

Supplementary Materials on: Particle transport and deposition in wall-sheared thermal turbulence

Ao Xu^{1,2}, Ben-Rui Xu¹, and Heng-Dong Xi^{1,2*}

¹ School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

² Institute of Extreme Mechanics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

* Email: hengdongxi@nwpu.edu.cn

SUPPLEMENTARY DATA

Here in table 1, table 2, table 3, and table 4 we provide values of the parameters in our simulations, including wall-shear Reynolds number Re_w , the particle diameter d_p , the particle density ρ_p , the Stokes number based on the Kolmogorov time scale St_k , the Stokes number based on free-fall time St_f , terminal velocity (v_t) normalized by free-fall velocity ($u_{ff} = H/t_f$) as v_t/u_{ff} , the particle volume fraction ϕ .

| No. | Re_w | d_p (μm) | ρ_p (kg/m^3) | St_k | St_f | v_t/u_{ff} | ϕ |
|-----|--------|----------------------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 0 | 5 | 3000 | 3.13×10^{-4} | 1.74×10^{-4} | 1.03×10^{-2} | 4.28×10^{-7} |
| 2 | 0 | 20 | 600 | 1.00×10^{-3} | 5.55×10^{-4} | 3.28×10^{-2} | 6.84×10^{-6} |
| 3 | 0 | 20 | 1200 | 2.00×10^{-3} | 1.11×10^{-3} | 6.54×10^{-2} | 6.84×10^{-6} |
| 4 | 0 | 20 | 3000 | 5.00×10^{-3} | 2.78×10^{-3} | 1.62×10^{-1} | 6.84×10^{-6} |
| 5 | 0 | 40 | 600 | 4.00×10^{-3} | 2.22×10^{-3} | 1.29×10^{-1} | 2.74×10^{-5} |
| 6 | 0 | 40 | 1200 | 8.01×10^{-3} | 4.44×10^{-3} | 2.54×10^{-1} | 2.74×10^{-5} |
| 7 | 0 | 40 | 3000 | 2.00×10^{-2} | 1.11×10^{-2} | 6.17×10^{-1} | 2.74×10^{-5} |
| 8 | 500 | 5 | 3000 | 3.11×10^{-4} | 1.74×10^{-4} | 1.03×10^{-2} | 4.28×10^{-7} |
| 9 | 500 | 20 | 600 | 9.94×10^{-4} | 5.55×10^{-4} | 3.28×10^{-2} | 6.84×10^{-6} |
| 10 | 500 | 20 | 1200 | 1.99×10^{-3} | 1.11×10^{-3} | 6.54×10^{-2} | 6.84×10^{-6} |
| 11 | 500 | 20 | 3000 | 4.97×10^{-3} | 2.78×10^{-3} | 1.62×10^{-1} | 6.84×10^{-6} |
| 12 | 500 | 40 | 600 | 3.98×10^{-3} | 2.22×10^{-3} | 1.29×10^{-1} | 2.74×10^{-5} |
| 13 | 500 | 40 | 1200 | 7.96×10^{-3} | 4.44×10^{-3} | 2.54×10^{-1} | 2.74×10^{-5} |
| 14 | 500 | 40 | 3000 | 1.99×10^{-2} | 1.11×10^{-2} | 6.17×10^{-1} | 2.74×10^{-5} |
| 15 | 1000 | 5 | 3000 | 3.56×10^{-4} | 1.74×10^{-4} | 1.03×10^{-2} | 4.28×10^{-7} |
| 16 | 1000 | 20 | 600 | 1.14×10^{-3} | 5.55×10^{-4} | 3.28×10^{-2} | 6.84×10^{-6} |
| 17 | 1000 | 20 | 1200 | 2.28×10^{-3} | 1.11×10^{-3} | 6.54×10^{-2} | 6.84×10^{-6} |
| 18 | 1000 | 20 | 3000 | 5.69×10^{-3} | 2.78×10^{-3} | 1.62×10^{-1} | 6.84×10^{-6} |
| 19 | 1000 | 40 | 600 | 4.55×10^{-3} | 2.22×10^{-3} | 1.29×10^{-1} | 2.74×10^{-5} |
| 20 | 1000 | 40 | 1200 | 9.10×10^{-3} | 4.44×10^{-3} | 2.54×10^{-1} | 2.74×10^{-5} |
| 21 | 1000 | 40 | 3000 | 2.28×10^{-2} | 1.11×10^{-2} | 6.17×10^{-1} | 2.74×10^{-5} |
| 22 | 1500 | 5 | 3000 | 4.54×10^{-4} | 1.74×10^{-4} | 1.03×10^{-2} | 4.28×10^{-7} |
| 23 | 1500 | 20 | 600 | 1.45×10^{-3} | 5.55×10^{-4} | 3.28×10^{-2} | 6.84×10^{-6} |
| 24 | 1500 | 20 | 1200 | 2.91×10^{-3} | 1.11×10^{-3} | 6.54×10^{-2} | 6.84×10^{-6} |
| 25 | 1500 | 20 | 3000 | 7.27×10^{-3} | 2.78×10^{-3} | 1.62×10^{-1} | 6.84×10^{-6} |
| 26 | 1500 | 40 | 600 | 5.82×10^{-3} | 2.22×10^{-3} | 1.29×10^{-1} | 2.74×10^{-5} |
| 27 | 1500 | 40 | 1200 | 1.16×10^{-2} | 4.44×10^{-3} | 2.54×10^{-1} | 2.74×10^{-5} |
| 28 | 1500 | 40 | 3000 | 2.91×10^{-2} | 1.11×10^{-2} | 6.17×10^{-1} | 2.74×10^{-5} |

Table 1: 2D cases at $Ra = 10^7$ and $Pr = 0.71$.

| No. | Re_w | d_p (μm) | ρ_p (kg/m^3) | St_k | St_f | v_t/u_{ff} | ϕ |
|-----|--------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 0 | 5 | 600 | 9.73×10^{-5} | 2.36×10^{-5} | 1.40×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 2 | 0 | 5 | 1200 | 1.95×10^{-4} | 4.73×10^{-5} | 2.81×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 3 | 0 | 5 | 3000 | 4.86×10^{-4} | 1.18×10^{-4} | 7.03×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 4 | 0 | 20 | 600 | 1.56×10^{-3} | 3.78×10^{-4} | 2.23×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 5 | 0 | 20 | 1200 | 3.11×10^{-3} | 7.57×10^{-4} | 4.46×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 6 | 0 | 20 | 3000 | 7.78×10^{-3} | 1.89×10^{-3} | 1.11×10^{-1} | 1.47×10^{-6} |
| 7 | 0 | 40 | 600 | 6.23×10^{-3} | 1.51×10^{-3} | 8.78×10^{-2} | 5.90×10^{-6} |
| 8 | 0 | 40 | 1200 | 1.25×10^{-2} | 3.03×10^{-3} | 1.73×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 9 | 0 | 40 | 3000 | 3.11×10^{-2} | 7.57×10^{-3} | 4.20×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 10 | 0 | 60 | 600 | 1.40×10^{-2} | 3.40×10^{-3} | 1.92×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 11 | 0 | 60 | 1200 | 2.80×10^{-2} | 6.81×10^{-3} | 3.73×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 12 | 0 | 60 | 3000 | 7.00×10^{-2} | 1.70×10^{-2} | 8.77×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 13 | 0 | 80 | 600 | 2.49×10^{-2} | 6.05×10^{-3} | 3.28×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 14 | 0 | 80 | 1200 | 4.98×10^{-2} | 1.21×10^{-2} | 6.26×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 15 | 0 | 80 | 3000 | 1.25×10^{-1} | 3.03×10^{-2} | 1.42×10^0 | 2.36×10^{-5} |
| 16 | 1000 | 5 | 600 | 1.30×10^{-4} | 2.36×10^{-5} | 1.40×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 17 | 1000 | 5 | 1200 | 2.60×10^{-4} | 4.73×10^{-5} | 2.81×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 18 | 1000 | 5 | 3000 | 6.50×10^{-4} | 1.18×10^{-4} | 7.03×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 19 | 1000 | 20 | 600 | 2.08×10^{-3} | 3.78×10^{-4} | 2.23×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 20 | 1000 | 20 | 1200 | 4.16×10^{-3} | 7.57×10^{-4} | 4.46×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 21 | 1000 | 20 | 3000 | 1.04×10^{-2} | 1.89×10^{-3} | 1.11×10^{-1} | 1.47×10^{-6} |
| 22 | 1000 | 40 | 600 | 8.32×10^{-3} | 1.51×10^{-3} | 8.78×10^{-2} | 5.90×10^{-6} |
| 23 | 1000 | 40 | 1200 | 1.66×10^{-2} | 3.03×10^{-3} | 1.73×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 24 | 1000 | 40 | 3000 | 4.16×10^{-2} | 7.57×10^{-3} | 4.20×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 25 | 1000 | 60 | 600 | 1.87×10^{-2} | 3.40×10^{-3} | 1.92×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 26 | 1000 | 60 | 1200 | 3.74×10^{-2} | 6.81×10^{-3} | 3.73×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 27 | 1000 | 60 | 3000 | 9.36×10^{-2} | 1.70×10^{-2} | 8.77×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 28 | 1000 | 80 | 600 | 3.33×10^{-2} | 6.05×10^{-3} | 3.28×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 29 | 1000 | 80 | 1200 | 6.65×10^{-2} | 1.21×10^{-2} | 6.26×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 30 | 1000 | 80 | 3000 | 1.66×10^{-1} | 3.03×10^{-2} | 1.42×10^0 | 2.36×10^{-5} |
| 31 | 2000 | 5 | 600 | 1.33×10^{-4} | 2.36×10^{-5} | 1.40×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 32 | 2000 | 5 | 1200 | 2.66×10^{-4} | 4.73×10^{-5} | 2.81×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 33 | 2000 | 5 | 3000 | 6.64×10^{-4} | 1.18×10^{-4} | 7.03×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 34 | 2000 | 20 | 600 | 2.13×10^{-3} | 3.78×10^{-4} | 2.23×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 35 | 2000 | 20 | 1200 | 4.25×10^{-3} | 7.57×10^{-4} | 4.46×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 36 | 2000 | 20 | 3000 | 1.06×10^{-2} | 1.89×10^{-3} | 1.11×10^{-1} | 1.47×10^{-6} |
| 37 | 2000 | 40 | 600 | 8.50×10^{-3} | 1.51×10^{-3} | 8.78×10^{-2} | 5.90×10^{-6} |
| 38 | 2000 | 40 | 1200 | 1.70×10^{-2} | 3.03×10^{-3} | 1.73×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 39 | 2000 | 40 | 3000 | 4.25×10^{-2} | 7.57×10^{-3} | 4.20×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 40 | 2000 | 60 | 600 | 1.91×10^{-2} | 3.40×10^{-3} | 1.92×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 41 | 2000 | 60 | 1200 | 3.83×10^{-2} | 6.81×10^{-3} | 3.73×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 42 | 2000 | 60 | 3000 | 9.57×10^{-2} | 1.70×10^{-2} | 8.77×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 43 | 2000 | 80 | 600 | 3.40×10^{-2} | 6.05×10^{-3} | 3.28×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 44 | 2000 | 80 | 1200 | 6.80×10^{-2} | 1.21×10^{-2} | 6.26×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 45 | 2000 | 80 | 3000 | 1.70×10^{-1} | 3.03×10^{-2} | 1.42×10^0 | 2.36×10^{-5} |
| 46 | 3000 | 5 | 600 | 1.34×10^{-4} | 2.36×10^{-5} | 1.40×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 47 | 3000 | 5 | 1200 | 2.67×10^{-4} | 4.73×10^{-5} | 2.81×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 48 | 3000 | 5 | 3000 | 6.68×10^{-4} | 1.18×10^{-4} | 7.03×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 49 | 3000 | 20 | 600 | 2.14×10^{-3} | 3.78×10^{-4} | 2.23×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 50 | 3000 | 20 | 1200 | 4.28×10^{-3} | 7.57×10^{-4} | 4.46×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 51 | 3000 | 20 | 3000 | 1.07×10^{-2} | 1.89×10^{-3} | 1.11×10^{-1} | 1.47×10^{-6} |
| 52 | 3000 | 40 | 600 | 8.55×10^{-3} | 1.51×10^{-3} | 8.78×10^{-2} | 5.90×10^{-6} |

Continued on next page

Continued

| No. | Re_w | d_p (μm) | ρ_p (kg/m^3) | St_k | St_f | v_t/u_{ff} | ϕ |
|-----|--------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 53 | 3000 | 40 | 1200 | 1.71×10^{-2} | 3.03×10^{-3} | 1.73×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 54 | 3000 | 40 | 3000 | 4.28×10^{-2} | 7.57×10^{-3} | 4.20×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 55 | 3000 | 60 | 600 | 1.92×10^{-2} | 3.40×10^{-3} | 1.92×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 56 | 3000 | 60 | 1200 | 3.85×10^{-2} | 6.81×10^{-3} | 3.73×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 57 | 3000 | 60 | 3000 | 9.62×10^{-2} | 1.70×10^{-2} | 8.77×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 58 | 3000 | 80 | 600 | 3.42×10^{-2} | 6.05×10^{-3} | 3.28×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 59 | 3000 | 80 | 1200 | 6.84×10^{-2} | 1.21×10^{-2} | 6.26×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 60 | 3000 | 80 | 3000 | 1.71×10^{-1} | 3.03×10^{-2} | 1.42×10^0 | 2.36×10^{-5} |
| 61 | 4000 | 5 | 600 | 1.33×10^{-4} | 2.36×10^{-5} | 1.40×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 62 | 4000 | 5 | 1200 | 2.67×10^{-4} | 4.73×10^{-5} | 2.81×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 63 | 4000 | 5 | 3000 | 6.67×10^{-4} | 1.18×10^{-4} | 7.03×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 64 | 4000 | 20 | 600 | 2.13×10^{-3} | 3.78×10^{-4} | 2.23×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 65 | 4000 | 20 | 1200 | 4.27×10^{-3} | 7.57×10^{-4} | 4.46×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 66 | 4000 | 20 | 3000 | 1.07×10^{-2} | 1.89×10^{-3} | 1.11×10^{-1} | 1.47×10^{-6} |
| 67 | 4000 | 40 | 600 | 8.53×10^{-3} | 1.51×10^{-3} | 8.78×10^{-2} | 5.90×10^{-6} |
| 68 | 4000 | 40 | 1200 | 1.71×10^{-2} | 3.03×10^{-3} | 1.73×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 69 | 4000 | 40 | 3000 | 4.27×10^{-2} | 7.57×10^{-3} | 4.20×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 70 | 4000 | 60 | 600 | 1.92×10^{-2} | 3.40×10^{-3} | 1.92×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 71 | 4000 | 60 | 1200 | 3.84×10^{-2} | 6.81×10^{-3} | 3.73×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 72 | 4000 | 60 | 3000 | 9.60×10^{-2} | 1.70×10^{-2} | 8.77×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 73 | 4000 | 80 | 600 | 3.41×10^{-2} | 6.05×10^{-3} | 3.28×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 74 | 4000 | 80 | 1200 | 6.83×10^{-2} | 1.21×10^{-2} | 6.26×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 75 | 4000 | 80 | 3000 | 1.71×10^{-1} | 3.03×10^{-2} | 1.42×10^0 | 2.36×10^{-5} |
| 76 | 5000 | 5 | 600 | 1.16×10^{-4} | 2.36×10^{-5} | 1.40×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 77 | 5000 | 5 | 1200 | 2.32×10^{-4} | 4.73×10^{-5} | 2.81×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 78 | 5000 | 5 | 3000 | 5.81×10^{-4} | 1.18×10^{-4} | 7.03×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 79 | 5000 | 20 | 600 | 1.86×10^{-3} | 3.78×10^{-4} | 2.23×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 80 | 5000 | 20 | 1200 | 3.72×10^{-3} | 7.57×10^{-4} | 4.46×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 81 | 5000 | 20 | 3000 | 9.30×10^{-3} | 1.89×10^{-3} | 1.11×10^{-1} | 1.47×10^{-6} |
| 82 | 5000 | 40 | 600 | 7.44×10^{-3} | 1.51×10^{-3} | 8.78×10^{-2} | 5.90×10^{-6} |
| 83 | 5000 | 40 | 1200 | 1.49×10^{-2} | 3.03×10^{-3} | 1.73×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 84 | 5000 | 40 | 3000 | 3.72×10^{-2} | 7.57×10^{-3} | 4.20×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 85 | 5000 | 60 | 600 | 1.67×10^{-2} | 3.40×10^{-3} | 1.92×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 86 | 5000 | 60 | 1200 | 3.35×10^{-2} | 6.81×10^{-3} | 3.73×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 87 | 5000 | 60 | 3000 | 8.37×10^{-2} | 1.70×10^{-2} | 8.77×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 88 | 5000 | 80 | 600 | 2.98×10^{-2} | 6.05×10^{-3} | 3.28×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 89 | 5000 | 80 | 1200 | 5.95×10^{-2} | 1.21×10^{-2} | 6.26×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 90 | 5000 | 80 | 3000 | 1.49×10^{-1} | 3.03×10^{-2} | 1.42×10^0 | 2.36×10^{-5} |
| 91 | 6000 | 5 | 600 | 7.86×10^{-5} | 2.36×10^{-5} | 1.40×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 92 | 6000 | 5 | 1200 | 1.57×10^{-4} | 4.73×10^{-5} | 2.81×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 93 | 6000 | 5 | 3000 | 3.93×10^{-4} | 1.18×10^{-4} | 7.03×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 94 | 6000 | 20 | 600 | 1.26×10^{-3} | 3.78×10^{-4} | 2.23×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 95 | 6000 | 20 | 1200 | 2.52×10^{-3} | 7.57×10^{-4} | 4.46×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 96 | 6000 | 20 | 3000 | 6.29×10^{-3} | 1.89×10^{-3} | 1.11×10^{-1} | 1.47×10^{-6} |
| 97 | 6000 | 40 | 600 | 5.03×10^{-3} | 1.51×10^{-3} | 8.78×10^{-2} | 5.90×10^{-6} |
| 98 | 6000 | 40 | 1200 | 1.01×10^{-2} | 3.03×10^{-3} | 1.73×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 99 | 6000 | 40 | 3000 | 2.52×10^{-2} | 7.57×10^{-3} | 4.20×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 100 | 6000 | 60 | 600 | 1.13×10^{-2} | 3.40×10^{-3} | 1.92×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 101 | 6000 | 60 | 1200 | 2.26×10^{-2} | 6.81×10^{-3} | 3.73×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 102 | 6000 | 60 | 3000 | 5.66×10^{-2} | 1.70×10^{-2} | 8.77×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 103 | 6000 | 80 | 600 | 2.01×10^{-2} | 6.05×10^{-3} | 3.28×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |

Continued on next page

Continued

| No. | Re_w | d_p (μm) | ρ_p (kg/m^3) | St_k | St_f | v_t/u_{ff} | ϕ |
|-----|--------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 104 | 6000 | 80 | 1200 | 4.03×10^{-2} | 1.21×10^{-2} | 6.26×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 105 | 6000 | 80 | 3000 | 1.01×10^{-1} | 3.03×10^{-2} | 1.42×10^0 | 2.36×10^{-5} |
| 106 | 7000 | 5 | 600 | 6.98×10^{-5} | 2.36×10^{-5} | 1.40×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 107 | 7000 | 5 | 1200 | 1.40×10^{-4} | 4.73×10^{-5} | 2.81×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 108 | 7000 | 5 | 3000 | 3.49×10^{-4} | 1.18×10^{-4} | 7.03×10^{-3} | 9.21×10^{-8} |
| 109 | 7000 | 20 | 600 | 1.12×10^{-3} | 3.78×10^{-4} | 2.23×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 110 | 7000 | 20 | 1200 | 2.24×10^{-3} | 7.57×10^{-4} | 4.46×10^{-2} | 1.47×10^{-6} |
| 111 | 7000 | 20 | 3000 | 5.59×10^{-3} | 1.89×10^{-3} | 1.11×10^{-1} | 1.47×10^{-6} |
| 112 | 7000 | 40 | 600 | 4.47×10^{-3} | 1.51×10^{-3} | 8.78×10^{-2} | 5.90×10^{-6} |
| 113 | 7000 | 40 | 1200 | 8.94×10^{-3} | 3.03×10^{-3} | 1.73×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 114 | 7000 | 40 | 3000 | 2.24×10^{-2} | 7.57×10^{-3} | 4.20×10^{-1} | 5.90×10^{-6} |
| 115 | 7000 | 60 | 600 | 1.01×10^{-2} | 3.40×10^{-3} | 1.92×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 116 | 7000 | 60 | 1200 | 2.01×10^{-2} | 6.81×10^{-3} | 3.73×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 117 | 7000 | 60 | 3000 | 5.03×10^{-2} | 1.70×10^{-2} | 8.77×10^{-1} | 1.33×10^{-5} |
| 118 | 7000 | 80 | 600 | 1.79×10^{-2} | 6.05×10^{-3} | 3.28×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 119 | 7000 | 80 | 1200 | 3.58×10^{-2} | 1.21×10^{-2} | 6.26×10^{-1} | 2.36×10^{-5} |
| 120 | 7000 | 80 | 3000 | 8.94×10^{-2} | 3.03×10^{-2} | 1.42×10^0 | 2.36×10^{-5} |

Table 2: 2D cases at $Ra = 10^8$ and $Pr = 0.71$.

| No. | Re_w | d_p (μm) | ρ_p (kg/m^3) | St_k | St_f | v_t/u_{ff} | ϕ |
|-----|--------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 0 | 5 | 3000 | 6.23×10^{-4} | 8.05×10^{-5} | 4.79×10^{-3} | 1.98×10^{-8} |
| 2 | 0 | 20 | 600 | 1.99×10^{-3} | 2.58×10^{-4} | 1.52×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 3 | 0 | 20 | 1200 | 3.99×10^{-3} | 5.15×10^{-4} | 3.04×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 4 | 0 | 20 | 3000 | 9.97×10^{-3} | 1.29×10^{-3} | 7.53×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 5 | 0 | 40 | 600 | 7.97×10^{-3} | 1.03×10^{-3} | 5.98×10^{-2} | 1.27×10^{-6} |
| 6 | 0 | 40 | 1200 | 1.59×10^{-2} | 2.06×10^{-3} | 1.18×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 7 | 0 | 40 | 3000 | 3.99×10^{-2} | 5.15×10^{-3} | 2.86×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 8 | 0 | 60 | 600 | 1.79×10^{-2} | 2.32×10^{-3} | 1.31×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 9 | 0 | 60 | 1200 | 3.59×10^{-2} | 4.64×10^{-3} | 2.54×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 10 | 0 | 60 | 3000 | 8.97×10^{-2} | 1.16×10^{-2} | 5.97×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 11 | 0 | 80 | 600 | 3.19×10^{-2} | 4.12×10^{-3} | 2.23×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 12 | 0 | 80 | 1200 | 6.38×10^{-2} | 8.25×10^{-3} | 4.26×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 13 | 0 | 80 | 3000 | 1.59×10^{-1} | 2.06×10^{-2} | 9.71×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 14 | 1000 | 5 | 3000 | 6.12×10^{-4} | 8.05×10^{-5} | 4.79×10^{-3} | 1.98×10^{-8} |
| 15 | 1000 | 20 | 600 | 1.96×10^{-3} | 2.58×10^{-4} | 1.52×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 16 | 1000 | 20 | 1200 | 3.91×10^{-3} | 5.15×10^{-4} | 3.04×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 17 | 1000 | 20 | 3000 | 9.78×10^{-3} | 1.29×10^{-3} | 7.53×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 18 | 1000 | 40 | 600 | 7.83×10^{-3} | 1.03×10^{-3} | 5.98×10^{-2} | 1.27×10^{-6} |
| 19 | 1000 | 40 | 1200 | 1.57×10^{-2} | 2.06×10^{-3} | 1.18×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 20 | 1000 | 40 | 3000 | 3.91×10^{-2} | 5.15×10^{-3} | 2.86×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 21 | 1000 | 60 | 600 | 1.76×10^{-2} | 2.32×10^{-3} | 1.31×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 22 | 1000 | 60 | 1200 | 3.52×10^{-2} | 4.64×10^{-3} | 2.54×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 23 | 1000 | 60 | 3000 | 8.81×10^{-2} | 1.16×10^{-2} | 5.97×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 24 | 1000 | 80 | 600 | 3.13×10^{-2} | 4.12×10^{-3} | 2.23×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 25 | 1000 | 80 | 1200 | 6.26×10^{-2} | 8.25×10^{-3} | 4.26×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 26 | 1000 | 80 | 3000 | 1.57×10^{-1} | 2.06×10^{-2} | 9.71×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |

Continued on next page

Continued

| No. | Re_w | d_p (μm) | ρ_p (kg/m^3) | St_k | St_f | v_t/u_{ff} | ϕ |
|-----|--------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 27 | 2000 | 5 | 3000 | 6.19×10^{-4} | 8.05×10^{-5} | 4.79×10^{-3} | 1.98×10^{-8} |
| 28 | 2000 | 20 | 600 | 1.98×10^{-3} | 2.58×10^{-4} | 1.52×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 29 | 2000 | 20 | 1200 | 3.96×10^{-3} | 5.15×10^{-4} | 3.04×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 30 | 2000 | 20 | 3000 | 9.91×10^{-3} | 1.29×10^{-3} | 7.53×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 31 | 2000 | 40 | 600 | 7.93×10^{-3} | 1.03×10^{-3} | 5.98×10^{-2} | 1.27×10^{-6} |
| 32 | 2000 | 40 | 1200 | 1.59×10^{-2} | 2.06×10^{-3} | 1.18×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 33 | 2000 | 40 | 3000 | 3.96×10^{-2} | 5.15×10^{-3} | 2.86×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 34 | 2000 | 60 | 600 | 1.78×10^{-2} | 2.32×10^{-3} | 1.31×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 35 | 2000 | 60 | 1200 | 3.57×10^{-2} | 4.64×10^{-3} | 2.54×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 36 | 2000 | 60 | 3000 | 8.92×10^{-2} | 1.16×10^{-2} | 5.97×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 37 | 2000 | 80 | 600 | 3.17×10^{-2} | 4.12×10^{-3} | 2.23×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 38 | 2000 | 80 | 1200 | 6.34×10^{-2} | 8.25×10^{-3} | 4.26×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 39 | 2000 | 80 | 3000 | 1.59×10^{-1} | 2.06×10^{-2} | 9.71×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 40 | 3000 | 5 | 3000 | 5.99×10^{-4} | 8.05×10^{-5} | 4.79×10^{-3} | 1.98×10^{-8} |
| 41 | 3000 | 20 | 600 | 1.92×10^{-3} | 2.58×10^{-4} | 1.52×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 42 | 3000 | 20 | 1200 | 3.83×10^{-3} | 5.15×10^{-4} | 3.04×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 43 | 3000 | 20 | 3000 | 9.58×10^{-3} | 1.29×10^{-3} | 7.53×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 44 | 3000 | 40 | 600 | 7.67×10^{-3} | 1.03×10^{-3} | 5.98×10^{-2} | 1.27×10^{-6} |
| 45 | 3000 | 40 | 1200 | 1.53×10^{-2} | 2.06×10^{-3} | 1.18×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 46 | 3000 | 40 | 3000 | 3.83×10^{-2} | 5.15×10^{-3} | 2.86×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 47 | 3000 | 60 | 600 | 1.72×10^{-2} | 2.32×10^{-3} | 1.31×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 48 | 3000 | 60 | 1200 | 3.45×10^{-2} | 4.64×10^{-3} | 2.54×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 49 | 3000 | 60 | 3000 | 8.62×10^{-2} | 1.16×10^{-2} | 5.97×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 50 | 3000 | 80 | 600 | 3.07×10^{-2} | 4.12×10^{-3} | 2.23×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 51 | 3000 | 80 | 1200 | 6.13×10^{-2} | 8.25×10^{-3} | 4.26×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 52 | 3000 | 80 | 3000 | 1.53×10^{-1} | 2.06×10^{-2} | 9.71×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 53 | 4000 | 5 | 3000 | 6.17×10^{-4} | 8.05×10^{-5} | 4.79×10^{-3} | 1.98×10^{-8} |
| 54 | 4000 | 20 | 600 | 1.98×10^{-3} | 2.58×10^{-4} | 1.52×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 55 | 4000 | 20 | 1200 | 3.95×10^{-3} | 5.15×10^{-4} | 3.04×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 56 | 4000 | 20 | 3000 | 9.88×10^{-3} | 1.29×10^{-3} | 7.53×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 57 | 4000 | 40 | 600 | 7.90×10^{-3} | 1.03×10^{-3} | 5.98×10^{-2} | 1.27×10^{-6} |
| 58 | 4000 | 40 | 1200 | 1.58×10^{-2} | 2.06×10^{-3} | 1.18×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 59 | 4000 | 40 | 3000 | 3.95×10^{-2} | 5.15×10^{-3} | 2.86×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 60 | 4000 | 60 | 600 | 1.78×10^{-2} | 2.32×10^{-3} | 1.31×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 61 | 4000 | 60 | 1200 | 3.56×10^{-2} | 4.64×10^{-3} | 2.54×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 62 | 4000 | 60 | 3000 | 8.89×10^{-2} | 1.16×10^{-2} | 5.97×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 63 | 4000 | 80 | 600 | 3.16×10^{-2} | 4.12×10^{-3} | 2.23×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 64 | 4000 | 80 | 1200 | 6.32×10^{-2} | 8.25×10^{-3} | 4.26×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 65 | 4000 | 80 | 3000 | 1.58×10^{-1} | 2.06×10^{-2} | 9.71×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 66 | 5000 | 5 | 3000 | 6.22×10^{-4} | 8.05×10^{-5} | 4.79×10^{-3} | 1.98×10^{-8} |
| 67 | 5000 | 20 | 600 | 1.99×10^{-3} | 2.58×10^{-4} | 1.52×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 68 | 5000 | 20 | 1200 | 3.98×10^{-3} | 5.15×10^{-4} | 3.04×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 69 | 5000 | 20 | 3000 | 9.95×10^{-3} | 1.29×10^{-3} | 7.53×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 70 | 5000 | 40 | 600 | 7.96×10^{-3} | 1.03×10^{-3} | 5.98×10^{-2} | 1.27×10^{-6} |
| 71 | 5000 | 40 | 1200 | 1.59×10^{-2} | 2.06×10^{-3} | 1.18×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 72 | 5000 | 40 | 3000 | 3.98×10^{-2} | 5.15×10^{-3} | 2.86×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 73 | 5000 | 60 | 600 | 1.79×10^{-2} | 2.32×10^{-3} | 1.31×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 74 | 5000 | 60 | 1200 | 3.58×10^{-2} | 4.64×10^{-3} | 2.54×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 75 | 5000 | 60 | 3000 | 8.95×10^{-2} | 1.16×10^{-2} | 5.97×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 76 | 5000 | 80 | 600 | 3.18×10^{-2} | 4.12×10^{-3} | 2.23×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 77 | 5000 | 80 | 1200 | 6.37×10^{-2} | 8.25×10^{-3} | 4.26×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |

Continued on next page

Continued

| No. | Re_w | d_p (μm) | ρ_p (kg/m^3) | St_k | St_f | v_t/u_{ff} | ϕ |
|-----|--------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 78 | 5000 | 80 | 3000 | 1.59×10^{-1} | 2.06×10^{-2} | 9.71×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 79 | 6000 | 5 | 3000 | 5.54×10^{-4} | 8.05×10^{-5} | 4.79×10^{-3} | 1.98×10^{-8} |
| 80 | 6000 | 20 | 600 | 1.77×10^{-3} | 2.58×10^{-4} | 1.52×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 81 | 6000 | 20 | 1200 | 3.54×10^{-3} | 5.15×10^{-4} | 3.04×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 82 | 6000 | 20 | 3000 | 8.86×10^{-3} | 1.29×10^{-3} | 7.53×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 83 | 6000 | 40 | 600 | 7.09×10^{-3} | 1.03×10^{-3} | 5.98×10^{-2} | 1.27×10^{-6} |
| 84 | 6000 | 40 | 1200 | 1.42×10^{-2} | 2.06×10^{-3} | 1.18×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 85 | 6000 | 40 | 3000 | 3.54×10^{-2} | 5.15×10^{-3} | 2.86×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 86 | 6000 | 60 | 600 | 1.59×10^{-2} | 2.32×10^{-3} | 1.31×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 87 | 6000 | 60 | 1200 | 3.19×10^{-2} | 4.64×10^{-3} | 2.54×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 88 | 6000 | 60 | 3000 | 7.97×10^{-2} | 1.16×10^{-2} | 5.97×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 89 | 6000 | 80 | 600 | 2.83×10^{-2} | 4.12×10^{-3} | 2.23×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 90 | 6000 | 80 | 1200 | 5.67×10^{-2} | 8.25×10^{-3} | 4.26×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 91 | 6000 | 80 | 3000 | 1.42×10^{-1} | 2.06×10^{-2} | 9.71×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 92 | 9000 | 20 | 600 | 1.69×10^{-3} | 2.58×10^{-4} | 1.52×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 93 | 9000 | 20 | 1200 | 3.38×10^{-3} | 5.15×10^{-4} | 3.04×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 94 | 9000 | 20 | 3000 | 8.46×10^{-3} | 1.29×10^{-3} | 7.53×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 95 | 9000 | 40 | 600 | 6.77×10^{-3} | 1.03×10^{-3} | 5.98×10^{-2} | 1.27×10^{-6} |
| 96 | 9000 | 40 | 1200 | 1.35×10^{-2} | 2.06×10^{-3} | 1.18×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 97 | 9000 | 40 | 3000 | 3.38×10^{-2} | 5.15×10^{-3} | 2.86×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 98 | 9000 | 60 | 600 | 1.52×10^{-2} | 2.32×10^{-3} | 1.31×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 99 | 9000 | 60 | 1200 | 3.05×10^{-2} | 4.64×10^{-3} | 2.54×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 100 | 9000 | 60 | 3000 | 7.61×10^{-2} | 1.16×10^{-2} | 5.97×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 101 | 9000 | 80 | 600 | 2.71×10^{-2} | 4.12×10^{-3} | 2.23×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 102 | 9000 | 80 | 1200 | 5.41×10^{-2} | 8.25×10^{-3} | 4.26×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 103 | 9000 | 80 | 3000 | 1.35×10^{-1} | 2.06×10^{-2} | 9.71×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 104 | 12000 | 20 | 600 | 1.34×10^{-3} | 2.58×10^{-4} | 1.52×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 105 | 12000 | 20 | 1200 | 2.68×10^{-3} | 5.15×10^{-4} | 3.04×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 106 | 12000 | 20 | 3000 | 6.70×10^{-3} | 1.29×10^{-3} | 7.53×10^{-2} | 3.18×10^{-7} |
| 107 | 12000 | 40 | 600 | 5.36×10^{-3} | 1.03×10^{-3} | 5.98×10^{-2} | 1.27×10^{-6} |
| 108 | 12000 | 40 | 1200 | 1.07×10^{-2} | 2.06×10^{-3} | 1.18×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 109 | 12000 | 40 | 3000 | 2.68×10^{-2} | 5.15×10^{-3} | 2.86×10^{-1} | 1.27×10^{-6} |
| 110 | 12000 | 60 | 600 | 1.21×10^{-2} | 2.32×10^{-3} | 1.31×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 111 | 12000 | 60 | 1200 | 2.41×10^{-2} | 4.64×10^{-3} | 2.54×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 112 | 12000 | 60 | 3000 | 6.03×10^{-2} | 1.16×10^{-2} | 5.97×10^{-1} | 2.86×10^{-6} |
| 113 | 12000 | 80 | 600 | 2.14×10^{-2} | 4.12×10^{-3} | 2.23×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 114 | 12000 | 80 | 1200 | 4.29×10^{-2} | 8.25×10^{-3} | 4.26×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |
| 115 | 12000 | 80 | 3000 | 1.07×10^{-1} | 2.06×10^{-2} | 9.71×10^{-1} | 5.08×10^{-6} |

Table 3: 2D cases at $Ra = 10^9$ and $Pr = 0.71$.

| No. | Re_w | d_p (μm) | ρ_p (kg/m^3) | St_k | St_f | v_t/u_{ff} | ϕ |
|-----|--------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 1 | 0 | 5 | 3000 | 7.05×10^{-4} | 1.74×10^{-4} | 1.03×10^{-2} | 3.52×10^{-10} |
| 2 | 0 | 20 | 3000 | 1.13×10^{-2} | 2.78×10^{-3} | 1.62×10^{-1} | 2.26×10^{-8} |
| 3 | 0 | 60 | 3000 | 1.02×10^{-1} | 2.50×10^{-2} | 1.29×10^0 | 6.09×10^{-7} |
| 4 | 0 | 80 | 3000 | 1.80×10^{-1} | 4.44×10^{-2} | 2.09×10^0 | 1.44×10^{-6} |
| 5 | 2000 | 5 | 3000 | 7.70×10^{-4} | 1.74×10^{-4} | 1.03×10^{-2} | 3.52×10^{-10} |
| 6 | 2000 | 20 | 3000 | 1.23×10^{-2} | 2.78×10^{-3} | 1.62×10^{-1} | 2.26×10^{-8} |
| 7 | 2000 | 60 | 3000 | 1.11×10^{-1} | 2.50×10^{-2} | 1.29×10^0 | 6.09×10^{-7} |

Continued on next page

Continued

| No. | Re_w | d_p (μm) | ρ_p (kg/m^3) | St_k | St_f | v_t/u_{ff} | ϕ |
|-----|--------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 8 | 2000 | 80 | 3000 | 1.97×10^{-1} | 4.44×10^{-2} | 2.09×10^0 | 1.44×10^{-6} |
| 9 | 4000 | 5 | 3000 | 8.83×10^{-4} | 1.74×10^{-4} | 1.03×10^{-2} | 3.52×10^{-10} |
| 10 | 4000 | 20 | 3000 | 1.41×10^{-2} | 2.78×10^{-3} | 1.62×10^{-1} | 2.26×10^{-8} |
| 11 | 4000 | 60 | 3000 | 1.27×10^{-1} | 2.50×10^{-2} | 1.29×10^0 | 6.09×10^{-7} |
| 12 | 4000 | 80 | 3000 | 2.26×10^{-1} | 4.44×10^{-2} | 2.09×10^0 | 1.44×10^{-6} |

Table 4: 3D cases at $Ra = 10^7$ and $Pr = 0.71$.

SUPPLEMENTARY MOVIES

Movie 1: Temperature fields and particle positions in two-dimension.

Movie 2: Slice of velocity component v and particle positions in three-dimension.