Самосъгласувана спектрална структура на реалността VII

Възникване на локална диференциална геометрия от нелокална спектрална организация

инж. физ. Владимир Филипов

Резюме

В предходните статии беше предложена операторна картина на реалността, в която:

- пространството не е фундаментално;
- времето възниква чрез преходни каскади;
- а физическите структури се интерпретират като устойчиви спектрални режими.

Шестата статия показа, че водородоподобни спектрални закони могат да възникват чрез рекурсивна дифузионна стабилизация, без предварително въвеждане на кулонов потенциал.

Настоящата работа разглежда следващия фундаментален въпрос: Как може локалната диференциална физика да възникне от фундаментално нелокален оператор?

Изследваме нелокален интегрален оператор с осцилиращо Гаусово ядро и анализираме неговия асимптотичен обемен предел чрез моментно разлагане.

Основният резултат е: локалната диференциална структура възниква като ефективен асимптотичен предел на нелокална спектрална геометрия.

Числените експерименти показват:

- стабилизация на обемните моменти;
- асимптотично изчезване на нечетните моменти;
- възникване на лапласиан-подобен оператор;
- и стабилно локално реконструкционно поведение.

Това предполага възможността локалността и диференциалната геометрия да представляват възникващи ефективни режими, а не фундаментални свойства на реалността.

1 Въведение

Класическата физика е изградена върху локални диференциални уравнения. От уравненията на Нютон до уравненията на Максуел и Шрьодингер, фундаменталната структура на физиката се описва чрез локални производни върху пространство-време.

В предходните статии от настоящата серия беше предложена различна постановка: локалността не е фундаментална. Вместо това беше въведена нелокална операторна геометрия, основана върху:

- спектрална допустимост;
- рекурсивна стабилизация;
- hidden mediator sectors;
- и остатъчна операторна фрустрация.

Това поставя естествения въпрос: Ако фундаменталният оператор е нелокален, защо наблюдаемата физика изглежда локална?

Настоящата работа изследва именно този проблем. Целта е да бъде показано, че локалната диференциална структура може да възникне като асимптотичен обемен предел на нелокален спектрален оператор.

2 Нелокалният оператор

Разглеждаме нелокален оператор от вида:

$$(\hat{S}f)(x) = \int K(x,z)f(z)\,dz$$

където:

$$K(x,z) = A(x,z)\exp\left[-\frac{(x-z)^2}{2\sigma^2}\right]\cos(k(x-z)+\phi)$$

Тук:

- Гаусовото ядро определя локализирана спектрална свързаност;
- осцилиращият член поражда фазова структура;
- а нелокалният интегрален характер допуска глобална операторна организация.

В предходните статии беше показано, че подобни оператори могат да пораждат:

- shell-подобни структури;
- спектрални йерархии;

- рекурсивна стабилизация;
- и водородоподобни режими.

Настоящата работа разглежда различен аспект: може ли локалната диференциална физика да възникне като асимптотичен режим на този оператор?

3 Моментно разлагане

За да анализираме локалното поведение на оператора, извършваме моментно разлагане около точката x:

$$f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(z-x)^n}{n!} \partial_x^n f(x)$$

След заместване получаваме:

$$(\hat{S}f)(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{M_n(x)}{n!} \partial_x^n f(x)$$

където:

$$M_n(x) = \int (z-x)^n K(x,z)\, dz$$

са моментите на ядрото.

Така нелокалният оператор се проектира върху ефективна локална диференциална структура.

Числените оценки на моментите показаха:

$$\begin{aligned} M_0 &\approx 1.75 \times 10^{-2} \\ M_2 &\approx -1.45 \times 10^{-2} \\ M_4 &\approx 4.5 \times 10^{-3} \\ M_6 &\approx 3.2 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

докато нечетните моменти $M_1, M_3, M_5 \sim 10^{-4}$ остават силно потиснати.

4 Възникване на локален оператор

Числените експерименти показват, че в обемния режим:

$$M_{2k+1} \to 0$$

докато четните моменти остават стабилни.

Следователно операторът асимптотично губи ориентираната нелокалност и придобива ефективна четност.

В този предел:

$$\hat{S}^{bulk} = M_0 I + \frac{M_2}{2}\partial_x^2 + \frac{M_4}{24}\partial_x^4 + \frac{M_6}{720}\partial_x^6 + \dots$$

Първият нетривиален член е ∂_x^2, тоест лапласиан-подобна структура.

Това е ключовият резултат на настоящата работа. Лапласианът не се въвежда фундаментално. Той възниква като асимптотичен ефективен предел на нелокален спектрален оператор.

5 Числени реконструкции

За да бъде проверено локалното приближение, извършихме реконструкция на оператора чрез постепенно включване на по-високи производни.

Получените reconstruction грешки са:

$$\begin{gathered} O(0) \sim 8.5 \times 10^{-1} \\ O(2) \sim 1.7 \times 10^{-1} \\ O(4) \sim 1.9 \times 10^{-1} \\ O(6) \sim 1.7 \times 10^{-2} \\ O(8) \sim 1.9 \times 10^{-2} \end{gathered}$$

Особено важно е, че при включване на членове до шести ред reconstruction грешката спада с почти два порядъка. Това представлява първа числена индикация, че нелокалният оператор допуска стабилно локално диференциално затваряне.

Изследвани бяха и различни степени на дискретизация $N = 128, 256, 512, 1024$, като bulk моментите запазват стабилно asymptotic поведение.

6 Потискане на ориентираната нелокалност

Особено важно наблюдение е асимптотичното изчезване на нечетните моменти $M_{2k+1} \to 0$. Това означава, че операторът сам потиска локалната ориентирана нелокалност.

Следователно локалността не е предварително наложена симетрия. Тя възниква чрез спектрална стабилизация.

Този резултат допуска и по-широка интерпретация. Асимптотичното изчезване на нечетните моменти показва, че в обемния предел операторът потиска ориентираната нелокалност и поражда приблизително четна ефективна геометрия. Остатъчните нечетни моменти, както и отклоненията в граничните зони, могат да бъдат разглеждани като кандидати за произход на хирални или ориентационно асиметрични ефекти.

Настоящата работа не доказва подобна връзка, но резултатите са съвместими с подобна структурна интерпретация.

7 Гранични отклонения и непълна стабилизация

Въпреки стабилното обемно поведение, числените експерименти показват наличие на boundary-layer deviations.

В близост до границите:

- reconstruction грешката нараства;
- моментната структура губи стабилност;
- и асимптотичната локалност отслабва.

Това подсказва, че локалната диференциална структура представлява ефективен bulk режим, а не глобално свойство на оператора. Следователно локалността възниква само при достатъчна степен на спектрална стабилизация.

8 Интерпретация чрез остатъчна фрустрация

В предходните статии беше въведена концепцията за остатъчна операторна фрустрация R.

Настоящият анализ не измерва директно R. Въпреки това наблюдаваните резултати позволяват структурна интерпретация.

Наблюдавани бяха:

- стабилизация на bulk моментите;
- асимптотично изчезване на нечетните моменти;
- спад на reconstruction грешката;
- и boundary-layer deviations.

Тези резултати са съвместими с интерпретацията, че възникващата bulk локалност съответства на режим на ниска остатъчна фрустрация, докато граничните отклонения могат да представляват локални прояви на непълна спектрална стабилизация.

Това все още не представлява доказан резултат. За подобна проверка е необходимо да бъде дефинирано:

$$R(x) = (\hat{S}f)(x) - \sum_{n=0}^{6} \frac{M_n(x)}{n!} \partial_x^n f(x)$$

и да бъде проверено дали $R_{bulk} \ll R_{boundary}$.

9 Гранични режими и кандидат-константи

Граничните области представляват особен интерес, защото именно там:

- локалността отслабва;
- reconstruction грешката нараства;
- и моментната структура губи стабилност.

Това допуска възможността именно в тези режими да възникват операторни величини, съпоставими с универсалните константи в реализирания сектор C_i.

Възможни кандидати са:

- ефективна максимална скорост на стабилизационна промяна;
- минимално спектрално разделение;
- чувствителност на възникващата геометрия към остатъчна фрустрация.

В настоящата работа подобни величини не са измерени директно. Въпреки това граничните режими представляват естествен кандидат за бъдещи изследвания на операторни величини, които в стабилизирания сектор могат да се проявяват като универсални физически константи.

10 Основен концептуален резултат

Основният резултат на настоящата работа може да бъде формулиран така:

локалната диференциална геометрия може да възниква като асимптотичен стабилизационен предел на фундаментално нелокална спектрална организация.

Следователно:

- Laplacian physics може да не е фундаментална;
- локалността може да представлява възникващ режим;
- диференциалните уравнения могат да представляват ефективно обемно приближение на по-дълбока операторна структура.

11 Какво НЕ твърди настоящата работа

Настоящата работа НЕ твърди:

- че пространството вече е изведено;
- че е получена пълна геометрична теория;
- че нелокалният оператор описва реалната физика;

- че PDE физиката е опровергана.

Вместо това работата показва:

- стабилно възникване на локална структура;
- асимптотична поява на Laplacian-подобен оператор;
- локално reconstruction поведение;
- и възможността локалността да представлява възникващ стабилизационен режим.

12 Заключение

Настоящата работа представя първия анализ в рамките на SCP, при който локалната диференциална структура възниква като асимптотичен предел на фундаментално нелокален оператор.

Числените резултати показват:

- асимптотична стабилизация на bulk моментите;
- потискане на нечетните моменти;
- възникване на Laplacian-подобна геометрия;
- стабилна локална реконструкция;
- и наличие на гранични режими с непълна стабилизация.

Това предполага възможността локалната физика да представлява ефективен спектрален предел, а не фундаментална структура на реалността.

В рамките на настоящата програма пространството не се разглежда като предварително съществуваща геометрия, а като възникващ стабилизационен режим на нелокална операторна организация.

Декларация за достъпност на данните

Кодът, статиите, фигурите и данните от цялата поредица (статии 0–10) са архивирани в Zenodo под DOI: 10.5281/zenodo.20494527.

Декларация за използване на генеративен ИИ в процеса на писане

По време на подготовката на този труд авторът използва ChatGPT (OpenAI), за да подпомогне съставянето на първоначалния проект на текста и подобряването на езиковия му стил. След използването на този инструмент авторът прегледа, редактира и коригира съдържанието според нуждите и поема пълна отговорност за контекста и научната достоверност на крайния ръкопис.

A Приложение: Свързани експерименти, данни и илюстрации

A.1 Експериментални скриптове

Следните Python скриптове от директория `project_experiments/` са свързани с настоящата статия:

- `kernel_moment_bulk_expansion.py` – моментно разлагане в обемния предел; изчисляване на моментите M_0, M_2, M_4, M_6; асимптотично изчезване на нечетните моменти
- `operator_invariant_continuum_limit_test.py` – континуален предел на нелокалния оператор; инвариантност на моментната структура
- `operator_invariant_boundary_test.py` – boundary deviations; гранични режими; непълна стабилизация в граничните зони
- `kernel_moment_expansion.py` – моментно разлагане (припокрива се с Article_3, Article_6)
- `continuum_limit_test.py` – континуален предел (Article_3, Article_5, Article_6)
- `spectral_sweep.py` – изследване при различни $N = 128, 256, 512, 1024$

A.2 Генерирани фигури

Статията се позовава на следните фигури (намиращи се в Zenodo архива под `project_figures/Arti`

От основната директория (shared с Article_7):

- `bulk_kernel_moments_raw_N128.png`, `bulk_kernel_moments_raw_N256.png`, `bulk_kernel_mom` `bulk_kernel_moments_raw_N1024.png`
- `bulk_kernel_moments_sym_N128.png`, `bulk_kernel_moments_sym_N256.png`, `bulk_kernel_mom` `bulk_kernel_moments_sym_N1024.png`
- `bulk_moment_expansion_error_scaling.png`
- `bulk_moment_reconstruction_error_N128.png`, `bulk_moment_reconstruction_error_N256.p` `bulk_moment_reconstruction_error_N512.png`, `bulk_moment_reconstruction_error_N1024.`
- `bulk_moment_mean_convergence_raw.png`
- `bulk_moment_mean_convergence_sym.png`

A.3 Свързани JSON данни

За настоящата статия няма генерирани JSON файлове с резултати.

A.4 Възпроизвеждане на резултатите

За да възпроизведете резултатите от настоящата статия:

1. Клонирайте хранилището:

```
git clone https://github.com/vlado007/spectral_reality.git
cd spectral_reality
```

2. Инсталирайте зависимостите:

```
pip install -r requirements.txt
```

3. Изпълнете основните експерименти:

```
python -m experiments.kernel_moment_bulk_expansion
python -m experiments.operator_invariant_continuum_limit_test
python -m experiments.operator_invariant_boundary_test
```

Всички фигури, представени в статията, могат да бъдат генерирани чрез съответните скриптове, посочени по-горе.