

Time without end...

Time without end: Physics and biology in an open universe*

Freeman J. Dyson

Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey 08540

Quantitative estimates are derived for three classes of phenomena that may occur in an open cosmological model of Friedmann type: (1) Normal physical processes taking place with very long time-scales. (2) Biological processes that will reach K life adapted itself to low ambient temperatures according to a postulated scaling law. (3) Communication by radio between life forms existing in different parts of the universe. The general conclusion of the analysis is that an open universe need not evolve into a state of permanent quiescence. Life and communication can continue for ever, utilizing a finite store of energy, if the assumed scaling laws are valid.

CONTENTS

Lecture I. Philosophy	447
Lecture II. Physics	448
A. Stellar evolution	448
B. Detachment of planets from stars	450
C. Detachment of stars from galaxies	450
D. Decay of orbits by gravitational radiation	451
E. Decay of black holes by the Hawking process	451
F. Matter in liquid at zero temperature	451
G. All matter decays to iron	452
H. Collapse of iron stars to neutron stars	452
I. Collapse of ordinary matter to black hole	452
Lecture III. Biology	453
Lecture IV. Cosmization	457
References	466

LECTURE I. PHILOSOPHY

A year ago Steven Weinberg published an excellent book, *The First Three Minutes*, (Weinberg, 1977), explaining to a lay audience the state of our knowledge about the beginning of the universe. In his sixth chapter he describes in detail how progress in understanding and observing the universe was delayed by the timidity of theorists.

"This is often the way it is in physics—our mistake is not that we take our theories too seriously, but that we do not take them seriously enough. It is always hard to realize that those numbers and equations we play with at our desks have something to do with the real world. Even worse, there often seems to be a general agreement that certain phenomena are just not fit subjects for respectable theoretical and experimental effort. Alphae, Herman and Gamow (1948) deserve tremendous credit above all for being willing to take the early universe seriously, for working out what known physical laws have to say about the first three minutes. Yet even they did not take the final step, to convince the radio astronomers that they ought to look for a microwave radiation background. The most important thing accomplished by the ultimate discovery of the

3°K radiation background (Penzias and Wilson, 1965) was to force all of us to take seriously the idea that there may be an early universe."

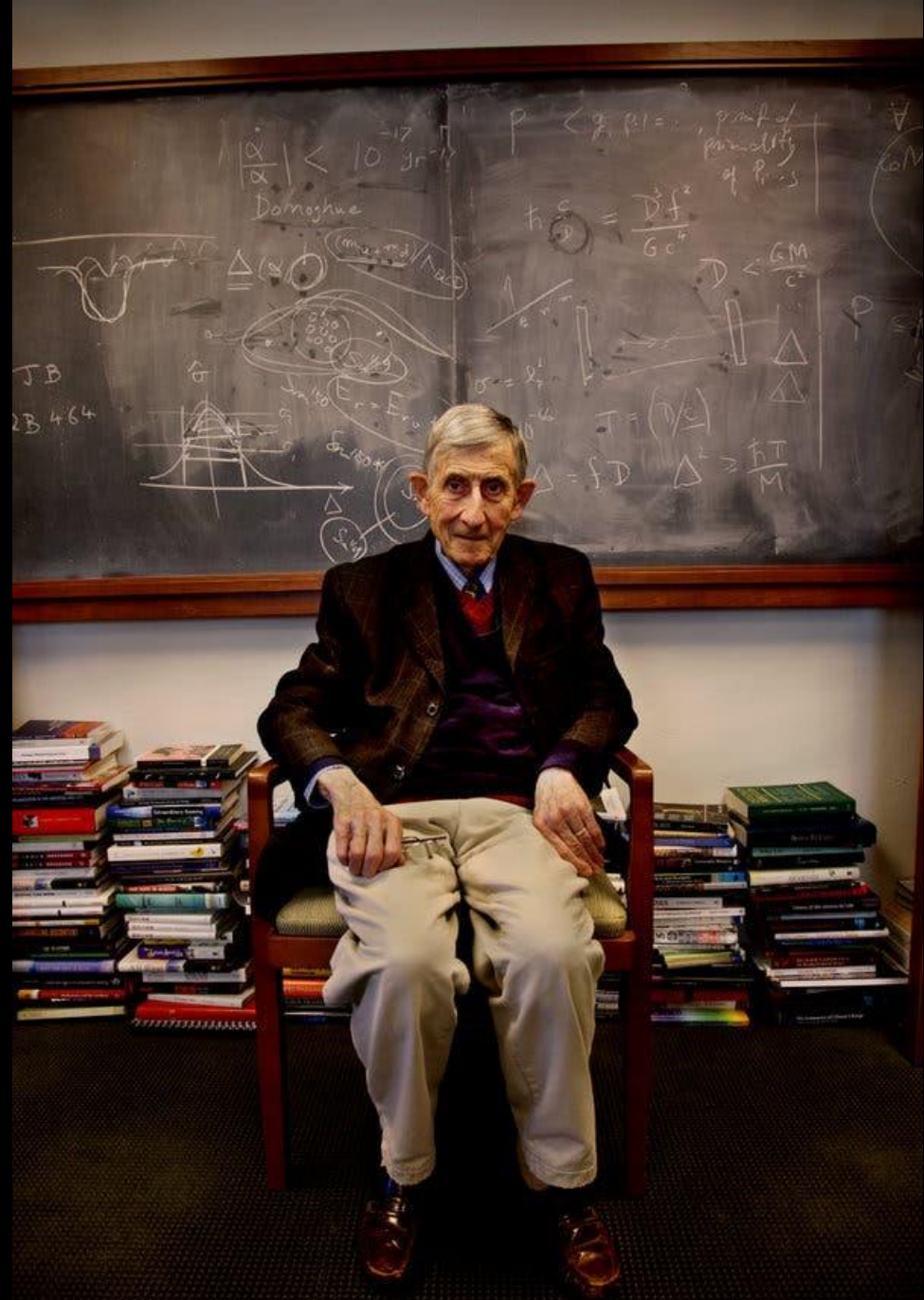
Thanks to Penzias and Wilson, Weinberg and others, the study of the beginning of the universe is now respectable. Professional physicists who investigate the first three minutes or the first microseconds no longer need to feel shy when they talk about their work. But the end of the universe is another matter. I have searched the literature for papers about the end of the universe and found very few (Rees, 1969; Davies, 1973; Islam, 1977 and 1979; Barrow and Tippler, 1976). This list is certainly not complete. But the striking thing about these papers is that they are written in an apologetic or jocular style, as if the authors were begging us not to take them seriously. The study of the remote future still seems to be as disreputable today as the study of the remote past was thirty years ago. I am particularly indebted to Jamal Islam for an early draft of his 1977 paper which started me thinking seriously about the remote future. I hope with these lectures to hasten the arrival of the day when eschatology, the study of the end of the universe, will be a respectable scientific discipline and not merely a branch of theology.

Weinberg himself is not immune to the prejudices that I am trying to dispel. At the end of his book about the past history of the universe, he adds a short chapter about the future. He takes 150 pages to describe the first three minutes, and then dismisses the whole of the future in five pages. Without any discussion of technical details, he sums up his view of the future in twelve words:

"The more the universe seems comprehensible, the more it also seems pointless."

Weinberg has here, perhaps unintentionally, identified a real problem. It is impossible to calculate in detail the long-range future of the universe without including the effects of life and intelligence. It is impossible to calculate the capabilities of life and intelligence without touching, at least peripherally, philosophical questions. If we are to examine how intelligent life may be able to guide the physical development of the universe for its own purposes, we cannot altogether avoid considering what the values and purposes of intelligent life may be. But as soon as we mention the words value and purpose, we run into one

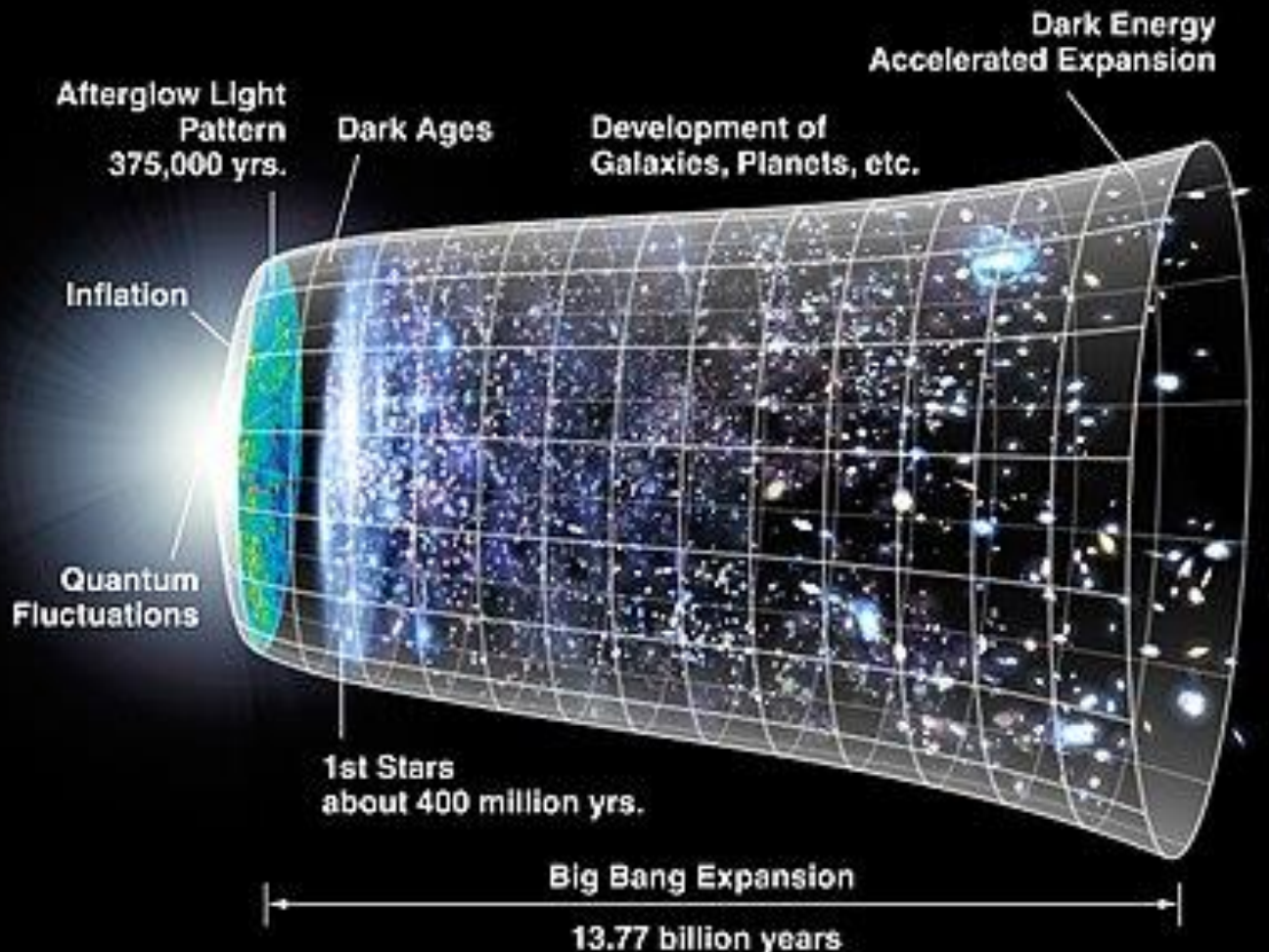
*This material was originally presented as four lectures, the "James Arthur Lectures on Time and Its Mysteries" at New York University, Autumn 1978. The first lecture is addressed to a general audience, the other three to an audience of physicists and astronomers.



Was bereits geschah: Eine kurze Geschichte des Universums ...

Nach dem derzeitigen Wissensstand existiert „unser Kosmos“ seit $4.354 \pm 0.007 * 10^{17}$ s

→ 13.787 ± 0.02 Milliarden Jahre



Aber:

Das Universum hat gerade erst begonnen. Wie geht es weiter, wie sieht die Zukunft aus?

Wir wissen mittlerweile so viel über die physikalische Welt, so dass es Sinn macht, im Lichte der modernen Wissenschaften über die Zukunft des Universums zu spekulieren

Ausgangspunkte:

- „Unser Universum“ hat einen bestimmbaren zeitlichen Anfang - den „Urknall“
- Der Kosmos expandiert, d. h. seine für uns kausale Grenze verschiebt sich immer weiter weg, wodurch sich dessen Volumen immer mehr vergrößert – Beobachtungshorizont 46.6 Milliarden Lj
- Die kosmische Expansion verläuft beschleunigt (Nobelpreis 2011 an Perlmutter / Ries / Schmidt) – „Dunkle Energie“
- Der Energieinhalt der Welt ist konstant, die Entropie nimmt stetig zu (Zeitpfeil)
- Die Struktur der Materie wird durch das Standardmodell der Elementarteilchenphysik genügend exakt beschrieben

Die Zukunft der Erde

Die Erde ist vor 45.4 Milliarden Jahren zusammen mit der Sonne und den anderen Planeten in einer Protoplanetaren Gas- und Staubscheibe unter dem Einfluss einer nahen Supernova-Explosion entstanden.

Die ersten „Lebensspuren“ fand man in ca. 3.8 Milliarden alten geologischen Formationen

Den modernen Menschen gibt es seit ca. 300 000 Jahren



Wegmarken in die Zukunft – was passieren wird...

Das kosmische Jahr: Der 1. Januar, 0 Uhr, ist auf dieser Zeitskala der Augenblick des Urknalls und der 31. Dezember, 24 Uhr, das „Jetzt“.



31. August:	Sonne und Erde entstanden
16. September:	Erste Lebensspuren
14. Dezember:	Kambrische Explosion
20. Dezember:	Erste Tiere erobern das Land
30. Dezember:	6:24 Uhr Meteoriteneinschlag Chixculub-Krater
31. Dezember:	6:05 Uhr Erste Primaten erscheinen
	22:24 Uhr Erste Hominiden
	23:44 Uhr Frühmenschen beginnen das Feuer zu nutzen
	23:55 Uhr Beginn des letzten Eiszeitalter
	23:59:47 Uhr Erfindung der Schrift
	23:59:58 Uhr Kolumbus entdeckt Amerika
	23:59:59:59 Uhr Smartphone dient der allgemeinen Kommunikation

Wird die Menschheit den 1. Neujahrstag überleben?

Willkommen im neuen kosmischen Jahr

1 Sekunde entspricht 435 Jahre...

1. Januar → 37.584.000 Jahre

0:00:08 Uhr Komet Hale Bopp kehrt zurück

0:01:27 Uhr Voyager erreicht den nächsten Stern

0:35:00 Uhr Die Fußabdrücke der Apollo-Astronauten verschwinden

Es werden mehrere Supervulkane ausbrechen

In 2.6 Millionen Jahren werden die Pyramiden vollständig erodiert sein

In 12 Millionen Jahren werden die Marsmonde zerbröseln und ein Ringsystem bilden

In 25 Millionen Jahren werden die Saturnringe verschwunden sein

Antares und Beteigeuze enden in einer Supernovaexplosion

2. Januar

Ein verheerender Asteroideneinschlag wird wahrscheinlich

3. Januar

Es bildet sich aufgrund der Kontinentaldrift ein neuer Superkontinent

... Sonnenleuchtkraft nimmt langsam aber stetig zu

14. Januar

(gegen Mittag) In 550 Millionen Jahren endet die Photosynthese

21. Januar

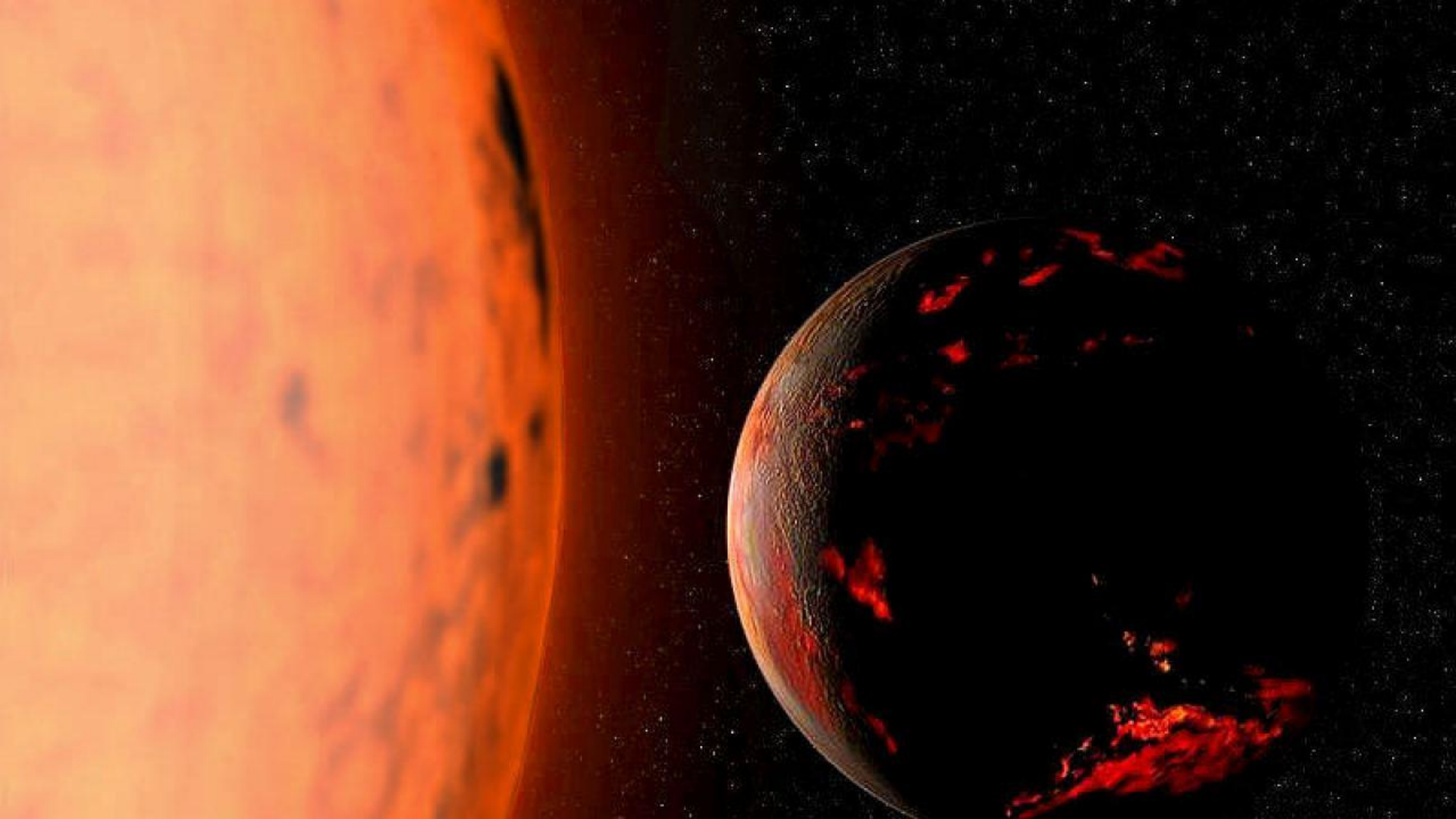
In 800 Millionen Jahren sind alle höheren Lebewesen ausgestorben

29. Januar

Die Ozeane beginnen zu verdampfen und damit stirbt alles Leben auf der Erde

Anfang März gibt es keine Ozeane mehr und die Erde ist ein heißer Wüstenplanet

Ab Mitte Juli beginnt sich die Sonne zu einem Roten Riesen aufzublähen um nur zwei Wochen später begleitet von ein paar thermischen Blitzen seine Außenhülle abzustößen und sich dabei in einen Weißen Zwerg zu verwandeln



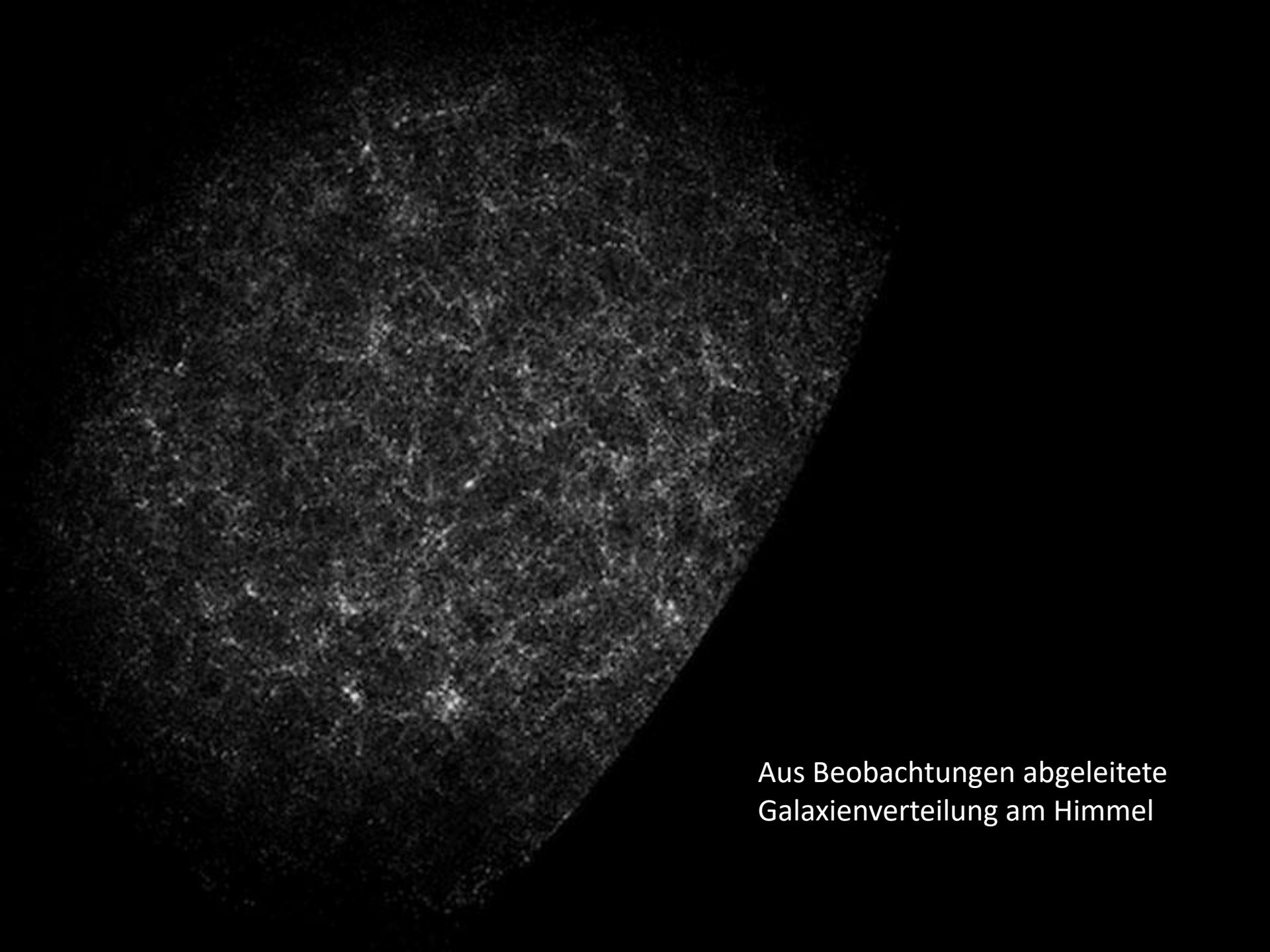
In etwas mehr als einem halben kosmischen Jahr ist das Sonnensystem Geschichte...

Das Schicksal der Galaxien



Im gesamten überschaubaren Universum gibt es ungefähr 100 Milliarden Galaxien, die wiederum insgesamt aus ca. Zweihundert Trilliarden Sterne ($2 \cdot 10^{23}$)





Aus Beobachtungen abgeleitete
Galaxienverteilung am Himmel

Alle Sterne entstehen aus kosmischen Gas- und Staubwolken infolge eines Gravitationskollaps und machen danach eine im Wesentlichen masseabhängige Entwicklung durch, an deren Ende

- ein Weißer Zwergstern (entartetes Elektronengas)
- ein Neutronenstern (entartete Neutronenflüssigkeit)
- ein Schwarzes Loch (Raum-Zeit-Anomalie)
- oder nur Explosionsschutt (Paarinstabilitäts-Supernovae)

übrig bleibt.

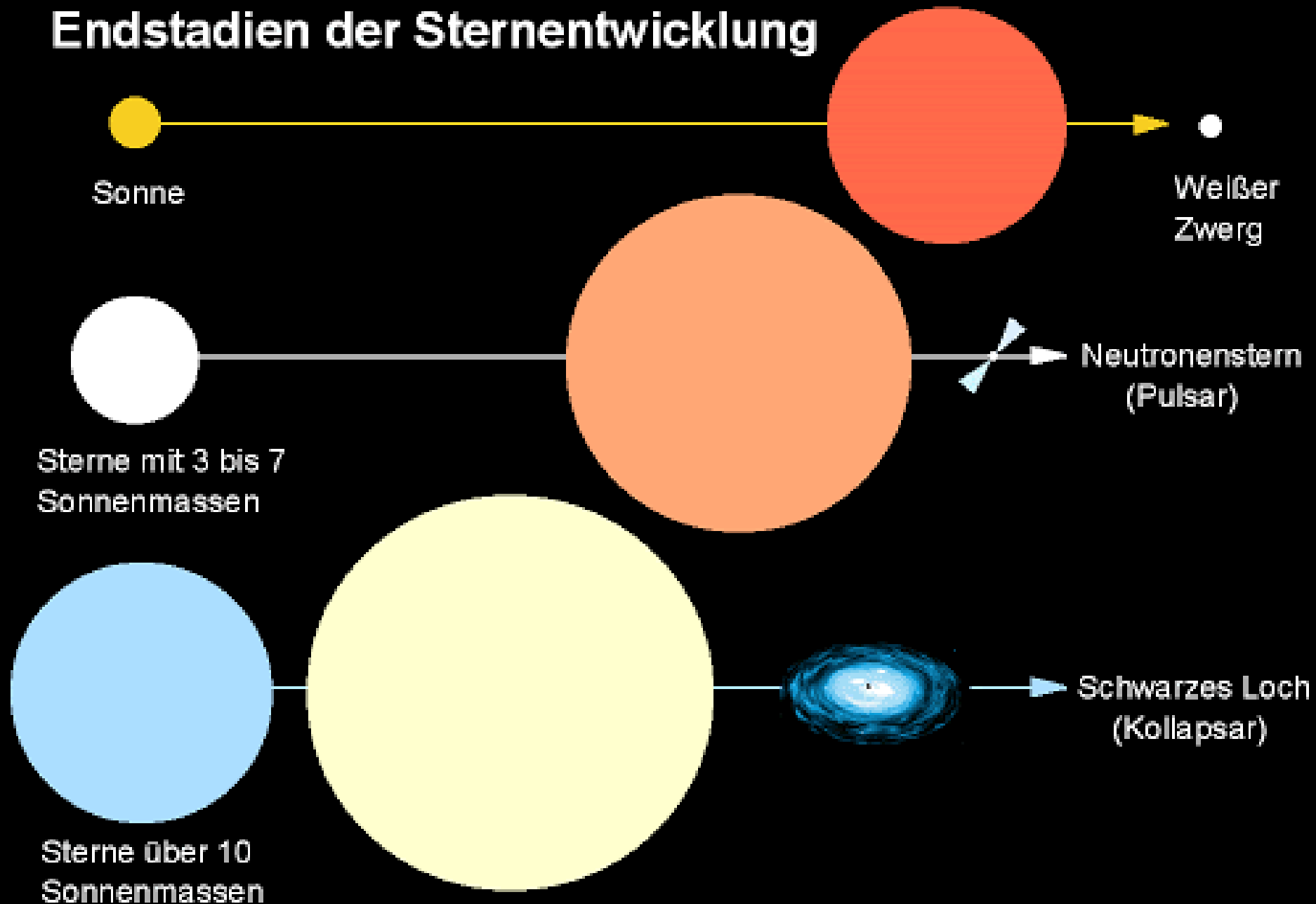
Außerdem bevölkern noch unzählige Braune Zwerge und ausgekühlte Planeten die Galaxien.

Die meiste Materie (mehr als $\frac{1}{2}$) bleibt in den Sternleichen gebunden und steht nicht mehr für weitere Sternenerationen zur Verfügung.

Mit jeder neuen Sterneneration im **kosmischen Materiekreislauf** verringert sich der Gas- und Staubanteil (interstellare Materie), der zur Bildung neuer Sterne benötigt wird. Außerdem nimmt der Metallgehalt zu, was die Eigenschaften und die Entwicklungswege der daraus entstehenden Sterne verändert...

→ Die Sternbildungsraten nehmen im Laufe der Zeit ab

Endstadien der Sternentwicklung



Was passiert mit der Sternmaterie?

Was mit der Materie in Weißen Zwergen und Neutronensternen passiert hängt entscheidend davon ab, ob schwach wechselwirkende „Dunkle Materie“ (WIMP's) existiert und ob Nukleonen wirklich langzeitstabil sind (experimentell bis zu 10^{33} Jahre sicher nachgewiesen, GUT sagen aber Halbwertszeiten von 10^{36} Jahre voraus)

- Weiße Zwerge und Neutronensterne sammeln gravitativ „Dunkle Materie“ an, die dann in deren Inneren mit den Nukleonen wechselwirkt und diese in Positronen und Pionen zerfallen lässt.
- Schwarze Löcher lösen sich aufgrund der Hawking-Strahlung auf (typische Zeitskala von 10^{64} Jahre pro Sonnenmasse, ein Black hole von der Masse unserer Milchstraße „verdampft“ innerhalb von ca. 10^{98} Jahren)



*... denn alles, was entsteht, ist wert,
dass es zugrunde geht ...*

(Mephisto)

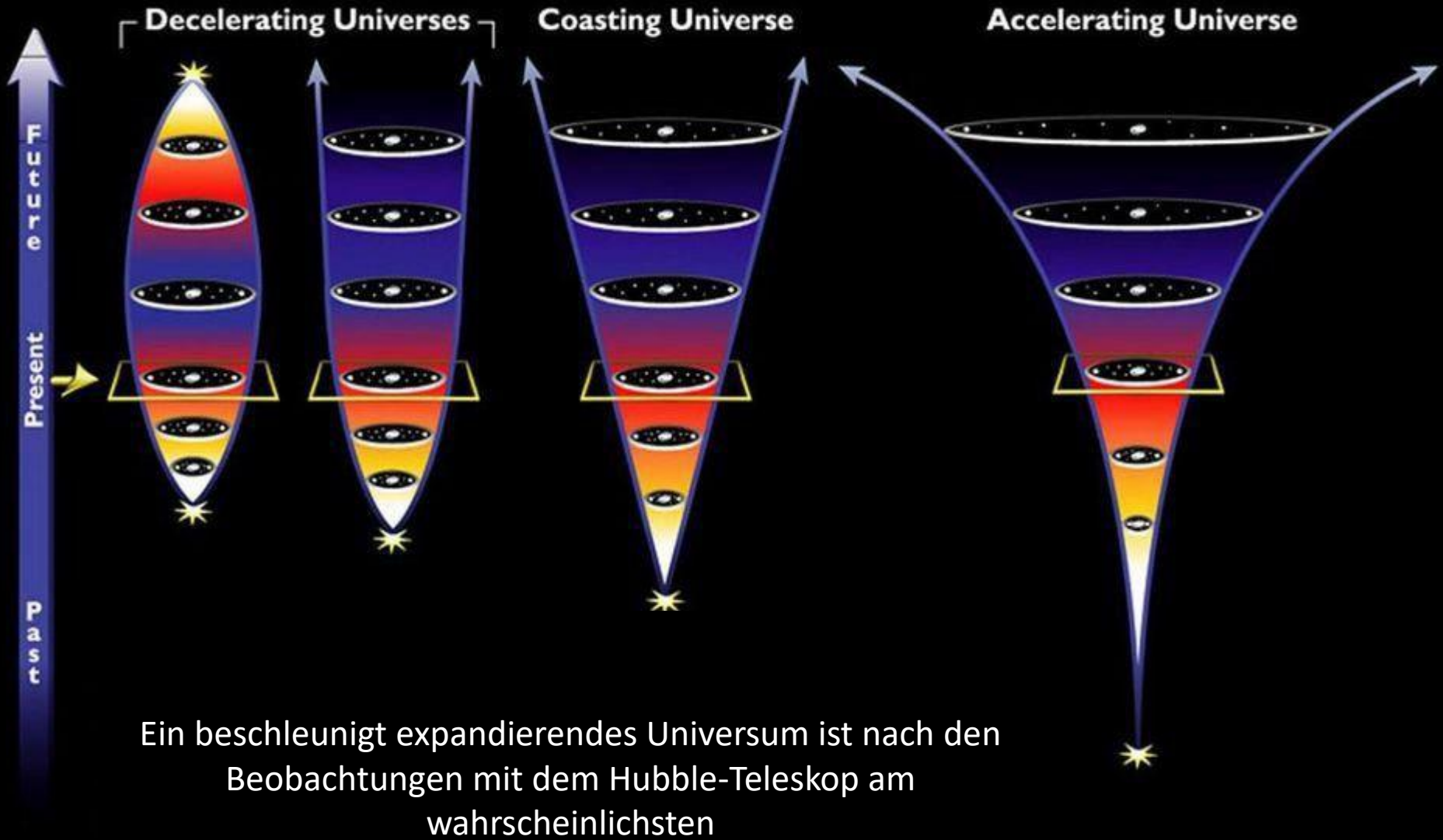
In etwa 10^{13} Jahren (ca. 800 kosmischen Jahren) werden die ältesten, heute bekannten Sterne ausgebrannt sein und in etwa 10^{14} Jahren (ca. 8000 kosmischen Jahren) wird die normale Bildung von Sternen zu Ende sein und das Universum wieder dunkel werden.

In ca. 8000 kosmischen Jahren wird der nun völlig dunkle Kosmos, der nur noch aus schwach glimmenden Weißen Zwergen sowie Neutronensternen und Schwarzen Löchern besteht, nur noch sporadisch durch helle Lichtblitze erleuchtet, die beim Zusammenstoß von Neutronensternen und Schwarzen Löchern entstehen.



Theoretischer Anblick des Kosmos durch das größte Teleskop der Welt in 10^{100} Jahren...

Possible Models of the Expanding Universe



Konsequenzen einer beschleunigten kosmischen Expansion

Da die Expansion des Kosmos (beschleunigt) immer weiter geht (eine Konsequenz der kosmischen Energiedichte - heute ca. 1 Nukleonenmasse pro Kubikmeter), führt das dazu, dass sich die filamentartige Haufenstruktur der Galaxienverteilung langsam auflöst, da mit der Zeit aufgrund der Expansion die Abstände zwischen den Galaxien immer weiter anwachsen.

- Galaxien an sich bleiben erst einmal weiter bestehen, kompaktieren aber langsam, da die darin enthaltenen Sternleichen sukzessive von Black holes einvernahmt werden (gilt insbesondere für die massenreichen zentralen Black holes ehemaliger Spiralgalaxien)
- Da die Expansion beschleunigt stattfindet, die Lichtgeschwindigkeit aber endlich ist, werden immer mehr Galaxien den Beobachtungshorizont durchbrechen und die Anzahl der Galaxien im beobachtbaren Universum (Hubble-Blase) nimmt ab.
- Nach ca. 10^{100} Jahren (d. h. ca. 10^{90} kosmischen Jahren) wird der Raum des sichtbaren Universums wieder weitgehend leer sein mit einer Energiedichte von ca. 1 Positron pro dem 10^{194} -fachen Volumen des heutigen Universums...

