ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени А. А. ЖДАНОВА

Ю. ШЛАЖА

ГИПЕРЗВУКОВОЕ ТЕЧЕНИЕ РАЗРЕЖЕННОГО ГАЗА ОКОЛО ПОЛУБЕСКОНЕЧНОЙ ПЛАСТИНКИ

АВТОРЕФЕРАТ

*диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук*

Научный руководитель — кандидат физико-математических наук
Р. Г. Баранцев

ЛЕНИНГРАД 1966

Диссертация посвящена исследованию некоторых вопросов гиперзвуковой аэродинамики разреженных газов.

В первой главе показаны возможные пути решения задач об обтекании тел произвольной формы одноатомным разреженным газом. Обтекание тела разреженным одноатомным газом можно описывать системой кинетических уравнений С. В. Валландера [1]. Одним из методов решения кинетических задач является метод моментов, при котором функция распределения $f(\overline{r}, \overline{u}, t)$ представляется в виде разложения по некоторым ортогональным полиномам и на основе уравнения Больцмана или системы уравнений С. В. Валландера строится система уравнений для отыскания коэффициентов разложения. Эти коэффициенты в свою очередь дают возможность вычислить макропараметры газа.

Рассматривая разреженный газ в неограниченном пространстве, целесообразно представлять функцию распределения в виде разложения по полиномам, ортогональным во всем пространстве скоростей [2], [3]. Если выбрать в качестве весовой функции максвелловскую функцию распределения f_0, то получаемые полиномы будут полиномами Эрмита, являющимися тензорами m-го ранга 3-го порядка.

При рассмотрении задачи Куэтта имеет смысл раскладывать функцию распределения f по полиномам, ортогональным в полупространствах скоростей. Это вызвано тем, что f терпит разрыв на плоскости $U_n=0$, и целесообразно представлять функцию распределения отдельно при $U_n<0$ и $U_n>0$ [4], [5]. Такие представления функции распределения эффективны только для довольно узкого круга задач.

В общем случае аэродинамики разреженных газов приходится иметь дело с задачами, в которых $f(\overline{r}, \overline{u})$ терпит разрыв на некоторой конической поверхности, делящей пространство скоростей на два подпространства $\Omega^+(\overline{r})$ и $\Omega^-(\overline{r})$.

Поэтому сначала в первой главе диссертации дается представление функции распределения f через полиномы $\Psi_m^{\pm}(\overline{r}, \overline{u})$, ортогональные в произвольных областях $\Omega^+(\overline{r})$ пространства скоростей. При рассмотрении гиперзвуковых задач эти полиномы можно строить асимптотическим путем. Надо отметить, что вблизи поверхности тела асимптотика неравномерна.

Далее на основе системы уравнений С. В. Валландера выписаны система интегральных моментных уравнений и выражения макропараметров газа через коэффициенты $a_m^{\pm}(\overline{r})$ разложения функции распределения. С помощью метода итераций в конце главы I найдены выражения для макропараметров газа в первом приближении.

При сочетании трех методов

1) Метод интегральных моментных уравнений

2) Метод итераций

3) Асимптотический метод

многие задачи гиперзвуковой аэродинамики разреженных газов могут быть аналитически решены до конца. Дело сводится к асимптотическому исследованию возникающих многократных интегралов. Успех зависит от того, как мы сумеем эти интегралы оценить. Но это зависит от формы обтекаемого тела.

Во второй главе рассматривается гиперзвуковое продольное обтекание пластинки $y=0$ одноатомным разреженным газом, средняя безразмерная скорость которого равна $\overline{U}_0 = \{1, 0, 0\}$. Молекулы являются гладкими упругими шарами и их отражение от стенки диффузное, а температура поверхности не отличается от температуры газа. При решении этой задачи использовался метод, изложенный в главе 1. Целью поставленой задачи было исследование структуры пограничного слоя и нахождение асимптотических выражений для макропараметров газа при $M \to \infty$.

Математическое изучение специфических свойств пограничного слоя в разреженном газе сопряжено с характерным явлением асимптотической неравномерности [1]. Выявлена структура неравномерного асимптотического поведения макропараметров газа при больших M. Под пограничным слоем подразумевается обычно бесконечно тонкий слой, исчезающий вместе с характеризующим его малым параметром. Порядок толщины этого слоя при асимптотическом подходе связывается с состоянием перехода от одной асимптотики (дальней) к другой (ближней). В нашем случае толщина пограничного слоя обратно пропорциональна M. В конце главы II помещены графики зависимости макропараметров газа от расстояния y от пластинки при $M=5{,}5$; 22; 109.

В третьей главе исследуется асимптотика макропараметров газа при гиперзвуковом, продольном обтекании бесконечно тонкой пластинки, $y=0$, $x \geqslant 0$, одноатомным разреженным газом. Молекулы газа и температура поверхности пластинки такие же, как во второй главе. Исследованию пограничного слоя в случае полубесконечной пластинки посвящено большое количество работ разных авторов, которые рассматривают эту проблему как с макро-, так и с микро точки зрения. Так как возможности феноменологического исследования пограничного слоя ограничены и уравнения кинетической теории газов вблизи поверхности тела сложны, поэтому много проблем еще не решено, особенно проблемы относящиеся к формированию пограничного слоя у носка пластинки, где возникают продольные градиенты. В данной главе на основе метода из главы I в первом приближении исследована структура неравномерной асимптотики макропараметров газа вблизи поверхности и передней кромки пластинки. При этом оказывается, что толщина пограничного слоя, так же как в случае бесконечной пластинки, обратно пропорциональна M, но вблизи носка пластинки макропараметры газа существенно зависят от параметра $\gamma=\frac{y}{x}$. При $\gamma \to 0$, т. е. для точек, расположенных далеко от передней кромки пластинки, асимптотические выражения для макропараметров газа переходят в асимптотические формулы, полученные для бесконечной пластинки. В конце третьей главы получены графики поведения макропараметров газа в зависимости от расстояния y от поверхности пластинки при $M=22$ и разных значениях расстояния x от передней кромки пластинки.

Четвертая глава диссертации посвящена исследованию асимптотического поведения потоков массы, импульса и энергии на полубесконечной пластинке. Для этого строится второе приближение $f^{(2)}$ в предположении, что функция „рождений" $\Phi^{(1)}$ может быть представлена в виде $f_0^{(1)}Q_0^{(1)}$, где $f_0^{(1)}$ — локальное максвелловское распределение и $Q_0^{(1)}$ — функция столкновений, причем $f_0^{(1)}$ и $Q_0^{(1)}$ выражаются через макропараметры газа, полученные в первом приближении в главе III. Такая запись функции Ф широко известна из литературы по разреженным газам [1], [6]. В отличие от формул из глав II и III, полученные здесь асимптотические выражения содержат еще простые интегралы, которые легко вычисляются численно. Исследована неравномерность асимптотики в окрестности точки $x=0$. Получены графики для частоты ударов $N^{(2)}$ молекул о тело, касательного импульса $P_x^{(2)}$ и энергии $E^{(2)}$, передаваемых молекулами пластинке, в зависимости от λ, где $\lambda=\frac{x}{y_0}$, $0<y_0<\frac{1}{\sqrt{h}}$ и $h=\frac{5}{6}M^2$. Основные результаты работы изложены в статьях автора [7—12].

ЛИТЕРАТУРА

1. «Аэродинамика разреженных газов» Сб. 1, под ред. С. В. Валландера, Изд. ЛГУ, 1963.

2. Г. Грэд. О кинетической теории разреженных газов. «Механика», 1952, № 4, № 5.

3. «Аэродинамика разреженных газов». Сб. 2, под ред. С. В. Валландера, Изд. ЛГУ, 1964.

4. Э. Гросс, Э. Джексон, С. Зиринг. Граничные задачи в кинетической теории газов. «Механика», 1958, № 5.

5. «Аэродинамика разреженных газов» Сб. 3, под ред. С. В. Валландера, Изд. ЛГУ, 1966.

6: a) Rarefied Gas Dynamics. Proc. of the I Internat. Symp. held at Nice. Pergamon Press, New York, 1960.

b) Rarefied Gas Dynamics. Proc. of the II Internat. Symp. held at the Univ. of California 1960. Academie Press, New York, 1961.

c) Rarefied Gas Dynamics. Proc. of the III Internat. Symp. held at the Paris 1962. vol. I, II, Academic Press, New York, 1963.

7. Р. Г. Баранцев, Ю. Шлажа. К асимптотической структуре пограничного слоя при больших *M*. Вестник ЛГУ, № 19, 1964, сер. мат., мех., астр.

8. J. Szlaza. Zur asymptotischen Struktur der Grenzschicht am vorderen Ende einer halbunendlichen Platte für grosse Machzahlen. ZAMM, Bd. 45, Heft 2/3, 1965.

9. Ю. Шлажа. Метод моментов при гиперзвуковом обтекании тел разреженным газом. Вестник ЛГУ, 1966, сер. мат., мех., астр. (в печати).

10. J. Szlaza. Hyperschallumstvömung einer unendlichen Platte durch verdünntes Gas. Monatsberichte der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1966 (в печати).

11. Ю. Шлажа. Асимптотика макропараметров газа при гиперзвуковом течении около носка пластинки. Вестник ЛГУ (печатается).

12. Ю. Шлажа. Асимптотическое поведение потоков массы, импульса и энергии на полубесконечной пластинке при больших M. Вестник ЛГУ (печатается).

Тип. ЛОЛГУ. Зак. 371. Тир. 180. — 1/2 п. л. М 06882. 28/V-66 г.