

Wann sollten wir verfeinern?

Feinere Referenzen und eine unsymmetrische Gasdemonstration

1 Begriffe: massenarme oder massereiche Scheibe

Mit „dick“ meint der Nutzer hier eine hohe Flächenmassendichte Σ , nicht eine vertikale Ausdehnung. Der Code beschreibt eine zweidimensionale Massenschicht mit geglätteter dreidimensionaler Newton-Gravitation. Die Glättung ϵ ist bislang kein aus einer vorgegebenen vertikalen Dichteverteilung hergeleitetes Modell.

Bei gleicher Temperatur, Form und Grösse gilt unter Skalierung $\Sigma \mapsto a\Sigma$, $P \mapsto aP$: Die Druckbeschleunigung $-\nabla P/\Sigma$ bleibt gleich, während die Selbstgravitation mit a wächst. Mehr Masse kann somit den Kollaps begünstigen. Die bisherigen Versuche variierten die Auflösung und Glättung, nicht systematisch die Gesamtmasse. Sie sind kein Nachweis für das Verhalten massearmer Scheiben. Rotationsstabilität wird bei den anfänglich ruhenden Wolken nicht getestet.

Der im vorigen Bericht auffällige Gesamtradius $R_{\text{rms}}^2 = \sum m_i |x_i - x_{\text{cm}}|^2 / \sum m_i$ gewichtet weit entferntes Gas mit dem Abstandsquadrat. Eine Veränderung dieses Wertes ist daher nicht gleichbedeutend mit einer starken physikalischen Reaktion der inneren Wolke. Der Vergleich gleicher innerer Zellen war wesentlich kleiner.

2 Kandidaten für die Verfeinerung

Mit $h_i = \sqrt{A_i}$ und $c_{s,i}^2 = \gamma P_i / \Sigma_i$ betrachten wir

$$\eta_{\epsilon,i} = h_i / \epsilon, \quad \eta_{g,i} = G \Sigma_i h_i / c_{s,i}^2,$$

$$\eta_{J,i} = \max_{j \text{ Kanten-Nachbar von } i} \left\{ \frac{|\Sigma_i - \Sigma_j|}{\Sigma_i + \Sigma_j}, \frac{|P_i - P_j|}{P_i + P_j} \right\}.$$

Dies sind dimensionslose Auswahlhilfen. η_g vergleicht eine lokale Gravitationsskala mit dem Druck; es ist kein bewiesenes Jeans-Kriterium für unser geglättetes Scheibenmodell. Ein reines Beschleunigungskriterium könnte auch eine gleichförmige Beschleunigung unnötig verfeinern. η_ϵ hilft beim gesamten Auflösungs niveau, kann auf einem uniformen Gitter aber keine einzelnen Zellen priorisieren.

Die Indikatoren werden bei $T = 0.2$ ausgewertet. Danach werden die obersten 20 % der Zellen markiert und der darin enthaltene Anteil der absoluten Massendifferenz gegenüber der feineren Rechnung bei $T = 0.8$ bestimmt. Als Kontrollen dienen Dichte allein und eine gleichverteilte Auswahl. Die Summe $\eta_J + \eta_g$ wird ohne Anpassung ihrer Gewichte geprüft. Der Versuch nutzt zunächst Kanten-Nachbarn; Ecknachbarn können später zusätzlich einbezogen werden.

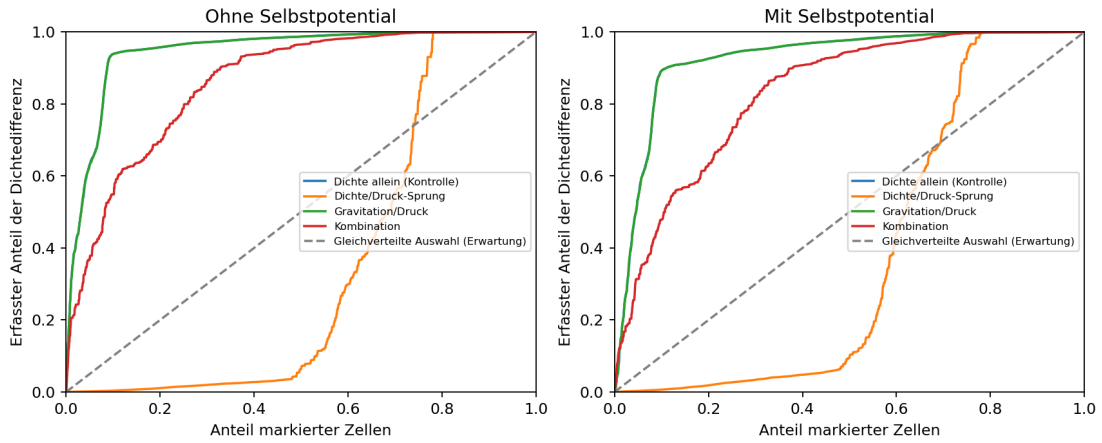
3 Feinere Referenz und Indikatorprobe

Beide Rechnungen mit 8192 Zellen und $\epsilon = 0.06$ gelangen bis $T = 0.8$. Ohne Diagonalterm wurden 905, mit Diagonalterm 906 Schritte akzeptiert. Die Kernlaufzeiten lagen bei 110 bzw. 108 Sekunden mit drei Threads. Nach konservativer Restriktion beträgt die relative L^1 -Dichtedifferenz zwischen 4096 und 8192 Zellen ohne Diagonale 2.66 %, mit Diagonale 1.53 %. Die zuvor gemessenen 0.076 % zwischen lokalem Baum und uniformem 4096-Gitter waren somit *keine* entsprechende absolute Genauigkeitsgarantie. Beide können nahe beieinanderliegen und dennoch von einer feineren Rechnung messbar abweichen.

Die folgende Tabelle zeigt, welcher Anteil der gesamten absoluten Massendifferenz bei $T = 0.8$ in den bei $T = 0.2$ höchstbewerteten 20 % der Zellen liegt:

Auswahl	ohne Diagonale	mit Diagonale
Dichte allein	95.76 %	92.61 %
Dichte-/Drucksprung η_J	1.07 %	1.86 %
Gravitation/Druck η_g	95.76 %	92.61 %
Ungewichtete Summe $\eta_J + \eta_g$	69.53 %	63.47 %
Gleichverteilte Auswahl: Erwartung	20 %	20 %

Die lokale Gravitationskennzahl identifiziert hier die zentralen dichten Zellen, ist aber gegenüber der einfachen Dichterauswahl nicht besser. Die relativen Sprünge priorisieren dagegen vor allem dünnes Aussengas mit kleinen absoluten Massen. Dieser Befund hängt auch von der massengewichteten Fehlerdiagnose ab; er bedeutet nicht, dass Sprungindikatoren für Schocks nutzlos sind. Die beiden Modellvarianten derselben Gausswolke sind keine unabhängige Validierung auf verschiedenen Strömungen.

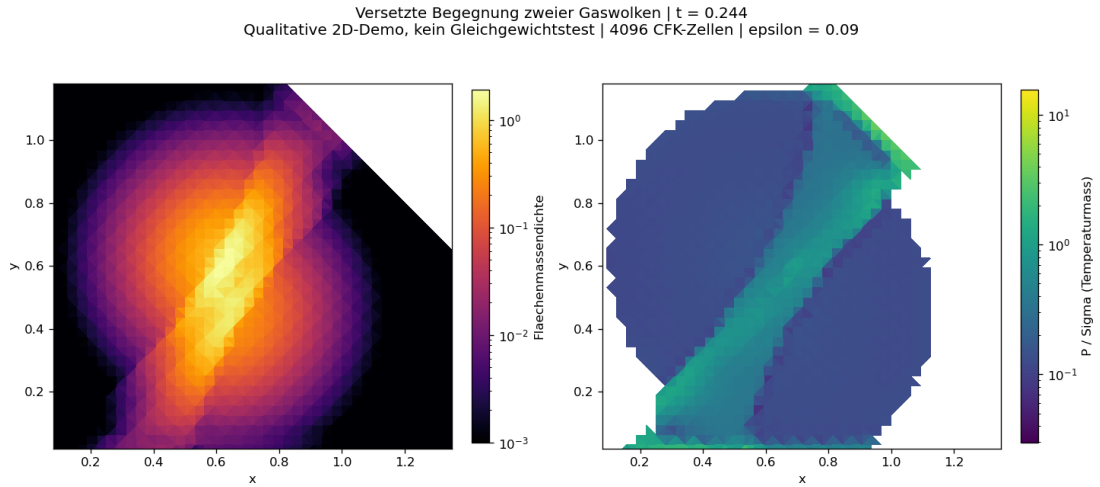


Ein erster praktikabler Ansatz wäre eine begrenzte Zellmasse bzw. genügend Auflösung in massereichen Bereichen, ergänzt durch getrennte Schock- und Glättungsaufhebungsbedingungen. Ihre Schwellen werden in diesem Bericht bewusst nicht als bereits kalibriert ausgegeben.

4 Versetzte Begegnung zweier Wolken

4096 feste CFK-Zellen, $G = 1$, $\epsilon = 0.09$, experimenteller Selbstterm, reflektierender Rand, HLLC/P1/SSPRK2, $\gamma = 5/3$. Zwei Gaussprofile der Breite 0.11 mit Spitzen 1 und 0.7 liegen bei $(0.42, 0.62)$ und $(0.92, 0.46)$. Ihre Geschwindigkeiten sind $(0.9, 0)$ und $(-1.2857, 0)$; der nominelle seitliche Abstand der Flugbahnen ist 0.16. Ein Hintergrund $\Sigma = 10^{-4}$ ruht. Die thermischen Komponentendrucke erfüllen $P = 0.2\Sigma$. Massen, Impulse und Energien werden summiert; wo sich die Komponenten bereits anfangs überlappen, trägt die nicht aufgelöste Geschwindigkeitsstreuung zur inneren Energie bei.

Die komponentenweisen Massen sind 0.07602 und 0.05322. Der Lauf bis $T = 0.65$ benötigt 2473 Schritte und etwa 152 Sekunden Rechenzeit mit drei Threads bei paralleler Rechnerlast. Minimaler akzeptierter Druck: $7.22 \cdot 10^{-6}$; maximale Dichte: 1.9103. Die maximale relative Massenabweichung beträgt $1.08 \cdot 10^{-14}$. An 21 Ausgabezeiten direkt geprüft, beträgt die maximale normierte Energieabweichung $1.22 \cdot 10^{-5}$. Zwischen diesen Stichproben wird kein Maximum behauptet.



Der Film zeigt 161 gespeicherte Zustände mit 15 Bildern pro Sekunde, also etwa 10.7 Sekunden. Dichte und Temperaturmass P/Σ haben feste Farbskalen. Die Temperaturdarstellung blendet Zellen unter $\Sigma = 0.001$ aus. Dies betrifft nur die Darstellung. **Qualitative Demonstration:** Die Wolken sind nicht im hydrostatischen Gleichgewicht; Eigendynamik, Begegnung und später gegebenenfalls Randwirkung sind nicht durch Einzelwolkenkontrollen getrennt.

5 Nächste Schritte und Reproduzierbarkeit

Ein Verfeinerungsindikator muss noch auf anderen Massen, Temperaturen, Schocks und unsymmetrischen Strömungen geprüft werden. Eine feste Markierungsquote ersetzt keine Fehlertoleranz. Vor automatischer Adaptivität mit Gravitation bleiben konservativer Gittertransfer und Potentialenergieänderung beim Baumumbau offen. Ebenso offen bleiben der massenidentische Randvergleich und eine direkte Referenz für ausgedehnte Zellmassen. Anfangsbedingungen, Prüfsummen, Zustände, Auswertung und Quellstand sind archiviert; Aufrufe stehen im README.