

Kleine Wolken im grossen Baumgebiet

Versetzte Begegnung ohne Eigenrotation und Zentralgestirn

1 Antwort auf die Modellfragen

Die bisherigen Einzelwolken besitzen keine anfängliche Eigenrotation. Auch die Kollisionswolken erhalten nur eine Translationsgeschwindigkeit, keinen zusätzlichen Spin. Die versetzten Flugbahnen tragen jedoch Bahndrehimpuls. Es gibt kein Zentralgestirn: Die Gravitation stammt allein aus den Gaszellen. Ein Dichtemaximum ist keine zusätzliche Punktmasse. Rotierende, von einem Zentralgestirn dominierte Scheiben wären ein anderes Anfangsproblem und wurden hier nicht stillschweigend eingeführt.

2 Kompakte Anfangsbedingungen

Die gewünschte Grösse 0.1 wird als Durchmesser interpretiert. Im Wurzeldreieck $(0, 0)$, $(2, 0)$, $(0, 2)$ liegen Wolken mit $R = 0.05$ bei $c_1 = (0.57, 0.63)$ und $c_2 = (0.77, 0.59)$. Ihre Profile sind

$$\Sigma_i(x) = a_i \max(1 - |x - c_i|^2/R^2, 0)^3, \quad M_i = a_i \pi R^2/4.$$

Der glatte endliche Träger vermeidet die unklare Ausdehnung von Gausstails. Geschwindigkeiten: $(0.5, 0)$ und $(-0.5/0.7, 0)$; seitlicher Abstand 0.04. Der anfängliche thermische Druck ist $P_i = 0.02\Sigma_i$, $\gamma = 5/3$. Komponentenmasse, Impuls und Energie werden addiert. Quadratur: 8×8 Gauss-Punkte je Dreieck unter einer Duffy-Abbildung. Der Baum wird vorab lokal verfeinert und bleibt dann unverändert. Weiter aussen liegen abgestufte gröbere Puffer; der äussere Gasrand ist reflektierend. Die Gravitation verwendet $G = 1$, Baumparameter 0.3 und den expliziten experimentellen Zell-Selbstpotentialterm.

3 Fehlversuch und Anpassung

Der erste Ansatz hatte $a_1 = 1$, $a_2 = 0.7$, $\epsilon = 0.006$ und Hintergrunddichte 10^{-7} . Ein Pilot mit Tiefe 19 und 21084 Blättern benötigte bereits 28.51 Sekunden für $T = 0.008$. Die anschliessende Variante mit Zieltiefe 18 brach bei $T = 0.033134$ in Zelle 499253 wegen unzulässigen Drucks ab, noch vor der eigentlichen Begegnung. Ihre Dichte lag bei etwa $3.33 \cdot 10^{-4}$, ihr Druck bei $1.38 \cdot 10^{-13}$. Der angeforderte Stop erreichte keinen laufenden Prozess mehr. Der Abbruch darf nicht als blosse Laufzeitgrenze umgedeutet werden.

Die neue Demonstration verwendet $a_1 = 0.1$, $a_2 = 0.07$, $\epsilon = 0.012$, Hintergrunddichte 10^{-6} und einen engeren Verfeinerungspuffer. Ihre Massen sind $1.96350 \cdot 10^{-4}$ und $1.37445 \cdot 10^{-4}$. Mehrere Parameter wurden geändert; dies ist **kein isolierter Nachweis des Masseneinflusses**. Es wurden keine Druck-Floors oder nachträglichen Energieresets eingeführt. Die Wolken sind keine hydrostatischen Gleichgewichte und nicht einfach eine geometrische Verkleinerung bei unveränderter Gesamtmasse.

4 Erfolgreiche kompakte Rechnung

Der angepasste Lauf mit 6594 Blättern und Zieltiefe 18 erreichte $T = 0.2$ in 1814 akzeptierten Schritten. Seine Kernlaufzeit betrug 169.84 Sekunden auf sechs physischen Kernen; Pilot und Integration inklusive Ein-/Ausgabe benötigten zusammen etwa 176 Sekunden. Der Pilot allein hatte nur 2.34 Sekunden für $T = 0.008$ benötigt. Die daraus geschätzten 88 Sekunden waren zu optimistisch: Die Begegnungsphase ist teurer als der Anfang. Eine Pilotextrapolation ist keine garantierte obere Laufzeitgrenze.

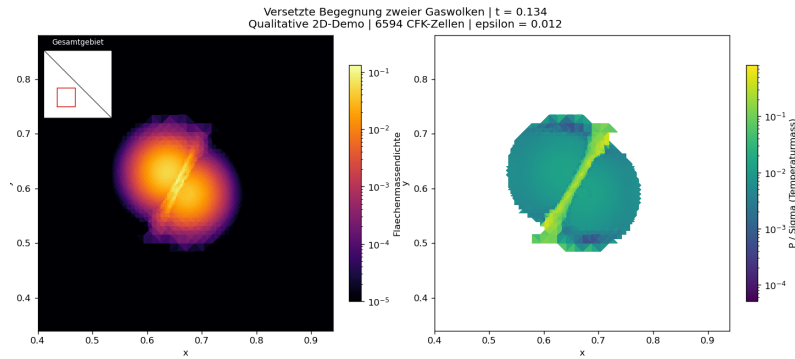
Die kleinste Zellskala $h = \sqrt{A}$ ist 0.0027621, gegenüber 0.0220971 im bisherigen uniformen 4096-Zellen-Film: Faktor acht in der Länge, Faktor 64 in der Fläche. Die Wolken sind gleichzeitig

kleiner geworden; daraus folgt nicht automatisch eine achtfach bessere Auflösung relativ zum Wolkendurchmesser. Hier gilt $D/h \simeq 36.2$. Der kleinste Randabstand der anfänglichen Wolkenträger beträgt etwa 0.40. Es wird dennoch keine bewiesene Randunabhängigkeit behauptet.

Diagnose	Wert
Minimaler akzeptierter Druck	$3.97 \cdot 10^{-9}$
Minimale akzeptierte Dichte	$2.10 \cdot 10^{-7}$
Maximale Dichte	0.1330
Maximale relative Massenabweichung	$2.10 \cdot 10^{-14}$
Energieabweichung bei $T = 0.1$	$-2.28 \cdot 10^{-6}$
Energieabweichung bei $T = 0.2$	$-2.78 \cdot 10^{-6}$

Die Energieabweichungen beziehen sich auf $(E_{\text{gas}} + W - E_{\text{gas},0} - W_0)/(|E_{\text{gas},0}| + |W_0|)$, mit direkter Paarrechnung einschliesslich des verwendeten Diagonalterms. Es wurden nur Anfang, Mitte und Ende geprüft; daraus folgt kein Maximum für Zwischenzeiten.

Der Bahndrehimpuls am Anfang ist etwa $-3.927 \cdot 10^{-6}$. Der Massenanteil auf der feinsten Stufe sinkt von 99.41 % auf 77.72 %. Der feste Bildausschnitt enthält zu allen Ausgaben mehr als 99.49 % der gesamten Gasmasse, einschliesslich Hintergrund. Die spätere Strömung trifft also teilweise auf gröbere Zellen; eine mitwandernde Verfeinerung wurde nicht vorgetäuscht.



5 Weiterer Auflösungspilot

Der Tiefe-19-Pilot (10918 Blätter) benötigte 17.19 Sekunden und prognostizierte 461 statt der noch vorgesehenen 310 Sekunden. Die Produktion wurde **nicht gestartet**; dies ist kein numerischer Abbruch. Daten: `fine_pilot`. Der Film zeigt nur Tiefe 18; ein Vergleich zweier abgeschlossener Auflösungsstufen fehlt noch.

6 Einordnung und Reproduzierbarkeit

Die Vorverfeinerung konzentriert Rechenarbeit auf die Wolken und ihre Begegnung, nicht auf das ganze Wurzeldreieck. Eine gleichmässige Tiefe 18 würde 262144 Zellen erfordern. Ein Film mit 225 gespeicherten Zuständen bei 15 Bildern pro Sekunde dauert genau 15 Sekunden. Dichte und Temperaturmass P/Σ werden mit festen Farbskalen dargestellt; das Temperaturfeld wird unter $\Sigma = 10^{-5}$ nur in der Darstellung ausgeblendet. Eine Übersicht zeigt die Lage des Ausschnitts im Gesamtgebiet.

Parameter, Prüfsummen und Diagnosen stehen in `results/status.json`, der Fehlversuch unter `attempt01`. Quellstände und Eingaben sind archiviert; Aufrufe siehe README. Filmqualität ersetzt keine Konvergenzprüfung. Massenserie, Zellgravitation, Gleichgewicht und dynamische Adaktivität bleiben gesonderte Arbeiten.