Відкритий лист до колаборації MILC: чому найгрубший крок ґратки зупиняється якраз під комптонівською довжиною протона?

Євгеній Стахов · ORCID 0009-0005-2585-6432 · Відкритий лист · 2026 · Версія 1 (2026-10-13) · Український переклад; чинний текст — англійський, DOI 10.5281/zenodo.23351673

Коротко

Найгрубші ансамблі колаборації MILC, що використовуються для прецизійної фізики легких адронів, понад двадцять років мають крок ґратки близько 0.18 фм, тоді як найдрібніший край ряду неухильно опускався (0.15, 0.12, 0.09, 0.06, ≈0.042, 0.03 фм). Зведена комптонівська довжина протона $\lambda\!\!\!^{-}_p = \hbar/(m_p c) = 0.21031$ фм. Цей лист ставить три запитання про положення цього верхнього краю. Він не стверджує, що результати ґраткової КХД хибні; він просить пояснити межу, яку, наскільки вдалося з'ясувати авторові, ніде не сформульовано явно.

Шановні колеги!

Пишу як автор дослідницької програми про дискретну структуру простору (Theory of Space, TOS), у якій зведена комптонівська довжина протона відіграє особливу роль як масштаб довжини (препринти Stakhov 2026 на Zenodo, перелічені нижче). Вивчаючи ваші опубліковані ансамблі, я помітив особливість, обговорення якої ніде не знайшов, і буду вдячний за ваш погляд.

Спостереження. У ґраткових одиницях маса адрона m входить як безрозмірний добуток $a{\cdot}m$, і звичайна вимога $a{\cdot}m \ll 1$ у фізичних одиницях означає $a \ll \lambda\!\!\!^{-}/(mc)$ — зведену комптонівську довжину цього адрона. Для протона це $a \ll 0.21$ фм. Верхній край ряду ансамблів MILC із фізичними або майже фізичними легкими кварками стоїть на ≈0.18 фм (86 % від $\lambda\!\!\!^{-}_p$) від ранньої програми asqtad, а ансамблі RBC/UKQCD із доменними стінками також зупиняються біля 0.19 фм ($a^{-1} \approx 1.02$ ГеВ). Назви ансамблів на грубому кінці утворюють приблизно арифметичну прогресію з кроком 0.03 фм (0.18, 0.15, 0.12, 0.09); наступна назва над 0.18 була б 0.21 фм, тобто саме $\lambda\!\!\!^{-}_p$.

Що ми вже розуміємо. Нам відомі стандартні причини тримати a нижче адронного масштабу, $a^{-1} \gtrsim 1$ ГеВ; зростання розщеплення смаків staggered-кварків на грубих ґратках; і те, що назви ансамблів округлені, а крок задається через r_1, f_π або масу Ω^-. Зауважимо, однак, що 1 ГеВ — це по суті маса протона (0.938 ГеВ), тож загальноприйнятий «адронний масштаб»

збігається з $\lambda\!\!\!^{-}_p$ з точністю до округлення. Зауважимо також, що важчі адрони (Ω^- з $\lambda\!\!\!^{-} \approx 0.12$ фм, D-мезони з $\lambda\!\!\!^{-} \approx 0.105$ фм) рутинно рахують на ґратках, грубіших за їхні власні комптонівські довжини: власна $\lambda\!\!\!^{-}$ адрона, за звичайною логікою, не є обмеженням. Для важких кварків аналогічна умова $a \cdot m_b < 1$ прямо сформульована в літературі (напр., hep-ph/0407221, hep-lat/9705034) і є причиною методів ефективних теорій та найдрібніших ансамблів HISQ. Для протона, чия маса є результатом, а не вхідним параметром симуляції, відповідного твердження ми не знайшли.

Наші запитання.

1. Чому верхня межа кроку ґратки прецизійних ансамблів лежить якраз під зведеною комптонівською довжиною протона — 0.18 фм проти $\lambda\!\!\!^{-}_p = 0.21031$ фм? Чи цю межу обрано з оглядом на протон (або на масштаб 1 ГеВ), чи вона випливає з іншого критерію?

2. Грубий кінець назв ансамблів іде з інтервалом 0.03 фм; наступна назва над 0.18 фм була б 0.21 фм. Що зупинило ряд перед нею?

3. Чи рахували спектри легких адронів — бодай у пробних прогонах — на кроках понад 0.21 фм із сучасними покращеними діями? Якщо так, як поводяться похибки дискретизації маси нуклона, коли крок наближається до 0.21 фм, — плавно, як $(a\Lambda)^2$, чи з ознаками порогу? Чи верхній край визначається переважно розщепленням смаків, чи чимось іншим?

Коротка відповідь на будь-яке з цих запитань — включно з «це емпіричне правило 1 ГеВ і нічого більше» — була б цінною, і ми подамо її саме так.

Щодо публікації. Цей лист опубліковано відкрито, з датованим DOI, на theoryof.space і на Zenodo. Вашу відповідь, якщо надішлете, буде опубліковано повністю й без редагування лише з вашої явної згоди; без згоди її буде переказано моїми словами з позначкою «приватне листування». Відповіді можна надсилати на stakhoff@gmail.com.

З повагою та вдячністю за двадцять років публічно задокументованих ансамблів,

Євгеній Стахов

Контекст

Повний аргумент, включно з порівнянням із комптонівськими довжинами b-кварка ($\lambda\!\!\!^{-}_b = 0.041$–$0.047$ фм залежно від схеми маси) та ансамблями ≈0.042 фм, наведено в Додатку A1.4 книги *Theory of Space, Том 1: Структура*. Книга, інтерактивна модель і відкрита лабораторія: **https://theoryof.space**

Література

1. Bazavov, A. et al. (MILC Collaboration) (2010). Nonperturbative QCD simulations with 2+1 flavors of improved staggered quarks. *Rev. Mod. Phys.* 82, 1349–1417.
2. Hashimoto, S., Onogi, T. (2004). Heavy quarks on the lattice. arXiv:hep-ph/0407221.
3. Wittig, H. (1997). Leptonic decays of heavy quarks on the lattice. *Int. J. Mod. Phys. A* 12, 4477. arXiv:hep-lat/9705034.
4. Creutz, M. (2007). Why rooting fails. *PoS* LATTICE2007, 007. arXiv:0708.1295.
5. Lytle, A. (2022). B-meson physics with HISQ valence and sea quarks. Доповідь на Lattice 2022.
6. Stakhov, Y. (2026). Cpr = 4: A Closed-Form Relation Between the Proton's Mass and Charge Radius. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.21742831
7. Stakhov, Y. (2026). K66: A Falsifiable Relation Between the Gravitational Constant and the Proton Charge Radius. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.21710527