

James Webb Space Telescope

Was das Universum in seinen Kindertagen gemacht hat

1 Einstieg

- Grundfrage: Wie sah das Universum am Anfang aus?
- Galileo 1609: eines der ersten Fernrohre → Sonne im Zentrum.
- JWST = größtes und fortschrittlichstes Teleskop je gebaut.
- Erste Deep-Field-Aufnahme: Galaxienhaufen SMACS 0723.
- **4 Missionsziele:** frühes Universum, Galaxien-Entwicklung, Stern-Lebenszyklus, andere Welten.

2 Das JWST & Vergleich mit Hubble

- Start Dez. 2021 (NASA, ESA, CSA), Ariane 5, 6200 kg.
- Zusammengefaltet gestartet, im All entfaltet (so groß wie ein Tennisplatz).
- Orbit: Lagrange-Punkt L2, 1,5 Mio. km (Hubble: 490 km) → weniger Streulicht.
- Erfassungsbereich Infrarot 0,6–28,5 μm , gekühlt auf -220°C .
- Reflektierendes Teleskop: Primär- + Sekundärspiegel, Brennweite 131 m.
- **Hauptspiegel 6,5 m** (Hubble 2,4 m) → 100× schwächere Objekte sichtbar.
- 4 Instrumente an Bord.

3 Rotverschiebung

- Universum dehnt sich aus → der Raum selbst dehnt die Lichtwellen mit.
- Wellenlänge wird länger = Verschiebung Richtung Rot.
- Je weiter weg, desto größer die Rotverschiebung.
- UV-Licht junger, heißer Sterne wird zu Infrarot gestreckt (1–5 μm).
- **z-Wert** = Maß der Streckung; höheres z = älteres Licht = weiter zurück.
- **Rekord:** MoM z14 mit $z = 14,44$ — nur 280 Mio. Jahre nach dem Urknall.
- JWST-NIRCam misst Infrarot (0,6–5 μm) → klassische Teleskope sind blind dafür.
- Spektrallinien verraten Element und Verschiebung zugleich.

$$z = \frac{\lambda_{\text{beobachtet}} - \lambda_{\text{emittiert}}}{\lambda_{\text{emittiert}}}$$

4 CMB & dunkles Zeitalter

- **CMB** = kosmische Hintergrundstrahlung, das älteste Licht überhaupt.
- Entstand 380.000 Jahre nach dem Urknall bei der Rekombination.
- Elektronen + Protonen → neutraler Wasserstoff → Universum wird durchsichtig.
- Licht kann sich zum ersten Mal frei ausbreiten.
- Heute bis in den Mikrowellenbereich gedehnt, nur noch 2,725 K kalt.
- Davor: undurchsichtiges Plasma, Licht an freien Elektronen gestreut → „Wand“.
- Winzige Temperaturschwankungen = Saat für spätere Sterne/Galaxien.
- JWST sieht die CMB nicht (COBE, WMAP, Planck taten das) → setzt danach an.
- Danach: dunkles Zeitalter — transparent, aber dunkel (keine Sterne).

5 Erste Sterne: Pop III

- **3 Generationen:** Pop I (jung, blau, metallreich), Pop II (alt, rot, metallarm), Pop III (erste, keine Metalle).
- Pop III: 75 % Wasserstoff, 25 % Helium, Spuren Lithium.
- **Λ CDM-Modell:** Λ = dunkle Energie, CDM = kalte dunkle Materie.
- Kleine Dichteunterschiede → Dunkle-Materie-Halos → erste Sterne.
- Metalle entstehen nur in Sternen → von Pop III per Supernova verbreitet.
- Pop III: 100–1000× Sonnenmasse, extrem heiß, ~2 Mio. J. Lebensdauer.
- Noch kein direkter Nachweis; GN-z11 (Helium ohne Metalle) → erstes Indiz.

6 Galaxien, die zu früh zu groß waren

- 2023: JADES-GS-z14-0 mit NIRCam entdeckt, $z = 14,32$.
- Am weitesten entfernte je beobachtete Galaxie.
- Bild von < 300 Mio. Jahren nach dem Urknall.
- Strahlung von jungen Sternen, mehrere hundert Mio. Sonnenmassen.
- **Konflikt:** passt nicht zum kosmologischen Standardmodell.

Reionisierung, Schwarze Löcher & Ausblick

7 Reionisierung

- Ganze Epoche, Beginn nach dem dunklen Zeitalter.
- Neutraler Wasserstoff wird wieder ionisiert.
- **Ursache:** erste heiße Sterne senden energiereiches UV-Licht aus.
- Um jede Lichtquelle bilden sich Ionisierungsblasen.
- Blasen wachsen und verschmelzen → ganzes Universum wird ionisiert.
- Dichte des Universums nimmt ab, Licht wird kaum gestreut → bleibt transparent.
- **Offene Frage:** Wer trieb sie an? (JWST → eher kleine Galaxien.)

8 Little Red Dots

- Seit 2022 auf JWST-Bildern: kleine, kompakte, rote Lichtpunkte.
- Über 1000 bekannt, $z = 4-7$ (500–1500 Mio. Jahre nach dem Urknall).
- Zu hell für normale Sterne und Galaxien.
- **Erklärung:** aktive Galaxienkerne (AGN) — Schwarze Löcher, die Gas fressen.
- Kein Röntgen-/Radiosignal wie sonst → lange unentdeckt.
- **Neue Theorie:** Schwarzes Loch in dichtem Gaskokon.
- Gaskokon schluckt Röntgen/UV, strahlt es als Infrarot ab → rote Punkte.
- Nur JWST sieht sie (Infrarot).
- **Abell 2744-QSO1:** $z = 7,04$; 40–50 Mio. Sonnenmassen — schwerer als seine Galaxie.
- **Problem:** viel zu massiv, viel zu früh für das Standardmodell.
- **Lösung:** Direktkollaps großer Gaswolken (statt langsamem Wachstum aus Sternen).

9 Beitrag zur Hubble-Spannung

- **Hubble-Konstante** = gegenwärtige Expansionsrate des Universums.
- Verschiedene Messmethoden weichen um über 10 % ab (Hubble-Spannung).
- JWST nutzt Cepheiden (pulsierende Sterne): Luminosität-Periodizität → Entfernung.
- Scharfes Infrarot isoliert Cepheiden besser → bestätigt Hubbles Wert (72,6 km/s/Mpc).
- Kein systematischer Fehler → dem Standardmodell fehlt womöglich etwas.

10 Was kommt noch?

- JWST läuft mindestens bis 2031+; Programme JADES/CEERS/UNCOVER liefern weiter Daten.
- **Nancy Grace Roman (bis 2027):** Spiegel wie Hubble, aber 100× größeres Sichtfeld → schaut breit.
- **Habitable Worlds Observatory (2030er):** erdähnliche Planeten, sucht Biosignaturen (Sauerstoff, Methan, Wasser).
- **LUVVOIR:** riesiges Teleskop, 8–15 m Spiegel, ferne Zukunft.
- Ergebnisse des JWST = Startschuss für neue Teleskop-Generation.

11 Fazit

- JWST blickt so weit zurück wie kein Teleskop zuvor.
- Füllt die Lücke zwischen CMB und heutigem Universum.
- Galaxien und Schwarze Löcher entstanden früher/schneller als gedacht.
- Viele Modelle müssen überdacht werden → mehr Fragen als Antworten.