

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ТЕОРИЯ ПОЛЯ

УДК 532.5.013.12

DOI: 10.17223/00213411/65/5/88

К ВОПРОСУ О СИЛЕ СТОКСА
В УСЛОВИЯХ СТАЦИОНАРНОГО ВРАЩЕНИЯ ШАРА

С.О. Гладков

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва, Россия*

Приводится решение задачи о вычислении силы Стокса для шара в условиях его стационарного вращения. Аналитически строго доказано, что вращение не оказывает влияния на силу Стокса и ее вид остается прежний $F = 6\pi\eta R u$.

Ключевые слова: закон Стокса, уравнение непрерывности, уравнение Навье – Стокса, частота вращения, вязкость, тензор вязких напряжений.

Введение

В настоящей работе мы рассмотрим задачу о вычислении силы сопротивления для шара, вращающегося с постоянной угловой скоростью ω , при обтекании его стационарным потоком вязкой жидкости, движущейся поступательно со скоростью u .

В результате внимательного изучения литературы, связанной с близкой к подобного рода проблемам тематикой (см., к примеру, [1–23]), мы не нашли решения аналогичного типа задач, что и послужило основным аргументом для написания настоящей работы.

При решении поставленной задачи будут рассмотрены два разных случая: 1) направление частоты вращения шара совпадает с направлением потока, т.е. $\omega \parallel u$; 2) когда их направления перпендикулярны, т.е. $\omega \perp u$.

Напомним, что суть задачи, решенной Стоксом, заключалась в вычислении силы сопротивления шара, движущегося поступательно в некотором вязком континууме, а ее решение весьма подробно изложено в монографии [19].

Предположим теперь, что шар вращается с постоянной угловой скоростью ω , направление которой пока что произвольное. При этом шар не двигается, а его вращение происходит вдоль некоторого произвольно выделенного диаметра, в который вставлена невесомая абстрактная спица, на которую жестко насажен шар. Понятно, что при вращении спицы шар также будет вращаться, и вся эта конструкция обтекается стационарно движущимся со скоростью u потоком жидкости.

1. Основные уравнения и их решение

Чтобы решить поставленную задачу, нам необходимо воспользоваться уравнениями Навье – Стокса и уравнением непрерывности, которые в случае несжимаемой жидкости удобно представить в виде [19]

$$\nabla P = \eta \Delta \mathbf{v}, \quad (1)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{v} = 0, \quad (2)$$

где η – динамическая вязкость; P – давление.

Здесь следует заметить, что уравнение (1) описывает движение вблизи поверхности шара, а точнее, в области пограничного слоя шириной δ (см. [19]), в области которого число Рейнольдса $R = \frac{u\delta}{\nu}$ мало. Это означает, что нелинейным слагаемым $(\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v}$, фигурирующим в левой части уравнения Навье – Стокса, мы имеем право пренебречь. Существенную роль в теории пограничного обтекания играет так называемый эффект «залипания» скорости, который всегда используется в виде граничного условия при решении довольно широкого круга задач.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>