

$$6 \cdot 9 = 42$$

Meine Suche nach der Weltformel

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

10. Mai 2021

Philosophen: „Was ist die Antwort auf die große Frage nach dem Leben, dem Universum und allem?“

Philosophen: „Was ist die Antwort auf die große Frage nach dem Leben, dem Universum und allem?“

Computer: „42.“

Philosophen: „Was ist die Antwort auf die große Frage nach dem Leben, dem Universum und allem?“

Computer: „42.“

Computer: „Das Problem ist, daß Euch nie richtig klar war, wie eigentlich die Frage lautet.“

Philosophen: „Was ist die Antwort auf die große Frage nach dem Leben, dem Universum und allem?“

Computer: „42.“

Computer: „Das Problem ist, daß Euch nie richtig klar war, wie eigentlich die Frage lautet.“

Die Frage: „Wieviel ist 6 mal 9?“

Philosophen: „Was ist die Antwort auf die große Frage nach dem Leben, dem Universum und allem?“

Computer: „42.“

Computer: „Das Problem ist, daß Euch nie richtig klar war, wie eigentlich die Frage lautet.“

Die Frage: „Wieviel ist 6 mal 9?“

„Ich hab' immer gesagt,
am Universum wäre grundsätzlich was faul.“

Physik: „Wie lauten die Naturgesetze?“

Aktueller Stand: allgemeine Relativitätstheorie (im großen)
und Quantenfeldtheorie (im kleinen)

beides zusammen \longrightarrow **Widerspruch**

„Quantisierung der Gravitation führt zu nicht-renormierbaren Divergenzen.“

Was bedeutet das?

Worin genau besteht der unüberwindbare Widerspruch?

Physik: „Wie lauten die Naturgesetze?“

Aktueller Stand: allgemeine Relativitätstheorie (im großen)
und Quantenfeldtheorie (im kleinen)

beides zusammen \longrightarrow **Widerspruch**

„Quantisierung der Gravitation führt zu nicht-renormierbaren Divergenzen.“

Was bedeutet das?

Worin genau besteht der unüberwindbare Widerspruch?

Ziel: Herausfinden, worin eigentlich das Problem besteht.

Physik: „Wie lauten die Naturgesetze?“

Aktueller Stand: allgemeine Relativitätstheorie (im großen)
und Quantenfeldtheorie (im kleinen)

beides zusammen \longrightarrow **Widerspruch**

„Quantisierung der Gravitation führt zu nicht-renormierbaren Divergenzen.“

Was bedeutet das?

Worin genau besteht der unüberwindbare Widerspruch?

Ziel: Herausfinden, worin eigentlich das Problem besteht.

Vorgehensweise: Vereinigung versuchen, herausfinden, woran sie scheitert.

6 · 9 = 42. Meine Suche nach der Weltformel

- Klassische Physik *Was bewegt sich wie?*
- Spezielle Relativitätstheorie *Alles ist relativ.*
- Allgemeine Relativitätstheorie *Gravitation ist Geometrie.*

- Quantenmechanik *Was sind Atome?*
- Relativistische Quantenmechanik *Was ist Antimaterie?*
- Quantenfeldtheorie *Was sind die kleinsten Bausteine?*

- Quantengravitation *Wie kriegen wir das alles zusammen?*
- Eigene Ergebnisse *Und worin besteht nun das Problem?*
- Fazit und Ausblick *Wie geht es weiter?*

Klassische Physik

Was bewegt sich wie?

Aristoteles (ca. 330 v. Chr.):

- Bewegung auf der Erde:
Feuer und *Luft* streben nach oben,
Wasser und *Erde* nach unten.



Klassische Physik

Was bewegt sich wie?

Aristoteles (ca. 330 v. Chr.):

- Bewegung auf der Erde:
Feuer und *Luft* streben nach oben,
Wasser und *Erde* nach unten.
- Bewegung im Himmel: ganz anders
Element *Äther* vollzieht Kreisbahnen.



Klassische Physik

Was bewegt sich wie?

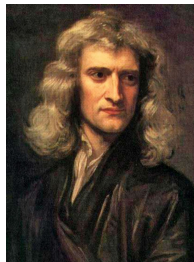
Aristoteles (ca. 330 v. Chr.):

- Bewegung auf der Erde:
Feuer und *Luft* streben nach oben,
Wasser und *Erde* nach unten.
- Bewegung im Himmel: ganz anders
Element *Äther* vollzieht Kreisbahnen.

Newton (1686):

- Beides ist dasselbe: *Gravitation*

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{|x_1 - x_2|^2}$$



Klassische Physik

Was bewegt sich wie?

Aristoteles (ca. 330 v. Chr.):

- Bewegung auf der Erde:
Feuer und *Luft* streben nach oben,
Wasser und *Erde* nach unten.
- Bewegung im Himmel: ganz anders
Element *Äther* vollzieht Kreisbahnen.



Newton (1686):

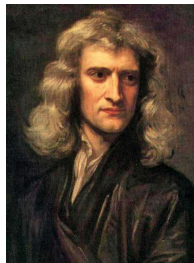
- Beides ist dasselbe: *Gravitation*

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{|x_1 - x_2|^2}$$

- Rechenmethode: *Differentialgleichung*

$$F = m \cdot \ddot{x}$$

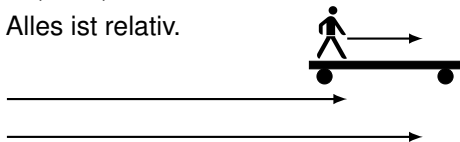
Wie es *ist*, sagt uns, wie es sich *ändert*.



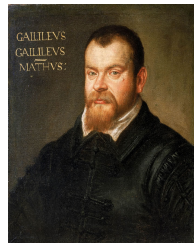
Klassische Physik

Galilei (1632):

- Alles ist relativ.



Was bewegt sich wie?

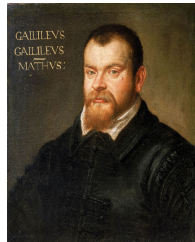
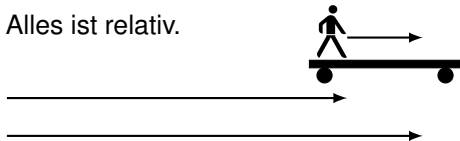


Spezielle Relativitätstheorie

Alles ist relativ.

Galilei (1632):

- Alles ist relativ.



Arago (1810), Michelson, Morley (1887):

- Messung: Licht ist immer gleich schnell.



→ **Widerspruch**

Spezielle Relativitätstheorie

Alles ist relativ.

Einstein (1905):

- Die Messungen sind korrekt.
Unsere Vorstellungen von Raum und Zeit sind falsch.
- Raum und Zeit hängen vom Betrachter ab.
- Wenn man sich bewegt, vergeht die Zeit langsamer.



Spezielle Relativitätstheorie

Alles ist relativ.

Einstein (1905):

- Die Messungen sind korrekt.
Unsere Vorstellungen von Raum und Zeit sind falsch.
- Raum und Zeit hängen vom Betrachter ab.
- Wenn man sich bewegt, vergeht die Zeit langsamer.



Beispiele:

- Hafele, Keating (1971): Flug um die Erde
Im Flugzeug vergehen ca. 0,000 0001 Sekunden weniger als am Boden.
- ISS: Pro Jahr vergehen ca. 0,01 Sekunden weniger als auf der Erde.

Spezielle Relativitätstheorie

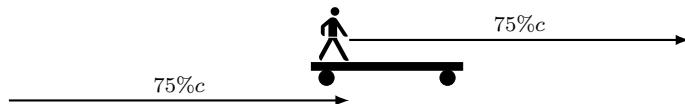
Alles ist relativ.

- Wenn man sich bewegt, vergeht die Zeit langsamer.
 - Wenn man sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, bleibt die Zeit stehen.
 - Wenn man sich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, läuft die Zeit rückwärts.
- Reise mit Überlichtgeschwindigkeit = Zeitreise in die Vergangenheit
- Informationen dürfen sich höchstens mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, ansonsten entstehen Paradoxa.

Spezielle Relativitätstheorie

Alles ist relativ.

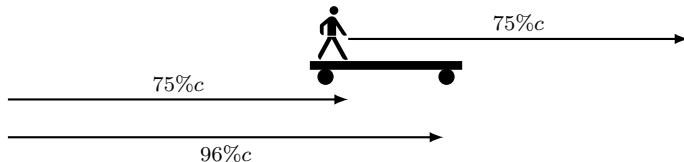
- Wenn man sich bewegt, vergeht die Zeit langsamer.
 - Wenn man sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, bleibt die Zeit stehen.
 - Wenn man sich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, läuft die Zeit rückwärts.
- > Reise mit Überlichtgeschwindigkeit = Zeitreise in die Vergangenheit
- > Informationen dürfen sich höchstens mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, ansonsten entstehen Paradoxa.



Spezielle Relativitätstheorie

Alles ist relativ.

- Wenn man sich bewegt, vergeht die Zeit langsamer.
 - Wenn man sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, bleibt die Zeit stehen.
 - Wenn man sich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, läuft die Zeit rückwärts.
- > Reise mit Überlichtgeschwindigkeit = Zeitreise in die Vergangenheit
- > Informationen dürfen sich höchstens mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, ansonsten entstehen Paradoxa.



Spezielle Relativitätstheorie

Alles ist relativ.

- Wenn man sich bewegt, vergeht die Zeit langsamer.
 - Wenn man sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, bleibt die Zeit stehen.
 - Wenn man sich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, läuft die Zeit rückwärts.
- > Reise mit Überlichtgeschwindigkeit = Zeitreise in die Vergangenheit
- > Informationen dürfen sich höchstens mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, ansonsten entstehen Paradoxa.

Newton:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{|x_1 - x_2|^2}$$

Gravitation hängt nur vom Abstand ab, wirkt also verzögerungsfrei. —> **Widerspruch**

Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

Allgemeine Relativitätstheorie = spezielle Relativitätstheorie + Gravitation

Äquivalenzprinzip: träge Masse = schwere Masse

- Beschleunigung fühlt sich wie Gravitation an.

Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

Allgemeine Relativitätstheorie = spezielle Relativitätstheorie + Gravitation

Äquivalenzprinzip: träge Masse = schwere Masse

- Beschleunigung fühlt sich wie Gravitation an.
- Einstein (1915): Beides ist dasselbe.

Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

Allgemeine Relativitätstheorie = spezielle Relativitätstheorie + Gravitation

Äquivalenzprinzip: träge Masse = schwere Masse

- Beschleunigung fühlt sich wie Gravitation an.
- Einstein (1915): Beides ist dasselbe.
- kräftefreie Bewegung = geradeaus

Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

Allgemeine Relativitätstheorie = spezielle Relativitätstheorie + Gravitation

Äquivalenzprinzip: träge Masse = schwere Masse

- Beschleunigung fühlt sich wie Gravitation an.
- Einstein (1915): Beides ist dasselbe.
- kräftefreie Bewegung = geradeaus
- freier Fall (z. B. Umlaufbahn): schwerelos \longrightarrow kräftefrei
= geradeaus

Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

Allgemeine Relativitätstheorie = spezielle Relativitätstheorie + Gravitation

Äquivalenzprinzip: träge Masse = schwere Masse

- Beschleunigung fühlt sich wie Gravitation an.
- Einstein (1915): Beides ist dasselbe.
- kräftefreie Bewegung = geradeaus
- freier Fall (z. B. Umlaufbahn): schwerelos \longrightarrow kräftefrei
= geradeaus in einer gekrümmten Raumzeit

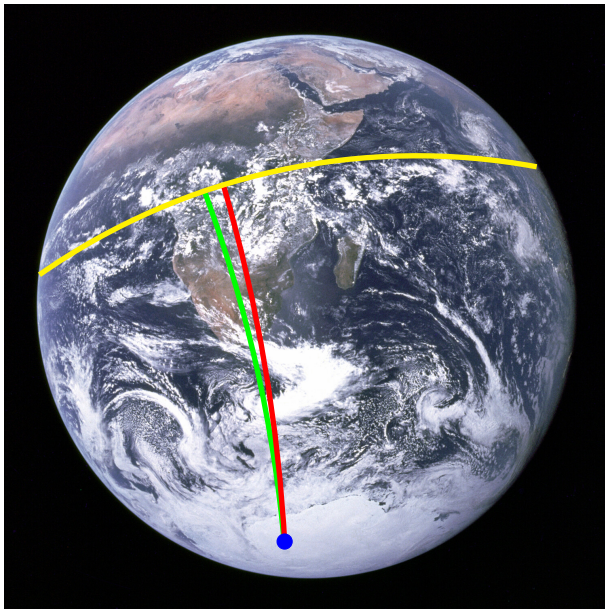
Allgemeine Relativitätstheorie

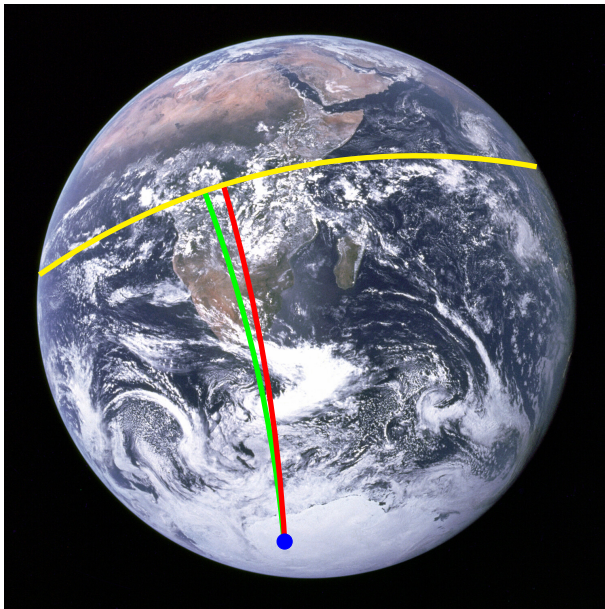
Gravitation ist Geometrie.

Allgemeine Relativitätstheorie = spezielle Relativitätstheorie + Gravitation

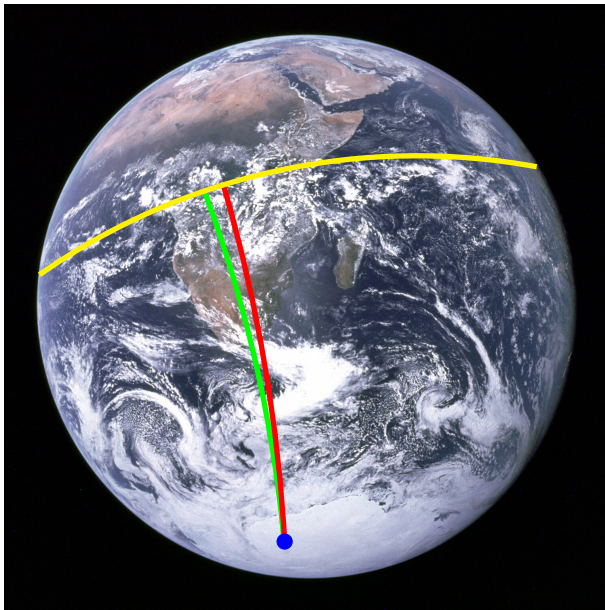
Äquivalenzprinzip: träge Masse = schwere Masse

- Beschleunigung fühlt sich wie Gravitation an.
- Einstein (1915): Beides ist dasselbe.
- kräftefreie Bewegung = geradeaus
- freier Fall (z. B. Umlaufbahn): schwerelos \longrightarrow kräftefrei
= geradeaus in einer gekrümmten Raumzeit
- Gravitation = Krümmung der vierdimensionalen Raumzeit = Geometrie



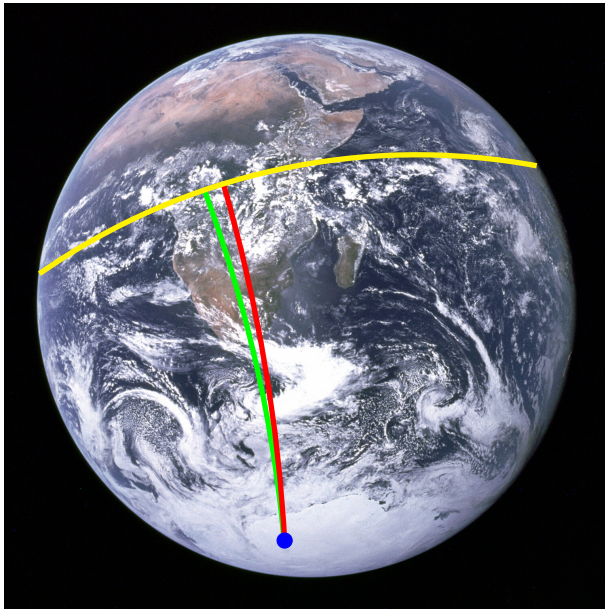


Anziehungskraft?



Anziehungskraft?

Geometrie!



Gravitation = Krümmung der vierdimensionalen Raumzeit = Geometrie

Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

Newton:

- Gravitation beeinflusst Bewegung: Differentialgleichung

$$F = m \cdot \ddot{x}$$

- Massen erzeugen Gravitation: „normale“ Gleichung

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{|x_1 - x_2|^2}$$

Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

Newton:

- Gravitation beeinflusst Bewegung: Differentialgleichung

$$F = m \cdot \ddot{x}$$

- Massen erzeugen Gravitation: „normale“ Gleichung

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{|x_1 - x_2|^2}$$

Einstein:

- Gravitation beeinflusst Bewegung: Differentialgleichung

$$-m \Gamma_{\lambda\nu}^{\mu} \dot{x}^{\lambda} \dot{x}^{\nu} = m \cdot \ddot{x}^{\mu}$$

- Massen erzeugen Gravitation: Differentialgleichung

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = G \cdot \frac{8\pi}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Einsteinsche Feldgleichungen

Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

Schwarzschild (1916):

- Lösung der Einsteinschen Feldgleichungen
- nicht zu starke Schwerkraft: i. w. wie bei Newton
- starke Schwerkraft: ???



Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

Schwarzschild (1916):

- Lösung der Einsteinschen Feldgleichungen
- nicht zu starke Schwerkraft: i. w. wie bei Newton
- starke Schwerkraft: *Schwarzes Loch*



Schwarzes Loch:

- Am *Schwarzschild-Radius*: Raum und Zeit tauschen Bedeutungen
Der Sturz in das Schwarze Loch wird zur neuen Zeit.
Was vorher die Zeit war, wird zu Raum.
- Im Zentrum: *Singularität*
Formeln ergeben unendlich – Grenze der Theorie

Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

Schwarzschild (1916):

- Lösung der Einsteinschen Feldgleichungen
- nicht zu starke Schwerkraft: i. w. wie bei Newton
- starke Schwerkraft: *Schwarzes Loch*



Schwarzes Loch:

- Am *Schwarzschild-Radius*: Raum und Zeit tauschen Bedeutungen
Der Sturz in das Schwarze Loch wird zur neuen Zeit.
Was vorher die Zeit war, wird zu Raum.
- Im Zentrum: *Singularität*
Formeln ergeben unendlich – Grenze der Theorie

So etwas kann es nicht geben. → Suche nach Fehlern in der Theorie

Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

Schwarzschild (1916):

- Lösung der Einsteinschen Feldgleichungen
- nicht zu starke Schwerkraft: i. w. wie bei Newton
- starke Schwerkraft: *Schwarzes Loch*



Schwarzes Loch:

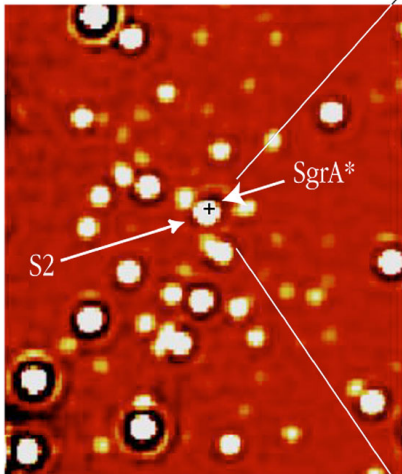
- Am *Schwarzschild-Radius*: Raum und Zeit tauschen Bedeutungen
Der Sturz in das Schwarze Loch wird zur neuen Zeit.
Was vorher die Zeit war, wird zu Raum.
- Im Zentrum: *Singularität*
Formeln ergeben unendlich – Grenze der Theorie

So etwas kann es nicht geben. —> Suche nach Fehlern in der Theorie
Stattdessen gefunden: Schwarze Löcher

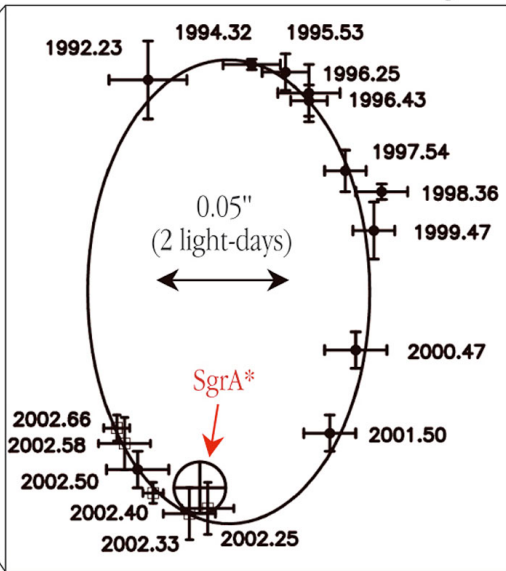


1973: Cygnus X-1 ist wahrscheinlich ein Schwarzes Loch. (50 km, $21 M_{\odot}$)


NACO May 2002



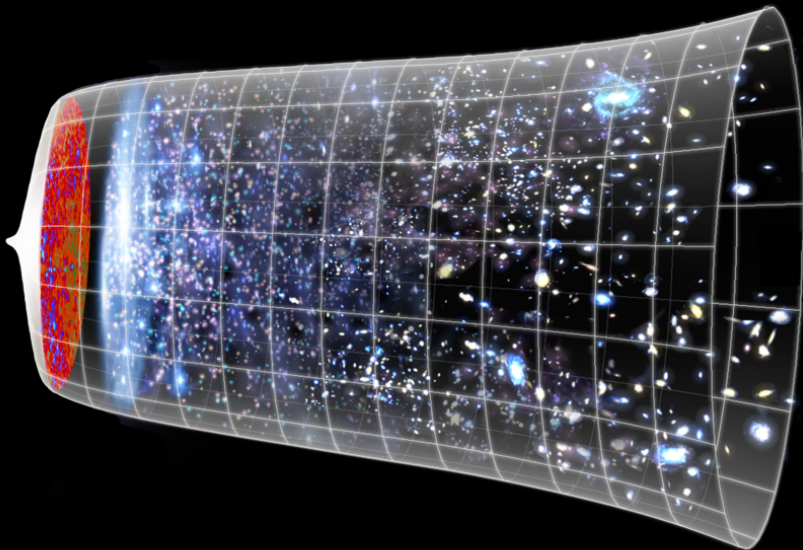
S2 Orbit around SgrA*



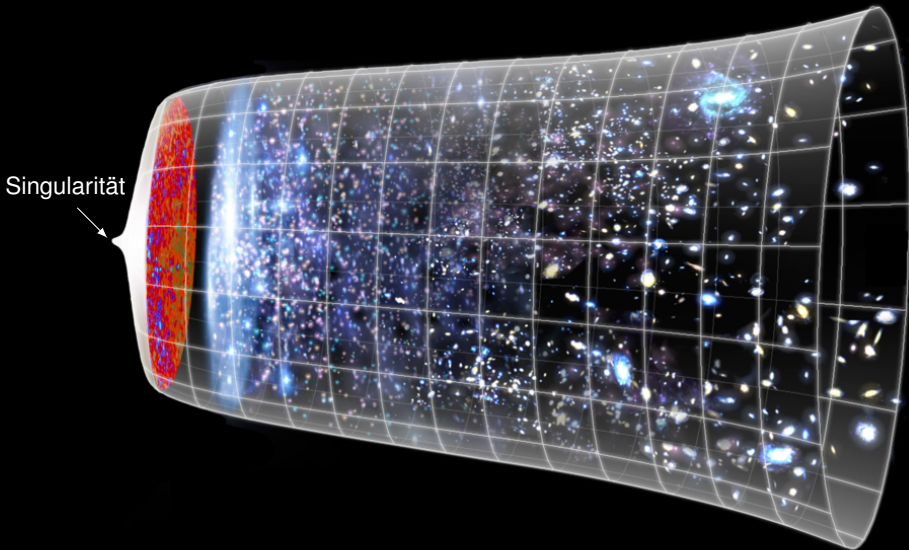
2002: Sagittarius A* ist ein Schwarzes Loch. ($22 \cdot 10^6$ km, $4,3 \cdot 10^6 M_{\odot}$)



2019: Foto des Schwarzen Loches M87* (120 AU, $6,5 \cdot 10^9 M_{\odot}$)



Zurückrechnen der Entwicklung des Universums: Urknall



Singularität

Zurückrechnen der Entwicklung des Universums: Urknall

Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

Rätsel: dunkle Materie

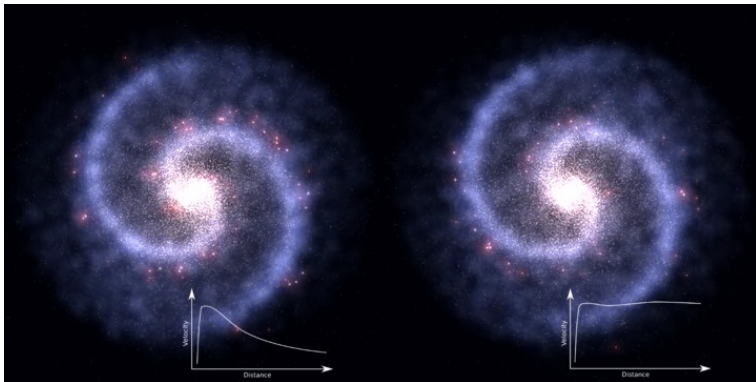
- Galaxien rotieren außen schneller, als es die allgemeine Relativitätstheorie vorhersagt.

Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

Rätsel: dunkle Materie

- Galaxien rotieren außen schneller, als es die allgemeine Relativitätstheorie vorhersagt.



berechnet

beobachtet

Allgemeine Relativitätstheorie

Gravitation ist Geometrie.

- Gravitation = Krümmung der vierdimensionalen Raumzeit = Geometrie
- Grenzen der Theorie: Singularitäten
Zentrum eines Schwarzen Lochs, Beginn des Universums
- Rätsel: dunkle Materie

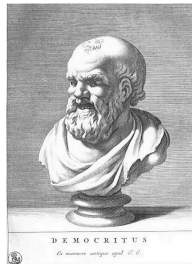
Fragen zum Verständnis?

Quantenmechanik

Was sind Atome?

Demokrit (ca. 420 v. Chr.):

- Dinge zerfallen, aber verschwinden nie völlig.
- Es gibt kleinste, nicht weiter teilbare (*átomos*) Bestandteile der Materie.
- „Nur scheinbar hat ein Ding eine Farbe.
Nur scheinbar ist es süß oder bitter.
In Wirklichkeit gibt es nur Atome und leeren Raum.“

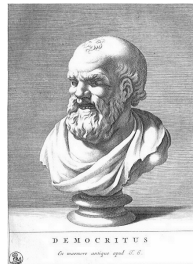


Quantenmechanik

Was sind Atome?

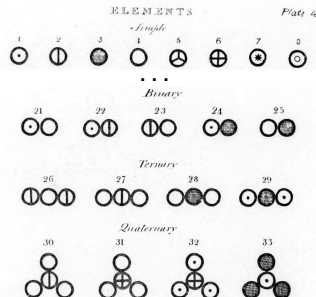
Demokrit (ca. 420 v. Chr.):

- Dinge zerfallen, aber verschwinden nie völlig.
- Es gibt kleinste, nicht weiter teilbare (*átomos*) Bestandteile der Materie.
- „Nur scheinbar hat ein Ding eine Farbe. Nur scheinbar ist es süß oder bitter. In Wirklichkeit gibt es nur Atome und leeren Raum.“



Dalton (1803):

- chemische Reaktionen:
gleiche Mengenverhältnisse
- Stoffe bestehen aus Atomen.
- Es gibt Regeln, wie sich
Atome zueinander verhalten.



Quantenmechanik

Was sind Atome?

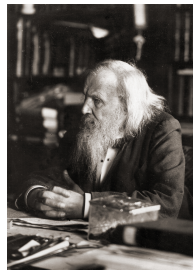
Meyer (1864), Mendelejew (1869):

- Periodensystem der Elemente
- Es gibt sehr viele verschiedene Atome.
- Hinter den chemischen Eigenschaften und den Massen der Atome steckt ein System.
- Unsere „Atome“ sind wahrscheinlich aus kleineren Bausteinen zusammengesetzt.



Group

Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18														
1	1 H																	2 He														
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne														
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar														
4	19 K	20 Ca	21 Sc					22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr										
5	37 Rb	38 Sr	39 Y					40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe										
6	55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og

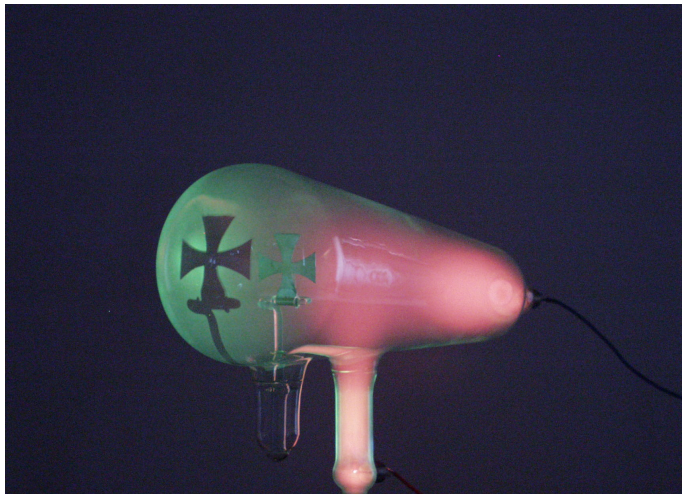


Quantenmechanik

Was sind Atome?

Thomson (1897):

- Kathodenstrahlen bestehen aus Teilchen.

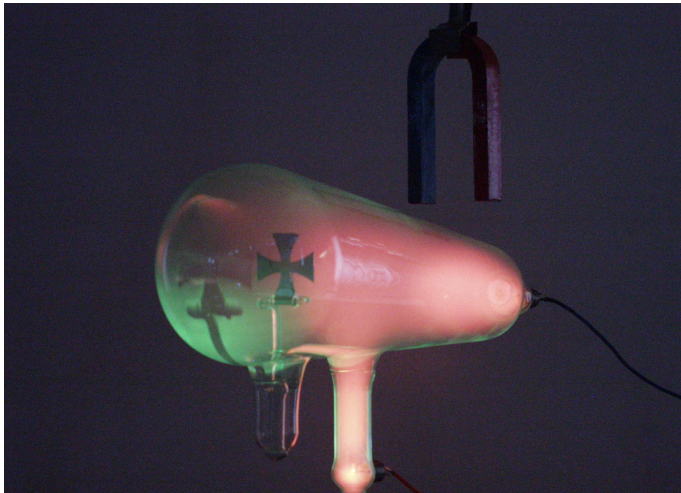


Quantenmechanik

Was sind Atome?

Thomson (1897):

- Kathodenstrahlen bestehen aus Teilchen.

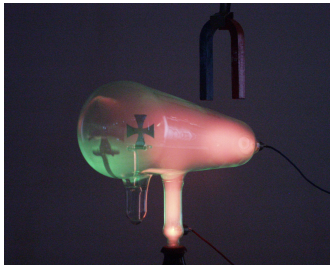
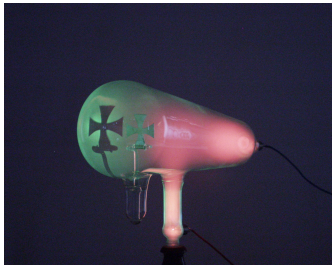


Quantenmechanik

Was sind Atome?

Thomson (1897):

- Kathodenstrahlen bestehen aus Elektronen. Sie bewegen sich geradlinig, werfen Schatten, und sie reagieren auf Magnetfelder.

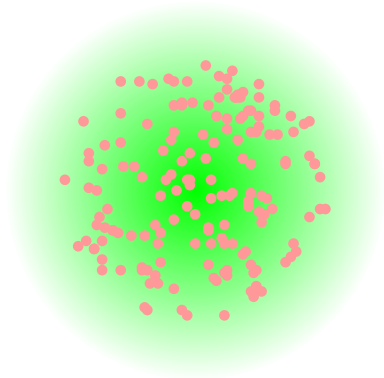


Quantenmechanik

Was sind Atome?

Thomson (1897):

- Kathodenstrahlen bestehen aus Elektronen. Sie bewegen sich geradlinig, werfen Schatten, und sie reagieren auf Magnetfelder.
- Atom = Wolke von Elektronen in masseloser Hintergrundladung

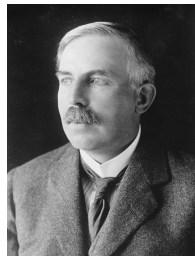
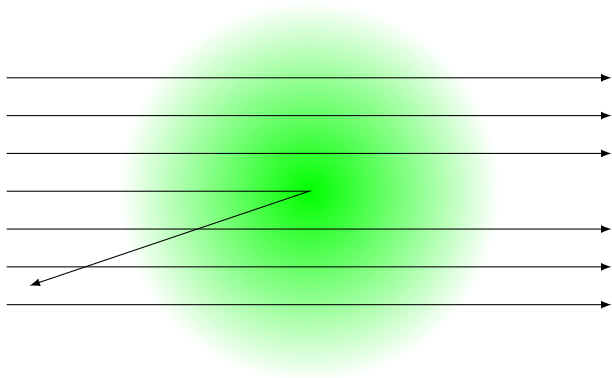


Quantenmechanik

Was sind Atome?

Rutherford (1909):

- Kollisionsexperimente:
Atome bestehen größtenteils aus leerem Raum
mit einem winzigen, massiven Kern im Zentrum.

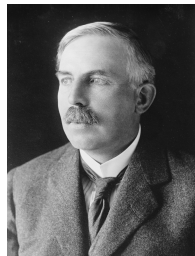
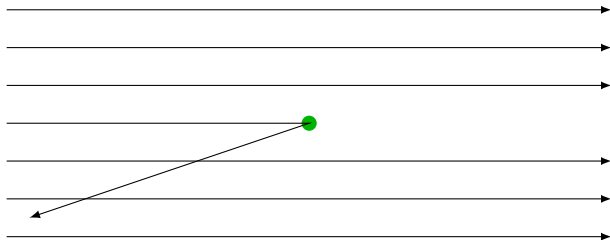


Quantenmechanik

Was sind Atome?

Rutherford (1909):

- Kollisionsexperimente:
Atome bestehen größtenteils aus leerem Raum
mit einem winzigen, massiven Kern im Zentrum.

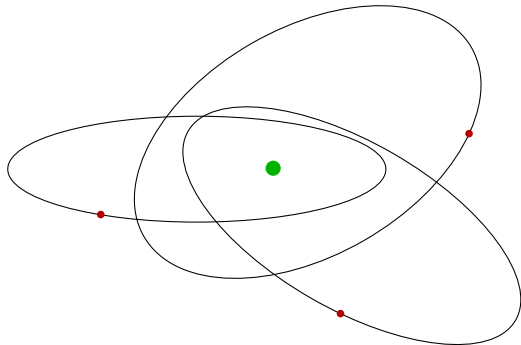


Quantenmechanik

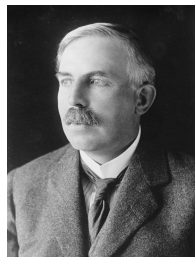
Was sind Atome?

Rutherford (1909):

- Kollisionsexperimente:
Atome bestehen größtenteils aus leerem Raum mit einem winzigen, massiven Kern im Zentrum.

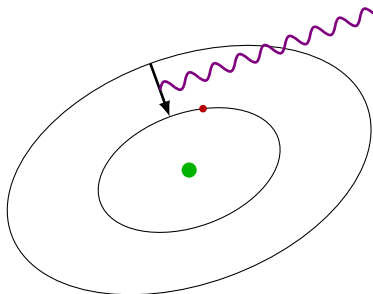


- Elektronen kreisen um den Kern wie Planeten um die Sonne.



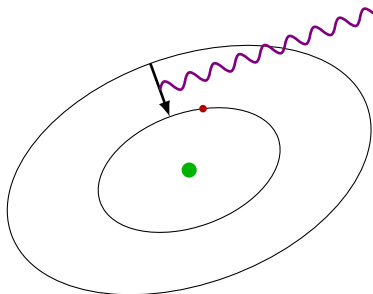
Atome können Energie aufnehmen und abgeben.

- Licht entsteht, wenn ein Elektron auf eine niedrigere Bahn fällt.
- Die Fallhöhe bestimmt die Farbe.
rot = kleine Fallhöhe
violett = große Fallhöhe



Atome können Energie aufnehmen und abgeben.

- Licht entsteht, wenn ein Elektron auf eine niedrigere Bahn fällt.
- Die Fallhöhe bestimmt die Farbe.
rot = kleine Fallhöhe
violett = große Fallhöhe

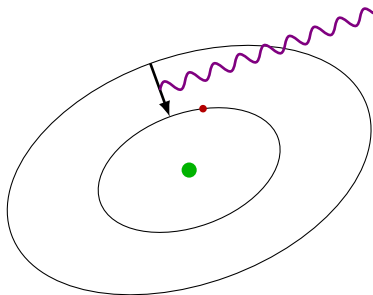


- Problem: Alle Fallhöhen sind grundsätzlich erlaubt.
→ Alles ist weiß. → **Widerspruch**

Quantenmechanik

Bohr (1913):

- Postulat: Nur bestimmte Bahnen sind erlaubt.



Was sind Atome?

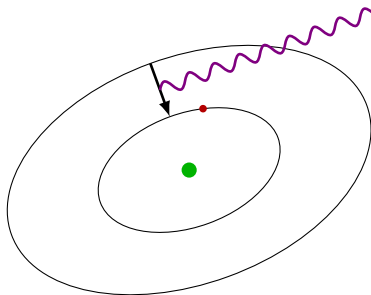


Quantenmechanik

Was sind Atome?

Bohr (1913):

- Postulat: Nur bestimmte Bahnen sind erlaubt. („Quantisierung“ der Bahnen)

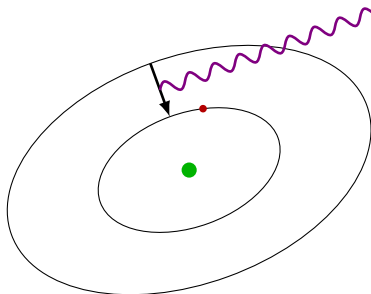


Quantenmechanik

Was sind Atome?

Bohr (1913):

- Postulat: Nur bestimmte Bahnen sind erlaubt. („Quantisierung“ der Bahnen)
- **Aber warum?**

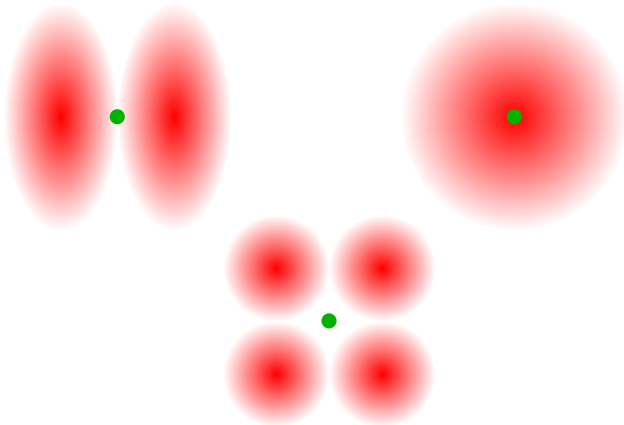


Quantenmechanik

Was sind Atome?

Schrödinger (1926):

- Das Elektron legt sich als *Welle* um den Kern.

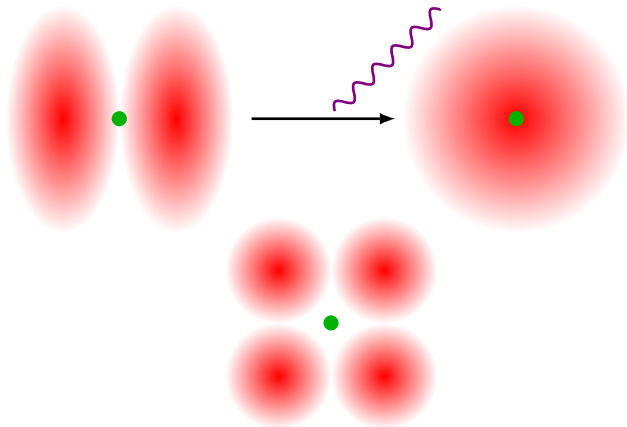


Quantenmechanik

Was sind Atome?

Schrödinger (1926):

- Das Elektron legt sich als *Welle* um den Kern.
- Licht entsteht, wenn ein Elektron den Wellenzustand wechselt.



Quantenmechanik

Was sind Atome?

Schrödinger (1926):

- Das Elektron legt sich als *Welle* um den Kern.
- Licht entsteht, wenn ein Elektron den Wellenzustand wechselt.
- Mathematische Beschreibung der Welle:
Differentialgleichung

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t) = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(x) \right) \psi(x, t)$$

Schrödinger-Gleichung



Quantenmechanik

Was sind Atome?

Schrödinger (1926):

- Das Elektron legt sich als *Welle* um den Kern.
- Licht entsteht, wenn ein Elektron den Wellenzustand wechselt.
- Mathematische Beschreibung der Welle:
Differentialgleichung

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t) = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(x) \right) \psi(x, t)$$

Schrödinger-Gleichung

- Problem: Diese Gleichung erlaubt unendlich schnelle Bewegung.
Spezielle Relativitätstheorie: Lichtgeschwindigkeit als Grenze
→ **Widerspruch**



Relativistische Quantenmechanik

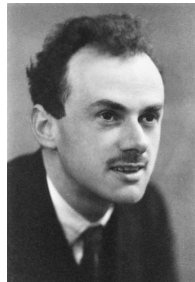
Was ist Antimaterie?

Dirac (1928):

- Vereinigung der Quantenmechanik mit der speziellen Relativitätstheorie

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t) = \left(-i\hbar c \sum_{j=1}^3 \alpha_j \frac{\partial}{\partial x_j} + mc^2 \alpha_4 \right) \psi(x, t)$$

Dirac-Gleichung



Relativistische Quantenmechanik

Was ist Antimaterie?

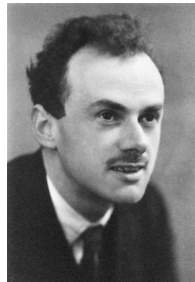
Dirac (1928):

- Vereinigung der Quantenmechanik mit der speziellen Relativitätstheorie

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t) = \left(-i\hbar c \sum_{j=1}^3 \alpha_j \frac{\partial}{\partial x_j} + mc^2 \alpha_4 \right) \psi(x, t)$$

Dirac-Gleichung

- Lösungen mit „negativer kinetischer Energie“



Relativistische Quantenmechanik

Was ist Antimaterie?

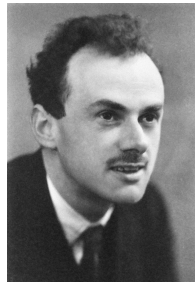
Dirac (1928):

- Vereinigung der Quantenmechanik mit der speziellen Relativitätstheorie

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t) = \left(-i\hbar c \sum_{j=1}^3 \alpha_j \frac{\partial}{\partial x_j} + mc^2 \alpha_4 \right) \psi(x, t)$$

Dirac-Gleichung

- Lösungen mit „negativer kinetischer Energie“
→ Vorhersage der Antimaterie



Relativistische Quantenmechanik

Was ist Antimaterie?

Dirac (1928):

- Vereinigung der Quantenmechanik mit der speziellen Relativitätstheorie

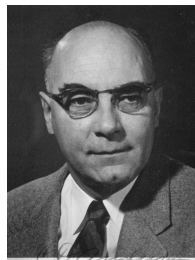
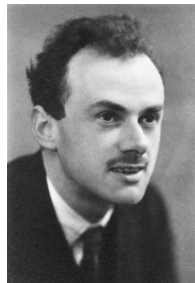
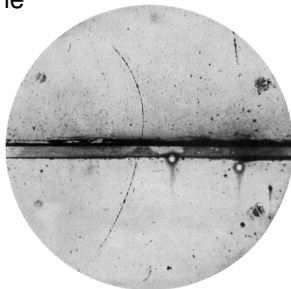
$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t) = \left(-i\hbar c \sum_{j=1}^3 \alpha_j \frac{\partial}{\partial x_j} + mc^2 \alpha_4 \right) \psi(x, t)$$

Dirac-Gleichung

- Lösungen mit „negativer kinetischer Energie“
→ Vorhersage der Antimaterie

Anderson (1932):

- Entdeckung der Antimaterie
Anti-Elektron = *Positron*



Relativistische Quantenmechanik

Was ist Antimaterie?

Elementarteilchen (unteilbar – „Atome“)

- Thomson (1897): Elektron
 - Rutherford (1917): Proton
 - Chadwick (1932): Neutron
- } Atomkern } Atom

Relativistische Quantenmechanik

Was ist Antimaterie?

Elementarteilchen (unteilbar – „Atome“)

- Thomson (1897): Elektron
 - Rutherford (1917): Proton
 - Chadwick (1932): Neutron
 - Anderson (1932): Positron
- } Atomkern } Atom

Relativistische Quantenmechanik

Was ist Antimaterie?

Elementarteilchen (unteilbar – „Atome“)

- Thomson (1897): Elektron
 - Rutherford (1917): Proton
 - Chadwick (1932): Neutron
 - Anderson (1932): Positron
 - Anderson (1936): Myon
- } Atomkern } Atom

Relativistische Quantenmechanik

Was ist Antimaterie?

Elementarteilchen (unteilbar – „Atome“)

- Thomson (1897): Elektron
 - Rutherford (1917): Proton
 - Chadwick (1932): Neutron
 - Anderson (1932): Positron
 - Anderson (1936): Myon
 - Wang (1942): Neutrino
 - Powell (1947): Pion
 - Rochester, Butler (1947): Kaon
- } Atomkern } Atom

...

- über 100 Elementarteilchen („Teilchenzoo“)

Relativistische Quantenmechanik

Was ist Antimaterie?

Elementarteilchen (unteilbar – „Atome“)

- Thomson (1897): Elektron
 - Rutherford (1917): Proton
 - Chadwick (1932): Neutron
 - Anderson (1932): Positron
 - Anderson (1936): Myon
 - Wang (1942): Neutrino
 - Powell (1947): Pion
 - Rochester, Butler (1947): Kaon
- } Atomkern } Atom

...

- über 100 Elementarteilchen („Teilchenzoo“)
- Es gibt Regeln, wie sich Elementarteilchen zueinander verhalten.

Relativistische Quantenmechanik

Was ist Antimaterie?

Elementarteilchen (unteilbar – „Atome“)

- Thomson (1897): Elektron
 - Rutherford (1917): Proton
 - Chadwick (1932): Neutron
 - Anderson (1932): Positron
 - Anderson (1936): Myon
 - Wang (1942): Neutrino
 - Powell (1947): Pion
 - Rochester, Butler (1947): Kaon
- } Atomkern } Atom

...

- über 100 Elementarteilchen („Teilchenzoo“)
- Es gibt Regeln, wie sich Elementarteilchen zueinander verhalten.
- Unsere „Elementarteilchen“ („Atome“) sind wahrscheinlich aus kleineren Bausteinen zusammengesetzt.

Quantenfeldtheorie

Was sind die kleinsten Bausteine?

Gell-Mann (1964):

- Die kleinsten Bausteine der Materie sind *Quarks* und *Leptonen*.



Standard-Modell der Elementarteilchen

		Drei Generationen der Materie (Fermionen)			Wechselwirkungen (Bosonen)	
		I	II	III		
Masse		$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
Ladung		$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
Spin		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
		u Up	c Charm	t Top	g Gluon	H Higgs
		d Down	s Strange	b Bottom	γ Photon	
		e Elektron	μ Muon	τ Tau	Z Z-Boson	
		ν_e Elektron-Neutrino	ν_μ Muon-Neutrino	ν_τ Tau-Neutrino	W W-Boson	

QUARKS (links neben den Quark-Boxen)

LEPTONEN (links neben den Lepton-Boxen)

EICHBOSONEN VEKTORBOSONEN (rechts neben den Z- und W-Boson-Boxen)

SKALARBOSONEN (rechts neben der Higgs-Box)

Quantenfeldtheorie

Was sind die kleinsten Bausteine?

Gell-Mann (1964):

- Die kleinsten Bausteine der Materie sind *Quarks* und *Leptonen*.
- Elektron = Lepton
- Proton = 2 Up-Quarks + 1 Down-Quark
- Neutron = 2 Down-Quarks + 1 Up-Quark
- Positron = Anti-Lepton
- Myon = Lepton
- Neutrino = Lepton
- Pion = 1 Up- + 1 Anti-Down-Quark
- Kaon = 1 Down- + 1 Anti-Strange-Quark
- ...



Standard-Modell der Elementarteilchen

Drei Generationen der Materie (Fermionen)			Wechselwirkungen (Bosonen)		
	I	II	III		
Masse	≈2.2 MeV/c ²	≈1.28 GeV/c ²	≈173.1 GeV/c ²	0	≈124.97 GeV/c ²
Ladung	2/3	2/3	2/3	0	0
Spin	1/2	1/2	1/2	1	0
	u Up	c Charm	t Top	g Gluon	H Higgs
	d Down	s Strange	b Bottom	γ Photon	
	e Elektron	μ Muon	τ Tau	Z Z-Boson	
	ν_e Elektron-Neutrino	ν_μ Muon-Neutrino	ν_τ Tau-Neutrino	W W-Boson	

QUARKS

LEPTONEN

SKALARBOSONEN

EICHBOSONEN
VEKTORBOSONEN

Quantenfeldtheorie

Was sind die kleinsten Bausteine?

Gell-Mann (1964):

- Die kleinsten Bausteine der Materie sind *Quarks* und *Leptonen*.
- Elektron = Lepton
- Proton = 2 Up-Quarks + 1 Down-Quark
- Neutron = 2 Down-Quarks + 1 Up-Quark
- Positron = Anti-Lepton
- Myon = Lepton
- Neutrino = Lepton
- Pion = 1 Up- + 1 Anti-Down-Quark
- Kaon = 1 Down- + 1 Anti-Strange-Quark
- ...
- Atome = Up-/Down-Quarks + Elektronen



Standard-Modell der Elementarteilchen

Drei Generationen der Materie (Fermionen)			Wechselwirkungen (Bosonen)	
	I	II	III	
Masse	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0
Ladung	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	u Up	c Charm	t Top	g Gluon
	d Down	s Strange	b Bottom	γ Photon
	e Elektron	μ Muon	τ Tau	Z Z-Boson
	ν_e Elektron-Neutrino	ν_μ Muon-Neutrino	ν_τ Tau-Neutrino	W W-Boson
	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 81.19 \text{ GeV}/c^2$
	-1	-1	-1	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	H Higgs			

QUARKS

LEPTONEN

SKALARBOSONEN

EICHBOSONEN
VEKTORBOSONEN

- Mathematische Beschreibung des Standardmodells: *Lagrange-Dichte*

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} = & i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n \\
 & + i\bar{u}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu u_L^n + i\bar{u}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu u_R^n + i\bar{d}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu d_L^n + i\bar{d}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu d_R^n \\
 & - \Upsilon \left(\lambda_e^n \varphi \bar{e}_L^n e_R^n + \lambda_u^n \varphi \bar{u}_L^n u_R^n + \lambda_d^n \varphi \bar{d}_L^n d_R^n \right. \\
 & \quad \left. + \bar{\lambda}_e^n \varphi e_L^n \bar{e}_R^n + \bar{\lambda}_u^n \varphi u_L^n \bar{u}_R^n + \bar{\lambda}_d^n \varphi d_L^n \bar{d}_R^n \right) \\
 & - g_1 B_\mu \left(-\bar{e}^n \gamma^\mu e^n + \frac{2}{3} \bar{u}^n \gamma^\mu u^n - \frac{1}{3} \bar{d}^n \gamma^\mu d^n \right) \\
 & - g_2 W_\mu^a \left(\begin{pmatrix} \bar{\nu}_L^n \\ \bar{e}_L^n \end{pmatrix} \gamma^\mu \sigma_a \begin{pmatrix} \nu_L^n \\ e_L^n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \bar{u}_L^n \\ \bar{d}_L^n \end{pmatrix} \gamma^\mu \sigma_a \begin{pmatrix} u_L^n \\ d_L^n \end{pmatrix} \right) \\
 & - g_3 G_\mu^c \left(\bar{u}^n \gamma^\mu \lambda^c u^n + \bar{d}^n \gamma^\mu \lambda^c d^n \right) \\
 & - \frac{1}{4} B_{\mu\nu} B^{\mu\nu} - \frac{1}{4} W_{\mu\nu}^a W_a^{\mu\nu} - \frac{1}{4} G_{\mu\nu}^c G_c^{\mu\nu} \\
 & + \lambda |\varphi|^4 - \frac{1}{2} \mu^2 |\varphi|^2 + \frac{1}{2} |\partial_\mu \varphi - ig_2 W_\mu^a \varphi \sigma_a - ig_1 B_\mu \varphi|^2
 \end{aligned}$$

Quantenfeldtheorie

Was sind die kleinsten Bausteine?

- Mathematische Beschreibung des Standardmodells: *Lagrange-Dichte*

$$\mathcal{L} = i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

- **Wie rechnet man damit?**

Quantenfeldtheorie

Was sind die kleinsten Bausteine?

- Mathematische Beschreibung des Standardmodells: *Lagrange-Dichte*

$$\mathcal{L} = i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

- **Wie rechnet man damit?**
- Prinzipiell möglich: Umwandlung in Differentialgleichung

Beispiel: $\mathcal{L} = \frac{c^4}{16\pi G} (R - 2\Lambda) \longrightarrow$ Einsteinsche Feldgleichungen

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = G \cdot \frac{8\pi}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Quantenfeldtheorie

Was sind die kleinsten Bausteine?

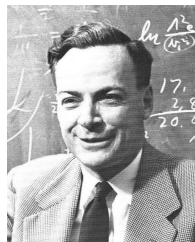
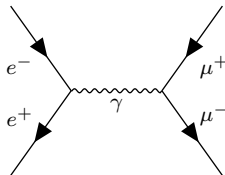
- Mathematische Beschreibung des Standardmodells: *Lagrange-Dichte*

$$\mathcal{L} = i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

- **Wie rechnet man damit?**
- Prinzipiell möglich: Umwandlung in Differentialgleichung
- Stattdessen: Näherungsverfahren

Feynman (1949):

- *zeitgeordnete Störungstheorie*
- *Feynman-Diagramme*
- extrem genau
- erfolgreichste physikalische Theorie überhaupt



Quantengravitation

Wie kriegen wir das alles zusammen?

- Mathematische Beschreibung des Standardmodells: *Lagrange-Dichte*

$$\mathcal{L} = i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

- Allgemeine Relativitätstheorie: *Einsteinsche Feldgleichungen*

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = G \cdot \frac{8\pi}{c^4}T_{\mu\nu}$$

Quantengravitation

Wie kriegen wir das alles zusammen?

- Mathematische Beschreibung des Standardmodells: *Lagrange-Dichte*

$$\mathcal{L} = i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

- Allgemeine Relativitätstheorie: *Einsteinsche Feldgleichungen*

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = G \cdot \frac{8\pi}{c^4}T_{\mu\nu}$$

→ Lagrange-Dichte

$$\mathcal{L} = \frac{c^4}{16\pi G}(R - 2\Lambda)$$

Quantengravitation

Wie kriegen wir das alles zusammen?

- Mathematische Beschreibung des Standardmodells: *Lagrange-Dichte*

$$\mathcal{L} = i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

- Allgemeine Relativitätstheorie: *Einsteinsche Feldgleichungen*

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = G \cdot \frac{8\pi}{c^4}T_{\mu\nu}$$

→ Lagrange-Dichte

$$\mathcal{L} = \frac{c^4}{16\pi G}(R - 2\Lambda)$$

- Beides zusammen: Quantengravitation

$$\mathcal{L} = \frac{c^4}{16\pi G}(R - 2\Lambda) + i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

Quantengravitation

Wie kriegen wir das alles zusammen?

- Mathematische Beschreibung des Standardmodells: *Lagrange-Dichte*

$$\mathcal{L} = i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

- Allgemeine Relativitätstheorie: *Einsteinsche Feldgleichungen*

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = G \cdot \frac{8\pi}{c^4}T_{\mu\nu}$$

→ Lagrange-Dichte

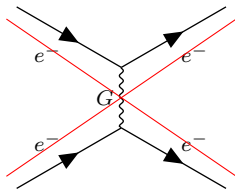
$$\mathcal{L} = \frac{c^4}{16\pi G}(R - 2\Lambda)$$

- Beides zusammen: Quantengravitation

$$\mathcal{L} = \frac{c^4}{16\pi G}(R - 2\Lambda) + i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

- Problem: Das Näherungsverfahren der Feynman-Diagramme ergibt dann unendlich.

nicht-renormierbare Divergenzen



Quantengravitation

Wie kriegen wir das alles zusammen?

- Allgemeine Relativitätstheorie + Standardmodell der Quantenfeldtheorie

$$\mathcal{L} = \frac{c^4}{16\pi G} (R - 2\Lambda) + i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

+ Feynman-Diagramme = nicht-renormierbare Divergenzen

- Ist dies ein rein technisches Problem
oder ein grundlegender Widerspruch?

Quantengravitation

Wie kriegen wir das alles zusammen?

- Allgemeine Relativitätstheorie + Standardmodell der Quantenfeldtheorie

$$\mathcal{L} = \frac{c^4}{16\pi G} (R - 2\Lambda) + i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

+ Feynman-Diagramme = nicht-renormierbare Divergenzen

- Ist dies ein rein technisches Problem oder ein grundlegender Widerspruch?
- Prinzipiell möglich: Umwandlung in Differentialgleichung

Quantengravitation

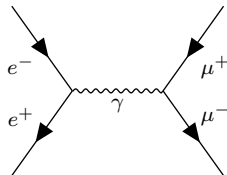
Wie kriegen wir das alles zusammen?

- Allgemeine Relativitätstheorie + Standardmodell der Quantenfeldtheorie

$$\mathcal{L} = \frac{c^4}{16\pi G} (R - 2\Lambda) + i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

+ Feynman-Diagramme = nicht-renormierbare Divergenzen

- Ist dies ein rein technisches Problem oder ein grundlegender Widerspruch?
- Prinzipiell möglich: Umwandlung in Differentialgleichung
- Problem damit: Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung funktioniert bisher nur mit Feynman-Diagrammen.



Quantengravitation

Wie kriegen wir das alles zusammen?

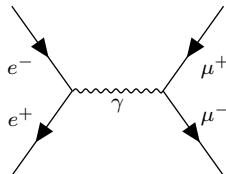
- Allgemeine Relativitätstheorie + Standardmodell der Quantenfeldtheorie

$$\mathcal{L} = \frac{c^4}{16\pi G}(R - 2\Lambda) + i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

+ Feynman-Diagramme = nicht-renormierbare Divergenzen

- Ist dies ein rein technisches Problem oder ein grundlegender Widerspruch?
- Prinzipiell möglich: Umwandlung in Differentialgleichung
- Problem damit: Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung funktioniert bisher nur mit Feynman-Diagrammen.

Mal genau draufgucken!



Quantengravitation

Wie kriegen wir das alles zusammen?

- Allgemeine Relativitätstheorie + Standardmodell der Quantenfeldtheorie

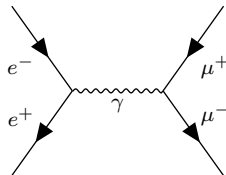
$$\mathcal{L} = \frac{c^4}{16\pi G} (R - 2\Lambda) + i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots$$

+ Feynman-Diagramme = nicht-renormierbare Divergenzen

- Ist dies ein rein technisches Problem oder ein grundlegender Widerspruch?
- Prinzipiell möglich: Umwandlung in Differentialgleichung
- Problem damit: Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung funktioniert bisher nur mit Feynman-Diagrammen.

Mal genau draufgucken!

- Woran scheitert die Beschreibung durch eine Differentialgleichung?

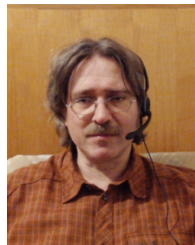


Eigene Ergebnisse

Und worin besteht nun das Problem?

Gerwinski (2021):

- Woran genau scheitert die Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung durch eine Differentialgleichung?



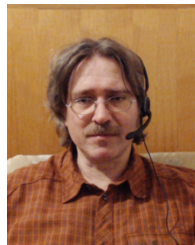
Eigene Ergebnisse

Und worin besteht nun das Problem?

Gerwinski (2021):

- Woran genau scheitert die Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung durch eine Differentialgleichung?

→ Ausprobieren und sehen, woran es scheitert.



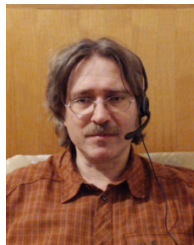
Eigene Ergebnisse

Und worin besteht nun das Problem?

Gerwinski (2021):

- Woran genau scheitert die Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung durch eine Differentialgleichung?

→ Ausprobieren und sehen, woran es scheitert.
Mathematische Strukturen verstehen.



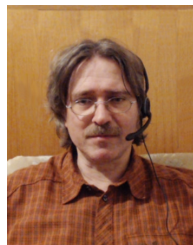
Eigene Ergebnisse

Und worin besteht nun das Problem?

Gerwinski (2021):

- Woran genau scheitert die Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung durch eine Differentialgleichung?

→ Ausprobieren und sehen, woran es scheitert.
Mathematische Strukturen verstehen.
Differentialgleichung aufstellen.



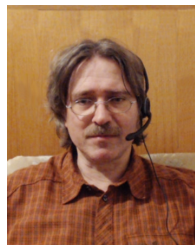
Eigene Ergebnisse

Und worin besteht nun das Problem?

Gerwinski (2021):

- Woran genau scheitert die Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung durch eine Differentialgleichung?

→ Ausprobieren und sehen, woran es scheitert.
Mathematische Strukturen verstehen.
Differentialgleichung aufstellen → funktioniert.



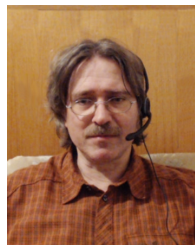
Eigene Ergebnisse

Und worin besteht nun das Problem?

Gerwinski (2021):

- Woran genau scheitert die Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung durch eine Differentialgleichung?

→ Ausprobieren und sehen, woran es scheitert.
Mathematische Strukturen verstehen.
Differentialgleichung aufstellen → funktioniert.
Differentialgleichung lösen → Computer



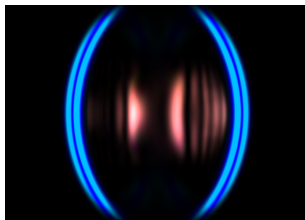
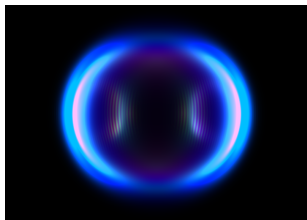
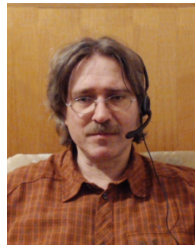
Eigene Ergebnisse

Und worin besteht nun das Problem?

Gerwinski (2021):

- Woran genau scheitert die Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung durch eine Differentialgleichung?

→ Es scheitert nicht. Es funktioniert.

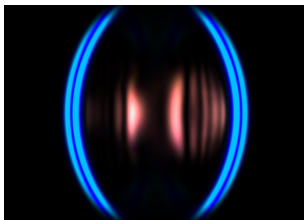
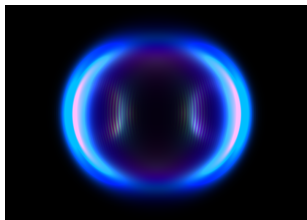
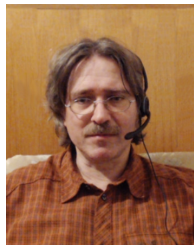


Eigene Ergebnisse

Und worin besteht nun das Problem?

Gerwinski (2021):

- Woran genau scheitert die Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung durch eine Differentialgleichung?
- Es scheitert nicht. Es funktioniert.
- neue Vielteilchen-Quanten-Rechenmethode („Quantisierungsmethode“)



Eigene Ergebnisse

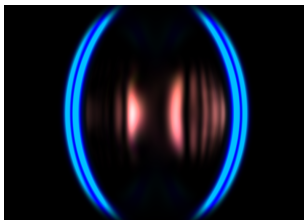
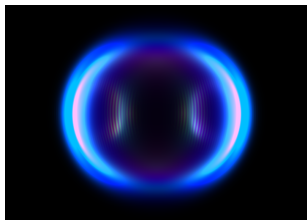
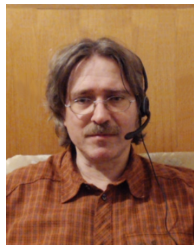
Und worin besteht nun das Problem?

Gerwinski (2021):

- Woran genau scheitert die Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung durch eine Differentialgleichung?

→ Es scheitert nicht. Es funktioniert.

- neue Vielteilchen-Quanten-Rechenmethode
- ohne Feynman-Diagramme



Eigene Ergebnisse

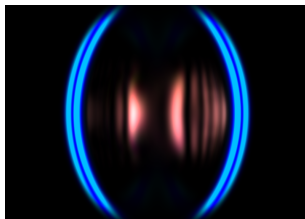
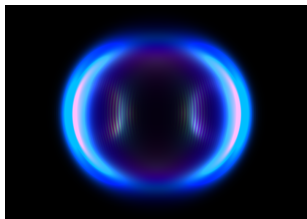
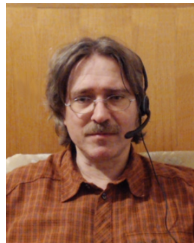
Und worin besteht nun das Problem?

Gerwinski (2021):

- Woran genau scheitert die Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung durch eine Differentialgleichung?

→ Es scheitert nicht. Es funktioniert.

- neue Vielteilchen-Quanten-Rechenmethode
- ohne Feynman-Diagramme
- kompatibel mit allgemeiner Relativitätstheorie

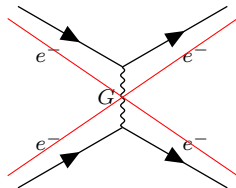
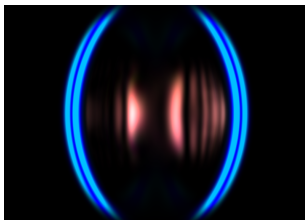
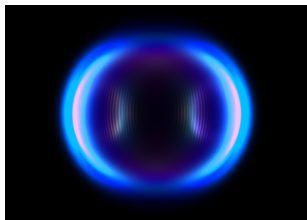
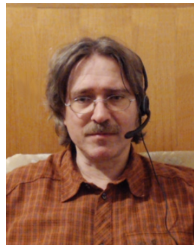


Eigene Ergebnisse

Und worin besteht nun das Problem?

Gerwinski (2021):

- Woran genau scheitert die Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung durch eine Differentialgleichung?
- Es scheitert nicht. Es funktioniert.
- neue Vielteilchen-Quanten-Rechenmethode
 - ohne Feynman-Diagramme (und ohne Gravitonen)
 - kompatibel mit allgemeiner Relativitätstheorie

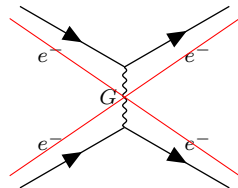
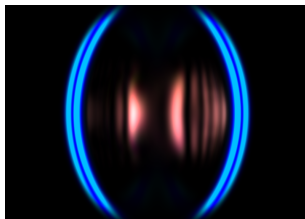
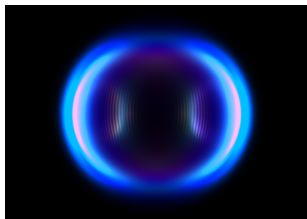
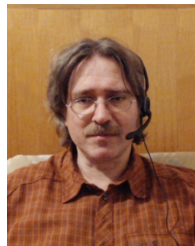


Fazit und Ausblick

Wie geht es weiter?

Gerwinski (2021):

- Woran genau scheitert die Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung durch eine Differentialgleichung?
- Es scheitert nicht. Es funktioniert.
- neue Vielteilchen-Quanten-Rechenmethode
 - ohne Feynman-Diagramme (und ohne Gravitonen)
 - kompatibel mit allgemeiner Relativitätstheorie und mit nichtkommutativer Geometrie



Fazit und Ausblick

Wie geht es weiter?

Connes (1996):

- nichtkommutative Geometrie:
Alle Kräfte sind Geometrie.

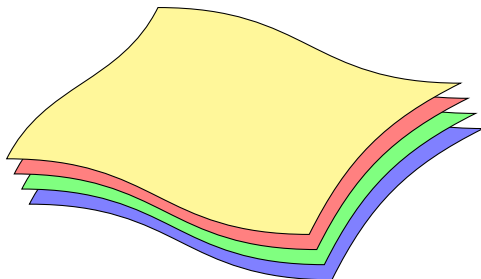


Fazit und Ausblick

Wie geht es weiter?

Connes (1996):

- nichtkommutative Geometrie:
Alle Kräfte sind Geometrie.
- diskrete Extradimensionen:
Das Universum hat mehrere „Blätter“.

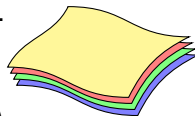


Fazit und Ausblick

Wie geht es weiter?

Connes (1996):

- nichtkommutative Geometrie:
Alle Kräfte sind Geometrie.
- diskrete Extradimensionen:
Das Universum hat mehrere „Blätter“.



$$\mathcal{A} = C^\infty(M) \otimes (\mathbb{C} \oplus \mathbb{H} \oplus M_3(\mathbb{C}))$$

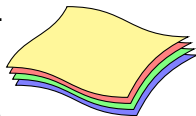


Fazit und Ausblick

Wie geht es weiter?

Connes (1996):

- nichtkommutative Geometrie:
Alle Kräfte sind Geometrie.
- diskrete Extradimensionen:
Das Universum hat mehrere „Blätter“.
- Aus



$$\mathcal{A} = C^\infty(M) \otimes (\mathbb{C} \oplus \mathbb{H} \oplus M_3(\mathbb{C}))$$

folgt:

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \frac{c^4}{16\pi G} (R - 2\Lambda) \\ & + a(5R^2 - 8R_{\mu\nu}R^{\mu\nu} - 7R_{\mu\nu\rho\sigma}R^{\mu\nu\rho\sigma}) \\ & + i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots \end{aligned}$$

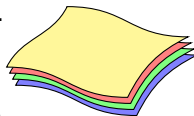


Fazit und Ausblick

Wie geht es weiter?

Connes (1996):

- nichtkommutative Geometrie:
Alle Kräfte sind Geometrie.
- diskrete Extradimensionen:
Das Universum hat mehrere „Blätter“.
- Aus



$$\mathcal{A} = C^\infty(M) \otimes (\mathbb{C} \oplus \mathbb{H} \oplus M_3(\mathbb{C}))$$



folgt:

Allgemeine Relativitätstheorie

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \frac{c^4}{16\pi G} (R - 2\Lambda) \\ & + a(5R^2 - 8R_{\mu\nu}R^{\mu\nu} - 7R_{\mu\nu\rho\sigma}R^{\mu\nu\rho\sigma}) \\ & + i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots \end{aligned}$$

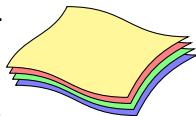
Standardmodell der
Quantenfeldtheorie

Fazit und Ausblick

Wie geht es weiter?

Connes (1996):

- nichtkommutative Geometrie:
Alle Kräfte sind Geometrie.
- diskrete Extradimensionen:
Das Universum hat mehrere „Blätter“.
- Aus



$$\mathcal{A} = C^\infty(M) \otimes (\mathbb{C} \oplus \mathbb{H} \oplus M_3(\mathbb{C}))$$

folgt:

Allgemeine Relativitätstheorie

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \frac{c^4}{16\pi G} (R - 2\Lambda) \\ & + a(5R^2 - 8R_{\mu\nu}R^{\mu\nu} - 7R_{\mu\nu\rho\sigma}R^{\mu\nu\rho\sigma}) \\ & + i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots \end{aligned}$$

Neu!
Dunkle Materie?

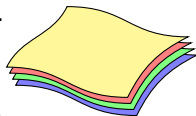
Standardmodell der
Quantenfeldtheorie

Fazit und Ausblick

Wie geht es weiter?

Connes (1996):

- nichtkommutative Geometrie:
Alle Kräfte sind Geometrie.
- diskrete Extradimensionen:
Das Universum hat mehrere „Blätter“.
- Aus



$$\mathcal{A} = C^\infty(M) \otimes (\mathbb{C} \oplus \mathbb{H} \oplus M_3(\mathbb{C}))$$

folgt:

Allgemeine Relativitätstheorie

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \frac{c^4}{16\pi G} (R - 2\Lambda) \\ & + a(5R^2 - 8R_{\mu\nu}R^{\mu\nu} - 7R_{\mu\nu\rho\sigma}R^{\mu\nu\rho\sigma}) \\ & + i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots \end{aligned}$$

Neu!
Dunkle Materie?

Standardmodell der
Quantenfeldtheorie

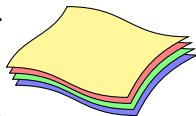
- bisher: wenig beachtet, weil „nicht quantisierbar“

Fazit und Ausblick

Wie geht es weiter?

Connes (1996):

- nichtkommutative Geometrie:
Alle Kräfte sind Geometrie.
- diskrete Extradimensionen:
Das Universum hat mehrere „Blätter“.
- Aus



$$\mathcal{A} = C^\infty(M) \otimes (\mathbb{C} \oplus \mathbb{H} \oplus M_3(\mathbb{C}))$$

folgt:

Allgemeine Relativitätstheorie

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \frac{c^4}{16\pi G} (R - 2\Lambda) \\ & + a(5R^2 - 8R_{\mu\nu}R^{\mu\nu} - 7R_{\mu\nu\rho\sigma}R^{\mu\nu\rho\sigma}) \\ & + i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots \end{aligned}$$

Neu!
Dunkle Materie?

Standardmodell der
Quantenfeldtheorie

- bisher: wenig beachtet, weil nicht vereinbar mit Vielteilchen-Quanten-Rechenmethoden

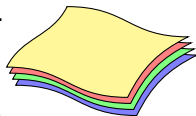


Fazit und Ausblick

Wie geht es weiter?

Connes (1996):

- nichtkommutative Geometrie:
Alle Kräfte sind Geometrie.
- diskrete Extradimensionen:
Das Universum hat mehrere „Blätter“.
- Aus



$$\mathcal{A} = C^\infty(M) \otimes (\mathbb{C} \oplus \mathbb{H} \oplus M_3(\mathbb{C}))$$

folgt:

Allgemeine Relativitätstheorie

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \frac{c^4}{16\pi G} (R - 2\Lambda) \\ & + a(5R^2 - 8R_{\mu\nu}R^{\mu\nu} - 7R_{\mu\nu\rho\sigma}R^{\mu\nu\rho\sigma}) \\ & + i\bar{e}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu e_L^n + i\bar{e}_R^n \gamma^\mu \partial_\mu e_R^n + i\bar{\nu}_L^n \gamma^\mu \partial_\mu \nu_L^n + \dots \end{aligned}$$

Neu!
Dunkle Materie?

Standardmodell der
Quantenfeldtheorie

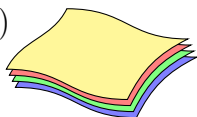
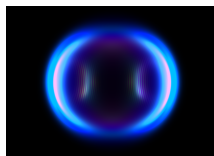
- bisher: wenig beachtet, weil nicht vereinbar mit Vielteilchen-Quanten-Rechenmethoden → mit meiner schon

Fazit und Ausblick

Wie geht es weiter?

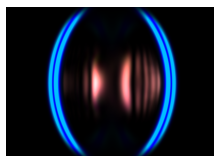
Ergebnisse:

- Beschreibung von Paarvernichtung und -erzeugung durch eine Differentialgleichung
- neue Vielteilchen-Quanten-Rechenmethode
- ohne Feynman-Diagramme (und ohne Gravitonen)
- kompatibel mit allgemeiner Relativitätstheorie und mit nichtkommutativer Geometrie
- Kandidat für Weltformel: $\mathcal{A} = C^\infty(M) \otimes (\mathbb{C} \oplus \mathbb{H} \oplus M_3(\mathbb{C}))$
- Details: <https://www.peter.gerwinski.de/physik/>



Nächste Schritte:

- Kombination mit allgemeiner Relativitätstheorie
→ viel Fleißarbeit
- Erweiterung auf das vollständige Standardmodell
→ viel Fleißarbeit, evtl. neue Algorithmen erforderlich
- Erweiterung auf nichtkommutative Geometrie
→ Lösungsansatz für weitere Rätsel (z. B. dunkle Materie)



Bildnachweis

Lizenz

CC BY-SA 2.5

PD

PD

PD

PD

PD

PD

PD

CC BY 4.0

CC BY 4.0

PD

CC BY-SA 3.0

PD

PD

PD

PD

CC BY-SA 4.0

PD

PD

CC BY-SA 3.0 / GNU FDL 1.2+

CC BY-SA 3.0 / GNU FDL 1.2+

PD

PD

PD

PD

PD

CC BY-SA 3.0 / GNU FDL 1.2+

PD

PD

CC BY-SA 2.0 Germany

Alle Bilder: <https://commons.wikimedia.org>

Dateiname bei Wikimedia Commons

Aristoteles_Louvre.jpg

GodfreyKneller-IsaacNewton-1689.jpg

Galileo_Galilei_2.jpg

Zeichen_133-10_-_Fußgänger_(Aufstellung_rechts)_,_StVO_1992.svg

Einstein_patentoffice.jpg

The_Earth_seen_from_Apollo_17.jpg

Schwarzschild.jpg

Cygnus_X-1.jpg

The_motion_of_a_star_around_the_central_black_hole_in_the_Milky_Way.jpg

Black_hole_-_Messier_87.jpg

Expansion_des_Universums.png

Galaxy_rotation_under_the_influence_of_dark_matter.ogv

Democritus2.jpg

John_Dalton_by_Charles_Turner.jpg

A_New_System_of_Chemical_Philosophy_fp.jpg

Lothar_meyer.jpg

32-column_periodic_table-a.png

DIMendeleevCab.jpg

J.J_Thomson.jpg

Kat%C3%B3dsugarak_m%C3%A1gneses_mez%C5%91ben(2).jpg

Kat%C3%B3dsugarak_m%C3%A1gneses_mez%C5%91ben(4).jpg

Ernest_Rutherford_LOC.jpg

Niels_Bohr.jpg

Erwin_Schr%C3%B6dinger_(1933).jpg

Paul_Dirac,_1933.jpg

Carl_David_Anderson.jpg

MurrayGellMannJl1.jpg

Standard_Model_of_Elementary_Particles-de.svg

Richard_Feynman_1959.png

Alain_Connes.jpg

Diese Folien inkl. Abbildungen:
Copyright © 2021 Peter Gerwinski
<https://www.peter.gerwinski.de>
Lizenz: CC BY-SA 4.0