NIGEL CALDER

Einsteins Universum

Aus dem Englischen von Wolfram Knapp

UMSCHAU VERLAG FRANKFURT AM MAIN

INHALT

1 Kosmischer Wirbelsturm 11

Gravitation und höchste Geschwindigkeit verändern das Weltbild
Die Allgemeine Relativitätstheorie behandelt die Gravitation
Die Spezielle Relativitätstheorie behandelt hohe Geschwindigkeiten
Die Erscheinungen wechseln – physikalische Gesetze bleiben erhalten
Bei der Suche nach einem Schwarzen Loch erweisen sich Einsteins Ideen als nützlich

2 Die verschwenderische Sonne 19

Schnelle Bewegung verändert die scheinbare Energie der Objekte
Ein bewegtes leuchtendes Objekt scheint Bewegungsenergie zu verlieren
Einstein fand, daß Licht schwer sein müßte
Masse und Energie sind äquivalent: $E = mc^2$
Masse ist eingefrorene Energie

3 Energie der Schöpfung 27

Alle Materie besitzt enorme »Ruheenergie«
Die Sonne gibt etwas von der Ruheenergie der Materie ab
Kernwaffen und Reaktoren setzen ähnlich große Energiebeträge auf der Erde frei
Teilchenbeschleuniger schaffen ständig neue Materie
Die Ruheenergie ist die Energie, die nötig ist, um neue Materie zu schaffen

4 Der allerletzte Wasserfall 38

Ein herabfallendes Objekt verliert etwas Ruheenergie
Gravitation kann Licht anhalten und ein Schwarzes Loch schaffen
Ein Objekt, das in ein Schwarzes Loch fällt, setzt eine Menge Ruheenergie frei
Kollabierende Sterne erzeugen intensive Gravitation
Ruheenergie, die durch Gravitation frei wird, kann heftige kosmische Ereignisse auslösen

5 Einsteins Uhr 47

Umlagerungen in Atomen produzieren Licht bestimmter Energie
Einstein entdeckte, daß das Licht aus Teilchen besteht
Die Energie der Lichtteilchen bestimmt die Frequenz
Licht kann Atome anregen, gleiches Licht auch auszusenden
Angeregte Emission nutzt man in Laserstrahlen und Atomuhren

6 *Gewichtslosigkeit* 54
Die allgemeine Relativität handelt von der Gravitation
Wer frei fällt, fühlt keine Schwerkraft
In einem frei fallenden Raumschiff sind die Dinge gewichtslos
Die Erde fällt mit hoher Geschwindigkeit durch das Universum
Die Gravitation legt Schienen durch den Raum

7 Schalen der Zeit 62
Atomuhren gehen am Erdboden langsamer als hoch in der Luft
Die Gravitation kann Licht anhalten und ein Schwarzes Loch schaffen
Die Zeit steht still am Rand eines Schwarzen Loches
Eine Verlangsamung der Zeit erniedrigt die Energie von Licht und Materie
Ein fallender Apfel verliert Ruheenergie und gewinnt Bewegungsenergie

8 Gerichtete Zukunft 72
Licht ist schwer, und die Gravitation krümmt die Strahlen
Krümmung der Lichtstrahlen bedeutet, daß die Gravitation den Raum krümmt
Nicht angetriebene Objekte reisen so gerade, wie sie es durch den gekrümmten Raum können
Die Wirkung der Gravitation auf das Licht gibt der Zeit eine Richtung im Raum
Ein rotierendes massives Objekt schleppt den Raum mit sich herum

9 Die verschobenen Sterne 82
Licht scheint durch Gravitation verlangsamt
Die scheinbare Verlangsamung ist verbunden mit einer Verlangsamung der Zeit
Die Krümmung des Lichtes bedeutet, daß Gravitation den Raum deformiert
Die kombinierten Wirkungen auf Zeit und Raum verdoppeln die Krümmung
Die Krümmung und Verlangsamung des Lichtes durch die Sonne sind meßbar

10 Schienen am Himmel 92
Unangetriebene Objekte reisen so geradeaus, wie es im gekrümmten Raum möglich ist
Ein Objekt kreist um einen massiven Körper, wenn es die richtige Geschwindigkeit hat
Einsteins Beschreibung ist eine ebensogute Antwort wie die von Newton
Ein Einsteinscher Orbit dreht sich allmählich
Die Drehung des Orbits ist erkennbar

11 Gravitationswellen 100
Der gekrümmte Raum dehnt die Objekte durch Gezeitenkräfte
Einstein sagte Gezeitenwellen voraus, »Gravitationswellen«
Gravitationswellen strecken die Objekte in verschiedenen Richtungen
Gravitationswellen sind extrem schwach
Heftige kosmische Ereignisse sollten entdeckbare Gravitationswellen aussenden

12 *Galileis Geheimnis* 110
Wirkungen der Gravitation und der Beschleunigung sind äquivalent
Alles muß gleichschnell fallen
Licht krümmt sich in einem beschleunigten Raumschiff
Ein beschleunigtes Raumschiff könnte hinter sich ein Schwarzes Loch erzeugen
Die Bewegung des Mondes bestätigt Einsteins »Äquivalenzprinzip«

13 Methusalem im Raumschiff 123
Biologische Uhren und Atomuhren laufen nicht gegeneinander
Ein Schwarzes Loch zu beobachten erhält jung
Hochgeschwindigkeits-Reisen erhalten jung
Die Spezielle Relativitätstheorie behandelt schnelle Bewegungen
Instabile Teilchen »leben« länger, wenn sie sich rasch bewegen

14 Ein universeller Korrekturfaktor 135
Ein mit hoher Geschwindigkeit vorbeifliegendes Objekt scheint sich vom Beobachter wegzudrehen
Eine schnell bewegte Uhr scheint langsamer zu laufen
Die Bewegungsenergie eines Objektes läßt seine Masse anwachsen
Bei Hochgeschwindigkeitsreisen scheinen die Strecken verkürzt
Die Erscheinungen ändern sich, aber die Gesetze der Physik bleiben

15 Die Lichtgeschwindigkeit 146
Im leeren Raum hat Licht immer die gleiche Geschwindigkeit
Die Lichtgeschwindigkeit ist unabhängig von der Geschwindigkeit ihrer Quelle
Einstein fand, daß auch die Geschwindigkeit des Beobachters keine Rolle spielt
Kein Signal und keine Energie kann sich schneller als Licht ausbreiten
Für Lichtgeschwindigkeiten gilt nicht mehr $1 + 1 = 2$

16 Wo die Zeit fliegt 157
Alle Beobachter sind sich einig, daß es in der Raumzeit getrennte Ereignisse gibt
Eine Strecke, die das Licht durcheilt, repräsentiert die Zeit
Eine »Weltlinie« in der Raumzeit zeigt die Geschichte eines Objektes
Beschleunigung und Gravitation krümmen die Weltlinien
Ein Nachsatz: Der Raum ist nicht leer, aber auch nicht mit Brei gefüllt

17 Das einfache Universum 165
Galaxien fliegen weg wie nach einer Explosion
Die Radioenergie, die das Universum durchsetzt, ist ein Überbleibsel aus dem Big Bang
In der Allgemeinen Relativitätstheorie explodiert das einfachste Universum, um dann wieder zusammenzufallen
Größe und Dauer eines einfachen Universums sind durch seine Energie bestimmt
Einstein hätte den Big Bang voraussagen können, aber er tat es nicht

18 Die Auswahl unter mehreren Geschichten 177
Die Theoretiker sind sich nicht sicher, ob das Universum kollabieren wird oder nicht
Ein einfaches Universum ist »geschlossen« und kollabiert
Ein »offenes« Universum expandiert immer weiter
Der Raum ist in offenen und geschlossenen Universen unterschiedlich gekrümmt
Eine weitere kosmische Kraft könnte unter den Prognosen eine Entscheidung treffen

19 Entscheidendes Schicksal 183
Die Astronomen sind unsicher, ob das Universum kollabieren wird oder nicht
Mit mehreren Methoden kann man herausfinden, ob die Gravitation die Expansion aufhalten wird
Alle Methoden haben praktische oder prinzipielle Schwierigkeiten
Augenblicklich scheint es, daß das Universum ohne Ende expandiert
Ein kollabierendes Universum könnte die Geburt eines neuen sein

20 Zeitloser Gesichtspunkt 191
Einstein war ein »Gemäßigter«, was Religion und Politik betraf
Wissenschaftlich war er dogmatisch, was die Kontinuität in der Natur betraf
Die Atomphysik befaßt sich mit Diskontinuitäten in der Natur
Einstein konnte keine »Ungewißheiten« in der Atomphysik vertragen
Einsteins Ideen waren ganz anders als übliche Entdeckungen

21 Einsteins Nachfolger 196
Die Quantentheorie ist der Schlüssel zur Atomphysik
Relativitäts- und Quantentheorie stimmen in gewissen Bereichen nicht überein
Der nächste große Schritt ist, sie zu vereinen
Gegenwärtig bemüht man sich um »Twistoren« und »Supergravitation«
Was auch immer geschieht, Einsteins Tat ist unauslöschlich

Register 203

Bildnachweis 208