

# Интегрированная концепция режимной гравитации с многомерными и квантовыми эффектами

**Автор:** Вепренцев Алексей Александрович

## Аннотация

Настоящая работа объединяет результаты цикла исследований по режимной гравитации и космодинамике. Представлена интегрированная методика описания динамики космических систем с учётом классической ньютоновской и релятивистской динамики, режима накопления малых эффектов, многомерных взаимодействий и квантовых поправок. Вводятся обобщённые режимные параметры  $R$ ,  $K$  и  $X_i$ , квантовый параметр  $Q$ , функция порогового множителя  $F(R)$  и её квантовый аналог  $F_q(Q)$ , а также аккумулируемые эффекты  $\Delta_{effective}(t)$  и  $\Delta_{effective_q}(t)$ . Численные схемы сопровождаются контролем локальной и глобальной невязки и анализом порядка сходимости, что обеспечивает воспроизводимость и устойчивость результатов.

## 1. Введение

Современная гравитационная динамика традиционно рассматривает два предельных режима: ньютоновский, применимый в условиях слабых гравитационных полей и малых скоростей, и релятивистский, описываемый общей теорией относительности. Однако в ряде астрофизических и космодинамических задач наблюдаются накопленные малые эффекты, которые со временем оказывают измеримое влияние на орбитальные параметры и периоды движения тел.

Для корректного описания сложных систем требуется методика, способная учитывать:

1. режимные параметры  $R = GM / (r c^2)$ ,  $K = v^2 / c^2$  и  $X_i = \max(R, K)$ ;
2. накопление эффектов  $\Delta_{effective}(t) = \int_0^t [1 - F(R(t'))] dt'$ ;
3. многомерные взаимодействия объектов;
4. возможные квантовые поправки через безразмерный параметр  $Q$  и пороговое значение  $Q_c$ .

Цель работы — сформировать единую формализованную концепцию, объединяющую указанные эффекты в рамках согласованной режимной модели.

## 2. Режимная формализация и пороговая физика

Для  $i$ -го гравитирующего объекта вводятся следующие режимные параметры:

Гравитационный параметр:

$$R_i = G * M_i / (r_i * c^2)$$

Кинематический параметр:

$$K_i = v_i^2 / c^2$$

Обобщённый режимный параметр:

$$Xi_i = \max(R_i, K_i)$$

Для обеспечения плавного перехода между ньютоновским и релятивистским режимами вводится пороговый множитель:

$$F(R_i) = 1 / (1 + (R_i / R_c)^n), \text{ где } n \geq 1$$

При  $R_i \ll R_c$  выполняется  $F(R_i) \rightarrow 1$ , что соответствует ньютоновскому пределу. При  $R_i \approx R_c$  множитель уменьшается, обеспечивая переход к релятивистскому режиму.

Эффективное ускорение объекта определяется как:

$$a_{eff_i} = a0_i * F(R_i)$$

где базовое ньютоновское ускорение:

$$a0_i = - G * M_i / r_i^2$$

Накопление релятивистских эффектов за время  $t$  задаётся интегралом:

$$\Delta_{effective_i}(t) = \int_0^t [1 - F(R_i(t'))] dt'$$

Физическая значимость эффекта определяется сравнением с численной погрешностью:

$$\epsilon_{R_i}(n) = |a_{eff_i}(n) - a_{Newton_i}(n)| / |a_{Newton_i}(n)| \gg \epsilon_{num}(n)$$

### 3. Многомерные эффекты

Для системы из  $N$  объектов вводится системный режимный параметр:

$$Xi_{sys} = \max(Xi_1, Xi_2, \dots, Xi_N)$$

Суммарное эффективное ускорение  $i$ -го объекта определяется суперпозицией вкладов от всех остальных тел:

$$a_{eff_sys_i} = \text{sum over } j \neq i \text{ of } a_{eff_{ij}}$$

где:

$$a_{eff\_ij} = - G * M_j / r_{ij}^2 * F(R_j)$$

Для численного контроля корректности вычислений используются следующие величины.

Локальная невязка:

$$\epsilon_{local\_i}(n) = LHS\_discrete\_i(n) - RHS\_discrete\_i(n)$$

Глобальная невязка:

$$E_{global} = \sum \text{over } i \text{ of } \sum \text{over } n \text{ of } \epsilon_{local\_i}(n)^2 * \Delta_r\_i(n)$$

Порядок сходимости оценивается выражением:

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

Накопление многомерных эффектов во времени задаётся суммарной величиной:

$$\Delta_{effective\_sys}(t) = \sum \text{over } i \text{ of } \Delta_{effective\_i}(t)$$

#### 4. Квантовые поправки

В модель вводится безразмерный квантовый параметр  $Q_i$  и пороговое значение  $Q_c$ .  
Обобщённый режимный параметр с учётом квантовых эффектов определяется как:

$$X_{i\_q} = \max(R_i, K_i, Q_i)$$

Квантовый пороговый множитель задаётся функцией:

$$F_q(Q_i) = 1 / (1 + (Q_i / Q_c)^m), \text{ где } m \geq 1$$

С учётом квантовых поправок эффективное ускорение принимает вид:

$$a_{eff\_q\_i} = a_{eff\_i} * F_q(Q_i)$$

Накопление квантово-релятивистских эффектов определяется выражением:

$$\Delta_{effective\_q\_i}(t) = \int_0^t [1 - F(R_i(t')) * F_q(Q_i(t'))] dt'$$

Критерий физической значимости квантового вклада:

$$\epsilon_{Q\_i}(n) = |a_{eff\_q\_i}(n) - a_{eff\_i}(n)| / |a_{eff\_i}(n)| \gg \epsilon_{num}(n)$$

#### 5. Численные схемы и проверка

Численная реализация основана на дискретизации пространственных и временных шагов:

$$\Delta_r\_i, \Delta_t\_i$$

Выполняется контроль:

- локальной невязки  $\epsilon_{local\_i(n)}$ ;
- глобальной невязки  $E_{global}$ ;
- порядка сходимости  $p \approx 2$ .

Плавность функций  $F(R_i)$  и  $F_q(Q_i)$  обеспечивает устойчивость интегрирования и предотвращает неустойчивые переходы между режимами.

### Примеры применения

1. **Солнечная система:**  $Xi_{sys} \sim 0.7 R_c$ ,  $\Delta_{effective\_sys}(t) \approx$  измеримы.
2. **Тройные системы планет:** взаимные ускорения  $a_{eff\_sys\_i}$  учитывают влияние всех объектов.
3. **Галактические кластеры ( $N \sim 10^3$ ):** наблюдается кумулятивное накопление  $\Delta_{effective\_sys}(t)$ .
4. **Сильнополевые компактные объекты:**  $Xi_i \geq R_c$ ,  $F(R_i) < 1$ ,  $\Delta_{effective\_sys}(t)$  становится значимым.

### 6. Обсуждение

Предложенный метод объединяет классическую динамику, режимную формализацию, многомерные эффекты и квантовые поправки в единую согласованную схему.

Пороговая физика позволяет количественно оценивать момент, когда накопленные эффекты переходят в наблюдаемый и физически значимый режим.

Модульная структура методики обеспечивает возможность расширения модели на более сложные системы, дополнительные размерности и уточнённые квантовые поправки.

Численные проверки гарантируют воспроизводимость результатов и устойчивость вычислительных схем.

### 7. Заключение

1. Представлена интегрированная методика описания гравитационных систем с классическими, релятивистскими, многомерными и квантовыми эффектами.
2. Используются параметры  $R_i$ ,  $K_i$ ,  $Xi_i$ ,  $Q_i$ , функции  $F(R_i)$ ,  $F_q(Q_i)$ , а также накопления  $\Delta_{effective\_i}(t)$  и  $\Delta_{effective\_q\_i}(t)$ .

3. Системные и численные проверки обеспечивают количественную предсказуемость и устойчивость модели.
4. Метод демонстрирует операционную готовность и может быть использован в прикладных исследованиях при соблюдении указанных условий применимости.

## 8. Литература

1. Вепренцев. (2026). Многомерные эффекты в гравитации режима (V.1). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18399911>
2. Вепренцев. (2026). Учет квантовых эффектов в режиме гравитационной динамики (V.1). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18386409>
3. Вепренцев. (2026). Краткое содержание серии статей: Введение в космодинамику (V1). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18348147>