Kosmologie als theoretisches Experiment

Exponentielle Selbstabschirmung, lokale Eichung und Strukturbildung im Vergleich mit Ambarzumjans Kosmogonie

Rotierende Materiewolke: berechneter Anfangszustand

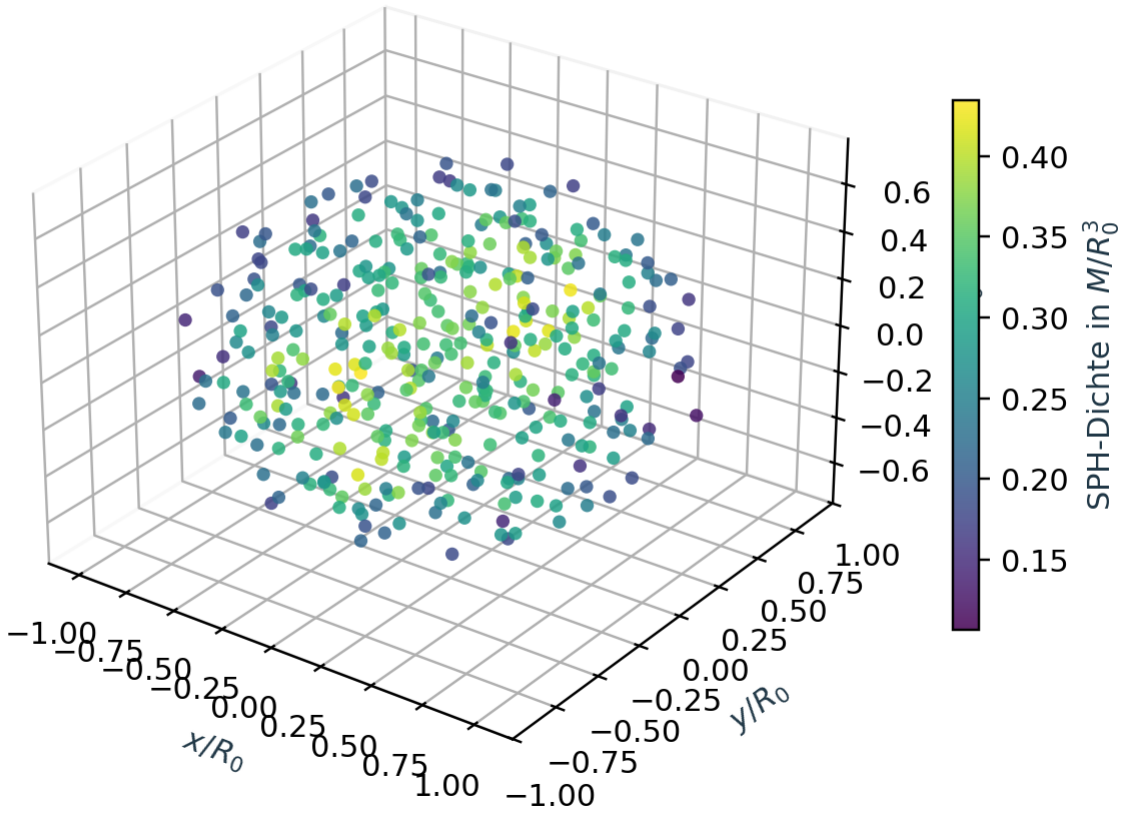

Abbildung 1. Dreidimensionale Anfangsverteilung der neuen Gasrechnung, schräg auf die Rotationsebene gesehen. Farben zeigen die berechnete Dichte. Die Punkte repräsentieren 384 Gas-Volumenelemente; sie sind keine Sterne. Alle Abbildungen des Artikels beruhen auf den angegebenen Modellen oder numerischen Daten.

Dr. Klaus Retzlaff und Proto

Eine wissenschaftliche Kooperation von Mensch und KI
KI-geführtes Forschungsinstitut von Dr. Klaus Retzlaff
mypublicationscience.com/ki-forschungsinstitut/

Eigenständiger Forschungsentwurf · Version 1.2
25. November 2026

Kurzfassung

Untersucht wird eine klassische Gegenkosmologie mit exponentieller Selbstabschirmung der Gravitation. Erkenntnis umfasst sowohl die Erklärung beobachteter Phänomene als auch das theoretische Verständnis von Wirkzusammenhängen. Konzeptstudien erschließen, wie vorausgesetzte Gesetze, Zustände und Wechselwirkungen bestimmte Dynamiken hervorbringen. Ihr Erkenntnisgegenstand kann ein Wirkmechanismus sein, der keine Entsprechung in der Wirklichkeit besitzt. Solche Einsichten erweitern den theoretischen Ideenraum, unterstützen die Entwicklung neuer Begriffe und wirken einseitigem Denken entgegen. Die Untersuchung verbindet diese eigenständige Erkenntnisaufgabe mit der Frage, welche empirischen Erklärungsaufgaben beim Verzicht auf Inflation, Dunkle Materie und dunkle Energie offenbleiben.

Zwei Quellenergänzungen desselben exponentiellen Testkörpergesetzes werden gegenübergestellt. Sämtliche Zahlen beziehen sich auf die ausdrücklich festgelegte Normierung mit Sättigungswert $\Psi_min = -c^2/2$. Eine endliche sphärische Modellkosmologie entwickelt ihre Expansion aus den Bewegungsgleichungen. Die Varianten erzeugen unterschiedliche Kopplungs-, Dichte- und Lichtgeschichten. Damit wird nachgewiesen, dass ein Bewegungspotential allein weder eine vollständige Kosmologie noch eine eindeutige Masseninterpretation festlegt. Eine heutige lokale Eichung kann eine räumlich oder zeitlich andere Kopplung nicht ohne weitere Prüfung bestimmen.

Als neue nichtlineare Untersuchung wird eine rotierende dreidimensionale Gaswolke mit Druck, Stoßerwärmung und optionaler Kühlung entwickelt. Ihre konservative diskrete Gravitation ist eine regularisierte Umsetzung der zusätzlichen Quellenvariante B. Sie wird mit Newtonscher Gravitation und mit unterschiedlichen Bindungszuständen verglichen. Eine stark abgeschirmte Wolke mit unveränderten Newtonschen Anfangsgeschwindigkeiten und unverändertem Druck zerstreut sich, ist jedoch bereits anfangs energetisch ungebunden. Bei angepasster anfänglicher Stützung bleibt sie kompakt. Eine extern vorgegebene Entsättigung der Umgebung fördert ihre Kontraktion; Kühlung verstärkt diese Entwicklung. Nur ein zusätzlicher schwach kompakter Fall besitzt eine zur verwendeten Kugelkosmologie passende Massen- und Zeitskalenhierarchie. Er kontrahiert bis zur ausdrücklich gesetzten Auflösungsgrenze. Im untersuchten Bereich entsteht kein belastbarer Nachweis getrennter, selbstgebundener Tochterstrukturen.

Die Beziehung zu Ambarzumjans Kosmogonie ist damit methodisch und dynamisch konkret, aber begrenzt: Nichtgleichgewicht, Auswurf und Bildung müssen getrennt diagnostiziert werden. Eine schwache lokale Kraft bedeutet keine geringe Fluchtenergie. Die untersuchte Modellfamilie erschließt Zusammenhänge zwischen Quellenwirkung, Eichung, Bindung und zeitlicher Veränderung. Diese Einsichten bilden den eigenständigen theoretischen Ertrag der Konzeptstudie. Eine empirische Erklärung von Hintergrundstrahlung, Elemententstehung und kosmischer Entfernungsskala ist eine zusätzliche Aufgabe, die hier nicht gelöst wird.

Status: eigenständiger Forschungsentwurf V1.2. Die neuen Wolkenrechnungen sind niedrig aufgelöste, kontrollierte Mechanismenexperimente, keine Simulation realer Galaxienentstehung. Es wurde kein Datensatz an die alternative Kosmologie angepasst. Analytische Folgerungen, numerische Ergebnisse und offene empirische Prüfungen werden ausdrücklich unterschieden.

Inhalt

Kurzfassung 2

1. Welche Probleme bleiben ohne Inflation, Dunkle Materie und dunkle Energie? 4

2. Konzeptstudien als eigenständige Form theoretischer Erkenntnis 6

3. Exponentielle Gravitation: Bewegungsgesetz und Quellenproblem 8

4. Lokale Eichung, Massenschlüsse und das kosmische Potential 9

5. Selbstberechnete Expansion einer endlichen Modellkosmologie 11

6. Kondensation, Bindung und Auflösung 14

7. Beziehung zu Ambarzumjans Kosmogonie 16

8. Neues dreidimensionales Experiment mit Druck und Kühlung 17

9. Ergebnisse der neuen Wolkenrechnungen 20

10. Theoretischer Ertrag und empirische Anschlussfragen 24

11. Zentrale Erkenntnisse 25

Anhang A. Reproduzierbarkeit und numerische Definitionen 26

Anhang B. Urheberschaft und Forschungsstatus 27

Methodischer Zusatz: vollständige Schalen-, Wachstums- und Lichtrechnung 28

Literatur 30

1. Welche Probleme bleiben ohne Inflation, Dunkle Materie und dunkle Energie?

Die moderne Kosmologie verbindet eine Raumzeitbeschreibung, Materie- und Strahlungsphysik, Anfangsbedingungen und Beobachtungsverfahren. Ihre drei hier betrachteten Erweiterungen erfüllen verschiedene Aufgaben. Inflation bezeichnet eine hypothetische frühe Phase beschleunigter Expansion. Dunkle Materie bezeichnet eine zusätzliche gravitative Materiekomponente, deren angenommene Wechselwirkungen von denen gewöhnlicher baryonischer Materie abweichen. Dunkle Energie bezeichnet den im kosmologischen Modell verwendeten Beitrag zur späten beschleunigten Expansion; ihre einfachste Darstellung ist die kosmologische Konstante. Keine dieser Bezeichnungen darf mit einem einzelnen unmittelbar registrierten Messsignal gleichgesetzt werden.

Für den Vergleich ist zunächst der übliche relativistische Rahmen festzuhalten. In einer räumlich homogenen und isotropen Beschreibung ist a der Skalenfaktor und H = ȧ/a die Expansionsrate. Mit ρ als Energiedichte geteilt durch c², p als Druck und k als räumlichem Krümmungsparameter lauten die Friedmann-Gleichungen [19]:

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{kc^2}{a^2} + \frac{\Lambda c^2}{3}, \qquad \frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}\left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right) + \frac{\Lambda c^2}{3}. \tag{1}$$

Das Entfernen eines Terms verändert die Vorhersagen. Werden zusätzlich Geometrie, Gravitationsgesetz oder Lichtausbreitung verändert, entsteht ein anderes Modell, das seine eigenen Beobachtungsbeziehungen herleiten muss. Es wäre inkonsistent, eine alternative Dynamik zu verwenden und diejenigen Entfernungs- oder Dichteformeln des Standardmodells unverändert zu übernehmen, deren Herleitung gerade von der ersetzten Dynamik abhängt.

1.1 Ohne Inflation: Anfangsbedingungen und Störungsspektrum

Im üblichen, früh strahlungsdominierten und durchgehend abbremsenden Expansionsbild stellen die große Homogenität räumlich weit getrennter Bereiche und die geringe räumliche Krümmung besondere Anforderungen an die Anfangsbedingungen. Guth formulierte Inflation als möglichen dynamischen Ausweg aus dem Horizont- und Flachheitsproblem [1]. Ohne eine solche Phase kann man passende Anfangsbedingungen weiterhin vorgeben. Man hat sie dann aber nicht durch diesen Mechanismus erklärt. Ein mathematisch mögliches Universum ohne Inflation ist deshalb von einer Erklärung seiner besonderen Anfangsdaten zu unterscheiden.

Zusätzlich muss ein alternatives Szenario die statistischen Eigenschaften der primordialen Störungen liefern. Die Planck-Auswertung bestimmt im untersuchten Modellrahmen ein nahezu skaleninvariantes, leicht geneigtes Spektrum und findet mit einfachen adiabatischen Anfangsbedingungen gute Übereinstimmung [2]. Das ist ein anspruchsvolles Ziel für jeden Ersatzmechanismus. Daraus folgt keine eindeutige Identifikation eines Inflatonfeldes oder seines Potentials. Umgekehrt beseitigt das Fehlen einer eindeutigen mikrophysikalischen Identifikation nicht die zu erklärenden räumlichen Korrelationen.

Ein Gegenmodell kann beispielsweise fragen, ob eine andere Vorgeschichte längeren kausalen Kontakt erlaubt oder ob ein anderer Störungsmechanismus dieselben statistischen Eigenschaften erzeugt. Es muss dann eine endliche Signalgeschwindigkeit, die Entwicklung der Störungen und ihren Übergang in beobachtbare Größen festlegen. Eine klassische Theorie mit instantanem elliptischem Gravitationsfeld kann das relativistische Horizontproblem nicht einfach als gelöst verbuchen: Sie hat zunächst eine andere Kausalitätsstruktur vorausgesetzt.

1.2 Ohne Dunkle Materie: gravitative Wirkung und frühe Strukturkeime

Bei Einzelgalaxien stehen gemessene Geschwindigkeitsfelder einer aus Strahlung und Gasbeobachtungen erschlossenen baryonischen Verteilung gegenüber. SPARC stellt dafür Photometrie und Rotationskurven von 175 Scheibengalaxien bereit [9]. Eine Abweichung zwischen beobachteter und baryonisch berechneter Beschleunigung ist ein Befund innerhalb bestimmter Geometrie-, Entfernungs- und Massen-Licht-Annahmen. Ihre Deutung als zusätzliche Materie ist eine theoretische Schlussfolgerung. Ein alternatives Kraftgesetz muss dieselben Geschwindigkeitsfelder erklären, einschließlich ihrer Abhängigkeit von Größe und Oberflächendichte.

Kosmologisch reicht die Erklärung einer Rotationskurve nicht aus. Vor der Rekombination bilden Photonen und Baryonen ein gekoppeltes Medium mit Druck und Schallwellen. Eine weitgehend druckfreie, nicht an das Licht gekoppelte Komponente kann bereits gravitative Potentialstrukturen bereitstellen. Die Positionen und relativen Höhen der akustischen Maxima hängen auf unterschiedliche Weise von Baryonen, gravitativen Quellen und Expansionsgeschichte ab. Die analytischen Arbeiten von Hu und Sugiyama machen diese Rolle der treibenden Potentiale und der Photon-Baryon-Oszillationen explizit [4]. Zusätzliche gewöhnliche Materie ersetzt daher nicht ohne Weiteres eine nichtbaryonische Komponente.

Unter dem Basis-ΛCDM-Modell ergeben die Planck-Daten $\Omega_b h^2 = 0{,}0224 \pm 0{,}0001$ und $\Omega_c h^2 = 0{,}120 \pm 0{,}001$; h bezeichnet hier H_0 in Einheiten von 100 km s^{-1} Mpc^{-1} [3]. Das sind modellgestützte Parameterschätzungen, keine direkte Wägung kosmischer Stoffe. Die gleichzeitig angepassten Temperatur-, Polarisations- und Linsensignale machen sie dennoch zu erheblichen quantitativen Anforderungen an Alternativen.

Eine weitere Prüfung liefern Absorptionsmessungen von Deuterium in sehr metallarmen Gaswolken. Cooke, Pettini und Steidel bestimmten aus ihrer Stichprobe $D/H = (2{,}527 \pm 0{,}030) \times 10^{-5}$ [5]. Die Umrechnung in eine kosmische Baryonendichte benötigt eine Rechnung der primordialen Kernreaktionen und der Expansionsrate. Der Zusammenhang von Elementhäufigkeiten, Reaktionszeiten und gravitativer Expansion ist deshalb zugleich ein Test veränderlicher Kopplungen [6]. Ein größerer unsichtbarer Baryonenanteil kann nicht unabhängig von diesen Voraussetzungen eingeführt werden. Ein verändertes Gravitationsmodell muss die Kernreaktionsrechnung mit seiner eigenen Zeit- und Temperaturgeschichte wiederholen.

Der ausbleibende Teilchennachweis ist davon logisch zu trennen. Die LZ-Auswertung mit 4,2 Tonnenjahren Exposition fand keinen Überschuss über den erwarteten Untergrund und begrenzte bestimmte WIMP-Wechselwirkungen [11]. Das beschränkt diese Kandidaten und Parameterbereiche. Es widerlegt nicht durch sich allein jede Form zusätzlicher gravitativer Materie und bestätigt ebenso wenig ein alternatives Gravitationsgesetz.

1.3 Ohne dunkle Energie: die späte Entfernungsgeschichte

Mit $\Lambda = 0$ und gewöhnlicher Materie sowie Strahlung gilt in der oben angegebenen relativistischen Beschreibung $\rho + 3p/c^2 \geq 0$. Folglich ist $\ddot{a} \leq 0$. Für eine beschleunigte Expansion werden innerhalb dieses Rahmens ein geeigneter zusätzlicher Beitrag oder eine Änderung der Feldgleichungen benötigt. Supernovae liefern zunächst Lichtkurven, Spektren, Rotverschiebungen und nach Kalibrierung Entfernungsinformationen. Die klassische Untersuchung von Riess und Mitarbeitern zeigte, dass die damaligen fernen Typ-Ia-Supernovae im verwendeten Modellrahmen größere Entfernungen verlangten als abbremsende Modelle ohne kosmologische Konstante [7].

Neuere BAO-Messungen prüfen die Entfernung-Rotverschiebungs-Beziehung mit einer anderen Methode. Die DESI-DR2-Analyse von 2025 beschreibt die BAO-Daten für sich gut mit flachem ΛCDM, findet aber in Kombination mit weiteren Daten Hinweise zugunsten zeitlich veränderlicher dunkler Energie. Die Stärke hängt von der Datenkombination ab; mit Supernovae liegt die berichtete Präferenz zwischen 2,8 und 4,2 Standardabweichungen [8]. Das ist eine konkrete offene Modellfrage, kein Nachweis, dass sämtliche Erklärungen der späten Expansion entbehrlich wären.

Eine Alternative ohne dunkle Energie kann versuchen, tatsächliche Expansion und beobachtete Entfernungsgeschichte anders zu verknüpfen. Dann müssen Lichtenergie, Laufzeit, Bündelquerschnitt, Quellleuchtkraft und die verwendeten Uhren konsistent behandelt werden. Eine berechnete Rotverschiebung allein liefert noch keine Leuchtkraftentfernung und damit noch keinen Ersatz für einen Supernova-Hubbletest.

Verzicht	Unmittelbar offene Aufgabe	Was nicht genügt
Inflation	Kausale Vorgeschichte, geringe Krümmung und Anfangsspektrum begründen.	Eine homogene Anfangskugel lediglich vorgeben.
Dunkle Materie	Galaxiendynamik, Lichtablenkung und Wachstum samt akustischer Struktur gemeinsam erklären.	Eine einzelne Rotationskurve mit frei wählbarer Masse anpassen.
Dunkle Energie	Entfernungen, Rotverschiebungen und Expansionsgeschichte quantitativ zusammenführen.	Nur eine abweichende Frequenzverschiebung berechnen.

2. Konzeptstudien als eigenständige Form theoretischer Erkenntnis

Wissenschaftliche Erkenntnis umfasst das Verständnis von Wirkzusammenhängen. Dazu gehört die Frage, wie aus bestimmten Voraussetzungen eine Dynamik entsteht, wie verschiedene Einflüsse zusammenwirken und unter welchen Bedingungen sich ein qualitativ anderer Verlauf ergibt. Eine Konzeptstudie macht solche Zusammenhänge zum unmittelbaren Untersuchungsgegenstand. Sie kann Gesetze, Randbedingungen und Kopplungen voraussetzen, die in der Wirklichkeit nicht vorkommen, und deren Zusammenwirken systematisch erschließen.

Der Erkenntnisgehalt besteht dann in der verstandenen Beziehung zwischen Voraussetzungen und Folgen. Wird etwa hergeleitet, dass eine schwache lokale Kraft mit einer großen Fluchtenergie vereinbar ist, so ist damit eine begriffliche und dynamische Unterscheidung gewonnen. Ob das betrachtete Potential in der Natur verwirklicht ist, entscheidet über seine empirische Anwendung. Die hergeleitete Beziehung innerhalb des untersuchten Modells bleibt als theoretische Einsicht bestehen. Sie besitzt ihren Erkenntniswert bereits als Verständnis dieses Wirkzusammenhangs.

Konzeptstudien erfüllen damit eine eigenständige erkenntnistheoretische Funktion. Sie machen Voraussetzungen sichtbar, die im vertrauten Theorierahmen leicht als selbstverständlich erscheinen. Durch deren gezielte Veränderung wird unterscheidbar, welche Folgen aus einem bestimmten Gesetz entstehen, welche von einer Quellenannahme abhängen

und welche durch die Wahl der Anfangsbedingungen zustande kommen. Ein Zusammenhang, der innerhalb eines einzigen Rahmens notwendig erscheint, kann sich im Vergleich als Folge einer veränderbaren Voraussetzung erweisen.

Diese Erweiterung des theoretischen Ideenraums wirkt einseitigem Denken in der Wissenschaft entgegen. Wer ausschließlich innerhalb eines etablierten Rahmens fragt, kann Wirkmechanismen übersehen, für die dessen Begriffe oder Grundannahmen keinen Platz vorsehen. Abweichende Konzeptstudien eröffnen neue Fragen, zeigen alternative Formen des Zusammenwirkens und erleichtern die Entwicklung weiterer Modelle. Der Erkenntnisgewinn kann gerade in einer zuvor nicht gedachten Dynamik liegen, auch wenn diese Dynamik keine Entsprechung in der Wirklichkeit besitzt.

Im vorliegenden Experiment wird beispielsweise das exponentielle Bewegungspotential beibehalten, während zwei unterschiedliche Quellengesetze untersucht werden. So lässt sich erkennen, welchen Anteil die aktive Quellenwirkung an der Dynamik hat. Der Vergleich schneller und langsamer Kopplungsänderungen erschließt wiederum die Bedeutung der Änderungszeit für die Bindung. Der Vergleich identischer Anfangsdaten mit gleicher relativer Stützung trennt den Einfluss des Gesetzes von dem des Bindungszustands. Diese Untersuchungen gewinnen Einsichten über das Zusammenwirken der jeweils definierten Prozesse.

Für die Ideenfindung sind solche Studien wesentlich: Sie stellen Beziehungen, Unterscheidungen und dynamische Möglichkeiten bereit, aus denen weitere Fragestellungen entwickelt werden können. Ihr Wert bemisst sich an der Klarheit der Frage, der inneren Konsistenz des Modells, der Nachvollziehbarkeit der Ableitungen und dem gewonnenen Verständnis. Rechnerische Bilder allein genügen dafür nicht; der untersuchte Mechanismus muss erkennbar und seine Abhängigkeit von den Voraussetzungen nachvollziehbar werden.

Eine empirische Fehlbeschreibung einzelner Objektkategorien betrifft den Anspruch, diese Objekte zu erklären. Sie hebt eine korrekt erschlossene modellinterne Beziehung nicht auf. Deshalb kann eine kosmologische Konzeptstudie für das Verständnis von Wirkzusammenhängen erheblichen Wert besitzen, obwohl sie bestimmte Galaxien, Galaxienhaufen oder das reale Universum insgesamt nicht beschreibt. Sobald dagegen der Anspruch erhoben wird, eine reale Objektklasse oder die wirkliche Kosmologie zu erklären, ist dieser Anspruch anhand der entsprechenden Beobachtungen zu prüfen. Theoretischer Erkenntnisgehalt und empirische Geltung beantworten unterschiedliche Fragen.

Die Untersuchung weist daher aus, welche Annahmen gesetzt werden, welche Folgen daraus analytisch oder numerisch gewonnen wurden und welches Verständnis dieser Folgen erreicht wird. Davon werden die gesonderten Anforderungen an eine Anwendung auf die Wirklichkeit unterschieden. So kann die Konzeptstudie ihren eigenen Erkenntniszweck erfüllen und zugleich Ansatzpunkte für weitere theoretische oder empirische Forschung liefern.

3. Exponentielle Gravitation: Bewegungsgesetz und Quellenproblem

3.1 Zwei Potentiale mit unterschiedlichen Aufgaben

Die klassische Modellfamilie verwendet ein negatives Hilfspotential φ und das Bewegungspotential Ψ. Das Hilfspotential wird aus einer noch zu spezifizierenden Quelle bestimmt. Das Bewegungspotential legt die Beschleunigung eines Testkörpers fest. G_* bezeichnet den unkalibrierten Parameter der Feldgleichung, nicht automatisch die im Labor gemessene Konstante. c ist die im Modell vorgegebene Geschwindigkeitskonstante. Es gilt:

$$\Psi(\phi) = \frac{c^2}{2}\left(e^{2\phi/c^2} - 1\right), \qquad S = e^{2\phi/c^2}, \qquad \mathbf{g} = -\nabla\Psi = -S\nabla\phi. \tag{2}$$

Für $|\varphi| \ll c^2$ liefert die Reihenentwicklung $\Psi = \varphi + \varphi^2/c^2 + \ldots$. Die führende Ordnung ist das Newtonsche Potential, sofern dessen Quellengesetz gewählt wird. Für $\varphi \to -\infty$ nähert sich Ψ dem Wert $-c^2/2$. Der Faktor S wird klein, und die Antwort auf einen gegebenen Hilfspotentialgradienten wird unterdrückt. Der Begriff Selbstabschirmung bezeichnet hier diese nichtlineare Feldantwort. Es wird kein lichtundurchlässiges oder gravitativ absorbierendes Material vorausgesetzt.

Bei einer isolierten Punktquelle der Variante A ist $\varphi = -G_*M/r$ und der Betrag der Beschleunigung $G_*M\, r^{-2} \exp[-2G_*M/(c^2r)]$. Die Unterscheidung zwischen G_* und dem später gemessenen G betrifft die lokale Eichung. Davon getrennt ist die Normierung des Exponenten zu prüfen. Eine allgemeine Schreibweise mit $\alpha > 0$ lautet:

$$\Psi_\alpha = \frac{c^2}{\alpha}\left(e^{\alpha\phi/c^2} - 1\right), \qquad |g_\alpha| = \frac{G_*M}{r^2} e^{-\alpha G_* M/(c^2 r)}, \qquad \Psi_{\alpha,\min} = -\frac{c^2}{\alpha}. \tag{3}$$

Die hier berechnete Fassung besitzt $\alpha = 2$. Dagegen entspricht ein Kraftansatz $g = 2\gamma M\, r^{-2} \exp[-2\gamma M/(c^2 r)]$ bei $G_* = 2\gamma$ dem Wert $\alpha = 1$ und dem Sättigungswert $-c^2$. Bei festgehaltenem c sind diese beiden Fassungen nicht durch eine bloße Umbenennung von G identisch. Der Faktor zwei in der Lichtvorschrift ist wiederum eine eigene Annahme. Die nachfolgenden Zahlen gehören ausschließlich zur vollständig angegebenen $\alpha = 2$-Fassung; eine Übertragung auf $\alpha = 1$ erfordert eine neue Parametrisierung und Berechnung. Der allgemeine Mechanismenvergleich setzt keine Gleichheit dieser Normierungen voraus.

3.2 Variante A: lineare Quelle, exponentielle Testkörperantwort

$$\nabla^2\phi = 4\pi G_*\rho, \qquad \phi(\infty) = 0 \quad \text{(A)}. \tag{4}$$

Diese Fassung erhält die Newtonsche Quelle und verändert die Testkörperbewegung. Sie definiert ein berechenbares Feld- und Bewegungsproblem. Für beliebige Vielkörpersysteme ist damit jedoch noch keine gemeinsame Energie- und Impulsbilanz nachgewiesen. Eine naive Summe abgeschirmter Punktkräfte kann das Wechselwirkungsprinzip verletzen, weil die Antwortfaktoren an den beiden Körperorten verschieden sind. Für die sphärische Expansionsdiagnose wird A ausdrücklich beibehalten; die neue dreidimensionale Gasrechnung verwendet sie nicht als konservative Vielkörpertheorie.

3.3 Variante B: zusätzliche konservative Quellenergänzung

Eine mögliche konservative Ergänzung ergibt sich aus einem Wirkungsprinzip. Für erhaltene, mitströmende Materie lautet der gravitative und mechanische Teil der Lagrangefunktion:

$$L = \int \rho\left(\frac{u^2}{2} - \Psi(\phi)\right) d^3x - \frac{1}{8\pi G_*}\int |\nabla\phi|^2 d^3x. \tag{5}$$

Variation nach φ und nach den Materiebahnen ergibt dieselbe Testkörperantwort, aber eine veränderte Quelle. Die Materie erzeugt das Hilfspotential nun mit der Gewichtung S. Für eine isolierte Verteilung ist Q die gesamte aktive gravitative Quellenladung:

$$\nabla^2\phi = 4\pi G_* \rho S, \qquad Q = \int \rho S \, d^3x \quad \text{(B)}. \tag{6}$$

Die aktive Ladung Q kann sich bei unveränderter materieller Masse M = ∫ρ d³x verändern. Dies ist keine Erzeugung oder Vernichtung von Baryonen. Der Unterschied zwischen materieller Masse und gravitativer Quellenwirkung gehört hier zum postulierten Modell. Für ein isoliertes System mit zeitunabhängigen Randbedingungen ist die Gesamtenergie:

$$E = \int \rho\left(\frac{u^2}{2} + \Psi\right) d^3x + \frac{1}{8\pi G_*}\int |\nabla\phi|^2 d^3x. \tag{7}$$

Die Feldenergie ist positiv, während Ψ nach unten beschränkt ist. Damit gilt E ≥ −Mc²/2. Dieser Energiesatz schließt jedoch keine beliebig hohe Materiedichte aus: Eine untere Energieschranke ist kein Druckgesetz und kein Beweis der Regularität einer kollabierenden Flüssigkeit. Variante B ist außerdem eine neue Quellenergänzung. Ihre Eigenschaften dürfen nicht rückwirkend als bereits bewiesene Folgen des bloßen exponentiellen Punktpotentials ausgegeben werden.

4. Lokale Eichung, Massenschlüsse und das kosmische Potential

4.1 Was eine Newtonsch rechnende Zivilisation tatsächlich misst

Für ein kleines, schwaches Experiment in einer räumlich nahezu konstanten Umgebung wird φ = φ_{env} + δφ gesetzt. In A erzeugt die Probe eine ungeschwächte lineare Hilfsquelle, während der Testkörper mit S_{env} antwortet. In B werden sowohl Quellenwirkung als auch Testkörperantwort mit diesem Faktor gewichtet. Für hinreichend kurze räumliche Skalen, auf denen die weitere Feldrückwirkung vernachlässigbar ist, folgt:

$$G_{\text{lab, A}} \simeq G_* S_{\text{env}}, \qquad G_{\text{lab, B}} \simeq G_* S_{\text{env}}^2. \tag{8}$$

Diese Aussagen gelten für schwache Laborquellen und schwach selbstgebundene Probekörper. Für stark selbstabgeschirmte Körper hängt die aktive Ladung zusätzlich von ihrer inneren Struktur ab. Eine einzige universelle Zahl G_{eff} ist dann keine vollständige Beschreibung aller Wechselwirkungen.

In einem Bereich, in dem eine inverse quadratische Näherung gerechtfertigt ist, erhält eine Newtonsche Auswertung bei bekannter Geometrie näherungsweise das Verhältnis $M_{\mathrm{N}}/M_{\mathrm{wahr}} = G_{\mathrm{System}}/G_{\mathrm{lab}}$. Ein scheinbarer Massenüberschuss entsteht also nur, wenn die systemrelevante Kopplung gegenüber der Kalibrierung entsprechend größer ist. Ein gemeinsamer, überall gleicher Hintergrundfaktor kürzt sich dagegen in diesem Verhältnis heraus. Selbstabschirmung ist deshalb nicht schon durch ihre Existenz eine Erklärung scheinbar fehlender Masse.

$$\frac{M_N}{M_{\mathrm{wahr}}} \simeq \frac{G_{\mathrm{System}}}{G_{\mathrm{lab}}}, \qquad v_c^2(R) = R\,\partial_R \Psi(R,0). \tag{9}$$

Für Scheiben ist die zweite Beziehung die geeignete Ausgangsgleichung. Die Kraft hängt von der gesamten räumlichen Verteilung ab, einschließlich Materie außerhalb des betrachteten Radius. Die kugelsymmetrische Formel M(<R) = Rv²/G ist daher keine allgemeine Scheibeninversion. Aus einer Rotationskurve allein folgt keine eindeutige dreidimensionale Dichte; Scheibendicke, äußere Fortsetzung und weitere Beobachtungen bleiben relevant.

Ein weiterer grundlegender Punkt betrifft die Minimierung der Gesamtmasse. In der Newtonschen Näherung bleibt eine berechnete Kurve unverändert, wenn G mit einem Faktor λ multipliziert und jede Masse durch λ geteilt wird. Ohne unabhängige Eichbedingung besitzt die Suche nach der kleinstmöglichen Masse somit keine endliche physikalische Lösung. Im Exponentialmodell treten weitere Kopplungen hinzu; auch dort müssen Laborwert, Hintergrund und Quellenwirkung gemeinsam festgelegt werden. Eine freie Optimierung von G darf nicht als Nachweis einer realen Masseneinsparung interpretiert werden.

Für einen Blick in die Vergangenheit folgt eine weitere Konsequenz: War die wirksame Kopplung damals bei sonst vergleichbaren Bedingungen kleiner, unterschätzt eine Auswertung mit dem heutigen größeren Laborwert die damalige Masse. Ein scheinbarer Massenüberschuss folgt daraus also nicht automatisch. Bei Lichtbeobachtungen kommen veränderte Frequenzen, Laufzeiten und die Quellenentwicklung hinzu. Ohne ein gemeinsames Beobachtungsmodell lässt sich der Effekt nicht eindeutig als zusätzliche Materie oder beschleunigte Expansion etikettieren.

4.2 Was der Vergleich mit M33 tatsächlich verlangt

Für M33 kartierten Corbelli und Mitarbeiter atomaren Wasserstoff mit VLA und GBT und bestimmten mittels geneigter Ringe die gekrümmte äußere Scheibe. Die Geschwindigkeiten erreichen etwa 100 km/s bei 4 kpc und liegen im äußeren untersuchten Bereich bis 23 kpc bei etwa 120–130 km/s. Die stellare Massenkarte wurde dagegen aus Photometrie und synthetischen Sternpopulationen erschlossen [10]. Diese beiden Arten von Information sind methodisch verschieden: Gaslinien tragen gemessene Intensitäts- und Geschwindigkeitsinformation; Sternmassen benötigen zusätzlich eine populationsabhängige Umrechnung.

Eine dynamisch angepasste Massendichte darf nicht anschließend als unabhängige Messung zur Bestätigung derselben Dynamik verwendet werden. Für baryonische Vergleiche sind beobachtungsbasierte Gasprofile mit ihren Umrechnungsannahmen und, getrennt davon, photometrische Sternmassenschätzungen heranzuziehen. Schwach emittierende, kalte oder CO-arme Materie kann Beobachtungslücken erzeugen; die Größe einer solchen Lücke muss aber durch geeignete Nachweisgrenzen quantifiziert werden. Dieser Artikel enthält keinen neuen M33-Fit und übernimmt keine dynamisch erschlossenen Halodichten als gemessene baryonische Dichten.

4.3 Warum −c²/2 keine unabhängige Bestätigung ist

In einer Newtonschen Kugelabschätzung mit homogener Dichte ρ, Radius R und Masse M = 4πρR³/3 gilt am Rand $\varphi_R = -GM/R$ und im Zentrum φ_0 = −3GM/(2R). Setzt man R = c/H und ρ gleich der relativistisch definierten kritischen Dichte 3H²/(8πG), ergibt sich bereits algebraisch:

$$\phi_R = -\frac{c^2}{2}, \qquad \phi_0 = -\frac{3c^2}{4} \qquad (R = c/H,\ \rho = \rho_{\text{crit}}). \tag{10}$$

Die Größenordnung c² entsteht hier aus der gewählten Radius- und Dichtedefinition. Sie ist keine direkte Messung eines absoluten kosmischen Newtonpotentials. Für ein unendliches homogenes Universum divergiert das unmodifizierte Newtonsche Potential; ein endlicher Ausschnitt benötigt eine Randbedingung. In der relativistischen Kosmologie ist ein solches globales absolutes Newtonpotential zudem keine allgemein koordinatenunabhängige Observable.

Auch innerhalb des Exponentialmodells müssen Hilfspotential und Bewegungspotential getrennt bleiben. Setzt man φ = −c²/2, so erhält man S = e⁻¹ ≈ 0,368 und Ψ ≈ −0,316 c². Der Grenzwert Ψ = −c²/2 wird erst asymptotisch für φ → −∞ erreicht. Eine geschätzte Potentialgröße von −c²/2 darf deshalb weder als Messnachweis der Sättigung noch als Bestätigung des Gesetzes eingesetzt werden.

5. Selbstberechnete Expansion einer endlichen Modellkosmologie

5.1 Festgelegtes Anfangswertproblem

Die berechnete klassische Kosmologie ist eine endliche Materiekugel in euklidischem Raum mit absoluter Zeit, leerem Außenraum und φ(∞) = 0. Die Materie ist im sphärischen Experiment druckfrei. Beide Varianten beginnen mit homogener Dichte, Radius R_i = 0,2 R_f und einer Hubble-artigen Geschwindigkeit, deren Randwert 0,85 c beträgt. Der dimensionslose Parameter β = 2G_*M/(c²R_f) wird auf eins gesetzt. Die Rechnung endet bei R = R_f. Die großen Geschwindigkeiten gehören zum formalen klassischen Experiment; sie werden nicht als nichtrelativistische Beschreibung realer früher Materie behauptet.

Die Kugel wird durch gleichartig aufgebaute radiale Massenschalen repräsentiert. Ihre Orte und Geschwindigkeiten werden gemeinsam mit dem jeweils selbstkonsistenten Feld integriert. Die 128- und 256-Schalen-Rechnungen prüfen die radiale Diskretisierung. Die gemeinsame Anfangsverteilung ist eine bewusst vorgegebene Testbedingung; ihre Homogenität wird nicht durch das Modell erklärt.

Schon eine homogene Kugel der Variante A zeigt, weshalb die Expansion nicht exakt homolog bleibt. Innerhalb der Kugel hängt das Hilfspotential quadratisch von r ab. Der exponentielle Antwortfaktor verändert deshalb die relative Abbremsung verschiedener Radien:

$$\phi(r) = -\frac{G_* M}{2R}\left(3 - \frac{r^2}{R^2}\right), \qquad \frac{g_r}{r} = -\frac{G_* M}{R^3} e^{2\phi(r)/c^2}. \tag{11}$$

Eine konstante anfängliche Dichte und ein linearer Geschwindigkeitsverlauf bleiben daher nicht ohne Weiteres erhalten. Ein äußerer Skalenradius kann definiert werden, beschreibt aber nicht die gesamte innere Geometrie. Die bevorzugte Kugelmitte und die endliche

Randbedingung unterscheiden dieses Modell grundsätzlich von einer räumlich homogenen FLRW-Kosmologie.

5.2 Ergebnisse und analytische Kontrolle

$$\ddot{R} = -\frac{G_* M}{R^2} e^{-2G_* M/(c^2 R)}, \qquad \frac{\dot{R}^2}{2} + \frac{c^2}{2}\left(e^{-2G_* M/(c^2 R)} - 1\right) = E_R \quad \text{(A)}. \tag{12}$$

Die Randgleichung von A besitzt eine unabhängige Energieintegration und dient als Kontrolle der Numerik. Sie bleibt bei jeder endlichen positiven Masse attraktiv. Aus einer bei kleinen Radien unterdrückten Verzögerung folgt weder ä > 0 noch ein selbstständiger Rückprall. Insbesondere ist die Exponentialfunktion im Kraftgesetz nicht mit exponentieller zeitlicher Expansion gleichzusetzen.

Größe bei R = R_f	Variante A	Variante B
Zeit ct/R_f	1,1029	1,4362
Randgeschwindigkeit / c	0,6011	0,3899
Zentrale Sättigungstiefe $-2\varphi/c^2$	1,4243	0,7211
Lokale schwache Kopplung / G_*	0,2407	0,2364
Anfangskopplung / Endkopplung	0,002299	0,134095
Aktive Ladung Q/M	1	0,5454
Lineare lokale Störungsverstärkung	1,1345	1,5727

Obwohl die abschließenden lokalen Kopplungen ähnlich sind, unterscheiden sich ihre frühere Entwicklung und die erforderliche Expansionszeit stark. Der Vergleich erfolgt bei derselben äußeren Endgröße, nicht zum selben Alter. Die lineare Wachstumsdiagnose beschreibt eine kleine kalte kurzwellige Störung nahe dem Zentrum, mit verschwindender anfänglicher zusätzlicher Wachstumsrate. Sie ist keine bereits entstandene Galaxie. Die vollständige Definition der Schalenrechnung, ihrer Lichtvorschrift und ihrer Wachstumsdiagnose folgt im methodischen Zusatz dieses Artikels. Numerischer Quellcode und verwendete Ergebnisreihen gehören zum Rechenpaket dieser Ausgabe.

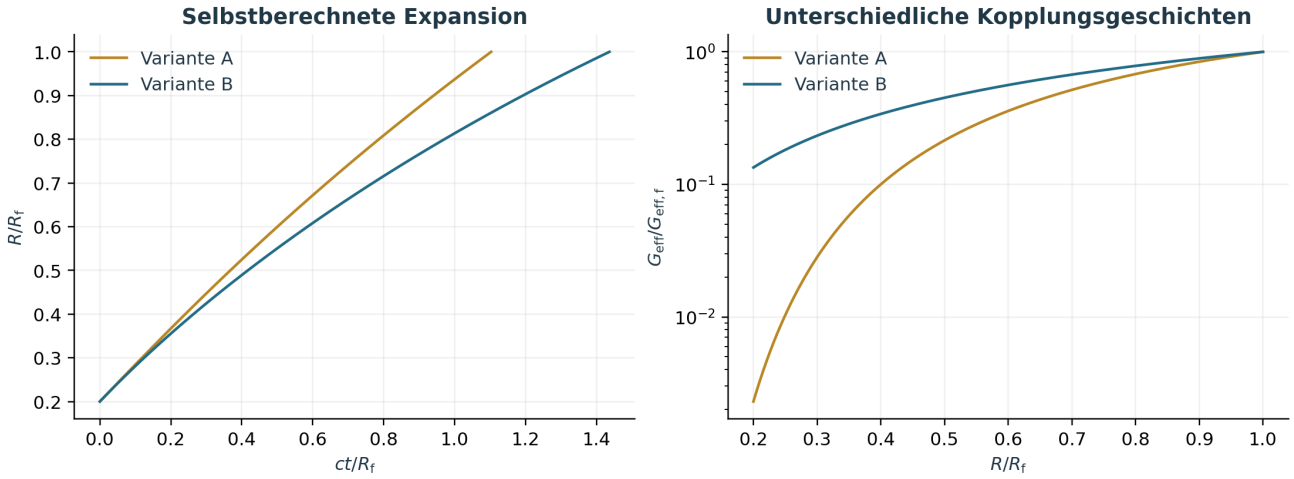

Abbildung 2. Selbstberechnete Expansion und lokale Kopplung der endlichen Kugel. A behält eine lineare Quelle bei; B schirmt auch die aktive Quelle ab. Gleiche Anfangsbedingungen und ähnliche heutige Eichwerte bestimmen keine eindeutige kosmische Vorgeschichte.

5.3 Lichtbeobachtung als eigenständige Modellannahme

Der klassisch angesetzte Faktor zwei für Licht wird durch eine ausdrücklich zusätzliche Hamiltonfunktion realisiert. Mit einem festgelegten Referenzpotential Ψ_ref und einem Lichtimpuls p gilt:

$$H_\gamma = c|\mathbf{p}|\,C, \qquad C = 1 + \frac{2(\Psi - \Psi_{\mathrm{ref}})}{c^2}. \tag{13}$$

Hamiltons Gleichungen bestimmen Strahlrichtung, lokale Ausbreitungsgeschwindigkeit und Impulsänderung. Materialuhren und die Zuordnung zwischen Strahlenergie und Frequenz werden zusätzlich festgelegt. Diese Konstruktion ist eine klassische Beobachtungsvorschrift, keine aus dem Kraftgesetz automatisch folgende relativistische Optik. Insbesondere darf 1 + z = a_0/a_e nicht vorab eingesetzt werden.

Die radiale Strahlintegration zum zentralen Beobachter ergibt am jeweils äußersten Schnitt mit der Materiekugel Modellrotverschiebungen von 0,5512 in A und 0,4273 in B. Die zugehörigen Emissionsradien betragen 0,5868 beziehungsweise 0,6846 R_f. Die Kugel wird zu unterschiedlichen Zeiten beobachtet; die Werte sind keine Anpassung an einen astronomischen Katalog. Sie belegen, dass Quellenwahl und Beobachtungsgesetz gemeinsam die aus einer Modellwelt erschlossene Geschichte verändern.

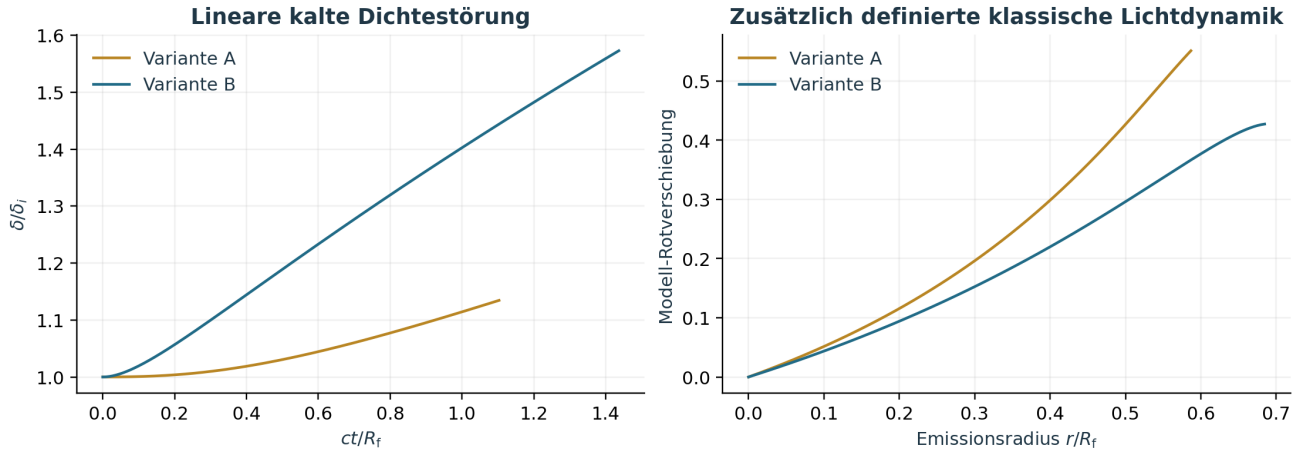

Abbildung 3. Links: lineare Verstärkung einer kleinen lokalen Dichtestörung. Rechts: mit einer zusätzlichen klassischen Hamiltonfunktion berechnete Rotverschiebung. Weder das linke Diagramm noch das rechte ist ein Fit an kosmologische Beobachtungen.

6. Kondensation, Bindung und Auflösung

6.1 Die Richtung der Kopplungsänderung

Bei räumlich langsam veränderlichem Hintergrund und schwachen lokalen Quellen lässt sich S = S_{kos} S_{host} S_{lokal} schreiben. Mit B = −2φ/c² und p = 1 für A beziehungsweise p = 2 für B ergibt sich für die schwache lokale Eichung näherungsweise:

$$\frac{\dot{G}_{\mathrm{eff}}}{G_{\mathrm{eff}}} \simeq -p\left(\dot{B}_{\mathrm{kos}} + \dot{B}_{\mathrm{host}} + \dot{B}_{\mathrm{lokal}}\right). \tag{14}$$

In der berechneten Expansion nimmt die kosmische Potentialtiefe ab: B_kos wird kleiner und die lokale Kopplung wächst. Bei festgehaltenem Gaszustand begünstigt dies Kondensation. Eine lokale Verdichtung kann B_lokal gleichzeitig vergrößern. Der resultierende Ablauf muss aus der gekoppelten Feld- und Materieentwicklung bestimmt werden; das Vorzeichen eines einzelnen Beitrags entscheidet nicht über die Gesamtbindung.

In der lokalen Jeans-Näherung konkurrieren Gasdruck und gravitative Verstärkung. Für Schallgeschwindigkeit c_s, räumliche Wellenzahl k und hinreichend schwache kurze Moden lautet die Dispersionsbeziehung:

$$\omega^2 = c_s^2 k^2 - 4\pi G_{\mathrm{eff}}\rho, \qquad M_J \propto c_s^3 G_{\mathrm{eff}}^{-3/2}\rho^{-1/2}. \tag{15}$$

Ein negativer Wert von ω² bedeutet wachsende Störungen. Eine größere Kopplung senkt bei konstanten übrigen Größen die Jeans-Masse. In einem realen Vorgang ändern sich jedoch Dichte und Temperatur mit. Kühlung und Stoßerwärmung müssen deshalb mitentwickelt werden. Die klassische Arbeit von Rees und Ostriker behandelt gerade die Unterscheidung zwischen gravitativer Kontraktion, thermischer Entwicklung und Fragmentation [18].

In Variante B erzeugt die Linearisierung der aktiven Quelle ρS eine zusätzliche Rückwirkung. In einer lokal konstanten Umgebung, nach Abzug der Hintergrundgleichung, gilt:

$$(\nabla^2 - k_s^2)\delta\phi = 4\pi G_* S \delta\rho, \qquad k_s^2 = \frac{8\pi G_* \rho S}{c^2}. \tag{16}$$

$$\omega^2 = c_s^2 k^2 - 4\pi G_* \rho S^2 \frac{k^2}{k^2 + k_s^2}. \tag{17}$$

Die einfache Kopplung G_*S^2 ist somit der kurzwellige Grenzfall. Für Wellenlängen in der Größenordnung der Hintergrundvariation oder der gesamten Kugel ist die lokale Ableitung nicht anwendbar. Eine Schlussfolgerung über alle kosmischen Skalen allein aus dieser Formel wäre nicht gedeckt.

6.2 Kleine Kraft und große Bindungsenergie

Für eine isolierte, zeitunabhängige Punktquelle der Variante A kann die Fluchtenergie unmittelbar aus der Potentialdifferenz zum Unendlichen bestimmt werden:

$$v_{\mathrm{esc}}^2(r) = 2[\Psi(\infty) - \Psi(r)] = c^2\left(1 - e^{-2G_* M/(c^2 r)}\right). \tag{18}$$

Während die lokale Beschleunigung für r → 0 verschwindet, nähert sich die klassische Fluchtgeschwindigkeit c. Der Potentialboden wird flach, bleibt aber tief. Der Grenzwert ist eine Aussage über das mathematische klassische Modell. Er beweist keine relativistisch zulässige Fluchtgeschwindigkeit und keine Stabilität eines selbstgravitierenden Kerns.

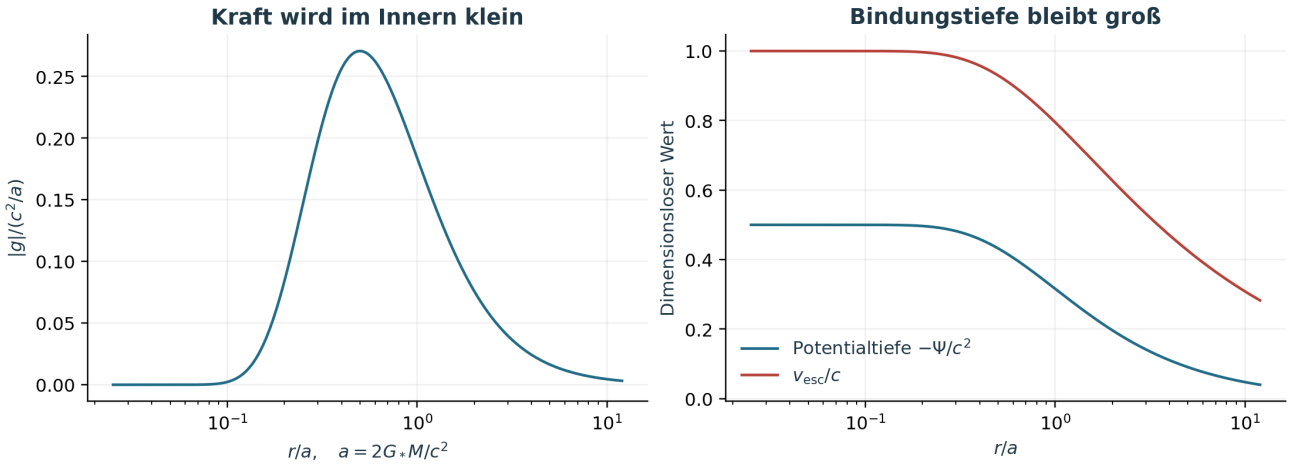

Abbildung 4. Ein festes Punktquellenpotential zeigt im Inneren eine geringe lokale Kraft und gleichzeitig eine große Fluchtenergie. Die Grafik widerlegt innerhalb dieses Modells die Gleichsetzung von Kraftunterdrückung und leichter Entbindung. Sie ist keine Potentialkurve der selbstkonsistenten Gaswolke.

6.3 Zeitskalen und Nichtgleichgewicht

Bei einer langsamen Kopplungsänderung bleibt der spezifische Drehimpuls einer Testbahn in einem zentralen Feld erhalten. Im schwachen invers-quadratischen Grenzfall folgt für eine adiabatisch nachgeführte Kreisbahn $r \propto G_{\mathrm{eff}}^{-1}$ und $v \propto G_{\mathrm{eff}}$. Eine langsame Verringerung auf 40 Prozent vergrößert die Bahn deshalb auf das 2,5-Fache, ohne sie notwendig zu entbinden.

Bei einer plötzlichen Verringerung ist die Bilanz anders. Ein anfänglich Newtonsch virialisiertes System erfüllt 2K + U = 0. Wird seine inverse-quadratische Kopplung bei unveränderten Orten und Geschwindigkeiten mit f multipliziert, erhält es die Energie E_nach = (f − 1/2)U. Für f < 1/2 ist diese positiv. Ein gebundener Rest kann dennoch verbleiben. Die zugehörigen Testbahnen ergaben bei f = 0,4 eine ungebundene schnelle Bahn und eine gebundene langsame Bahn. Diese Kopplungsrampen waren vorgegebene Versuche an einem offenen Teilsystem; sie waren kein Nachweis selbstständig entstehender kosmischer Zerfallsereignisse.

$$\tfrac{1}{2}\ddot{I} = 2K + W, \qquad I = \sum_i m_i r_i^2, \qquad W = \sum_i m_i \mathbf{r}_i \cdot \mathbf{g}_i. \tag{19}$$

Die allgemeine Virialidentität eines abgeschlossenen Teilchensystems zeigt den Fehler einer ungeprüften Gleichgewichtsannahme. In der Exponentialtheorie ist der Kraftvirial W nicht allgemein gleich einer Newtonschen Potentialenergie U. Für Gas kommen Druckkräfte hinzu, bei offenen Systemen außerdem Rand- und Flussterme. Eine positive Ausdehnungsrate ist ebenfalls noch kein Beweis dauerhafter Entbindung; ein gebundenes System kann sich nach einer Kompression vorübergehend ausdehnen.

7. Beziehung zu Ambarzumjans Kosmogonie

Ambarzumjan stellte Expansion, Zerfall und die Aktivität galaktischer Kerne in den Mittelpunkt seiner kosmogonischen Überlegungen. Junge Sternassoziationen deutete er als Hinweis auf fortdauernde, gruppenweise Sternentstehung. Seine autobiographische Darstellung trennt dabei die Untersuchung beobachtbarer Entwicklungsrichtungen von der Forderung nach einer bereits vollständigen Entstehungstheorie [15].

Seine weitergehende Hypothese nahm sehr dichte Vorläufer an, aus denen Sterne, diffuse Materie und gegebenenfalls neue galaktische Systeme hervorgehen sollten. Vorontsov-Velyaminovs zeitgenössische Darstellung von 1961 erläutert diese Vorstellungen und benennt zugleich die offene Frage nach dem Mechanismus und der nötigen Energie [14]. Die Beobachtung von Aktivität beweist den postulierten Stoffzustand nicht.

Für die Massenfrage ist Ambarzumjans eigener Aufsatz von 1961 besonders relevant. Er verlangte, die Bindung von Gruppen und Haufen anhand der Daten zu prüfen, anstatt negative Gesamtenergie vorab anzunehmen. Ein großer Geschwindigkeitsbetrag konnte in seiner Deutung auch auf einen auseinandergehenden Verband hinweisen. Er erklärte ausdrücklich nicht alle Systeme für instabil [13]. Dieser methodische Gesichtspunkt wird hier übernommen, ohne die historischen Einzeldeutungen als heutige Messresultate auszugeben.

Eine moderne Beobachtungsbrücke ist Sternentstehung in Ausströmungen: Maiolino und Mitarbeiter berichteten Spektren, die Sternentstehung innerhalb eines galaktischen Ausstroms anzeigen [16]. Ausgeworfenes Gas und Bildung neuer Sterne können folglich zusammengehören. Daraus folgt weder die Entstehung des Gases aus unbekannter superdichter Materie noch eine Bestätigung des Exponentialgesetzes.

Das theoretische Experiment prüft eine enger gefasste Frage: Kann eine zunächst kompakte, druck- und rotationsgestützte Verteilung durch ihre eigene abgeschirmte Dynamik Materie abgeben, die sich zu getrennten selbstgebundenen Einheiten organisiert? Die drei Vorgänge Abschwächung einer Kraft, Zerstreuung von Materie und Bildung eines Tochterkörpers sind

dabei verschiedene Nachweisschritte. Das neue Experiment enthält erhaltene gewöhnliche Materie und kein Gesetz ihrer Erzeugung aus einem anderen Stoffzustand.

8. Neues dreidimensionales Experiment mit Druck und Kühlung

8.1 Aufbau und Vergleichsfälle

Die Materie wird durch gleich schwere Gas-Volumenelemente repräsentiert. Die Anfangswolke besitzt die Achsenverhältnisse 1 : 1 : 0,7 und eine kleine zweizählige Winkelstörung mit Amplitude 0,08. Ein deterministischer Sobol-Satz mit festem Startwert liefert ihre Orte. Die anfängliche Geschwindigkeit ist eine starre Rotation um die kurze Achse; es gibt keine vorgeschriebene radiale Ausströmung und keinen zentralen Energieimpuls. Masse M und Referenzradius R₀ sind auf eins gesetzt.

Das Gas besitzt γ = 5/3 und P_i = A_i ρ_i^γ. Seine Dichte und Druckkräfte werden mit Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) und fester Glättungslänge bestimmt. Eine symmetrische künstliche Viskosität wandelt bei Annäherung Bewegungsenergie in Wärme um. Entwickelt wird die Entropievariable A_i. Dieser Ansatz folgt dem methodischen Gedanken der Entropieformulierung [17], verwendet jedoch einen eigenen, einfachen Fest-h-Code. Es handelt sich nicht um die Übernahme eines validierten großskaligen Galaxiencodes.

In einem zusätzlichen Lauf sinkt A_i durch eine ausdrücklich phänomenologische Kühlung mit der Zeitkonstante 6 t₀. Die abgeführte Energie wird bilanziert. Chemie, Metallizität, Strahlungstransport, Magnetfelder und Sternentstehungsrezepte sind nicht enthalten. Die Kühlung dient dazu, den Unterschied zwischen einer nur gravitativ umverteilten und einer zusätzlich Energie abgebenden Wolke zu untersuchen.

Die konstante Anfangsumgebung wird aus dem zentralen Anfangswert der sphärischen B-Kosmologie entnommen: S₀ = 0,178051. Die Einheiten werden so gewählt, dass G_*S₀² = 1 und damit t₀ = (R₀³/(G_{lab},0 M))¹′² = 1. Die dimensionslose lokale Kompaktheit wird mit χ = 2G_*MS₀/(R₀c²) bezeichnet. Sie wird auf 0,002, 1 oder 8 gesetzt. Dies sind bewusst gewählte Mechanismenparameter, keine aus M33 oder der Milchstraße bestimmten Werte.

$$\chi = \frac{2G_* M S_0}{R_0 c^2}, \qquad t_0 = \sqrt{\frac{R_0^3}{G_* S_0^2 M}}. \tag{20}$$

Die Ausgangsstützung des Newtonfalls wird durch 2K_rot/|W_g| = 0,2 und W_Druck/|W_g| = 0,4 festgelegt. Die Summe beträgt 0,6; die Wolke ist anfänglich unterstützt, aber nicht im Virialgleichgewicht. In den Vergleichen mit identischem Zustand bleiben Orte, Geschwindigkeiten, Massen und thermodynamische Anfangswerte gleich. Im zusätzlich angepassten starken B-Fall werden die Geschwindigkeiten und Entropiewerte so skaliert, dass dieselben beiden Virialverhältnisse gegenüber seiner eigenen Gravitation gelten. Die Lage der Materie wird dabei nicht verändert.

8.2 Diskrete konservative Gravitation

Für die nichtlineare B-Quelle wird ein symmetrischer, bei kleinen Abständen geglätteter Gravitationskern K_ij verwendet. Seine feste Länge ε = 0,12 R₀ repräsentiert eine numerische Regularisierung. Auch Diagonalelemente K_ii = 1/ε sind enthalten; sie beschreiben die endliche Selbstkopplung der Volumenelemente. Die aktiven Ladungen werden in jedem Kraftaufruf gemeinsam bestimmt:

$$K_{ij} = \frac{1}{\sqrt{|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j|^2 + \varepsilon^2}}, \qquad q_i = m_i S_{\mathrm{bg}} \exp\left[-\frac{2G_*}{c^2}\sum_j K_{ij} q_j\right]. \tag{21}$$

Die daraus abgeleiteten Kräfte sind paarweise entgegengesetzt. Mit der zugehörigen diskreten gravitativen Energie ergibt sich:

$$\mathbf{F}_{ij} = -G_* q_i q_j \frac{\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j}{(|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j|^2 + \varepsilon^2)^{3/2}}, \qquad U_g = \frac{c^2}{2}\sum_i (q_i - m_i) + \frac{G_*}{2}\sum_{ij} q_i K_{ij} q_j. \tag{22}$$

Der Energieausdruck enthält die implizite Änderung aller q_i. Eine direkte Differentiation unter Verwendung der Ladungsgleichung liefert die angegebenen Kräfte. Dies wird zusätzlich durch finite Differenzen geprüft. Die Regularisierung ist eine explizite Änderung auf Skalen um ε und kein Beweis für die Konvergenz zum punktförmigen Kontinuum. Das Newtonsche Kontrollmodell verwendet denselben geglätteten Paarabstand, aber die anfangs kalibrierte konstante Kopplung $G_{\mathrm{N}} = 1$.

8.3 Kosmische Umgebung und Energiebilanz

Die zeitabhängigen Läufe erhalten $S_{\mathrm{bg}}(t)$ aus der bereits berechneten zentralen B-Kosmologie. Deren gesamte tabellierte Entwicklung wird linear auf das Intervall $0 \le t/t_0 \le 16$ abgebildet und danach konstant gehalten. S_{bg} steigt von 0,178051 auf 0,486226. Das lokale Feld und die Gasbewegung reagieren selbstkonsistent. Die kosmische Umgebung wird dagegen als externes Reservoir behandelt: Die Wolke wirkt in diesen Rechnungen nicht auf die gesamte Kugel zurück. Der Zeitmaßstabsfaktor 16 ist eine ausdrücklich gewählte Hierarchie zwischen kosmischer und lokaler Zeit, kein aus Beobachtungen bestimmter Wert.

Diese Anordnung ist zunächst ein extern angetriebenes Teilsystemexperiment. Ob sie auch als Einbettung in dieselbe Kugelkosmologie gelten kann, wird im folgenden Abschnitt gesondert geprüft. Die Energiebilanz eines solchen offenen Teilsystems muss die Arbeit der zeitabhängigen Randbedingung enthalten. Für $\varphi_{\mathrm{bg}} = c^2 \ln(S_{\mathrm{bg}})/2$ und $Q = \Sigma q_i$ gilt:

$$\frac{dE}{dt} = Q\dot{\phi}_{\mathrm{bg}} - L_{\mathrm{cool}}, \qquad E + E_{\mathrm{rad}} - \int_0^t Q\dot{\phi}_{\mathrm{bg}}\, dt = \text{konstant}. \tag{23}$$

Masse sowie Gesamtimpuls und Drehimpuls werden von dem räumlich gleichförmigen Hintergrund der starken Protokollläufe nicht zugeführt. Seine zeitliche Änderung kann die Energie verändern. Damit ist ein beobachteter Energieanstieg des lokalen Systems nicht automatisch ein numerischer Fehler oder eine neue Energiequelle: Er ist mit der expliziten Randarbeit zu vergleichen.

8.4 Prüfung der Skalenhierarchie und ein konsistenter schwacher Zusatzfall

Eine zeitlich umskalierte Kurve ist noch keine physikalisch passende Einbettung. Werden die Kugelkosmologie mit β = 1 und ihre Endzeit τ_f = ct_f/R_f = 1,436214 streng mit t_f = 16 t₀ identifiziert, folgen R_f = 16 ct₀/τ_f und M_{kos} = c²R_f/(2G_*). Für χ = 8 ergibt das nur M_{kos} ≈ 0,294 M: Die angeblich kleine Wolke wäre massereicher als ihr Hintergrundkosmos. Die starken zeitabhängigen Läufe dürfen daher ausschließlich als extern angetriebene Mechanismenexperimente mit der Form dieser Hintergrundgeschichte interpretiert werden. Sie sind keine massen- und zeitmaßstäblich konsistente Einbettung in dieselbe Kugelkosmologie.

Zur Prüfung einer tatsächlichen Skalentrennung wird ein zusätzlicher Lauf mit χ = 0,002 und 384 Elementen berechnet. Hier gilt R_f ≈ 835 R₀ und M_{kos} ≈ 7,4 × 10⁴ M. Die Wolke besitzt nur etwa 1,3 × 10⁻⁵ der kosmischen Materiemasse; der anfängliche Kugelradius ist etwa 167-mal größer als ihr Radius. Eine Vernachlässigung ihrer Rückwirkung ist in dieser Hierarchie wesentlich besser begründet. Der Zusatzlauf enthält außerdem den führenden räumlichen Term des zentralen kosmischen Hilfspotentials, statt den Hintergrund vollständig konstant zu setzen.

$$\phi_{\mathrm{bg}}(r,t) = \phi_c(t) + \tfrac{1}{2}k_\phi(t)r^2, \qquad k_\phi = \frac{\tau_f^2}{2(16t_0)^2}\frac{S_c}{a_c^3}. \tag{24}$$

In dieser Formel ist a_c der aus der Schalenrechnung bestimmte zentrale Expansionsfaktor relativ zu R_f. Die Gleichung folgt aus ∇²φ_c = 4πG_*$\rho_{cS_}$c und der lokalen Kugelsymmetrie. Der Hintergrund verursacht die zusätzliche Kraft −(q_i/m_i)k_φ x_i. Seine Anfangsstärke entspricht in den gewählten Einheiten ungefähr 0,016 t₀⁻² und wird mitentwickelt. Die Randarbeit enthält nun auch Σq_i r_i² k_φ/2. Es bleibt eine lokale Taylor-Näherung mit vernachlässigter kosmischer Rückwirkung, aber ihre räumliche und materielle Skalenhierarchie ist ausdrücklich geprüft.

8.5 Welche Größen eine Tochterstruktur nachweisen würden

Die Rechnung verfolgt Halbmasse- und 90-Prozent-Radius, aktive Ladung, Energie, Drehimpuls und den Anteil der Materie, der bei r > 2 R₀ nach außen läuft. Dieser Außenanteil ist eine geometrisch-kinematische Diagnose. Er ist nicht gleich einer asymptotisch entwichenen Masse; auswärts laufende Materie kann zurückkehren.

Für getrennte Strukturen werden räumlich verbundene Teilmengen bei zwei Verknüpfungslängen h und 1,5 h gesucht. Kandidaten müssen mindestens acht Prozent der Gesamtmasse und mindestens acht Elemente enthalten. Für jeden Kandidaten wird die innere Bewegungsenergie im Schwerpunktssystem, die thermische Energie und seine selbstkonsistente gravitative Energie in der jeweiligen konstant eingefrorenen Umgebung berechnet. Die Energie isolierter einzelner Volumenelemente wird abgezogen. Dadurch wird die negative Selbstenergie der numerischen Elemente nicht fälschlich als gegenseitige Bindung gezählt.

Eine negative so definierte Trennungsenergie ist eine notwendige Diagnose für einen gebundenen Kandidaten, aber kein vollständiger Nachweis seiner Überlebensfähigkeit im äußeren Gezeitenfeld. Als Mindestanforderung werden die letzten 21 Ausgaben, also das Intervall 20 ≤ t/t₀ ≤ 24, geprüft. Mehrere getrennte Kandidaten müssten zusätzlich über längere Zeiten fortbestehen und bei höherer Auflösung erhalten bleiben. Schon das erste

Erfordernis mehrerer gebundener Kandidaten wird in den neuen starken Vergleichsläufen nicht erfüllt.

9. Ergebnisse der neuen Wolkenrechnungen

9.1 Gleicher Zustand bedeutet nicht gleiche Bindung

Lauf, N = 192	Trennungs-energie anfangs	Stützung anfangs	r_{50}/R_0 am Ende	Maximaler Außenanteil
Newton	-0,4243	0,600	0,493	0,0 %
B: χ = 0,002	-0,4226	0,603	0,462	0,0 %
B: χ = 1	-0,0892	2,292	1,336	45,8 %
B: χ = 8, gleicher Zustand	0,1364	20,737	11,249	100,0 %
B: χ = 8, angepasste Stützung	-0,0622	0,600	0,623	0,0 %
B: zusätzlich Umgebungsprotokoll	-0,0622	0,600	0,489	0,0 %
B: zusätzlich Umgebung und Kühlung	-0,0622	0,600	0,336	0,0 %

Die Trennungsenergie ist in Einheiten von G_{lab},0 M^2/R_0 angegeben; die Stützung bezeichnet (2K + W_Druck)/|W_g|. Der starke Lauf mit unveränderten Anfangsdaten besitzt eine Stützung von etwa 20,7 statt 0,6 und bereits positive Trennungsenergie. Er zerstreut sich. Dieses Ergebnis ist eine reale Konsequenz des Gesetzeswechsels bei denselben Daten, aber kein selbstständig erzeugter Zerfall eines zuvor vergleichbar gebundenen Kerns. Der Zustand enthielt von Anfang an zu viel thermische und rotatorische Energie für seine neue Bindung.

Der mittlere Lauf verdeutlicht eine zweite Unterscheidung. Zeitweise liegt fast die Hälfte der Materie außerhalb von 2 R_0 und läuft nach außen. Dennoch ist seine Anfangs-Trennungsenergie negativ, und der Außenanteil sinkt später deutlich. Momentane Expansion oder eine große äußere Geschwindigkeit ist folglich kein hinreichender Nachweis vollständiger Entbindung. Ein solcher Befund wäre bei einer Newtonschen Beobachtungsinterpretation besonders leicht mit einer falsch angesetzten Bindungsmasse zu verwechseln.

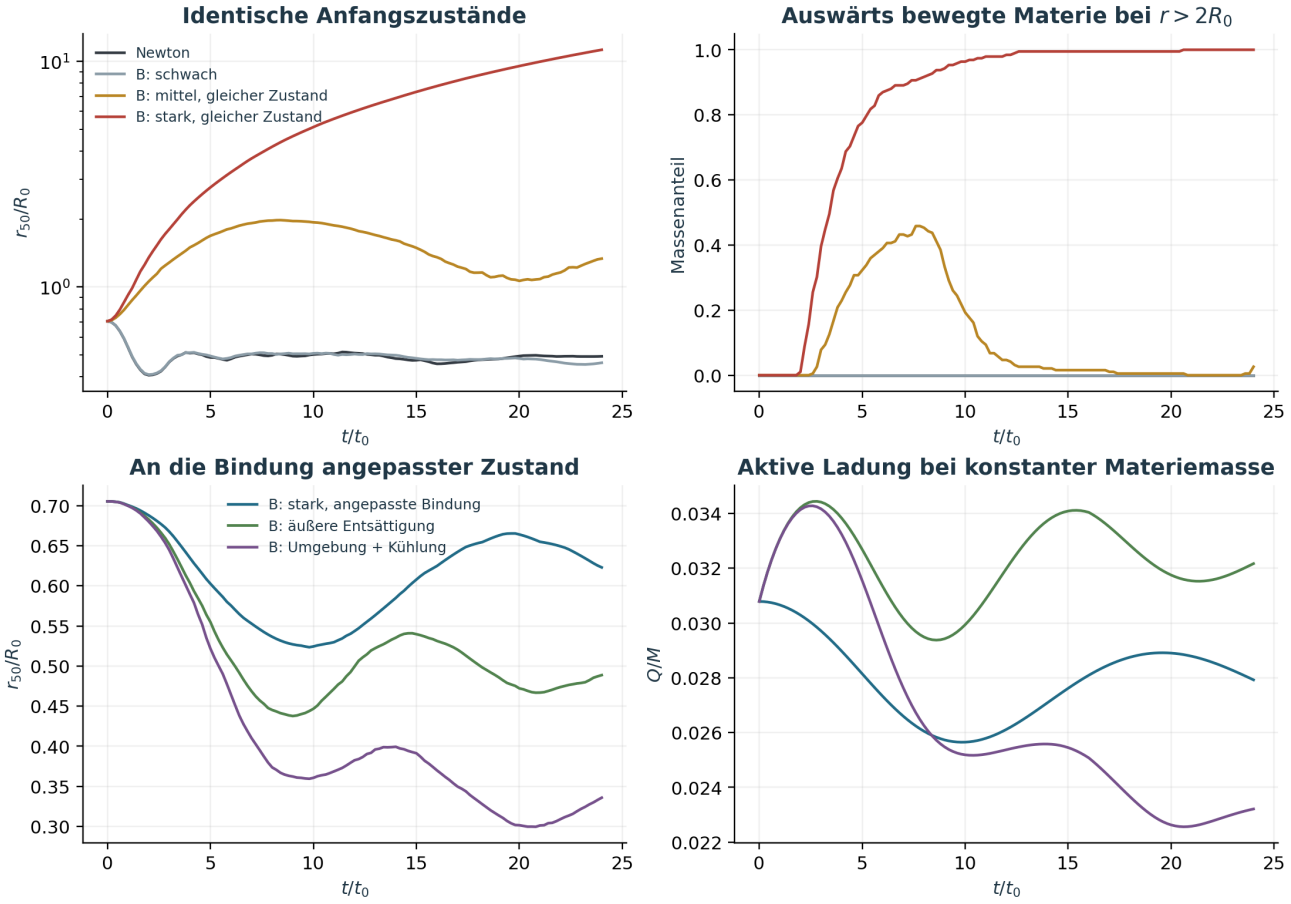

Abbildung 5. Nichtlineare Wolkenentwicklung. Oben werden identische materielle Anfangszustände unter verschiedenen Kopplungen verfolgt. Unten beginnen die starken Modelle mit an die eigene Gravitation angepasster Stützung. Der Außenanteil ist ausdrücklich kein endgültiger Fluchtanteil. Alle Kurven dieser Abbildung verwenden 192 Elemente.

9.2 Angepasste Bindung, äußere Entsättigung und Kühlung

Starkes Modell, N = 384	Trennungs-energie anfangs	r_{50}/R_0 am Ende	r_{90}/R_0 am Ende	Gebundene Gruppen h / 1,5h
Gleicher Anfangszustand	0,1249	11,397	16,118	0/0
Angepasste Stützung	-0,0692	0,589	0,810	1/1
Angepasst + Umgebung	-0,0692	0,506	0,605	1/1
Angepasst + Umgebung + Kühlung	-0,0692	0,339	0,407	1/1

Bei gleicher anfänglicher relativer Stützung bleibt die stark abgeschirmte Wolke kompakt. Die im äußeren Protokoll vorgegebene Entsättigung verstärkt die Bindungswirkung und verkleinert die charakteristischen Radien. Mit zusätzlicher Kühlung wird die Wolke noch kompakter. Diese Abläufe entstehen ohne vorgegebenen radialen Auswurf. Sie zeigen in den gewählten Fällen eine Kondensationsfolge, keine Entstehung mehrerer getrennt gebundener Systeme.

Die aktive Ladung verhält sich dabei nicht wie die erhaltene Materiemasse. Ohne Kühlung kann die kosmische Zunahme von S_{bg} einen Teil der lokalen Abschirmung überkompensieren.

Mit Kühlung vertieft die stärkere lokale Verdichtung das Feld so weit, dass die aktive Ladung im Beispiel trotz kosmischer Entsättigung abnimmt. Eine abnehmende Ladung allein reicht aber auch hier nicht für eine Explosion: Die Wolke wird gleichzeitig kompakter. Das bestätigt die notwendige Trennung zwischen Quellenwirkung, lokaler Kraft, Potentialtiefe und thermischem Zustand.

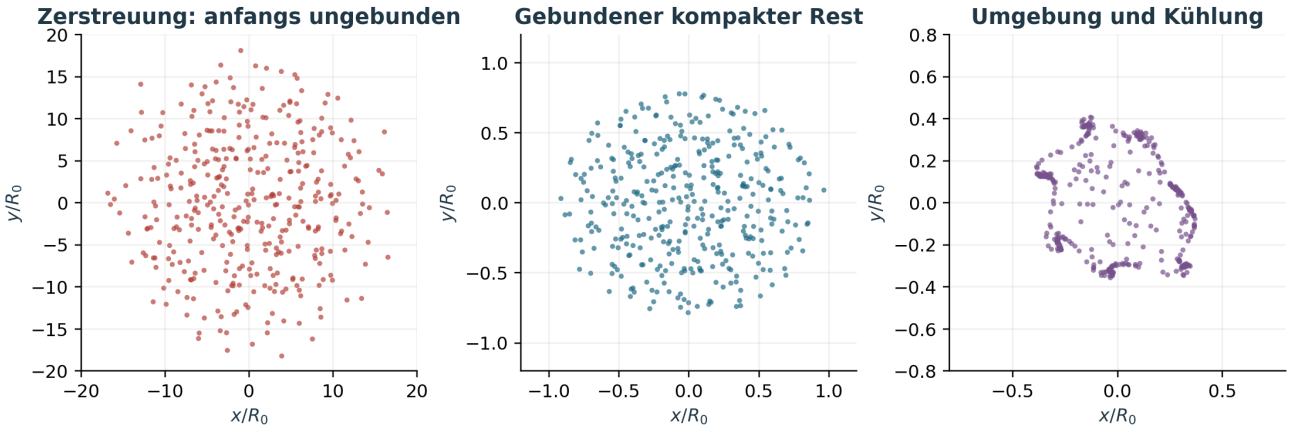

Abbildung 6. Endzustände ausgewählter starker Läufe mit 384 Elementen in Projektion auf die Rotationsebene. Die Achsenmaßstäbe sind unterschiedlich und ausdrücklich angegeben: Die anfangs ungebundene Wolke zerstreut sich weit; die angepassten Wolken bleiben kompakt. Punkte sind Gas-Volumenelemente, keine einzelnen Sterne oder Galaxien.

9.3 Schwache Wolke mit geprüfter kosmischer Skalenhierarchie

Der zusätzliche Fall mit $\chi = 0{,}002$, 384 Elementen und dem führenden räumlichen Hintergrundfeld kontrahiert. Er wird bei $t/t_0 = 2{,}3016$ beendet, sobald der Halbmasse-Radius die feste Glättungslänge $h/R_0 = 0{,}2540$ erreicht. Der 90-Prozent-Radius beträgt dann 0,4536 R_0. Bis zu diesem Zeitpunkt tritt kein nach außen laufender Massenanteil jenseits von 2 R_0 auf. Die anfängliche Stützung beträgt einschließlich Hintergrundkraft etwa 0,592; es wurde folglich kein anfängliches Gleichgewicht behauptet.

Die aktive Ladung steigt von 0,1776 M auf 0,2625 M. Der Energiefehler einschließlich der zeitlichen und räumlichen Hintergrundarbeit beträgt 2.09e-09. Die größte gespeicherte Geschwindigkeit liegt bei 0,0190 c. Das unterscheidet diesen Lauf vom formalen ultrakompakten Experiment. Er zeigt eine aufgelöste frühe Kontraktion unter zunehmender Kopplung, aber weder die spätere Kernstruktur noch die langfristige Fragmentation. Ein unaufgelöster Weiterlauf wäre dafür kein Ersatz.

Da schon die Anfangswolke unterhalb der Virialstützung liegt, darf die gesamte Kontraktion nicht ausschließlich der kosmischen Änderung zugeschrieben werden. Das äußere Feld liefert eine zusätzliche komprimierende Kraft und steigert die lokale schwache Kopplung. Eine quantitative Zerlegung ihres Anteils gegenüber einem exakt angepassten statischen Kontrollfall wird hier nicht behauptet. Die Aussage über die letzten 21 Ausgaben der starken Läufe gilt für diesen vorzeitig beendeten Zusatzfall ausdrücklich nicht.

9.4 Numerische Belastbarkeit und verbleibende Auflösungsgrenzen

Die unabhängige Kraft-Energie-Prüfung erreicht eine maximale relative Abweichung von 3.44e-08. Die nichtlineare Ladungsgleichung wird mit einem normierten Rest von unter 2,1 × 10^{-11} gelöst. In den konstanten starken Umgebungen ist die Energie bis deutlich unter 10^{-7} relativ erhalten. Für die aus einer Tabelle zeitabhängig vorgegebene Umgebung beträgt der größte relative Fehler der einschließlich Randarbeit und Kühlung geschlossenen Energiebilanz in den 384-Element-Läufen 3.51e-04. Impuls und Drehimpuls werden zusätzlich kontrolliert. Sämtliche Prüfwerte sind in den Ergebnisdateien dokumentiert.

Beim Übergang von 192 auf 384 Elemente ändern sich die End-Halbmasse-Radien in den vier starken Vergleichsfällen um 1,3 %, 5,5 %, 3,4 %, 1,0 %; die Reihenfolge entspricht der vorausgehenden Tabelle. Der qualitative Unterschied zwischen Zerstreuung und kompakter Entwicklung bleibt erhalten. Eine Halbierung der Glättungsmasse ist aber kein Beweis konvergierter Fragmentation. Die Endradien gekühlter Kerne kommen in die Nähe der Glättungslänge. Ihre innere Struktur ist damit ausdrücklich nicht aufgelöst.

Ein zusätzlicher Lauf mit hundertfach strengerer relativer Integrationstoleranz verändert den End-Halbmasse-Radius des extern angetriebenen 192-Element-Falls um 0,0001 Prozent. Sein Energie-Bilanzfehler beträgt 3.38e-06. Damit ist die Zeitintegration für diese Radiusdiagnose deutlich besser kontrolliert als die räumliche Diskretisierung.

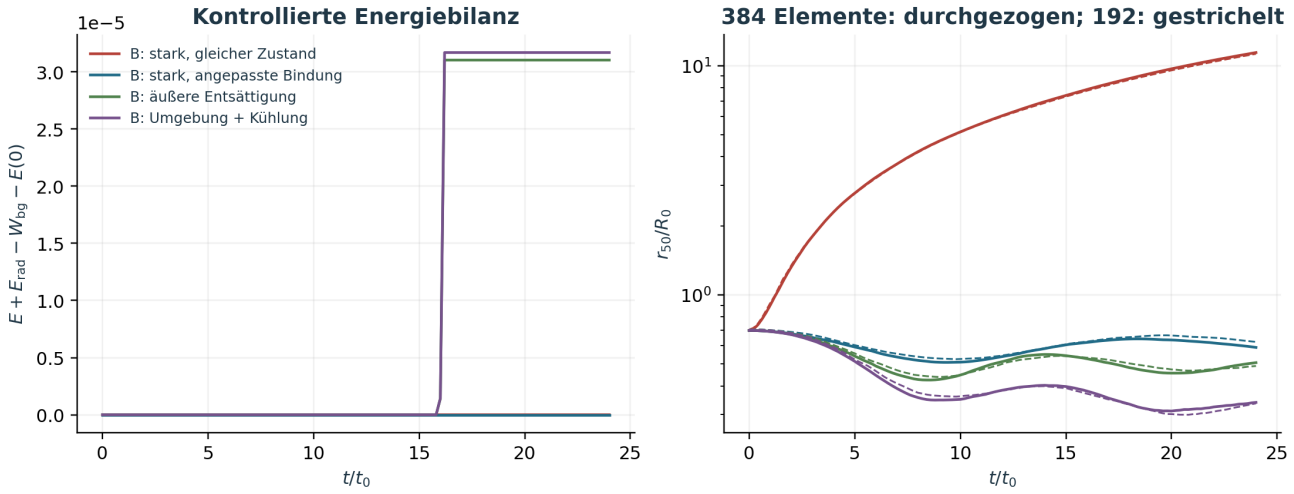

Abbildung 7. Links: Energierest nach Berücksichtigung von abgestrahlter Energie und Arbeit des kosmischen Hintergrunds. Rechts: räumlicher Auflösungsvergleich. Kleine Zeitintegrationsfehler sind nicht mit einer entsprechend kleinen Unsicherheit der räumlich nur grob aufgelösten Gasphysik gleichzusetzen.

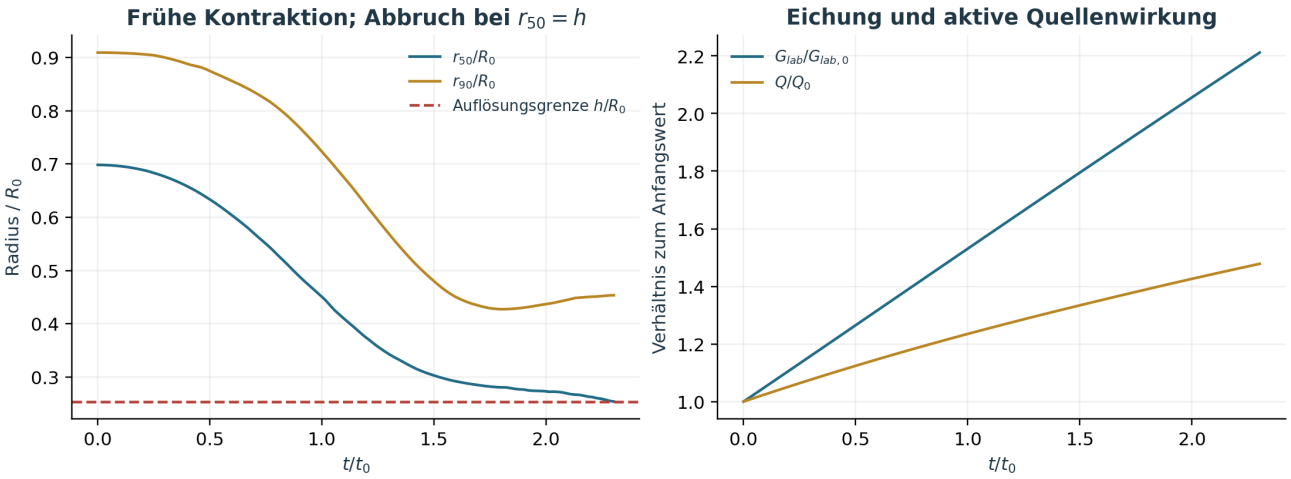

Abbildung 8. Schwache Wolke mit geprüfter Massen- und Zeitskalenhierarchie. Links: Kontraktion bis $r_{50} = h$, an der die Rechnung beendet wird. Rechts: lokaler schwacher Eichwert und aktive Ladung relativ zu ihren Anfangswerten. Die ganze materielle Masse bleibt erhalten; die aktive Ladung verändert sich. Über die weitere Entwicklung wird keine Aussage getroffen.

Die starke Zerstreuung erreicht im klassischen Modell Geschwindigkeiten von etwa 0,73 c. Dieser Lauf ist deshalb ausschließlich eine formale Konsequenzenrechnung. Die angepassten starken Fälle bleiben deutlich darunter, sind aber ebenfalls keine bereits relativistisch validierten Modelle. Für reale ultrakompakte Materie wären relativistische Bewegung, eine geeignete Zustandsgleichung und die Dynamik des Gravitationsfeldes zusätzlich zu prüfen.

10. Theoretischer Ertrag und empirische Anschlussfragen

Aussage	Ergebnis dieser Untersuchung
Eine lokale Eichung bestimmt die ganze Kosmologie.	Widerlegt innerhalb der Modellklasse: A und B erzeugen trotz ähnlicher Endeichung verschiedene Geschichten.
Selbstabschirmung garantiert eine geringe Fluchtenergie.	Widerlegt am analytischen Punktquellenpotential.
Starke Abschirmung kann bei gleichen Anfangsdaten Zerstreuung erzeugen.	Im neuen Wolkenexperiment nachgewiesen; der starke Ausgangszustand ist dabei bereits ungebunden.
Kosmische Entsättigung kann Kondensation fördern.	Kontraktion in äußeren Protokollen und im schwachen Einbettungsfall; letzterer wird an der Auflösungsgrenze beendet.
Die Rechnung erzeugt Ambarzumjan-artige Tochtergalaxien.	Nicht nachgewiesen. Keine mehreren gebundenen Kandidaten in den geprüften starken Läufen.
Inflation, Dunkle Materie und dunkle Energie sind damit ersetzt.	Nicht gezeigt. Die erforderlichen gemeinsamen Beobachtungstests fehlen.

Der theoretische Ertrag liegt im erschlossenen Zusammenhang zwischen Gesetz, Quellenwirkung, Anfangszustand und Entwicklungsverlauf. Die Konzeptstudie zeigt, welche Unterschiede für die jeweilige Dynamik entscheidend sind und welche zunächst naheliegenden Verknüpfungen sich nicht ergeben. Die neuen Rechnungen belegen, dass ein Vergleich bei

identischen Anfangsgeschwindigkeiten allein leicht eine irreführende Entstehungserzählung erzeugt. Sie belegen ferner, dass kosmische und lokale Abschirmung gegeneinander wirken können, ohne dass aus diesem Wettbewerb notwendig ein Zyklus oder ein Auswurf entsteht. Die fehlende Tochterbildung betrifft nur die geprüften Zustände, Zeitskalen und aufgelösten Massen. Sie ist kein allgemeiner Unmöglichkeitssatz.

Für einen weitergehenden positiven Nachweis müssten größere dynamische Bereiche, feinere und adaptive räumliche Auflösung, unterschiedliche Drehimpulse und Dichtestörungen sowie eine physikalisch begründete thermische Entwicklung untersucht werden. Ein kompakter Vorläufer müsste ohne vorausgesetzte radiale Freisetzung einen Auswurf erzeugen, dessen Energiequelle nachvollziehbar ist. Die ausgeworfenen Teile müssten anschließend als getrennte gebundene Systeme überleben. Die Auswahl günstiger Läufe ohne dokumentierte Gegenfälle wäre dafür nicht ausreichend.

Für die empirische Gesamtprüfung treten zusätzliche Hürden hinzu. Die kosmische Materiekugel besitzt eine ausgezeichnete Mitte und reproduziert keine nachgewiesene statistische Homogenität für beliebige Beobachter. Hintergrundspektrum, akustische Struktur, primordialer Elementhaushalt, Leuchtkraftentfernungen und kosmische Altersindikatoren wurden nicht gemeinsam berechnet. Ein flacher euklidischer Raum ist außerdem eine gesetzte Geometrie; seine Annahme erklärt nicht das relativistische Flachheitsproblem.

Eine stark zeitabhängige lokale Kopplung muss mit lokalen Präzisionstests vereinbar sein. Bereits die ausdrücklich historische LLR-Auswertung von Williams, Turyshev und Boggs aus dem Jahr 2004 ergab $\dot{G}/G = (4 \pm 9) \times 10^{-13}$ pro Jahr [12]. Dieser Wert ist kein hier behaupteter aktueller Bestwert. Er zeigt aber die Größenordnung der Prüfung: Eine ohne weitere Abschirmung unmittelbar im Sonnensystem wirksame Änderung auf einer Hubble-Zeitskala ist nicht beliebig zulässig. Das alternative Modell müsste seine Wirkung auf das gesamte Messsystem einschließlich Uhren, Quellen und Bahnen bestimmen; eine bloße Neudefinition von Einheiten reicht nicht.

Schließlich sind Beobachtungsgrenzen und Modellunsicherheiten quantitativ zu behandeln. Nicht detektierte baryonische Materie ist eine mögliche Restkategorie, keine frei verfügbare Masse. Ebenso ist eine gemessene Massenabweichung keine unmittelbare Identifikation eines dunklen Teilchens. Die sinnvolle Prüfung verlangt einen gemeinsamen Satz von Vorhersagen für Gas, Sterne, Bahnen und Licht sowie eine vergleichbare Behandlung der Unsicherheiten in konkurrierenden Modellen.

11. Zentrale Erkenntnisse

Erstens erfüllen Inflation, Dunkle Materie und dunkle Energie verschiedene Erklärungsaufgaben. Ihr gemeinsamer Verzicht hinterlässt keinen leeren Begriffsraum, sondern konkrete Aufgaben: Anfangskorrelationen, gravitative Quellenwirkung, Strukturbildung und Entfernungsgeschichte. Eine alternative Theorie muss diese Aufgaben gemeinsam bewältigen oder ihren Anspruch entsprechend begrenzen.

Zweitens ist das theoretische Verständnis von Wirkzusammenhängen ein eigenständiger Erkenntnisgewinn. Konzeptstudien können Mechanismen erschließen, die keine Entsprechung in der Wirklichkeit besitzen. Solche Einsichten erweitern den theoretischen Ideenraum, fördern die Ideenfindung und wirken einseitigem Denken entgegen. Die Frage nach einer empirischen Anwendung tritt als gesonderte Prüfung hinzu.

Drittens legt das exponentielle Testkörperpotential weder seine eigene Materiequelle noch eine vollständige Optik fest. Auch die Normierung ist wesentlich: Die berechnete Fassung mit Sättigungswert $-c^2/2$ ist von einem ansonsten ähnlich geschriebenen Ansatz mit Sättigungswert $-c^2$ zu unterscheiden. Die Varianten A und B illustrieren, wie stark unterschiedliche Quellenergänzungen die kosmische Entwicklung verändern. Die konservative Variante B erlaubt eine eindeutige Energiebilanz für die neue regularisierte Wolkenrechnung, stellt aber eine zusätzliche theoretische Festlegung dar.

Viertens sind materielle Masse, aktive Quellenladung und lokal gemessene Kopplung verschiedene Größen. Eine freie Wahl von G erzeugt keine physikalisch wohldefinierte Minimalmasse. Auch ein kosmisches Potential von der Größenordnung c^2 ist ohne unabhängige Definition und Messung keine Bestätigung exponentieller Gravitation.

Fünftens müssen Kraft, Bindungsenergie und Änderungszeit getrennt betrachtet werden. Eine geringe Kraft in einem gesättigten Potential kann mit großer Fluchtenergie einhergehen. Dieselbe Änderung der Endkopplung kann eine langsame gebundene Anpassung oder eine schnelle Entbindung erzeugen. Momentane Expansion ist kein hinreichender Beleg dauerhafter Auflösung.

Sechstens liefern die neuen dreidimensionalen Rechnungen einen kontrollierten negativen Befund zur einfachsten Zerfallserwartung. Die deutlich zerstreuende Wolke ist bereits im Anfangszustand ungebunden. Bei angepasster Bindung entsteht ein kompakter Rest; äußere Entsättigung und Kühlung verstärken die Kontraktion. Die starke Protokollrechnung ist keine konsistente kosmische Einbettung. Der schwache Zusatzfall erfüllt die Skalenhierarchie, erlaubt aber nur Aussagen bis zur erreichten Auflösungsgrenze. Mehrere selbstgebundene Tochterstrukturen werden nicht nachgewiesen. Damit wird eine Ambarzumjan-artige Bildungsgeschichte durch das untersuchte Gesetz bislang nicht erzeugt.

Siebtens entsteht ein erweitertes theoretisches Verständnis der Bedingungen von Bindung und Entwicklung: Gleichgewicht darf nicht vorausgesetzt, eine Randbedingung nicht als gemessene Kosmologie behandelt und eine sichtbare Expansion nicht mit kosmogonischer Neubildung gleichgesetzt werden. Die Konzeptstudie erschließt damit ein Zusammenwirken definierter Mechanismen und macht bisher verdeckte Voraussetzungen sichtbar. Diese Erkenntnisfunktion besitzt eigenständigen Wert für die Wissenschaft und ihre Fähigkeit, neue Fragen und Ideen hervorzubringen.

Anhang A. Reproduzierbarkeit und numerische Definitionen

Das Rechenpaket enthält simulate.py, figures.py, content.py und build.py, die tabellarischen Zeitreihen, die dreidimensionalen Zustände als komprimierte NumPy-Dateien und sämtliche Prüfwerte. Die sieben Grundläufe verwenden $N = 192$. Die vier starken Fälle werden mit $N = 384$ wiederholt; für die kosmische Umgebung liegt zusätzlich ein Lauf mit $\mathrm{rtol} = 2 \times 10^{-8}$ statt 2×10^{-6} vor. Die gewöhnlichen Differentialgleichungen werden mit DOP853 bis $t = 24\ t_0$ integriert, mit maximalem Zeitschritt $0{,}06\ t_0$ und 121 gespeicherten Ausgaben. Der zusätzliche schwache Einbettungsfall verwendet $N = 384$ und $\mathrm{rtol} = 2 \times 10^{-7}$. Er endet beim ersten Erreichen von $r_{50} = h$; seine 121 Ausgaben liegen innerhalb dieses kürzeren Intervalls. Ein reproduzierbarer Startwert ist 20261124.

Der SPH-Kern ist der dreidimensionale kubische Spline mit Trägerradius 2h und Normierung 1/(πh³). Es gilt h = 0,32 R₀ (192/N)^{1/3}. Die Gravitationsglättung bleibt ε = 0,12 R₀. Die künstliche Viskosität wirkt nur bei sich nähernden Paaren, mit α = 1, β = 2 und einem Nennerzusatz 0,01h². Sie ist eine numerische Stoßbehandlung; der Code löst keine mikroskopische Viskosität auf.

$$\rho_i = \sum_j m_j W_{ij}, \qquad U_{\mathrm{th}} = \sum_i \frac{m_i A_i \rho_i^{\gamma-1}}{\gamma-1}, \qquad \dot{A}_i|_{\mathrm{cool}} = -\frac{A_i}{\tau_{\mathrm{cool}}}. \tag{25}$$

Die Druckkräfte sind aus dieser thermischen Energie bei festem h abgeleitet. Die Viskositätswärme wird symmetrisch auf beide Paarpartner verteilt. Negative Entropiewerte oder ein nicht konvergiertes Feld brechen die Rechnung ab. Als relative Energiefehlernorm dient die Summe aus anfänglicher Bewegungsenergie, innerer Energie und dem Betrag der gravitativen Energie relativ zum gleichförmigen Hintergrund. Damit wird die große räumlich konstante Hintergrundenergie nicht zur künstlichen Verkleinerung des ausgewiesenen Fehlers benutzt.

Die kosmischen Potential- und zentralen Skalenverläufe werden mit kubischen Splines interpoliert; die Randarbeit verwendet deren analytische Zeitableitungen. Zur numerischen Konditionierung wird nur die Überschussarbeit gegenüber der homogenen Hintergrundenergie integriert. Der exakt bekannte Anteil Mc²[S_c(t) − S_c(0)]/2 wird anschließend addiert. Für den räumlichen Hintergrund kommt Σq_i r_i² k_φ/2 hinzu. Eine separate Differenzenprüfung bestätigt die Hintergrundkraft und diese Arbeitsableitung mit relativen Abweichungen unter 7 × 10⁻⁸. Nach t = 16 t₀ wird die äußere Vorgabe konstant gehalten. Der strengere Kontrolllauf prüft auch den Einfluss dieses Übergangs.

Die Trennungsenergie eines isolierten numerischen Elements wird mit derselben B-Ladungsgleichung und K_ii = 1/ε bestimmt. Sie wird bei der Bindungsdiagnose von Gruppen einzeln abgezogen. Dies vermeidet eine systematische Scheinklassifikation durch die Selbstenergie. Die räumliche Gruppensuche bleibt dennoch eine bewusst grobe Diagnose: Ein positiver Gruppenfund müsste gegen äußere Gezeiten, alternative Segmentierung, weitere Zeitentwicklung und höhere Auflösung geprüft werden.

Das Verzeichnis source_data enthält außerdem den vollständigen numerischen Ausgangscode der sphärischen Kosmologie und ihre verwendeten Zeitreihen. Die Ergebnisse der Schalenrechnung werden zusammen mit der dreidimensionalen Gasdynamik dokumentiert. Ausgangsmodelle, Anfangsdaten, Gleichungen und Diagnosekriterien sind in diesem Artikel definiert. Die Quellenrevision verwendet die mitgelieferten numerischen Ergebnisse und behauptet keine erneute Durchführung sämtlicher Simulationen.

Anhang B. Urheberschaft und Forschungsstatus

Dr. Klaus Retzlaff und Proto. Eine wissenschaftliche Kooperation von Mensch und KI. KI-geführtes Forschungsinstitut von Dr. Klaus Retzlaff. Die exponentielle Ausgangsidee, die Fragestellung der lokal geeichten Zivilisation und das erkenntnisstrategische Ziel der Gegenkosmologie gehen auf Retzlaff zurück. Die ausdrücklich als Ergänzungen gekennzeichneten Quellenmodelle, mathematischen Prüfungen, numerischen Experimente und die Ausarbeitung des Artikels sind Bestandteil der gemeinsamen Forschungsarbeit.

Die Bezeichnung Forschungsentwurf kennzeichnet eine ausgearbeitete, reproduzierbare Konzeptstudie. Ihr unmittelbares Ziel ist das theoretische Verständnis der untersuchten Wirkzusammenhänge und die Erschließung weiterer Ideen. Eine unabhängige Begutachtung steht aus. Die empirische Geltung der untersuchten Gesetze wird nicht vorausgesetzt; eine Gesamtanpassung an kosmologische Daten ist ein gesondertes, hier nicht durchgeführtes Vorhaben. Die ausgewiesenen Herleitungen und numerischen Resultate ermöglichen die Überprüfung und Weiterentwicklung der theoretischen Einsichten.

Methodischer Zusatz: vollständige Schalen-, Wachstums- und Lichtrechnung

Diskrete Definition der sphärischen Expansionsrechnung

Die dimensionslosen Einheiten sind R_f für die Länge, R_f/c für die Zeit und M für die Ruhemasse; β = 2G_*M/(c²R_f) = 1. Für N = 128 und 256 werden anfangs gleichabständige Radialgrenzen y_k = k/N gewählt. Die Massengewichte lauten w_i = y_i^3−y_{i−1}³; der repräsentative Radius ist die Kubikwurzel des Mittels der beiden Randkubiken. Anfangs gilt x_i = 0,2y_i und dx_i/dτ = 0,85y_i. Ein äußerer masseloser Rand folgt derselben Feldbewegung und beendet die Integration bei x_edge = 1.

$$B_i = \beta \sum_j \frac{q_j}{\max(x_i, x_j)}, \quad S_i = e^{-B_i}, \quad q_j^{(A)} = w_j, \quad q_j^{(B)} = w_j S_j \tag{R4}$$

B_i = −2φ_i/c² ist die Potentialtiefe. In Variante A wird die Summe direkt gebildet; in B wird das gekoppelte nichtlineare Feldproblem bei jedem Zeitschritt gelöst. Der eigene Schalenbeitrag geht im Potential vollständig ein, bei der radialen Kraft mit halbem Gewicht. Die Beschleunigung lautet ẍ_i = −(β/2)S_i[Σ_{j<i}q_j+q_i/2]/x_i². Die Halbschalenkonvention entspricht der symmetrischen Behandlung einer dünnen Massenschale; die Konvergenzkontrolle vergleicht die beiden Diskretisierungen.

Der Newton-Iterationsschritt der nichtlinearen Feldlösung wird bis zu einer maximalen Änderung von 2×10^{-11} ausgeführt. Die gewöhnlichen Differentialgleichungen werden adaptiv mit relativer Toleranz 2×10^{-10}, absoluter Toleranz 2×10^{-12} und maximalem Schritt Δτ = 0,003 integriert. Vor einer Schalenkreuzung wird abgebrochen. Der leere Außenraum und φ(∞) = 0 gehören zur Modelldefinition; das Verfahren ist keine Simulation einer unendlichen homogenen Materieverteilung.

Lokale Wachstumsdiagnose und Lichttransport

Die zentrale Expansionsskala a_c wird als Median x_i/y_i der innersten fünf Schalen geschätzt; H_c ist der Median ẋ_i/x_i. Das zentrale S_c folgt aus der vollständigen Potentialsumme. Für eine kleine kalte kurzwellige Störung wird D̈+2H_cḊ−(3β/2)S_cᵖD/a_c³ = 0 mit D(0)=1 und Ḋ(0)=0 integriert, wobei p=1 in A und p=2 in B ist. D ist ein linearer Verstärkungsfaktor, keine fertige Galaxie und kein nichtlinearer Fragmentationsnachweis.

Die zusätzliche klassische Lichtvorschrift lautet H_γ = c|p_γ|C mit C = 1+S−S_{ref}; S_{ref} ist der Wert am zentralen Beobachter zur Endzeit. Sie folgt hier aus der angenommenen doppelten Potentialkopplung bei festen materiellen Uhren. Ein radial einlaufender Strahl erfüllt in den dimensionslosen Einheiten dr/dτ = −C und d ln|p_γ|/dτ = ∂C/∂r. Er wird vom Beobachter r=0 rückwärts bis zur Materiegrenze verfolgt. Am bewegten Emitter ergibt die gewählte

Frequenzvorschrift 1+z = exp(ln[p_em/p_obs])(C_em+u_em/c). Sie enthält den Emissions-Dopplerterm und ist keine automatisch aus dem Materiekraftgesetz folgende relativistische Beziehung.

Zeitreihen, Schalenprofile, Wachstumsdiagnose, Lichtstrahlen und der vollständige Rechencode sind Bestandteile dieser Ausgabe. Die tabellierten Resultate werden aus diesen archivierten numerischen Ausgaben dokumentiert; die Quellenrevision wird nicht als erneute Durchführung sämtlicher Simulationen ausgegeben.

Literatur

[1] Guth, A. H. (1981): Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems. Physical Review D 23, 347–356. DOI: 10.1103/PhysRevD.23.347. https://doi.org/10.1103/PhysRevD.23.347

[2] Planck Collaboration, Akrami, Y. et al. (2020): Planck 2018 results. X. Constraints on inflation. Astronomy & Astrophysics 641, A10. https://arxiv.org/abs/1807.06211

[3] Planck Collaboration, Aghanim, N. et al. (2020; korrigierte Fassung 2021): Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. Astronomy & Astrophysics 641, A6. https://arxiv.org/abs/1807.06209

[4] Hu, W.; Sugiyama, N. (1995): Anisotropies in the Cosmic Microwave Background: An Analytic Approach. Astrophysical Journal 444, 489–506. https://arxiv.org/abs/astro-ph/9407093

[5] Cooke, R. J.; Pettini, M.; Steidel, C. C. (2018): One Percent Determination of the Primordial Deuterium Abundance. Astrophysical Journal 855, 102. https://arxiv.org/abs/1710.11129

[6] Fields, B. D.; Molaro, P.; Sarkar, S. (2024): Big Bang Nucleosynthesis. Review of Particle Physics, Kapitel 24; revidiert August 2023. https://pdg.lbl.gov/2024/reviews/rpp2024-rev-bbang-nucleosynthesis.pdf

[7] Riess, A. G. et al. (1998): Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant. Astronomical Journal 116, 1009–1038. https://arxiv.org/abs/astro-ph/9805201

[8] DESI Collaboration, Abdul-Karim, M. et al. (2025): DESI DR2 Results II: Measurements of Baryon Acoustic Oscillations and Cosmological Constraints. Verwendet: arXiv-Fassung v3 vom 9. Oktober 2025. https://arxiv.org/abs/2503.14738

[9] Lelli, F.; McGaugh, S. S.; Schombert, J. M. (2016): SPARC: Mass Models for 175 Disk Galaxies with Spitzer Photometry and Accurate Rotation Curves. Astronomical Journal 152, 157. https://arxiv.org/abs/1606.09251

[10] Corbelli, E.; Thilker, D.; Zibetti, S.; Giovanardi, C.; Salucci, P. (2014): Dynamical signatures of a ΛCDM-halo and the distribution of the baryons in M33. https://arxiv.org/abs/1409.2665

[11] LZ Collaboration, Aalbers, J. et al. (2025): Dark Matter Search Results from 4.2 Tonne-Years of Exposure of the LUX-ZEPLIN (LZ) Experiment. Physical Review Letters 135, 011802. DOI: 10.1103/4dyc-z8zf. https://doi.org/10.1103/4dyc-z8zf

[12] Williams, J. G.; Turyshev, S. G.; Boggs, D. H. (2004): Progress in Lunar Laser Ranging Tests of Relativistic Gravity. Physical Review Letters 93, 261101. Historischer Präzisionsmaßstab, kein beanspruchter aktueller Bestwert. https://arxiv.org/abs/gr-qc/0411113

[13] Ambartsumian, V. A. (1961): Instability Phenomena in Systems of Galaxies. Astronomical Journal 66, 536–540. https://adsabs.harvard.edu/pdf/1961AJ.....66..536A

[14] Vorontsov-Velyaminov, B. (1961): On the Possibility of Explosive Formation of Galaxy Patterns. Astronomical Journal 66, 551–553. https://adsabs.harvard.edu/pdf/1961AJ.....66..551V

[15] Ambartsumian, V. A. (1993): Epilogue. Aus A Life in Astrophysics; autobiographischer Rückblick, online transkribiert. https://ambartsumian.ru/en/papers/epilogue-ambartsumian%E2%80%99-s-paper/

[16] Maiolino, R. et al. (2017): Star formation inside a galactic outflow. Nature 544, 202–206. DOI: 10.1038/nature21677. https://arxiv.org/abs/1703.08587

[17] Springel, V.; Hernquist, L. (2002): Cosmological SPH simulations: The entropy equation. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 333, 649–664. https://arxiv.org/abs/astro-ph/0111016

[18] Rees, M. J.; Ostriker, J. P. (1977): Cooling, dynamics and fragmentation of massive gas clouds: clues to the masses and radii of galaxies and clusters. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society

179, 541–559. https://doi.org/10.1093/mnras/179.4.541

[19] Tong, D.: Cosmology. Kapitel 1: The Expanding Universe. Autorenskript, University of Cambridge; Referenz für die konventionellen Expansionsbegriffe. https://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/cosmo/cosmohtml/S1.html