

Dynamik granularer Systeme

Theorie, Experimente
und numerische Experimente

Thorsten Pöschel

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
1 Einführung	5
Zeichenerklärung	10
2 Mathematische Modellierung	11
2.1 Übersicht	11
2.2 Molekulare Dynamik granularer Stoffe	11
2.3 Rauhe Kugeln	18
2.4 Modellierung von Fragmentationsprozessen	25
2.5 Ein vektorisierbarer MD-Algorithmus	32
2.6 Aus Kugeln zusammengesetzte Teilchen	40
2.7 Geometrisch komplexe Teilchen	42
3 Vibrationsinduzierte Phänomene	63
3.1 Übersicht	63
3.2 Konvektion und Segregation	78
3.3 Simulation der Konvektion in 3D	83
3.4 Konvektion unter Schwerelosigkeit	88
3.5 Die Rolle der Froudezahl	102
3.6 Periodisches Anschwellen granularer Materials	111
3.7 Konvektionsbewegung bei horizontaler Vibration	121
3.8 Dämpfungseigenschaften granularer Stoffe	125
4 Granulare Dynamik im rotierenden Zylinder	132
4.1 Übersicht	132
4.2 Simulationen des rotierenden Zylinders	136
5 Granulare Rohrströmungen	151
5.1 Übersicht	151
5.2 Einfachste „Experimente“	153
5.3 Molekulardynamische Untersuchungen	153
5.4 Langevinsche Dynamik	159
6 Sandhaufen und Lawinen	168
6.1 Übersicht zum Stand der Forschung	168
6.2 Schüttwinkel eines Haufens	170
6.3 Lawinenstatistik auf Sandhaufen	175

7	Schwenkbewegung granularer Systeme	179
7.1	Bekannte Phänomene bei Schwenkbewegungen	179
7.2	Experimentelle Resultate und MD-Simulationen	180
7.3	Vorschlag zur Erklärung des Effekts	183
8	Streuung eines granularen Stromes	184
8.1	Beschreibung des numerischen Experiments	184
8.2	Streueigenschaften	186
8.3	Wechselwirkung mit dem Hindernis	188
8.4	Dichte- und Temperaturfelder	193
8.5	Diskussion	195
9	Granulare Gase	196
9.1	Restitutionskoeffizienten	196
9.2	Ereignisgesteuerte Algorithmen	198
9.3	Restitutionskoeffizienten sind keine Konstanten!	200
9.4	Berechnung der Restitutionskoeffizienten	203
9.5	Der normale Koeffizient – analytische Lösung	216
9.6	Kühlrate granularer Gase	222
10	Phasendiagramm granularer Stoffe	224
10.1	Motivation	224
10.2	Die Gasphase	229
10.3	Phasen in geheizten Systemen	239
11	Reibung	248
11.1	Ein einfaches Modell trockener Reibung	248
11.2	Rollreibung einer viskosen Kugel	256
11.3	Rollreibung und Restitutionskoeffizient	260
11.4	Rollreibung eines harten Zylinders	261
	Beschreibung des Daumenkinos	270
	Literaturverzeichnis	271