



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Применение HOLO- алгоритмов для моделирования задач переноса теплового излучения

Доклад посвящён 70летию РФЯЦ-ВНИИТФ

А.А. Шестаков

Методы поправок, синтетические методы, КР-методы, HOLO – алгоритмы

(новое – это хорошо забытое старое?)



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Методы поправок (1907 год)

Schmidt E. Auflosung der allgemeiner linearen integralgleichungen. Math. Ann. 64, 161, 1907.

КР-методы (1958 год)

Воробьев В.Ю. Метод моментов в прикладной математике. М., Физматгиз, 1958.

Лебедев В.И. О КР-методе ускорения сходимости итераций при решении кинетического уравнения. М., Наука, 1966.

Синтетические методы (1963 год)

Kopp H.J. Synthetic Method Solution of the Transport Equation, Nucl. Sci. Eng., Vol.17, p.65, 1963.

HOLO-алгоритмы (2017 год)

L. Chacon, G. Chen et al. Multiscale high-order/low-order (HOLO) algorithms and applications. J. Comp. Phys., Feb. 2017, v.330, p.21-45.

Основные вопросы, рассматриваемые в докладе



1. Что объединяет методы поправок, синтетические методы, КР - методы и HOLO – алгоритмы? Может справедливо утверждение, что новые HOLO – алгоритмы – это уже известные поправочные, синтетические или КР - методы?
2. Чем отличаются методы поправок, синтетические методы, КР-методы и HOLO – алгоритмы?
3. При каких условиях можно получить решение этими методами, совпадающее с решением кинетического уравнения?
4. Нужна ли согласованность разностных схем на этапах для получения эквивалентного решения кинетического уравнения?

Методы поправок, синтетические методы, КР-методы и HОLО – алгоритмы



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Синтетические или поправочные методы – это методы, основанные на определении главной части ошибки, допущенной на простой итерации. Ошибка, допущенная на простой итерации, вычисляется приближенно каким-либо более простым методом, который сходится быстрее простой итерации.

КР-методами называют комбинацию простой итерации кинетического уравнения и последовательности модельных задач для поправок.

В HОLО-алгоритмах не надо согласовывать схемы на этапах, при этом итерационный процесс переносится на вспомогательные этапы.

HOLO-алгоритмы (с 1964 года)



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

В HOLO-алгоритмах не надо согласовывать схемы на этапах, при этом итерационный процесс переносится на вспомогательные этапы. Основное использование – ИММ (Гольдин, Анистратов, Аристова), ВНИИЭФ (Долголева), ВНИИТФ (Козманов, Карлыханов).

1. L. Chacon, G. Chen, D.A. Knoll, C. Newman, H. Park et al. Multiscale high-order/low-order (HOLO) algorithms and applications. J. Comp. Phys., Feb. 2017, v.330, p.21-45.
2. Гольдин В.Я. Квазидиффузионный метод решения кинетического уравнения. ЖВМ и МФ, 1964, т.4, №6, с.1078-1087.
3. Н.Г. Карлыханов, М.Ю. Козманов. Учет кинетических эффектов в диффузионном приближении для расчета переноса излучения. ВАНТ, 2010, в.4, с.3-9.
4. Н.Г. Карлыханов. Учет спектральных и кинетических эффектов в приближении лучистой теплопроводности для расчета задач переноса излучения. ВАНТ, 2019, в.4, с.21-32.

1. Что объединяет методы поправок, синтетические методы, КР-методы и HOLO – алгоритмы



Методы поправок, синтетические методы, КР-методы и HOLO – алгоритмы состоят как минимум из двух этапов.

Первый этап - основной, на котором решается кинетическое уравнение методом простой итерации:

Второй и последующий этапы - вспомогательные, на которых решается кинетическое уравнение в упрощенной постановке (Д, P1n, SPn, M1, ЛТП).

Методы поправок и синтетические методы (DSA, TSA, NDA, CMFD) обычно состоят из двух этапов.

КР-методы (КР1, КР1Р2 и т.д.) и HOLO – алгоритмы состоят из двух и более этапов.

Профессором Вячеславом Ивановичем Лебедевым была разработана теория поправочных методов и сделано обоснование сходимости КР-методов.

2. Чем отличаются методы поправок, синтетические методы, КР-методы и HOLO – алгоритмы



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Методы поправок, синтетические методы, КР-методы – это методы ускорения простой итерации в уравнении переноса, т.е. решающие кинетическое уравнение на каждой итерации. А для сходимости итераций необходима согласованность этапов и разностных схем, что является довольно непростой процедурой. В этом их сложность и основной недостаток.

В **HOLO-алгоритмах** решение кинетического уравнения ищется как на уровне решения уравнений высокой размерности (HO - high order), так и на уровне решений уравнений низкой размерности (LO - low order). В отличие от синтетических методов, где требуется согласованность схем на этапах и второй этап используется для ускорения итераций, в HOLO – алгоритмах не требуется согласованность схем на этапах, а вся тяжесть итерационного процесса переносится на второй этап, который считается с корректирующими коэффициентами, при этом кинетическое уравнение решается один раз на одном или нескольких временных шагах.

3. При каких условиях можно получить решение этими методами, совпадающее с решением кинетического уравнения



В поправочных, синтетических и КР-методах – необходимы согласованность разностных схем на этапах и сходимость итераций.

В HОLО-алгоритмах – доказательство эквивалентности решения кинетического уравнения и решений упрощенных уравнений.

4. Нужна ли согласованность разностных схем на этапах для получения эквивалентного решения кинетического уравнения

В поправочных, синтетических и КР-методах – согласованность разностных схем на этапах необходима для сходимости итераций.

В HОLО-алгоритмах – согласованность разностных схем на этапах не нужна.

Пример трехэтапного HОLО-алгоритма (по статье Н.Г. Карлыханова ВАНТ, 2019)



1 этап – решение группового КУ простой итерацией

$$\frac{1}{c} \frac{\partial I_g}{\partial t} + \vec{\Omega} \nabla I_g + \alpha_g I_g = \frac{\alpha_{cg}}{4\pi} B_g + \frac{\alpha_{sg}}{4\pi} U_g$$

2 этап – решение группового КП простой итерацией с корректирующим коэффициентом

$$\frac{1}{c} \frac{\partial U_g}{\partial t} + \text{div} S_g + \alpha_{cg} U_g = \alpha_{cg} B_g,$$

$$\frac{1}{3} \nabla U_g + (\alpha_{cg} + \alpha_s + \alpha_{kg}) S_g = 0, \quad \alpha_{kg} = \frac{\frac{1}{c} \frac{\partial S_g}{\partial t} + \nabla \left(D_g - \frac{1}{3} \right) U_g + \frac{3D_g - 1}{r} U_g}{S_g}$$

3 этап – решение усредненного по группам уравнения ЛТП методом Ньютона

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(E + \frac{1}{c} U \right) + \text{div} S = 0, \quad S = -\frac{1}{3} \chi \nabla U, \quad \chi^{-1} = \frac{\sum_{g=1}^G \alpha_g p_g}{\sum_{g=1}^G p_g}$$

Заключение

- В настоящее время HOLO-алгоритмы являются наиболее перспективными разработками по ПИ во всем мире;
-
- Основной вклад в создание, развитие и обоснование поправочных, синтетических, КР и HOLO алгоритмов без сомнения внесли российские ученые: Воробьев В.Ю.(1958), Федоренко Р.П.(1961), Лебедев В.И.(1966), Бахвалов Н.С.(1966), Морозов В.Н.(1962), Гольдин В.Я.(1964), Трощев В.Е.(1966), Юдинцев В.Ф.(1978), Шагалиев Р.М.(1991), Козманов М.Ю.(2010), Карлыханов Н.Г.(2010);
-
- В РФЯЦ-ВНИИТФ реализованы методики расчета переноса задач СУПТИ в групповых приближениях КД и КП;
-
- В РФЯЦ-ВНИИЭФ реализованы методики расчета переноса задач СУПТИ в групповом приближении КД и поправочным групповым КМ методом.