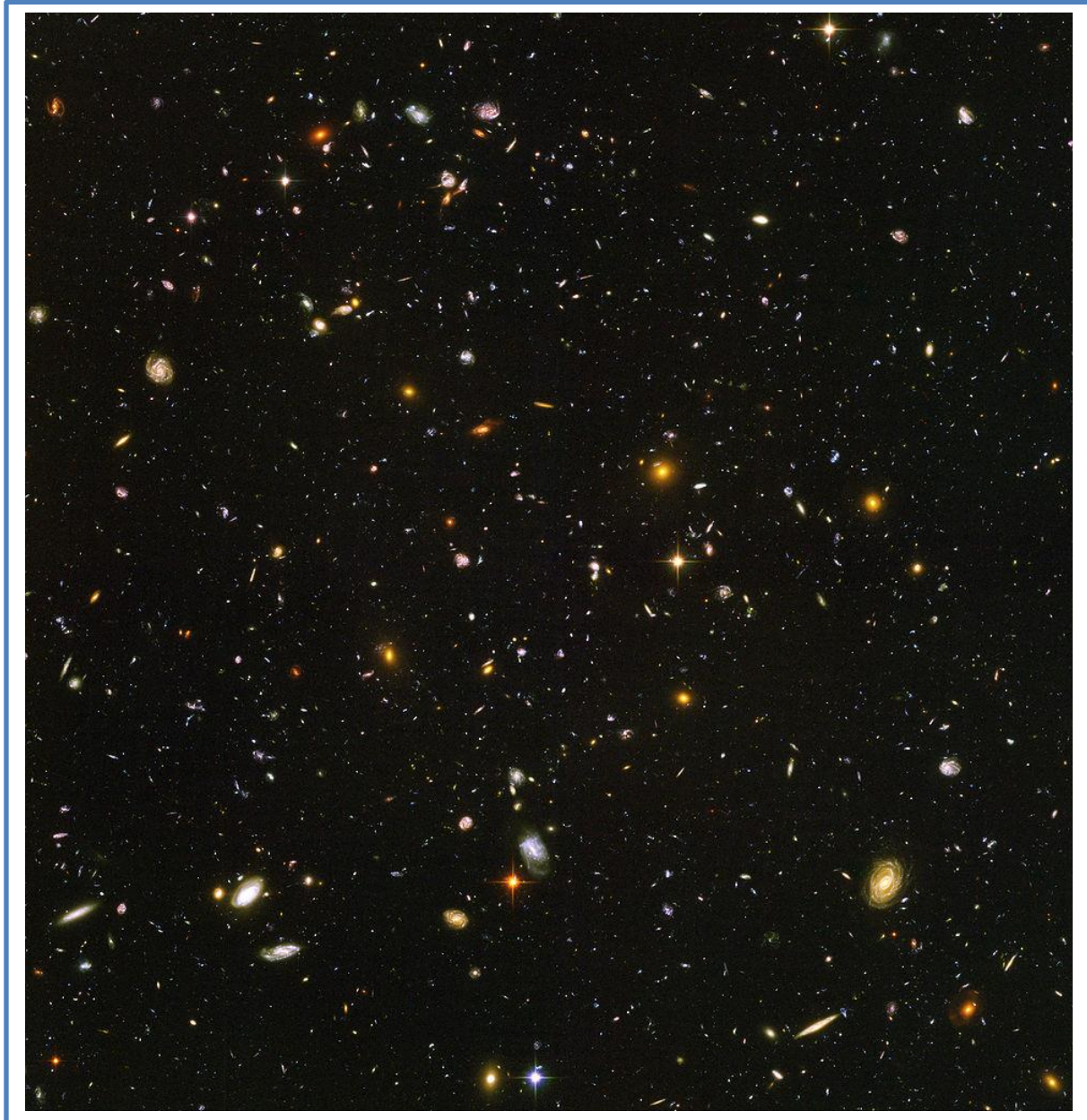


Das Hubble Ultra Deep Field



Das Hubble Ultra Deep Field

Ein von Galaxien übersätes Universum

Grundlagen: Das Hubble Ultra Deep Field (HUDF)

Aufgenommen wurde das HUDF vom Hubble-Weltraumteleskop (HST) im Zeitraum zwischen dem 03. September 2003 und dem 16. Januar 2004.

Es zeigt lediglich einen kleinen Ausschnitt des sichtbaren Universums, aber stellt jedoch einen unserer tiefsten Einblicke in das Universum dar. Die Größe des HUDF entspricht dabei in etwa einem Vierzig-Millionstel des gesamten Himmels oder, etwas leichter nachzuvollziehen, einem Zehntel des Mondes aus Sicht von der Erde aus. Das HUDF zeigt etwa 10.000 Galaxien und große Objekte und besteht eigentlich aus zwei separaten Aufnahmen des HAST, die dann überlagert wurden.

Bei dem HUDF handelt es sich um ein „field“ (dt. Feld). In der Astronomie bedeutet dies, dass die Fläche, die beobachtet wird, nicht von einem großen Objekt, wie z.B. einem Galaxienhaufen, im Vordergrund dominiert wird. Bei einem Galaxienhaufen handelt es sich um eine Ansammlung von hunderten bis tausenden Galaxien, die sich gemeinsam gravitativ anziehen und sich somit gegenseitig beeinflussen können. Dies bedeutet auch, dass alle Objekte in diesem Haufen ungefähr gleich weit von uns entfernt sind. In einem Feld ist dies nicht der Fall. Auf den ersten Blick lässt sich nicht sagen, welche Objekte, wie weit von uns und voneinander entfernt sind. Objekte, die von unserem Auge als nah nebeneinander gesehen werden, können in Wirklichkeit Millionen von Lichtjahren voneinander entfernt sein. Dies erlaubt uns Galaxien, in den verschiedensten Entfernungen und Entwicklungsstadien in einem einzigen Bild zu beobachten. Damit wir dies tun können, wurde das HUDF sehr lange aufgenommen, um so ein möglichst scharfes Bild zu erzeugen. Würden wir den gesamten Himmel mit dieser Qualität durchmustern wollen, würde das HST nahezu eine Million Jahre benötigen.

Da es sich beim HUDF, um eine von HSTs besten Aufnahmen handelt, wird es genutzt, um verschiedenste Arten von astronomischen Themen zu erforschen.

Das HUDF erlaubt uns sehr weit in die Entwicklungsgeschichte des Universums zurückzublicken, so dass wir einige der ältesten Galaxien, die uns heute bekannt sind, dort untersuchen können.

Natürlich ist dies nur innerhalb unserer technischen Limitierungen möglichen, da unsere

Teleskope nicht unendlich weit in das Universum blicken können.

Eine weitere Sache, die man bei astronomischen Beobachtungen, besonders bei weit entfernten Objekten beachten muss, ist die kosmologische Rotverschiebung.

Aufgrund der Tatsache, dass das Universum sich immer weiter ausdehnt, wird das Licht von weit entfernten Objekten signifikant zu rötteren Wellenlängen verschoben als die Objekte eigentlich aussenden. Nur wenn man dies akkurat korrigiert, kann man die Galaxien richtig analysieren.

Dieser Effekt ermöglicht aber im Umkehrschluss, dass man entsprechende Galaxien, die das HUDF zeigt, als sehr weit entfernt und daher sehr alt identifizieren kann. In der Regel sind derartige Objekte auch entsprechend klein, was bedeutet, dass man immer bessere Teleskope braucht, um neue ältere Objekte identifizieren zu können.

Aktivität 1: Wie viele Galaxien gibt es im sichtbaren Universum?

Das HUDF zeigt einen Ausschnitt des Universums, der einen durchschnittlich bevölkerten Bereich darstellt. Dies bedeutet, dass z.B. kein Galaxienhaufen oder Galaxiengruppe den Bereich dominiert. Dieser wird deswegen als Feld bezeichnet.

Aufgabe:

Die Titelseite zeigt das HUDF. In Anhang 1 findet ihr die Abbildung schon in vier gleich große Abschnitte unterteilt (A-D). Ihr teilt euch in vier Gruppen auf und jede Gruppe widmet sich einem Abschnitt.

Zählt zunächst alle sichtbaren Objekte in eurem Abschnitt.

In den Grundlagen wurde erwähnt, dass das HUDF ungefähr ein Vierzigmillionstel des gesamten Himmels zeigt. Aus dieser Information könnt ihr nun aus eurem Ergebnis die Gesamtzahl der sichtbaren Objekte im Universum N_{Gesamt} grob abschätzen.

Dafür nutzt ihr die Anzahl eurer gezählten Objekte n_A und diese Formel:

$$N_{Gesamt} \approx 4 * n_A * 4 * 10^7$$

Bestimmt die Gesamtanzahl der sichtbaren Objekte und vergleicht eure Ergebnisse mit den anderen Gruppen.

Vergleicht eure Ergebnisse und diskutiert etwaige Abweichungen und Unterschiede.

Beschreibt, wie sich die gegebene Formel 1 zusammensetzt.

Platz für Rechnungen und Ergebnisse:

Aktivität 2: Auflösungsvermögen des Hubble-Weltraumteleskops

Im Hubble-Ultra-Deep-Field erscheinen uns die vielen Galaxien sehr nah aneinander. Um diese voneinander unterscheiden zu können benötigt das Teleskop ein sehr gutes Auflösungsvermögen.

Aufgabe

Das Hubble-Weltraumteleskop hat ein sehr hohes Auflösungsvermögen. Das Auflösungsvermögen „ α “ sagt aus wie nah zwei Objekte (hier Galaxien) zueinanderstehen können, sodass man sie noch als zwei verschiedene und nicht ein großes Objekt erkennt.

Die Formel, um das Auflösungsvermögen berechnen zu können lautet:

$$\alpha = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

Mit „ λ “ der Wellenlänge des genutzten Lichtes und „ D “ dem Durchmesser der Teleskopöffnung.

Weil die Zahlen sehr klein werden geben Astronomen das Auflösungsvermögen im Bogenmaß an. Dafür zerteilt man einen Kreis mit seinen 360° noch in Bogenminuten und Bogensekunden. Ein Grad (°) hat 60 Bogenminuten (′) und eine Bogenminute hat 60 Bogensekunden (″). So hat also ein Grad = 60 * 60 = 3600 Bogensekunden. Weiterhin rechnet man noch mal $\frac{180}{\pi}$, um vom Grad ins Bogenmaß zu kommen.

So können wir unsere Formel modifizieren, sodass unser Ergebnis in Bogensekunden ist:

$$\alpha = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 3600''$$

Berechnet nun das Auflösungsvermögen vom Weltraumteleskop, welches eine Öffnung von 2,4m hat und vergleicht es mit dem Auflösungsvermögen des menschlichen Auges, welches eine Öffnung von 5 mm (=0,005 m) hat. Das Licht hat eine Wellenlänge von 550 nm (=0,00000055m).

Zum Vergleich: Ein Auflösungsvermögen von 0,05 Bogensekunden bedeutet, dass man auf dem Mond zwei Objekte voneinander unterscheiden kann, die 93 m weit auseinander sind.

Bei einem Auflösungsvermögen von 27 Bogensekunden kann man auf dem Mond zwei Objekte unterscheiden, die 50,27 km weit voneinander entfernt sind.

Platz für Rechnungen und Ergebnisse

Aktivität 3: Bestimmung der Hubble-Konstante

Nachdem ihr im Hubble-Ultra-Deep-Field die Anzahl der Galaxien im Universum bestimmt habt, ist nun eure Aufgabe zu bestimmen, wie schnell sich die Galaxien von uns wegbewegen.

Wusstest du schon?

Edwin Powell Hubble (links) war ein US-Astronom. Er hat neben dem Hubble-Lemaître-Gesetz auch die Hubble-Sequenz entwickelt. Nach ihm wurde auch das Hubble-Weltraumteleskop benannt.

Georges Edouard Lemaître (rechts) war ein katholischer Priester und Astrophysiker. Er gilt als Begründer der Urknalltheorie.

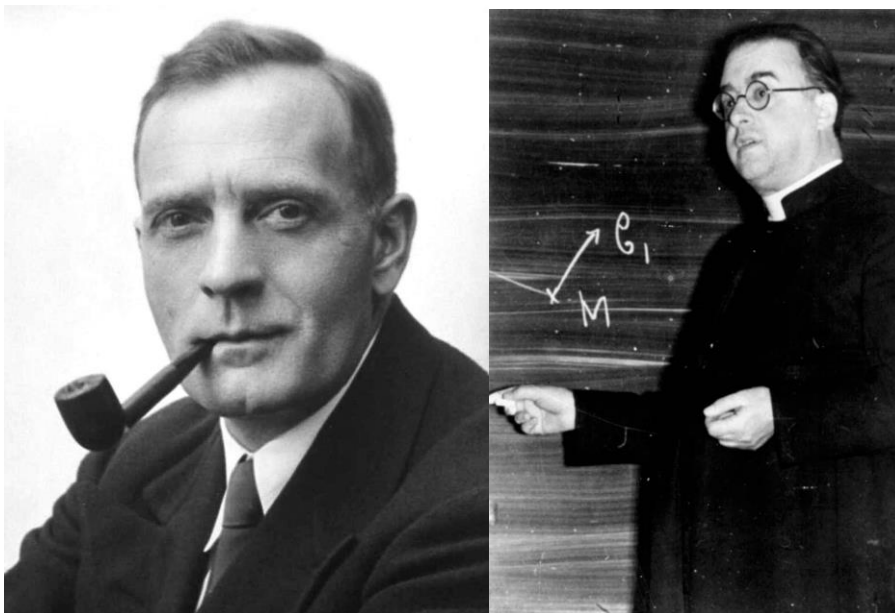


Abbildung 1: Edwin Hubble und Georges Lemaître [1][2]

Aufgabe

Teil A

Dies ist einer der möglichen Wege, um die Hubble-Konstante zu bestimmen.

Bestimmung der Hubble-Konstante über die Rotverschiebung

Im Hubble-Ultra-Deep-Field haben wir das Licht der Galaxien gemessen. Da sich Licht unter anderem als Welle fortbewegt, können wir diese Wellenlänge, abgekürzt λ (=Lambda), des Lichts messen. Die Einheit der Wellenlänge ist Nanometer (nm). ($1 \text{ nm} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 0,000000001 \text{ m}$)

In unseren Messungen sind die Wellenlängen aber anders, als die Wellenlängen im Labor. Sie wurden Rotverschoben. Dies kommt aus der Ausdehnung des Weltalls. Mit der folgenden Formel kann man sie bestimmen:

$$z = \frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\lambda_0}$$

Diese Rotverschiebung hat Edwin Hubble genauer untersucht und hat herausgefunden, dass die Rotverschiebung "z" einer Galaxie proportional zur Entfernung "D" ist. Als Gesetz hat er dies wie folgt formuliert: das Hubble- Lemaître Gesetz

$$z \cdot c = H \cdot D$$

Mit "H" der Hubble-Konstante und der Entfernung "D" in Mpc. ($1 \text{ Mpc} = 3,086 \cdot 10^{22} \text{ m}$)

"c" ist hier die Lichtgeschwindigkeit mit ungefähr ($3 \cdot 10^5 \text{ km/s} = 300000 \text{ km/s}$).

Wir messen jetzt die $H\alpha$ -Linie des Wasserstoffs einer Galaxie. Wir wissen, dass die Linie bei einer Wellenlänge von $\lambda_0 = 656,297 \text{ nm}$ liegt. In unserer Messung liegt dort aber keine Linie, sondern bei $\lambda_1 = 658,003 \text{ nm}$. Weiterhin wissen wir, dass die Galaxie 11 Mpc weit entfernt ist.

Berechnet nun die Hubble-Konstante, indem ihr zuerst die Rotverschiebung, mit den oben genannten Formeln, bestimmt, dann das Hubble-Gesetz nach "H" umstellt und dann euer Ergebnis für z einsetzt.

Achtet auf die Einheiten! Die Konstante hat die Einheit $\frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$

Platz für Rechnungen und Ergebnisse

Teil B

Dies ist einer der möglichen Wege, um die Hubble-Konstante zu bestimmen.

Bestimmung der Hubble-Konstante über die Geradensteigung

Im Hubble-Ultra-Deep-Field sind viele unterschiedliche Galaxien zu sehen, die alle unterschiedlich weit entfernt sind. Edwin Hubble hat einige dieser Galaxien beobachtet und festgestellt, dass je weiter sie von uns entfernt sind, desto schneller bewegen sie sich von uns weg. Diese Beobachtung hat er in einem Diagramm aufgezeichnet, welches ihr in Abbildung 2 seht. Dies nennt man das Hubble-Diagramm.

Heutzutage gibt es genauere Beobachtungen als Hubble sie 1929 hatte. Mit diesen neuen Beobachtungen kann man nun die Hubble-Konstante weitaus besser bestimmen. In Abbildung 3 seht ihr ein neueres Diagramm.

Bestimmt jetzt mit folgender Formel für die Geradensteigung die Hubble-Konstanten der beiden Diagramme, indem ihr das m mit einem Steigungsdreieck bestimmt:

$$y = mx + b$$

Was fällt euch auf, wenn ihr die Hubble-Konstante „H“ aus Hubbles Originaldiagramm mit der von modernen Messungen vergleicht?

Achtet auf die Einheiten! Die Konstante hat die Einheit $\frac{\text{km}}{\text{Mpc}} \cdot \frac{\text{s}}{\text{pc}}$. ($1 \cdot 10^6 \text{ pc} = 1 \text{ Mpc} = 3,086 \cdot 10^{22} \text{ m}$)

Platz für Rechnungen und Ergebnisse

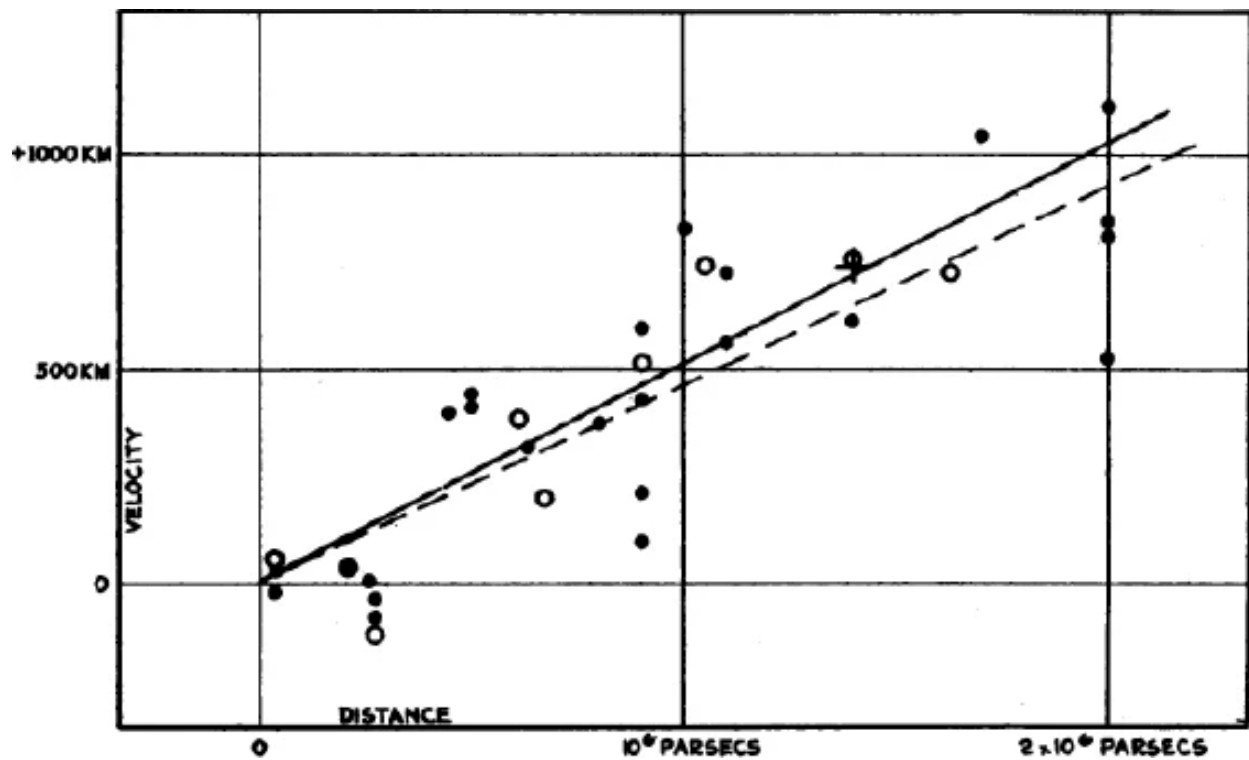


Abbildung 2: Hubbles Originalzeichnung der Distanz zu Galaxien auf der x-Achse (in 10^6 pc) im Verhältnis zu ihrer Geschwindigkeit auf der y-Achse (in km/s) [3]

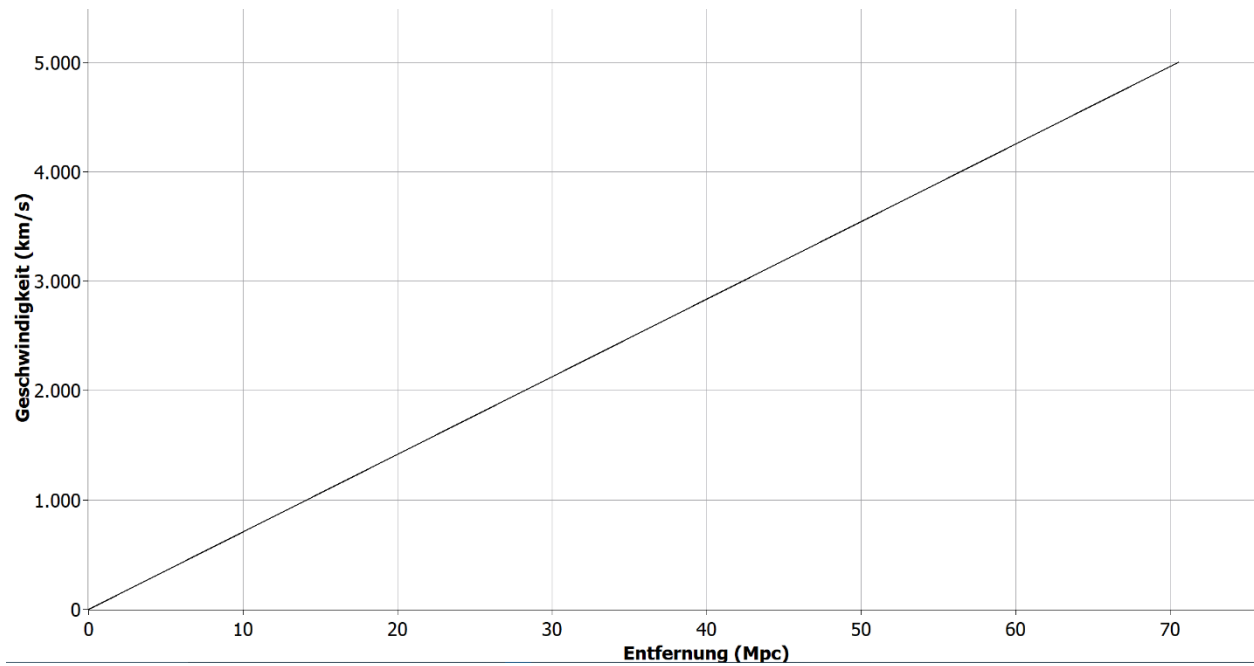


Abbildung 3: Moderne Gerade zur Bestimmung der Hubble Konstante (ohne Messpunkte!)

Bonus: Alter des Universums

Wenn ihr die Hubble-Konstante bestimmt habt, könnt ihr mit dieser das Alter des Universums berechnen, indem ihr in die Hubble-Konstante für die „Mpc“ „km“ einsetzt. Rechnet danach 1 / Euer Ergebnis.

Das ist die **Formel**, in der die oben genannten Schritte zusammengefasst sind:

$$t = \frac{1}{H} = \frac{3,086 \cdot 10^{19} km}{\text{Euer Ergebnis für die Hubble_Konstante (in } \frac{km}{s} \text{)}}$$

t steht hier für das Alter des Universums. Denkt wieder an die Einheiten. In Jahren wird das Ergebnis etwas besser lesbar.

Platz für Rechnungen und Ergebnisse

Links

ESA Ressourcen

ESA Klassenzimmer Ressourcen: www.esero.de

ESA Kids Website: www.esa.int/kids

ESA Weltraumprojekte

Hubble-Weltraumteleskop: <https://esahubble.org/>

Quellen

Titelbild: <https://esahubble.org/images/heic0611b/>

[1]

[https://de.wikipedia.org/wiki/Edwin_Hubble#/media/Datei:Studio_portrait_photograph_of_Edwin_Powell_Hubble_\(cropped\).JPG](https://de.wikipedia.org/wiki/Edwin_Hubble#/media/Datei:Studio_portrait_photograph_of_Edwin_Powell_Hubble_(cropped).JPG)

[2] <https://www.britannica.com/biography/Georges-Lemaitre>

[3] <https://link.springer.com/article/10.1007/lrr-2015-2/figures/1>

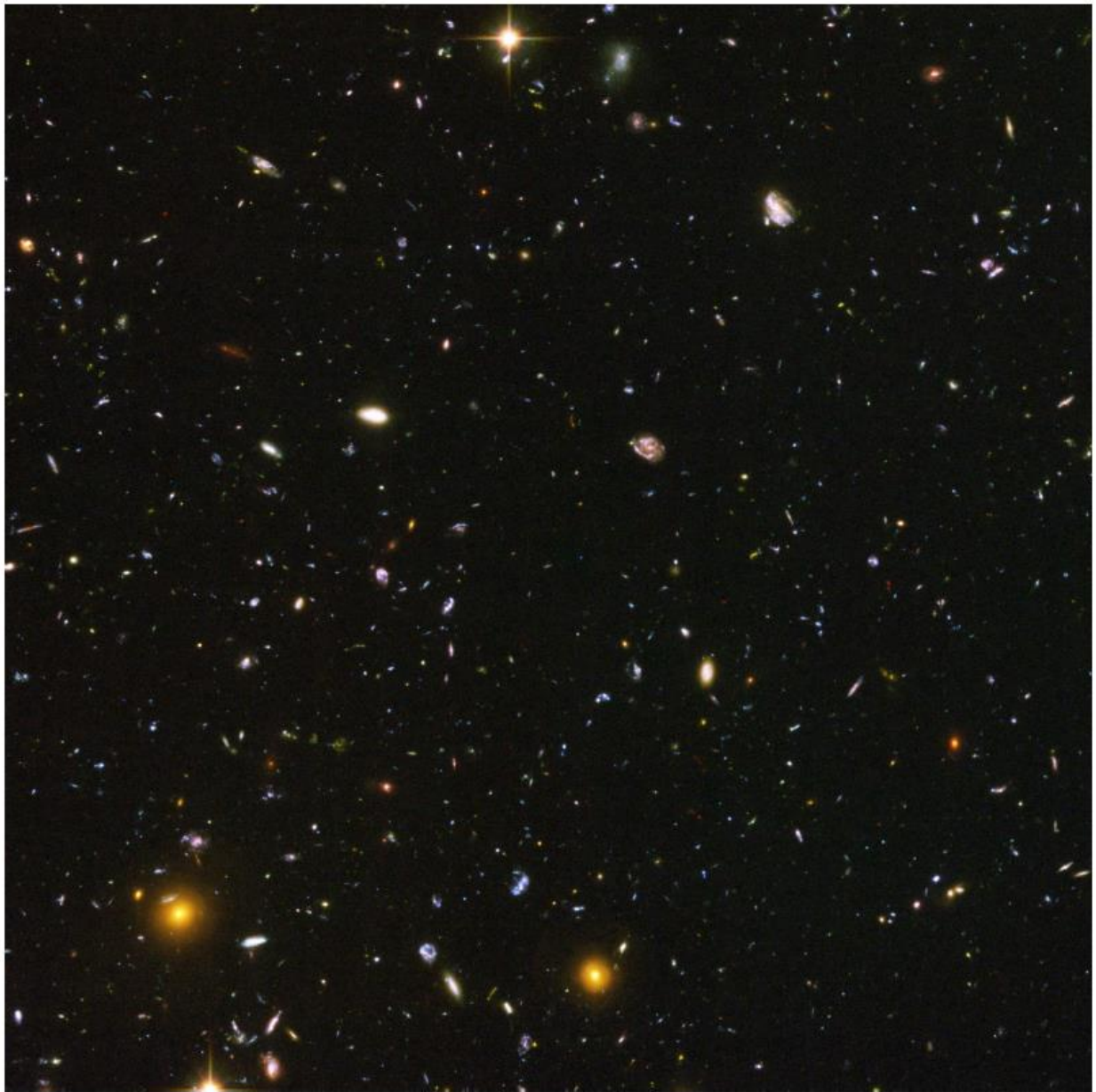
COPYRIGHT © ESERO GERMANY (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Anhang 1

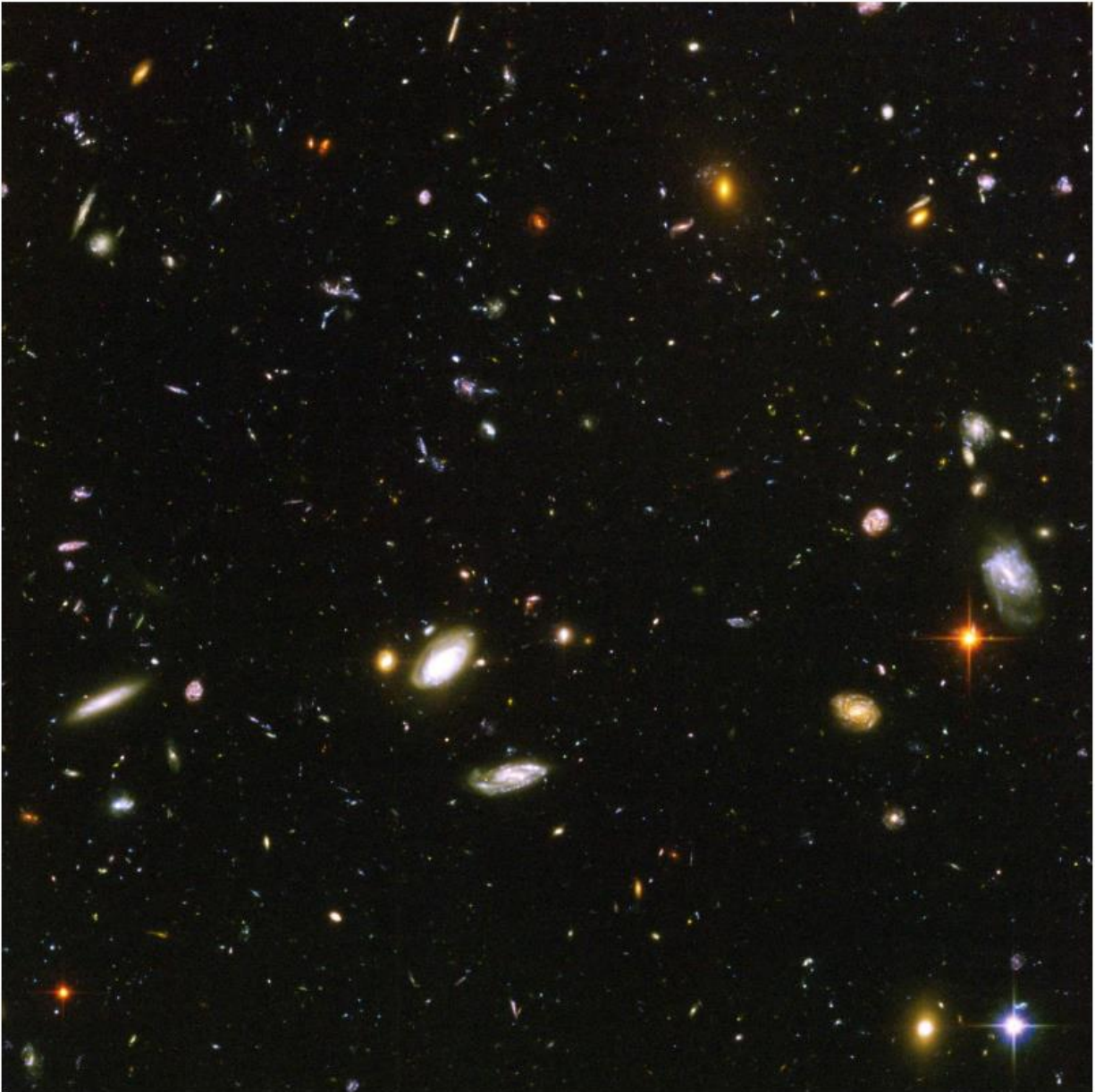
A



B



C



D

