

**ДВИЖЕНИЕ БЕЗЫНЕРЦИОННЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ
В КРИВОЛИНЕЙНОМ ПОТОКЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ
ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА**

А. А. Кири

(Москва)

При расчете осаждения аэрозольных частиц на обтекаемых телах за счет эффекта зацепления [1] обычно принимается, что центр сферической безынерционной частицы движется около поверхности коллектора по линии тока. Хотя это предположение имеет, а priori высокую степень вероятности, все же желательно проверить его экспериментально, так как неизвестно влияние вращения частицы, обусловленного наличием градиента скорости течения у поверхности коллектора, на траекторию частицы. Определение этих траекторий имеет значение для теории гравитационной коагуляции [1] при оценке вымывания осадками радиоактивных аэрозолей из атмосферы [2], а также для расчета эффективности зернистых и волокнистых фильтров [3].

Движение частиц радиуса r около коллектора, имеющего характерный размер a , при $\kappa = r/a \ll 1$ и при $(\rho - a)/a \ll 1$ (ρ — расстояние между центрами частицы и коллектора), можно рассматривать как движение в прямолинейном потоке, параллельном плоской стенке. В этом случае, как было показано экспериментально [4] и теоретически [5], при малых числах Рейнольдса $R < 1$, где R относится ко всему потоку, вращение частицы, вызванное градиентом скорости течения не вызывает ее смещения с линией тока.

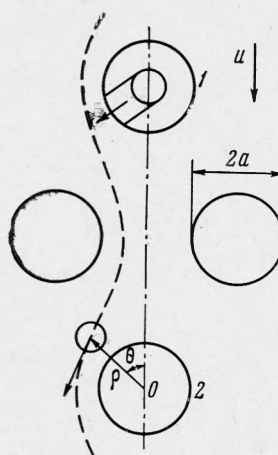
Однако при $R > 10$ как это следует из теории [6], частицы должны смещаться с линии тока; так например, при движении взвешенных частиц в цилиндрической трубе известен так называемый эффект Сегре — Зильберберга [7].

Для случая, когда $\kappa \approx 1$, т. е. для криволинейного движения частицы около коллектора, размер которого соизмерим с размером частицы, трудно теоретически решить, как сказывается вращение частицы на ее траекторию и какое обратное влияние на поле течения оказывает частица.

Для решения этого вопроса был использован разработанный ранее метод определения поля течения в системе параллельных цилиндров, расположенных перпендикулярно потоку [8]. Для этого фотографировались траектории мелких частиц, взвешенных в вязкой жидкости (глицерине) и движущихся в яркоосвещенной медианной плоскости плоскопараллельной кюветы, около поверхности цилиндров (диаметром 7 и 14 мм), расположенных в правильном шахматном порядке (фиг. 1). Расстояние между осями соседних цилиндров равно 30 мм. Траектории этих частиц, для которых $\kappa \leq 10^{-2}$, сопоставлялись с траекториями шарика с $r = 3$ мм, изготовленного из плексигласа. В шарике имелся сквозной цилиндрический канал, заполненный эпоксидной смолой ЭД-5. Диаметр канала подбирался так, чтобы средняя плотность шарика равнялась плотности глицерина. Канал служил также индикатором ориентации шарика.

Толщина освещенной зоны не превышала 0.5 мм, поэтому для получения четкого внешнего контура шарика на фотографии поверхность его покрывалась тонким полупрозрачным слоем алюминиевой краски. Шарик вводился в поток (фиг. 1) при помощи медицинского шприца, заполненного глицерином, через боковое отверстие полого соседнего цилиндра 1, расположенного перед цилиндром 2, вокруг которого производилась съемка траекторий. Центр этого отверстия находился точно в медианной плоскости кюветы, что исключало вращение шарика в плоскости, параллельной цилиндрам и проходящей через оптическую ось объектива. Изменяя скорость и направление выталкивания шарика по отношению к потоку, можно было фотографировать его траектории на различном расстоянии от поверхности цилиндра 2. Число R для шариков и для цилиндров не превышало 0.05. Фотографирование частиц и шарика проводилось при стробоскопическом освещении, с интервалами между экспозициями 2.7 и 5.4 сек, при времени экспозиции 0.2 сек.

Фотографии траекторий центра шарика и частицы, полученные при одинаковой скорости течения, совмещались так, что совпадали контуры цилиндра и направление потока. Как видно из фиг. 2, а и б, полученных обработкой этих снимков, не только вид траекторий, но и абсолютные значения скорости движения шарика V^0 и частиц V^* довольно близко совпадают как при $\kappa = 0.13$, так и при $\kappa = 0.86$. Поскольку ско-

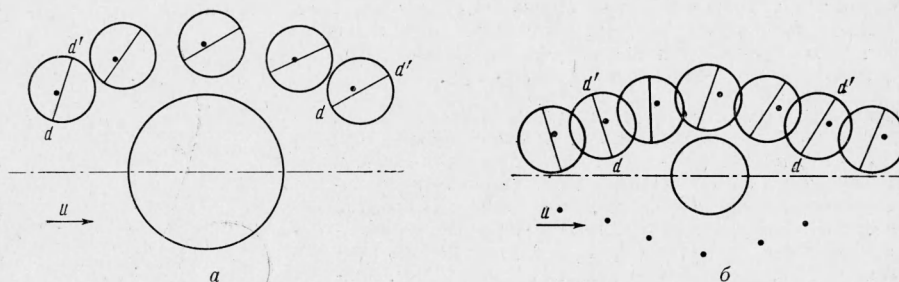


Фиг. 1

рость мелких частиц, совпадающая со скоростью жидкости, описывается теоретическими уравнениями Кувабары [9], ранее подтвержденными экспериментально [8], то легко рассчитать из фотографий отношение скоростей шарика и частиц V^0/V^* в зависимости от расстояний центра шарика от поверхности цилиндра. Для ряда значений $\rho' = (\rho - a)/r$ при $\theta = 90^\circ$ получены следующие величины отношений $\lambda = V^0/v^*$:

$\kappa = 0.86$	$\rho' = 1.15$	1.42	1.52	1.95	2.20	$\kappa = 0.43$	$\rho' = 1.20$	1.38	1.46	1.60
	$\lambda = 0.93$	0.98	0.99	1.02	1.00		$\lambda = 1.00$	0.98	1.99	0.98

Следует учесть, однако, что на движение шарика оказывают подтормаживающее действие стенки кюветы, перпендикулярные осям цилиндров. Теоретическая поправка на изменение скорости взвешенного шарика, движущегося в параболическом потоке



Фиг. 2а, б

¹⁰], равная $\Delta V/V^* = 1/3(V/h)^2$, где $2h$ — расстояние между стенками, составляет в рассматриваемом случае 2.5%. Эта поправка соизмерима с ошибкой в определении центра шарика на фотографии $\sim 2\%$.

Положение линий $d-d'$ на фиг. 2 показывает величину и направление вращения шарика, причем, различное направление вращения при разных θ обусловлено наличием соседних цилиндров.

Таким образом, показано, что допущение о движении центра безынерционной частицы по линии тока вблизи поверхности коллектора справедливо.

Автор выражает благодарность Н. А. Фуксу и И. Б. Стечкиной за помощь, оказанную при проведении данной работы.

Поступила 18 VII 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. М. Изд-во АН СССР, 1955.
2. Вопросы ядерной метеорологии, раздел 2 (сб. статей). М., Госатомиздат, 1962.
3. Chen C. Y. Filtration of aerosols by fibrous media, Chem. Reviews, 1955, vol. 55, pp. 595—623. Перевод. Чен Ч. Фильтрация аэрозолей волокнистыми фильтрами. Усп. хим., 1956, т. 25, стр. 367.
4. Goldsmith H. L., Mason S. L. The flow suspension through tubes I. Single spheres, rods and discs, J. Coll. Sci., 1962, vol. 17, No. 5, pp. 448—476.
5. Bretherton F. P. The motion of rigid particles in a shear flow at low Reynolds number. J. Fluid Mech., 1962, vol. 14, No. 2, pp. 284—304.
6. Saffman P. G. The lift on a small sphere in a slow shear flow. J. Fluid Mech., 1965, vol. 22, No. 2, pp. 385—400.
7. Segre G., Silberberg A. Radial particle displacements in Poiseuille flow of Suspensions. Nature (Engl), 1961, vol. 189, No. 4760, pp. 209.
8. Кирш А. А., Фукс Н. А. Течение жидкости в системе параллельных цилиндров, расположенных перпендикулярно потоку, при малых числах Рейнольдса. ПМТФ, 1966, № 6, стр. 102.
9. Kuwabara S. The forces experienced by randomly distributed parallel circular cylinders or spheres in a viscous flow at small Reynolds number. J. Phys. Soc. Japan, 1959, vol. 14, No 4, pp. 524.
10. Happel J., Brenner H. Low Reynolds number hydrodynamics. Prentice — Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1965, pp. 337.