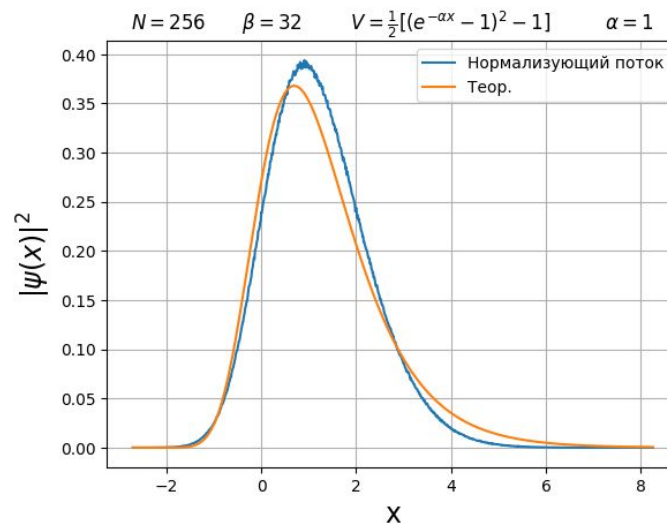
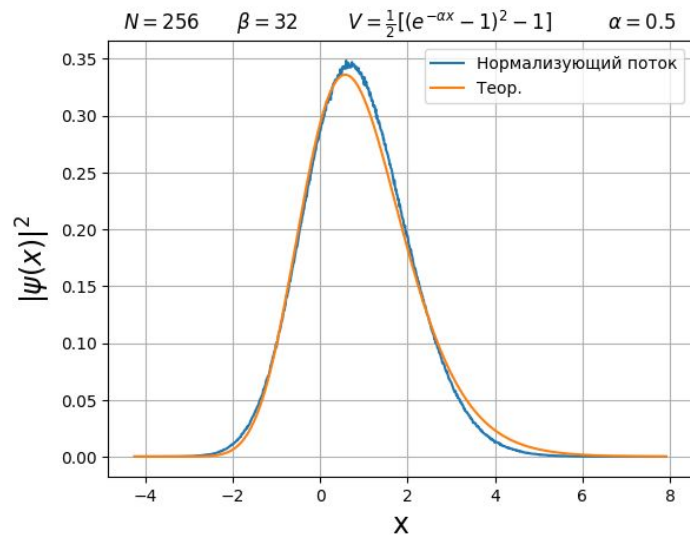


Двойная потенциальная яма

Loss	$\langle V \rangle$	$\langle K \rangle$	$\beta \langle E \rangle$	KL
134.3 ± 0.1	1.11	0.61	110	24

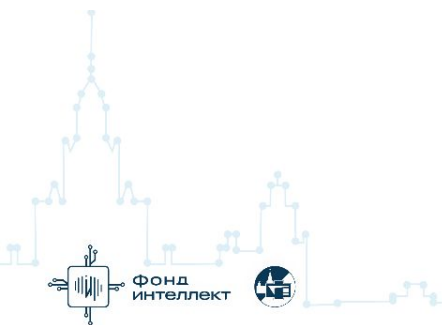


Потенциал Морзе

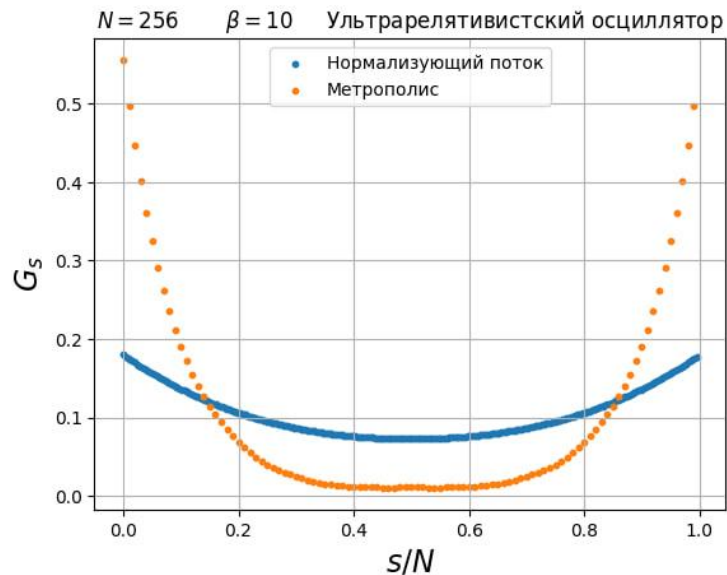
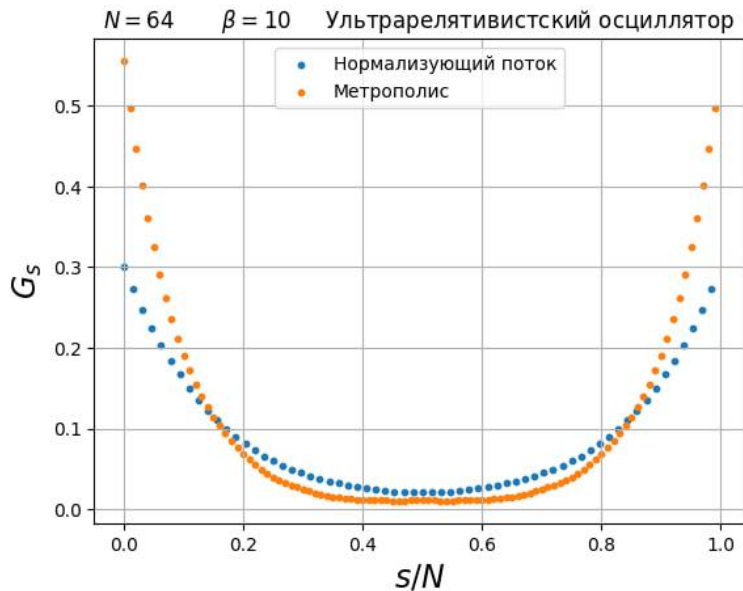


Потенциал Морзе

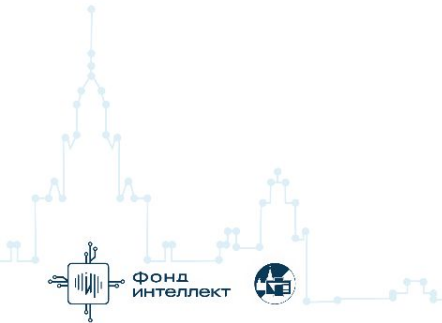
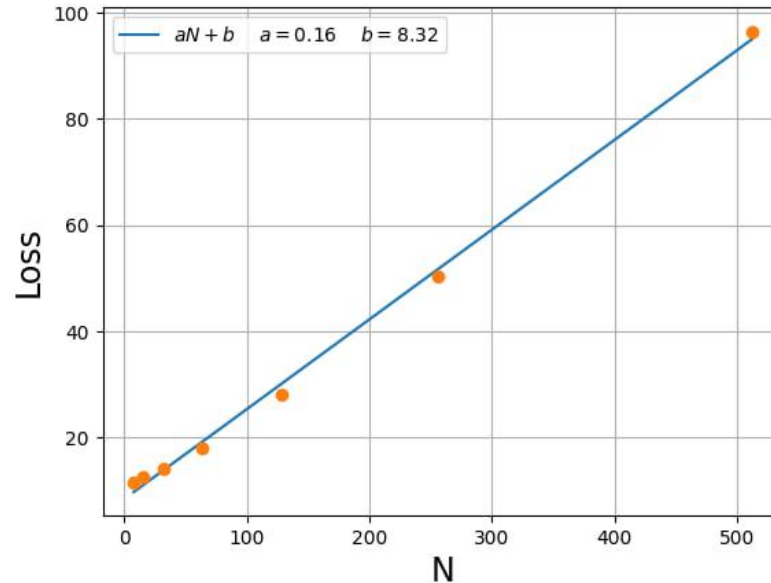
α	Loss	$\langle V \rangle$	$\langle K \rangle$	$\beta \langle E \rangle$	KL	$\langle V \rangle_{theor}$	$\langle K \rangle_{theor}$
0.5	-8.56 ± 0.1	-0.37	0.1	-8.64	0.08 ± 0.1	-0.37	0.09
1	-3.26 ± 0.2	-0.24	0.14	-3.2	0.06 ± 0.2	-0.25	0.125



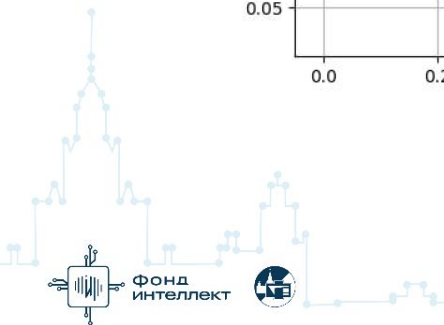
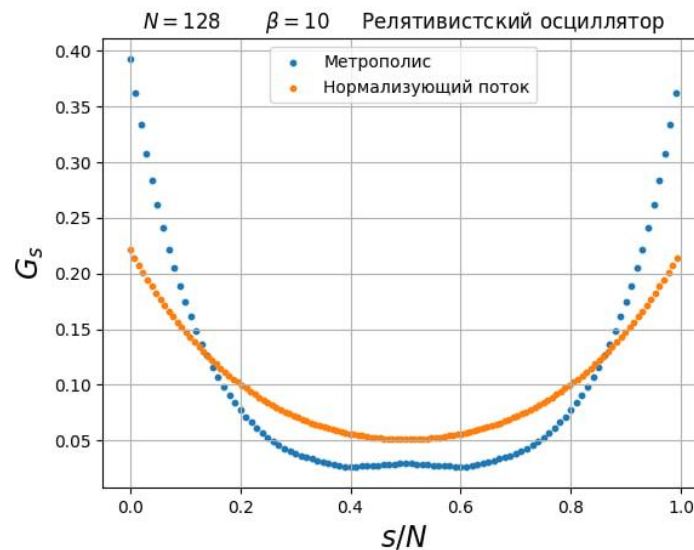
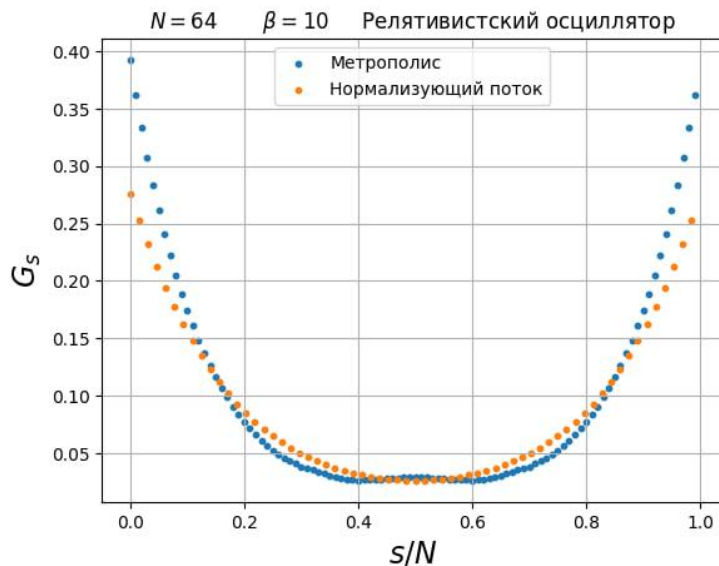
Ультрарелятивистский осциллятор



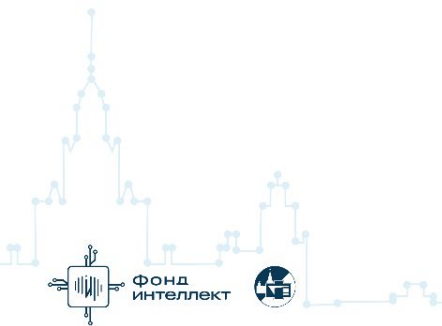
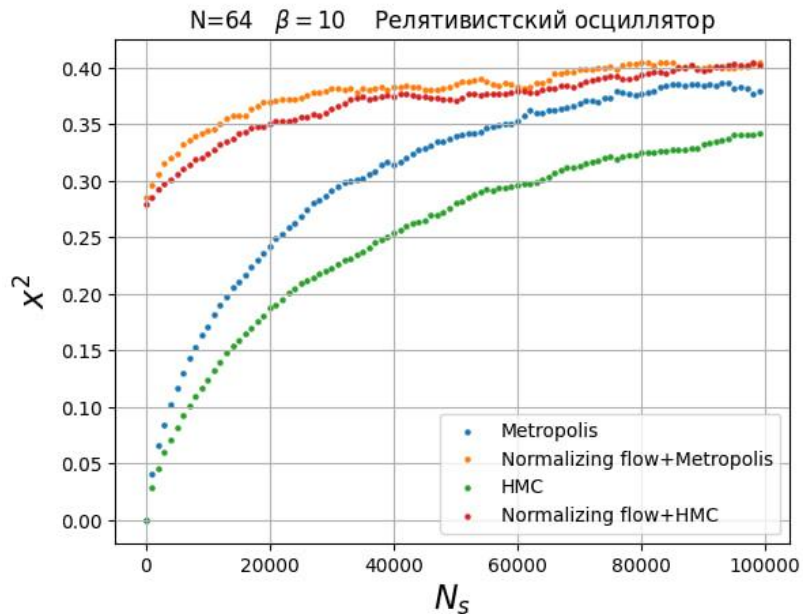
ультрарелятивистский осциллятор



релятивистский осциллятор $m=w=1$



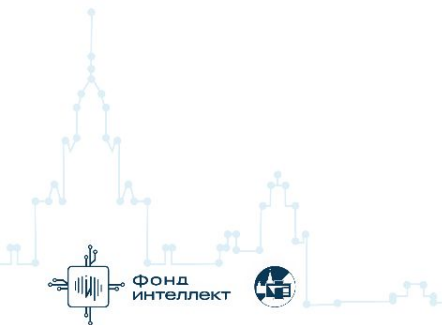
Ускорение МСМС



Журналы

-ЭЧАЯ

-Вестник Московского университета



Спасибо за внимание!

