

Leben wir in der Matrix ?

Einblicke in Matrixtheorie und Stringtheorie

Harold Steinacker
Universität Wien

Pint of Science
Mai 2022



“Die Matrix“

... Film (1999 ff.)



Idee: wahrgenommene Welt ist nur eine
als Matrix codierte Computersimulation

Matrix-Theorie

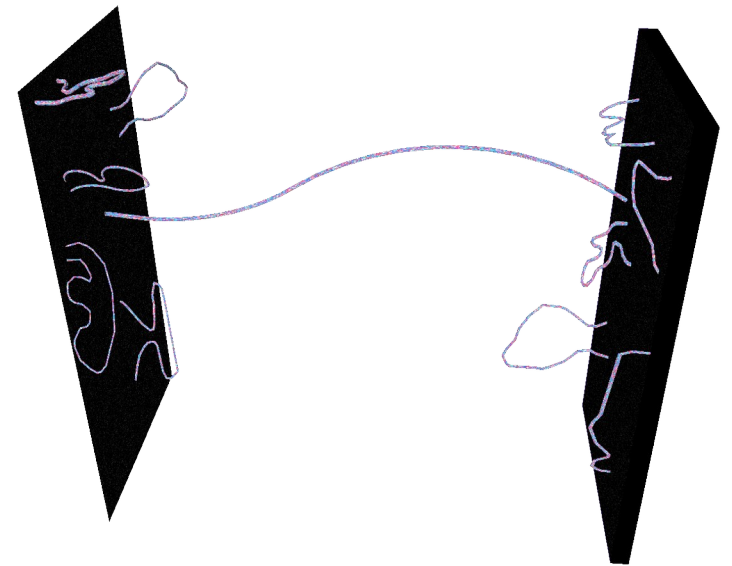
gibt's wirklich !

1996 vorgeschlagene Theorie

soll Raumzeit, Materie & gesamte Physik beschreiben

eng verwandt mit Stringtheorie

- was ist Matrix-Theorie?
- warum?
- leben wir in der Matrix?



Was ist Matrix-Theorie ?

physikalische Theorie:

Raumzeit, Materie, gesamte Physik (& wir !)
durch wenige Matrizen beschrieben / codiert

seriös, aber (noch?) nicht allgemein akzeptiert

2 konkrete mathematische Formulierungen:

Was ist Matrix-Theorie ?

- Variante 1:

$$S = \text{Tr}([X^a, X^b][X_a, X_b] + \bar{\Psi}\Gamma_a[X^a, \Psi])$$

(Ishibashi Kawai Kitazawa Tsuchiya 1996)

extrem einfach!

inspiriert von mathematischer Beschreibung der starken
Kernkräfte

(“Yang-Mills Theorien”)

- Variante 2:

$$S = \int dt \text{Tr} \left(D_t X^a D_t X^a - [X^a, X^b][X^a, X^b] + \Psi D_t \Psi - \Psi \Gamma_a [X^a, \Psi] \right)$$

(Banks Fishler Shenker Susskind 1996)

inspiriert von String-Theorie

zentrale Objekte:

X^0, \dots, X^9 : 10 Matrizen = Arrays von Zahlen

-wie sollen ein paar Matrizen unsere Welt beschreiben?

-wie funktioniert die Theorie?

-wer entscheidet das?

```
-----  
-0.00290685 + 0.000318695 i      0. - 0.00316069 i      0.0013898 + 0.000402765 i  
0.00552983 - 0.00202757 i      -0.0013898 + 0.000402765 i      0. + 0.00316985 i  
0.00188119 - 0.00964715 i      -0.00174884 + 0.00237932 i      0.00130293 - 0.000830927 i  
-0.00189696 + 0.00710093 i      0.0000999056 + 0.000882098 i      0.00355163 + 0.000332407 i  
0.000688086 - 0.00368842 i      0.00513848 - 0.00234622 i      -0.00134689 + 0.00507611 i  
-0.00762248 + 0.0006824 i      0.00118669 - 0.00413211 i      -0.00394402 - 0.002466 i  
-0.000792948 + 0.00534962 i      0.00396973 + 0.00432279 i      0.00225873 + 0.00963258 i  
-0.00161254 + 0.00923109 i      -0.00220954 + 0.00423728 i      0.00486446 + 0.00404463 i  
-0.00169909 - 0.00538905 i      -0.00645726 + 0.000827387 i      0.00266274 + 0.0065518 i  
0.0025847 - 0.00366113 i      -0.000273384 - 0.000934741 i      0.002508 - 0.00182074 i  
0.00638608 + 0.00131063 i      0.00307421 + 0.00430215 i      -0.00441716 - 0.00196713 i  
0.00402602 + 0.0012193 i      0.000965611 - 0.00359627 i      0.00430355 + 0.00730001 i  
-0.00487609 - 0.000776542 i      -0.00276457 - 0.000226854 i      0.00156595 + 0.00568124 i  
-0.000451454 + 0.000384625 i      -0.000906774 + 0.000969396 i      -0.00329157 + 0.00850388 i  
0.000951313 - 0.00498882 i      0.00181674 + 0.00219494 i      -0.00131031 - 0.00228281 i  
0.00412689 + 0.0015298 i      0.00199553 - 0.00611816 i      0.000628188 + 0.000481486 i  
0.00532416 + 0.00285859 i      0.00138206 - 0.000855336 i      0.00251191 + 0.00123713 i  
0. + 0.0050065 i      -0.00388431 - 0.00888518 i      0.0342245 + 0.0405499 i  
0.00388431 - 0.00888518 i      0. + 0.000044512 i      -0.0111429 + 0.00579979 i  
-0.0342245 + 0.0405499 i      0.0111429 + 0.00579979 i      0. + 0.000121129 i  
-0.0209483 + 0.0352101 i      -0.00433465 - 0.0105873 i      0.0132413 - 0.00662731 i  
0.0150969 - 0.0184086 i      0.00321444 + 0.00899583 i      0.00760744 - 0.000683243 i  
0.00454356 + 0.0221138 i      -0.0041614 - 0.0140479 i      -0.0127221 - 0.0199199 i  
-0.00727791 + 0.00746789 i      -0.00920811 + 0.0106582 i      -0.0114603 + 0.0122279 i  
0.00863843 - 0.0132437 i      -0.0117086 - 0.00256497 i      0.0128546 + 0.0146865 i  
0.00842733 + 0.0120578 i      0.0107324 + 0.00714045 i      0.00152972 - 0.00150527 i  
-0.00270997 + 0.00869572 i      0.0298743 - 0.0180696 i      -0.013969 + 0.000708116 i  
0.0197739 - 0.00973214 i      -0.00875235 - 0.0106921 i      -0.000971717 + 0.0101798 i  
-0.00332735 + 0.0163799 i      0.00745358 - 0.00530745 i      0.00997099 - 0.00487253 i  
0.00824434 + 0.00855617 i      0.0169018 + 0.00714936 i      -0.0111106 - 0.0209788 i
```

Wie funktioniert eine physikalische Theorie?

- codiere Objekte (Teilchen, Felder)
in geeigneter mathematischer Sprache

hier: Matrizen X^a

- Wähle “Masterfunktion” (“Wirkung”) $S[X]$
- realisierte Zustände & Bewegungen folgen aus
Extremalprinzip (Hamilton 1835)

... mathematische Magie an der Arbeit

“the unreasonable effectiveness of mathematics in the
natural sciences” (Wigner 1960)



Wie funktioniert Matrix-Theorie ?

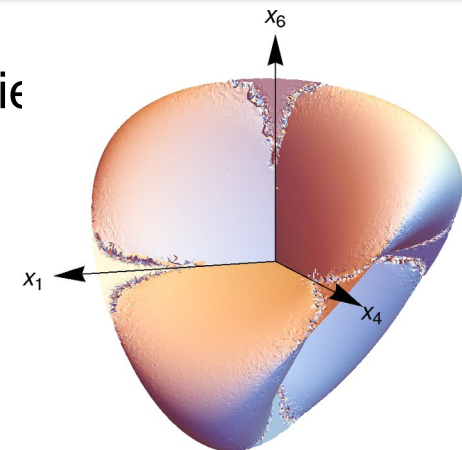
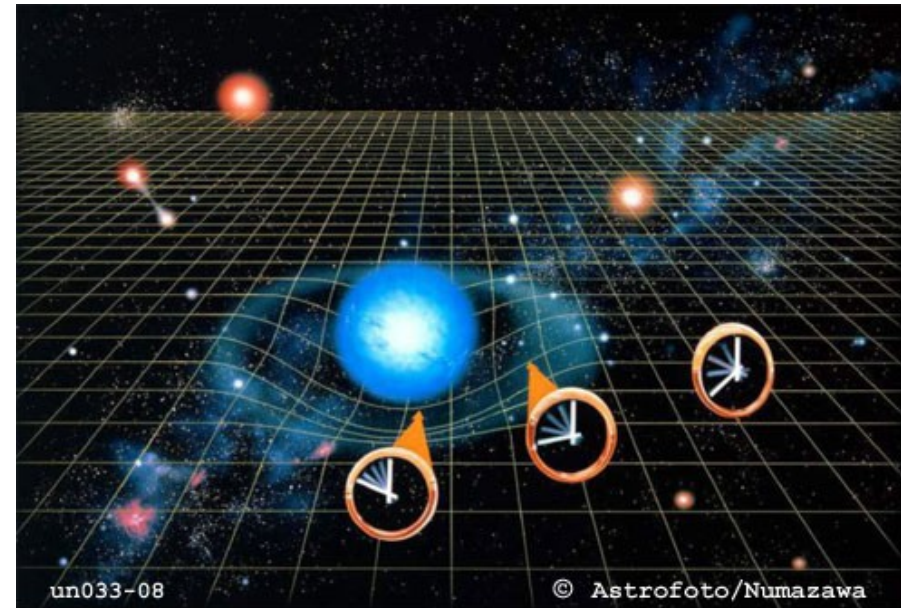
- Masterfunktion $S[X]$ selektiert “relevante” Matrizen
 - 3+1 Matrizen X beschreiben **Raum & Zeit**
Fluktuationen: **Gravitation**

- - 6 verbleibende Matrizen:

kleine extra Dimensionen,

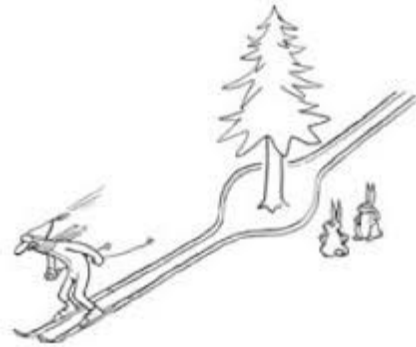
bestimmen Struktur der **Elementarteilchen**
(ähnlich String-Theorie)

reichhaltig genug um **ev. (?)** gesamte Physik
zu beschreiben

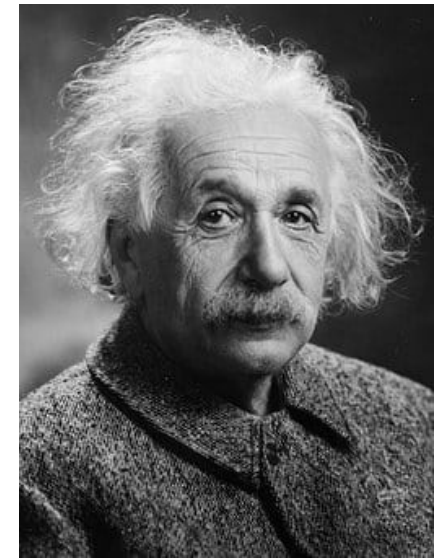


Warum Matrix-Theorie ?

- Natur ist durch **Quantenmechanik beschrieben**



- Gravitation “will nicht” quantisiert sein
(allg. Relativitätstheorie)
- vermutlich: Raum & Zeit quantisiert !
... aber wie?



Quantengeometrie

- inspiriert von Quantenmechanik:

math. Formulierung durch **Matrizen** !

(Heisenberg, Born, Jordan 1925)

$$[X, P] = XP - PX = i\hbar\mathbb{1}$$

- kann analog auf Raumzeit angewandt werden
(seit ~1980)
- passt perfekt zur Matrix-Theorie !

Matrix-Theorie führt zu **Quantengeometrie**!

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ 1 & 0 & \sqrt{2} & 0 & \dots \\ 0 & \sqrt{2} & 0 & \sqrt{3} & \dots \\ 0 & 0 & \sqrt{3} & 0 & \sqrt{4} \\ 0 & 0 & 0 & \sqrt{4} & 0 \\ \vdots & & & & \ddots \end{pmatrix}$$

$$P = i \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & \dots \\ 1 & 0 & -\sqrt{2} & 0 & \dots \\ 0 & \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{3} & \dots \\ 0 & 0 & \sqrt{3} & 0 & -\sqrt{4} \\ 0 & 0 & 0 & \sqrt{4} & 0 \\ \vdots & & & & \ddots \end{pmatrix}$$

- **mathematische Konsistenz** selektiert die 2 **Matrix-Modelle**
- alternative Formulierung der String-Theorie
- Matrix-Struktur von Raum & Zeit noch nicht geklärt
(mehrere Möglichkeiten, aber machbar)
- relevante Mathematik in Entwicklung
- Matrix-Theorie kann am Computer simuliert werden!
extrem aufwendig, work in progress (Japan, ...)



Leben wir in der Matrix?

- seriöser wissenschaftlicher Ansatz, nicht Fantasy & SciFi
- Wir wissen es (noch) nicht
- kann irgendwann beantwortet werden !

