

Включение квантовых эффектов в режимную гравитационную динамику

Автор: Вепренцев Алексей Александрович (независимый исследователь)

Аннотация

Работа развивает режимный подход к гравитационной динамике за счёт включения квантовых эффектов через безразмерный квантовый параметр Q . Вводится обобщённый режимный параметр Ξ_q , квантовый пороговый множитель $F_q(Q)$ и формализм накопления квантово-релятивистских эффектов $\Delta_{effective}_q(t)$. Предложены критерии физической значимости квантовых поправок, методика контроля локальной и глобальной невязки, а также численный пример влияния квантового параметра на орбитальную динамику. Работа носит методический и операциональный характер и формирует каркас для анализа систем, в которых малые квантовые эффекты способны аккумулироваться во времени.

1. Введение

Современная гравитационная динамика традиционно опирается на два основных режима: ньютоновский (слабые поля, малые скорости) и релятивистский (общая теория относительности). В предыдущих работах был введён режимный формализм, основанный на безразмерных параметрах гравитационного и кинематического масштаба, а также концепция пороговой физики и накопления малых эффектов.

Ранее были сформулированы:

- режимные параметры R и K ;
- обобщённый параметр $\Xi = \max(R, K)$;
- пороговый множитель $F(R)$;
- формализм накопления *эффектов* $\Delta_{effective}(t)$.

Однако даже в слабых гравитационных полях возможны квантовые поправки, которые по величине малы, но при длительном накоплении способны оказывать измеримое влияние на динамику орбитальных систем.

Метафорически Солнечная система может рассматриваться как ансамбль гироскопических динамических объектов, сохраняющих устойчивость движения, но испытывающих систематическое влияние малых, накапливающихся поправок.

Цель работы — формализовать включение квантовых эффектов в режимную гравитационную динамику через введение квантового параметра, порогового множителя и критериев численной и физической значимости.

Вывод к главе 1

Квантовые эффекты рассматриваются не как новая физика, а как дополнительный режимный слой в существующей динамике, способный проявляться через накопление малых поправок.

2. Теоретическая база

2.1 Режимный подход

Вводятся стандартные режимные параметры:

$$R = GM / (r * c^2)$$

$$K = v^2 / c^2$$

$$\Xi = \max(R, K)$$

Пороговый множитель, определяющий переход между режимами:

$$F(R) = 1 / (1 + (R / R_c)^n), n \geq 1$$

Ньютоновское ускорение:

$$a_0 = - GM / r^2$$

Эффективное ускорение:

$$a_{eff} = a_0 * F(R)$$

Накопление малых эффектов во времени:

$$\Delta_{effective}(t) = \int_{(0 \rightarrow t)} [1 - F(R(t'))] dt'$$

Вывод к главе 2.1

Режимный формализм позволяет отделить фундаментальные законы от аппроксимаций и формализовать границы применимости классической динамики.

2.2 Постановка квантовой задачи

Вводится квантовое поле:

$$\phi(r)$$

Потенциальные квантовые поправки:

$$V(\phi)$$

Определяется безразмерный квантовый параметр:

$$Q = \lambda_{Comp} / r \approx \hbar / (m * c * r)$$

где λ_{Comp} — комптоновская длина волны частицы, m — её масса.

Интерпретация:

Q измеряет относительную значимость квантовых эффектов по сравнению с масштабом рассматриваемой системы.

Вывод к главе 2.2

Квантовый параметр Q вводит независимую ось режимности, не нарушая классическую и релятивистскую структуру динамики.

3. Введение квантового режима

Обобщённый режимный параметр:

$$\bar{E}_q = \max(R, K, Q)$$

Вводится квантовый порог:

$$Q_c$$

Квантовый пороговый множитель:

$$F_q(Q) = 1 / (1 + (Q / Q_c)^m), m \geq 1$$

Свойства функции:

- $F_q(Q) \rightarrow 1$ при $Q \ll Q_c$
- $F_q(Q)$ плавно уменьшается при $Q \approx Q_c$
- Функция не вводит новых сил и не нарушает фундаментальные законы

Вывод к главе 3

Квантовый режим вводится как продолжение режимной метаструктуры, а не как альтернативная теория гравитации.

4. Модификация эффективного ускорения

Полное эффективное ускорение с учётом квантовых эффектов:

$$a_{eff_q} = a_0 * F(R) * F_q(Q)$$

Накопление квантово-релятивистских эффектов:

$$\Delta_{effective_q}(t) = \int_{(0 \rightarrow t)} [1 - F(R(t')) * F_q(Q(t'))] dt'$$

Физический смысл:

Даже при малых Q и R систематическое накопление может приводить к измеримым расхождениям в орбитальных параметрах.

Вывод к главе 4

Квантовые эффекты встраиваются в динамику через модификацию эффективного ускорения, а их влияние проявляется преимущественно через накопление во времени.

5. Численные схемы и контроль корректности

Дискретизация траектории и поля $\phi(r)$ выполняется с учётом множителя $F_q(Q)$.

Локальная невязка:

$$\varepsilon_{local}(n) = LHS_{discrete}(n) - RHS_{discrete}(n)$$

Глобальная невязка:

$$E_{global} = \sum_n \varepsilon_{local}(n)^2 * \Delta r(n)$$

Оценка порядка сходимости:

$$p = \log_2(|E_{\Delta r} - E_{\Delta r/2}| / |E_{\Delta r/2} - E_{\Delta r/4}|) \approx 2$$

Вывод к главе 5

Численный формализм обеспечивает отделение физических эффектов от численных артефактов и позволяет объективно оценивать вклад квантовых поправок.

6. Пример численного расчёта

Параметры системы:

- $r = 1 AU$
- $M = M_{\odot}$
- $a_0 = GM / r^2$

- $R \approx 1e-8$
- $K \approx 1e-8$
- $Q = 1e-9$
- $Q_c = 1e-8$
- $m = 2$

Квантовый множитель:

$$F_q(Q) = 1 / (1 + (Q / Q_c)^2) \approx 0.992$$

Эффективное ускорение:

$$a_{eff_q} \approx a_{eff} * 0.992$$

Накопленный эффект за один орбитальный период:

$$\Delta_{effective_q}(T_{orb}) \approx 0.008 * T_{orb}$$

Вывод к главе 6

Даже при крайне малых значениях Q накопленный эффект способен достигать уровней, потенциально доступных для высокоточной навигации и астрометрии.

7. Критерии физической значимости

Относительная квантовая ошибка:

$$\varepsilon_Q(n) = |a_{eff_q}(n) - a_{eff}(n)| / |a_{eff}(n)|$$

Критерий значимости:

$$\varepsilon_Q(n) \gg \varepsilon_{num}(n)$$

где ε_{num} — численная погрешность.

Интерпретация:

Эффект считается физически значимым только тогда, когда он превосходит вычислительный шум.

Вывод к главе 7

Вводится строгий операциональный критерий, исключающий ложные интерпретации малых эффектов.

8. Обсуждение и выводы

- Обобщённый параметр Ξ_q объединяет классическую, релятивистскую и квантовую динамику
- Пороговая физика сохраняется и расширяется на квантовую область
- Методика позволяет выявлять аккумулируемые эффекты без введения новой физики
- Формализм применим к многомерным, нелинейным и сильнополевым системам
- Работа формирует методический каркас для дальнейшего развития режимной теории гравитации

Мини-гlossарий

Параметр	Определение	Тип	Порог	Применение
Q	Квантовый параметр	Безразмерный	Q_c	Оценка квантовых эффектов
Ξ_q	$\max(R, K, Q)$	Безразмерный	$\sim R_c$ или Q_c	Выбор режима
$F_q(Q)$	Квантовый множитель	Безразмерный	—	Модификация ускорения
a_{eff_q}	Эффективное ускорение	м/с ²	—	Расчёт орбит
$\Delta_{effective_q}$	Накопленный эффект	Время	—	Долгосрочные поправки
ε_Q	Квантовая ошибка	Безразмерный	—	Контроль значимости
$\varepsilon_{local},$ E_{global}	Невязки	Безразмерный	—	Численный контроль

9. Список литературы

1. Вепренцев, А. А. (2026). *Режимная теория гравитации: концептуальный каркас и учет пороговых эффектов*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18348081>
2. Вепренцев, А. А. (2026). *Накопление эффектов и пороговая физика в гравитационной динамике*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18346719>
3. Вепренцев, А. А. (2026). *Предпосылки новой теории гравитации*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18347089>
4. Ландау, Л. Д., & Лифшиц, Е. М. (1973). *Теория поля*. М.: Наука.
5. Einstein, A. (1916). *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*. *Annalen der Physik*, 49(7), 769–822.
6. Faller, S. (2007). *Effective Field Theory of Gravity: Leading Quantum Gravitational Corrections to Newton's and Coulomb's Law* (arXiv:0708.1701).
7. Donoghue, J. F. (1994). *General Relativity as an Effective Field Theory: The Leading Quantum Corrections*. *Physical Review D*, 50(6), 3874–3888.
8. Weinberg, S. (2009). *Effective Field Theory, Past and Future*. PoS CD09, 001.
9. Rovelli, C. (1998). *Loop Quantum Gravity* (arXiv:gr-qc/9710008).
10. Blanchet, L. (2014). *Gravitational Radiation from Post-Newtonian Sources and Inspiralling Compact Binaries*. *Living Reviews in Relativity*, 17, 2.
11. Poisson, E., & Will, C. M. (2014). *Gravity: Newtonian, Post-Newtonian, Relativistic*. Cambridge University Press.
12. Misner, C. W., Thorne, K. S., & Wheeler, J. A. (1973). *Gravitation*. W. H. Freeman.
13. Berti, E., Buonanno, A., & Will, C. M. (2005). *Estimating spinning binary parameters and testing alternative theories of gravity with LISA*. *Physical Review D*, 71, 084025.
14. Damour, T., Jaranowski, P., & Schäfer, G. (2001). *Dimensional Regularization of the Gravitational Interaction of Point Masses*. *Physical Review D*, 63, 044021.

15. Turyshev, S. G. (2008). *Experimental Tests of General Relativity: Recent Progress and Future Directions*. *Physics-Uspekhi*, 52(1), 1–27.
16. Will, C. M. (2018). *Theory and Experiment in Gravitational Physics*. Cambridge University Press.
17. Poisson, E. (2004). *The Motion of Point Particles in Curved Spacetime*. *Living Reviews in Relativity*, 7, 6.
18. Maggiore, M. (2008). *Gravitational Waves: Volume 1: Theory and Experiments*. Oxford University Press.
19. Amelino-Camelia, G. (2013). *Quantum Gravity Phenomenology*. *Living Reviews in Relativity*, 16, 5.
20. Burgess, C. P. (2004). *Quantum Gravity in Everyday Life: General Relativity as an Effective Field Theory*. *Living Reviews in Relativity*, 7, 5.
21. Barrow, J. D., & Tipler, F. J. (1986). *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford University Press.
22. Misner, C. W., Thorne, K. S., & Wheeler, J. A. (1973). *Gravitation*. W. H. Freeman.