

# Stark wechselwirkende Drei-Körper-Systeme

Maxim Mai

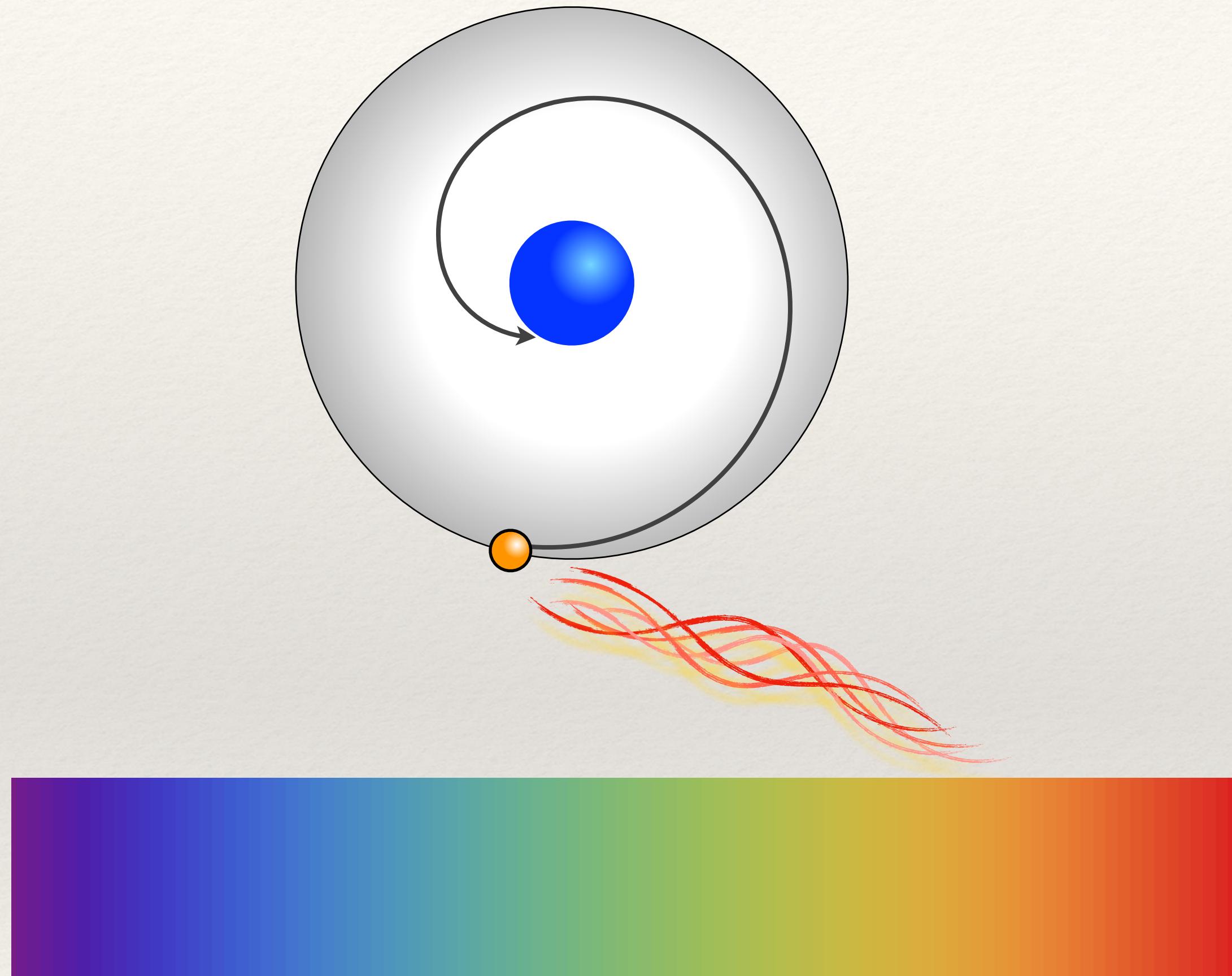
*Antrittsvorlesung an der Universität Bonn*

15. Mai 2024

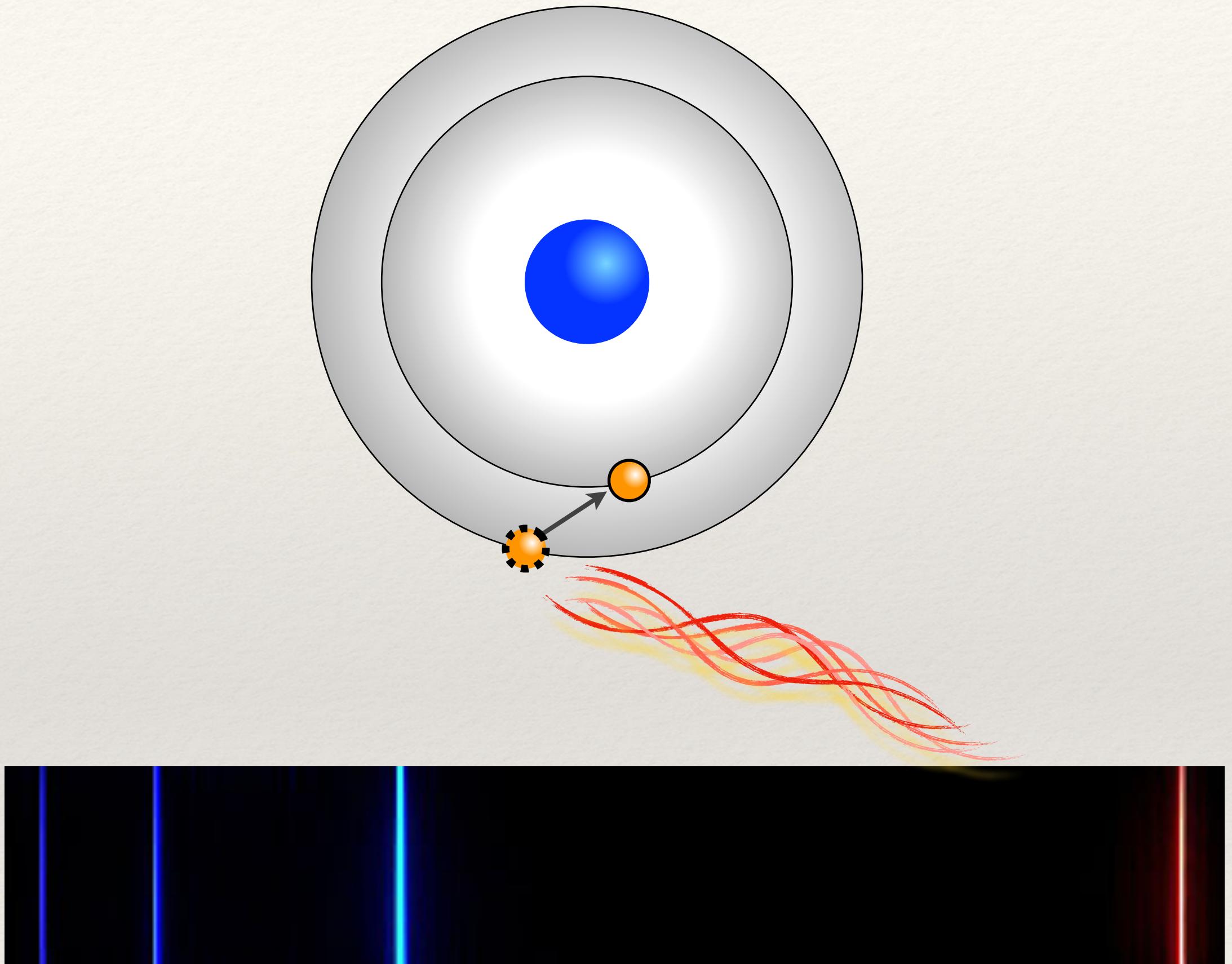


# Was sind Quantensprünge?

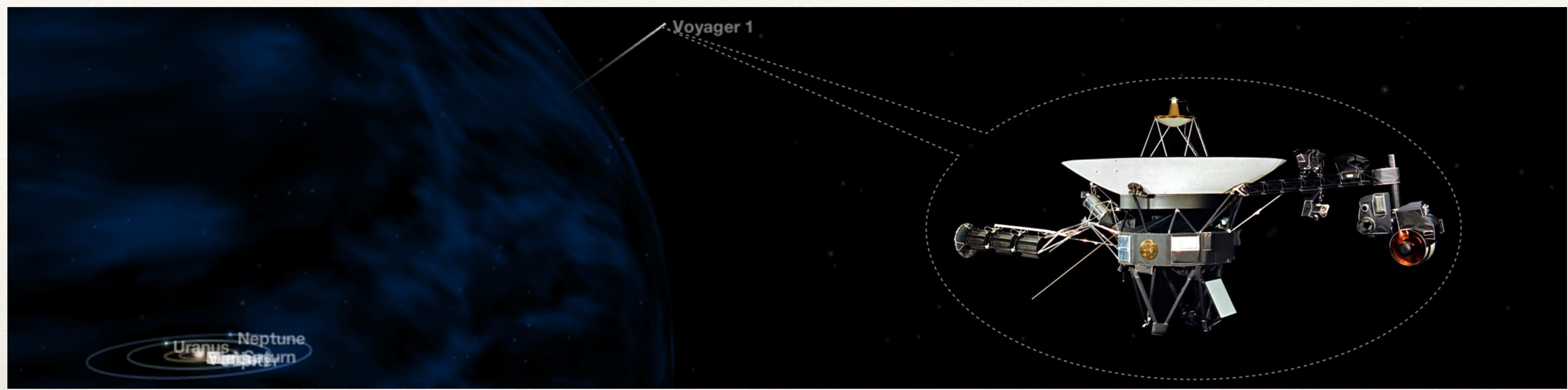
Kontinuierliche Abstrahlung



Diskrete Abstrahlung (Quanten)



*Hat das eine Anwendung?*



NASA

## Goldene Schallplatte: "Botschaft ins All"

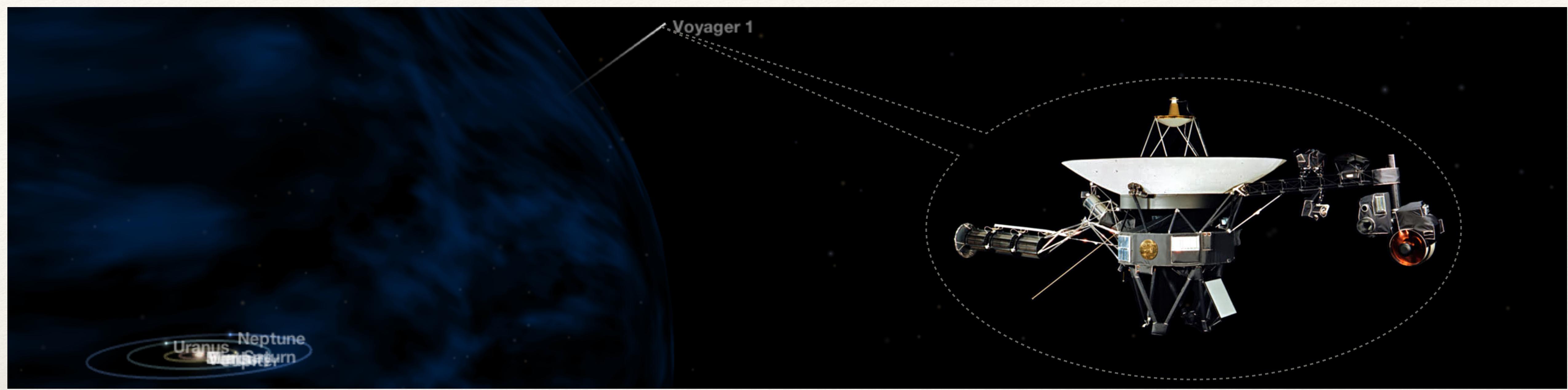
- ❖ Zeugnis der menschlichen Zivilisation
- ❖ 90 Minuten ausgewählte Musik (Bach, Beethoven, ...)

*Aber Moment...*

*Wie spielt man diese Schallplatte ab?*



NASA



NASA

## Goldene Schallplatte: Anleitung

- ❖ muss universell verständlich sein — ausserirdische Sprache, Denkmuster...
- ❖ Wie schnell soll sich die Schallplatte drehen / Zeiteinheit?
  - Sekunde/Minute/...
  - Anregungsstufen des Wasserstoffs

sonnensystembezogen

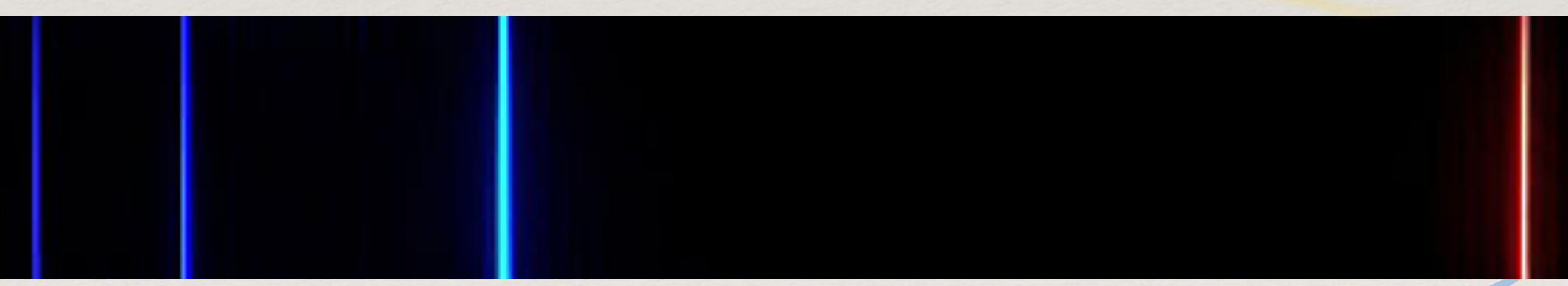
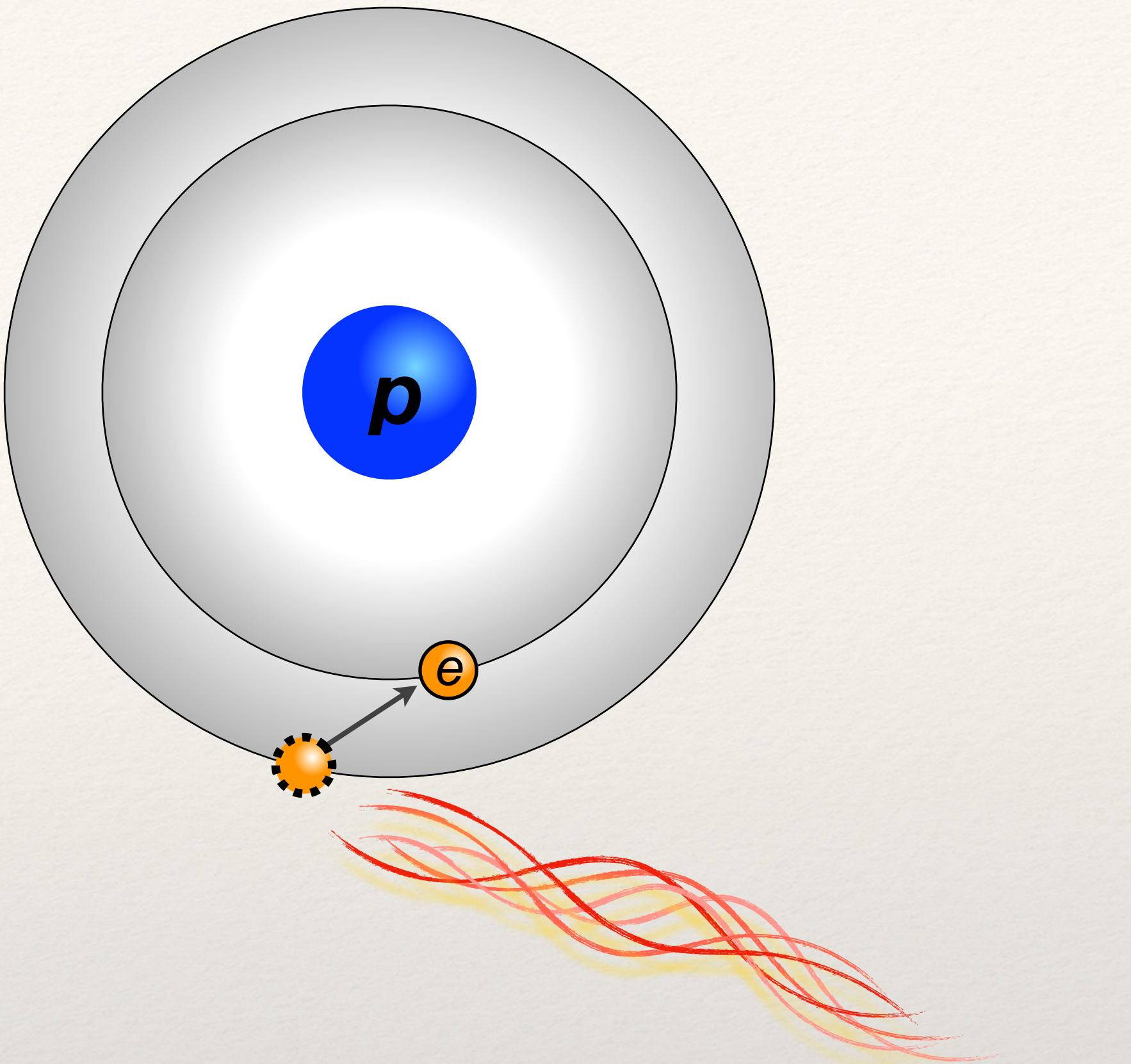
elementbasiert



NASA

## Atomspektrum

- ❖ Elektronen können nur bestimmte Energieniveaus besetzen  
(Schalen)
- ❖ Konsistente Beschreibung → **Quantenmechanik**
  - nichtintuitive Sprache, viele Interpretationen
  - beschreibt subatomare Welt ( $\lesssim 10^{-9}$  m)



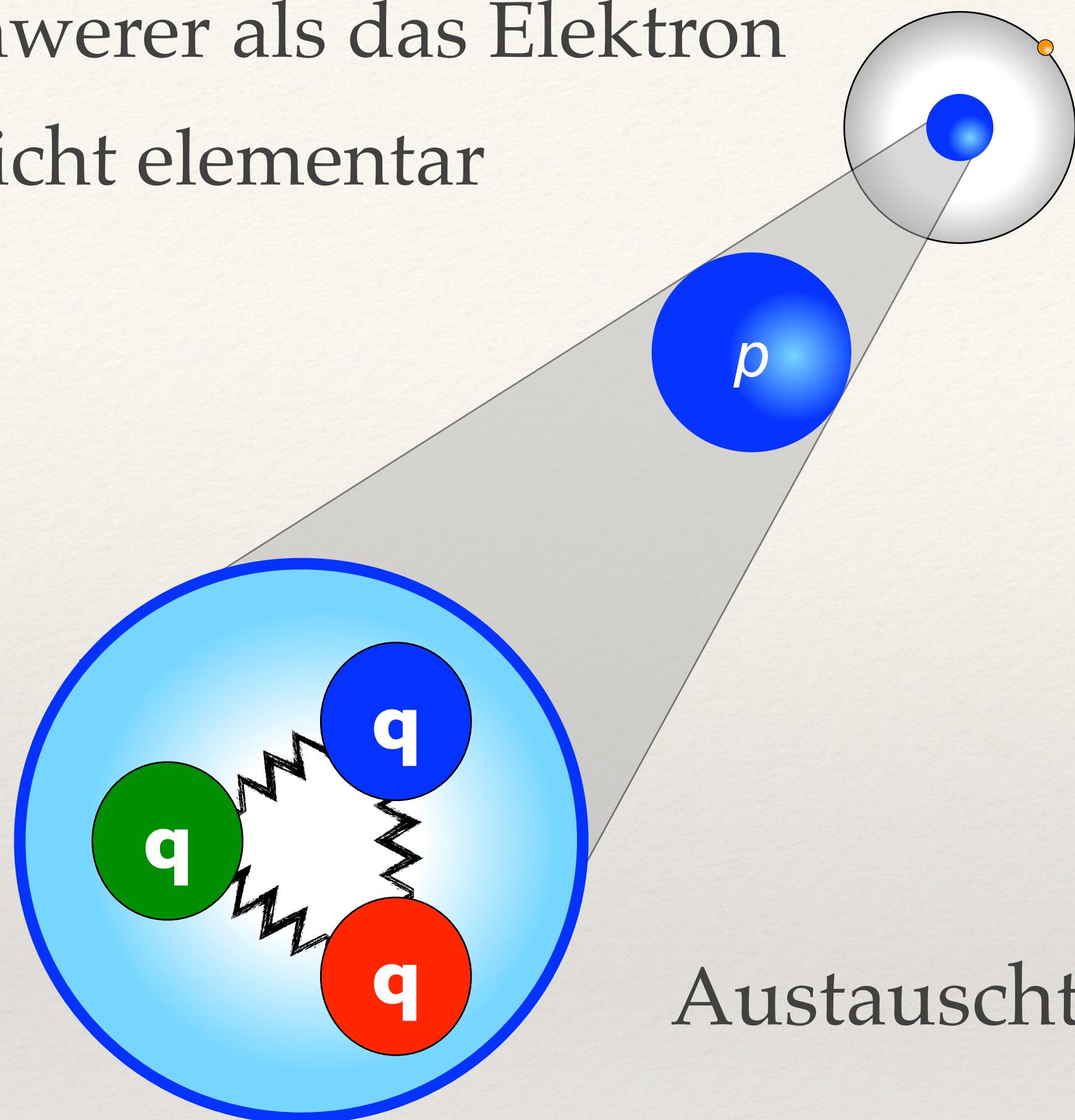
**Wellenlänge**

Zeit  $\sim 0.7\text{ns} = 0.000\,000\,000\,7\text{s}$

# Proton

~ 2000 mal schwerer als das Elektron

... ist nicht elementar



## Quarks

6 Sorten und 3 Farben



## Gluonen

Austauschteilchen der *starken Wechselwirkung*

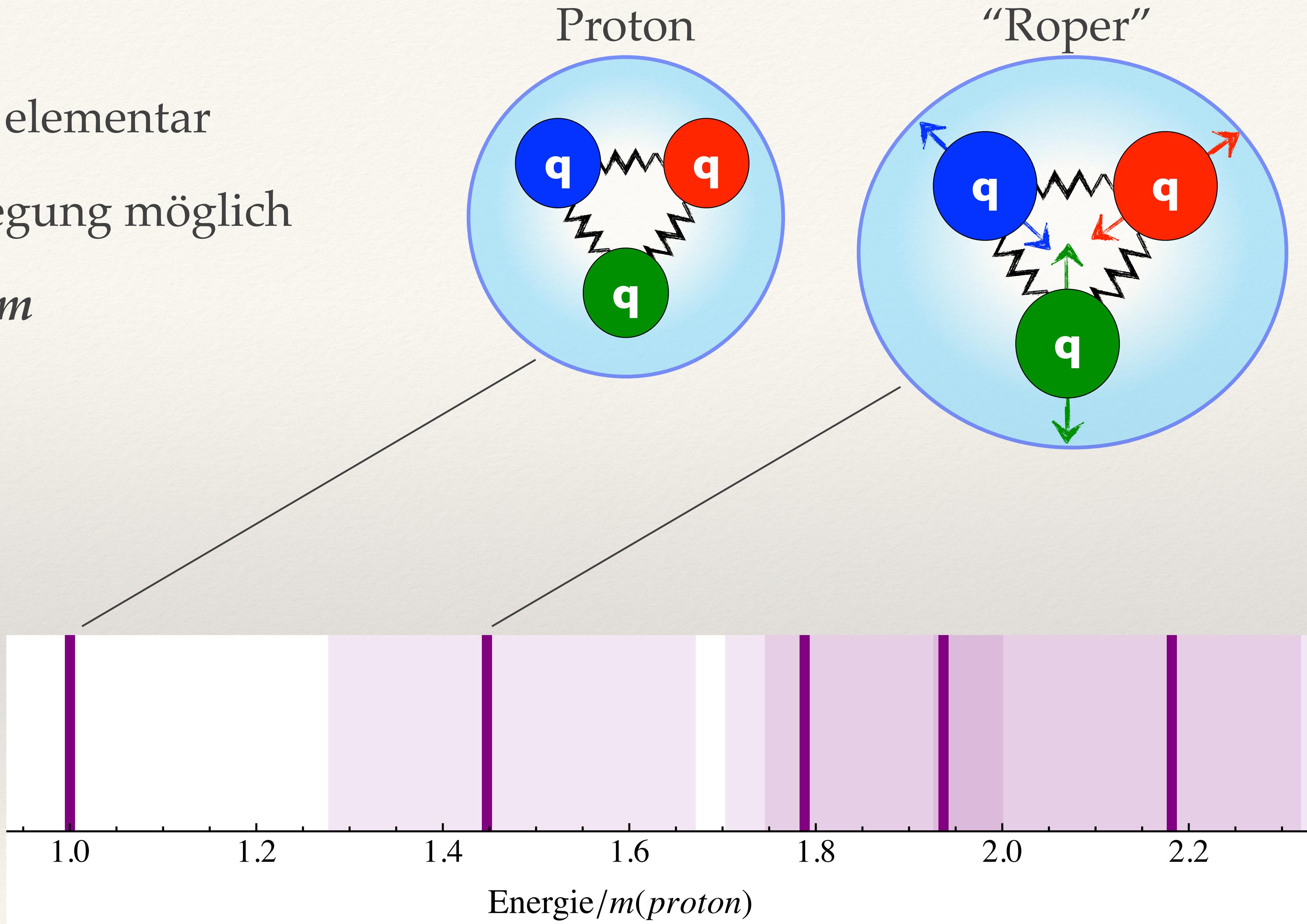
... nicht individuell beobachtbar

...  $\Delta E \sim 1000\,000 \times$  Elektromagnetismus

Kernenergie(fusion) viel effektiver als die Verbrennung fossiler Treibstoffe

<https://maxim-mai.github.io/talks.html>

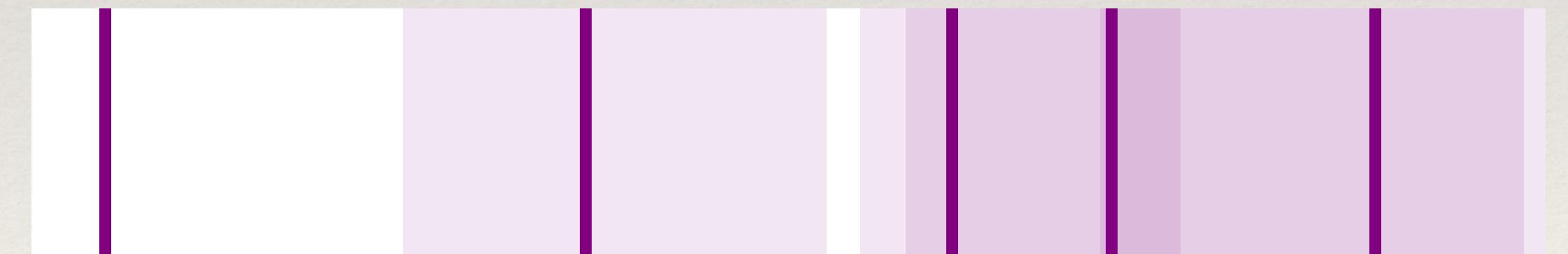
- ❖ Das Proton ist nicht elementar
  - energetische Anregung möglich
  - *Hadronenspektrum*



# Kleine Zusammenfassung

- ❖ Subatomare Teilchen können energetisch angeregt werden
  - diskretes Spektrum
  - universelle Signatur (“DNA”) der Natur

Atomspektrum	Hadronenspektrum
Kerne+Elektronen	Quarks+Gluonen
Elektromagnetismus (1)	Starke Wechselwirkung ( $\sim 1000\ 000$ )
19.-20. Jh	CERN/ELSA-Bonn/BEPC/JeffersonLab / ...



🤔 *Kann man das berechnen?*

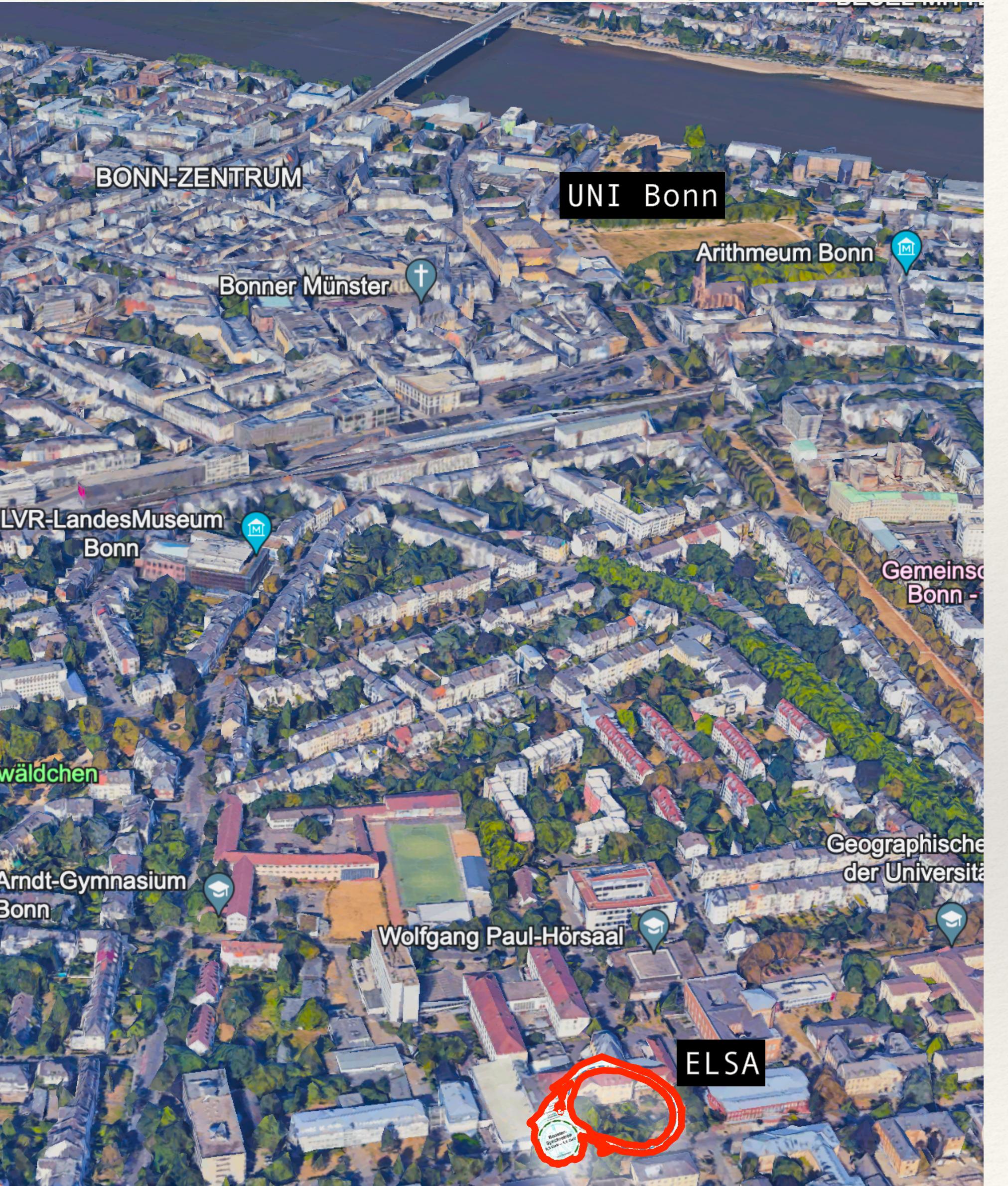
🤔 *Was hat das mit dem 3-Körperproblem zu tun?*

HADRONEN

—

STARK WECHSELWIRKENDE TEILCHEN

# Elektronen-Stretcher-Anlage (ELSA)



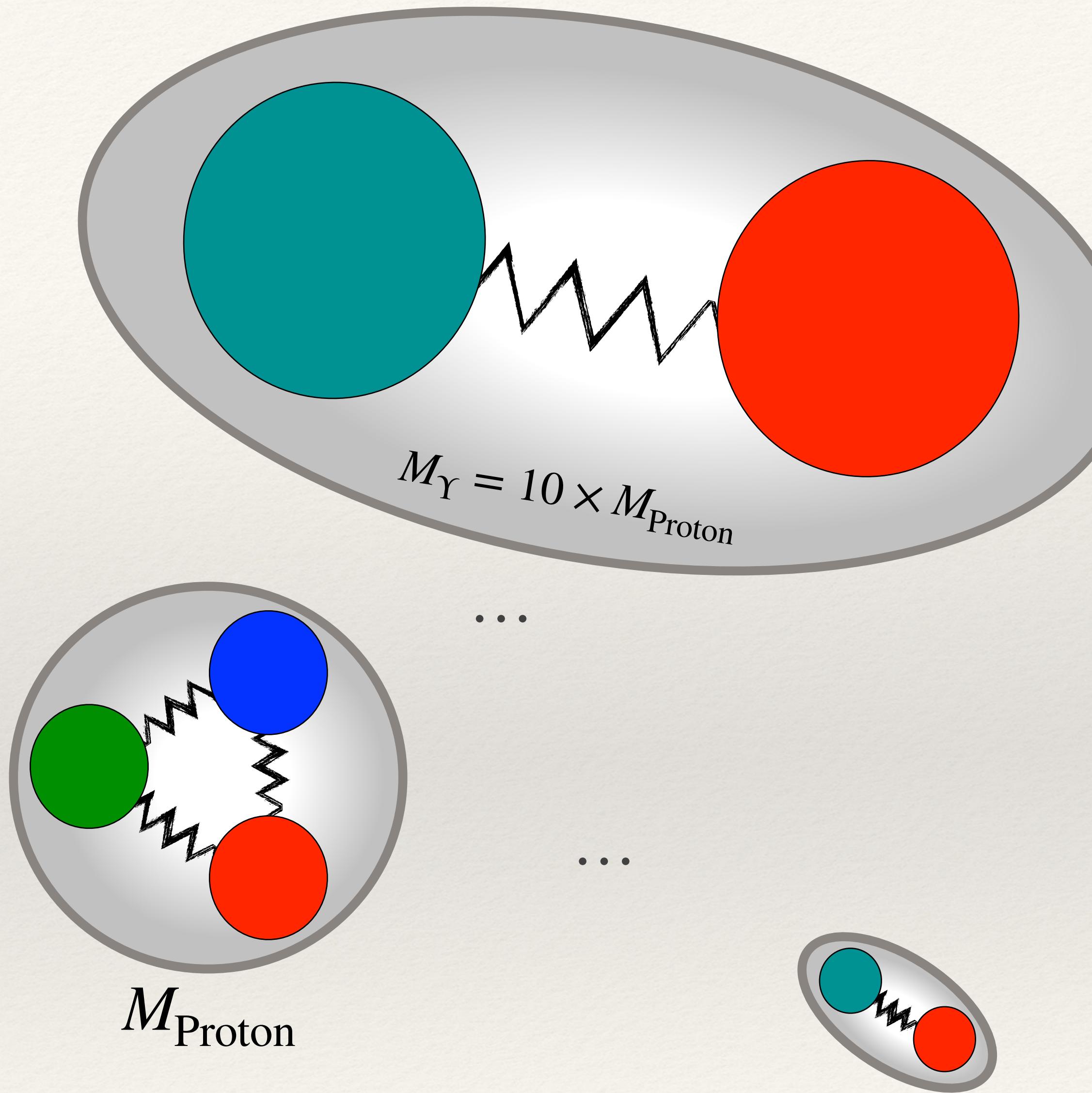
MM/ELSA/GoogleEarth

## Beobachtung

- ❖ CERN, ELSA(Bonn), ...

## Beobachtung

- ❖ CERN, ELSA(Bonn), ...
- ❖ Das Proton ist nur ein Repräsentant der stark wechselwirkenden Teilchen
- ❖ ~150 Hadronen sind gemessen



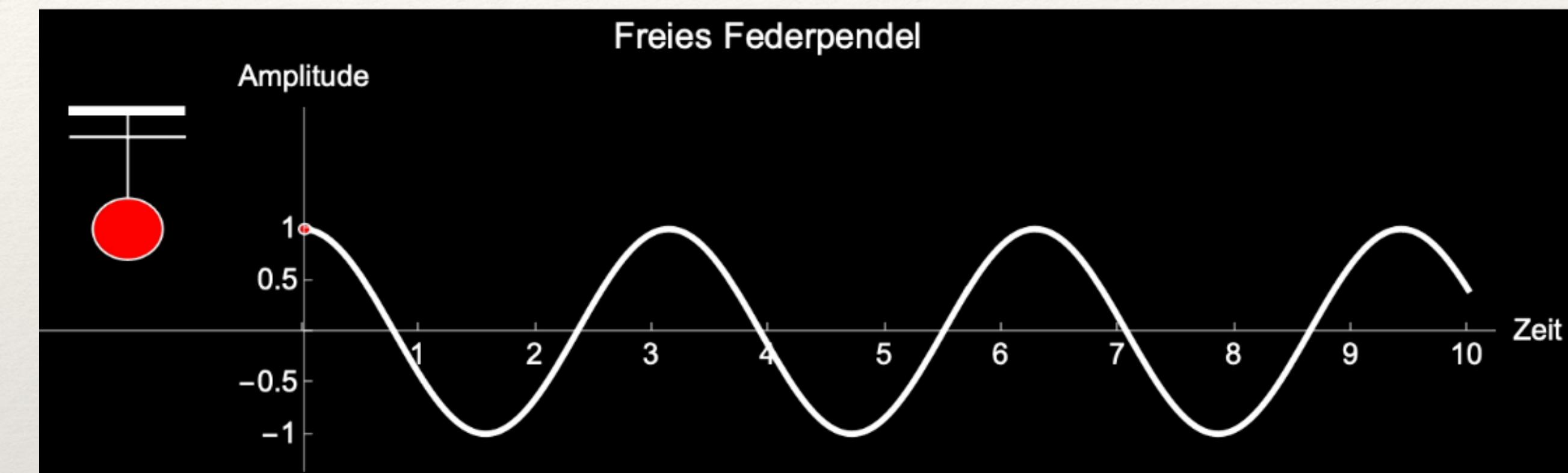
... die meisten sind instabil (zerfallen in andere Hadronen)

*Welche Masse haben sie dann?*

Analogie (Welle/Teilchen Dualismus) — Harmonischer Oszillator (Pendel)

❖ Stabiles Teilchen  $\sim e^{iM t}$

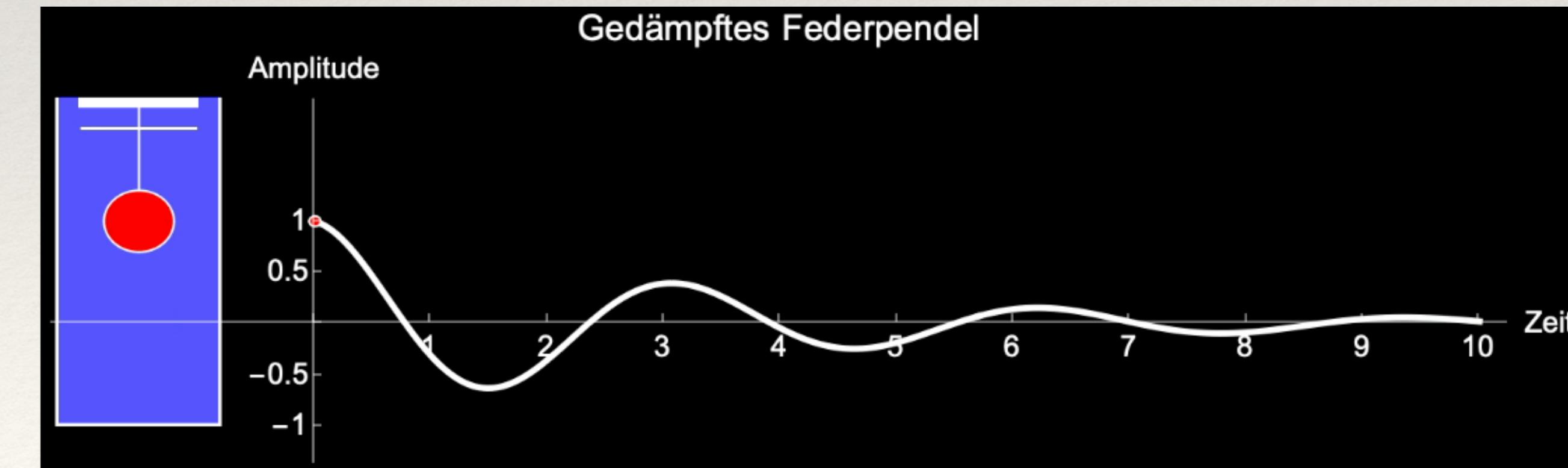
*z.B. das Proton zerfällt nicht*



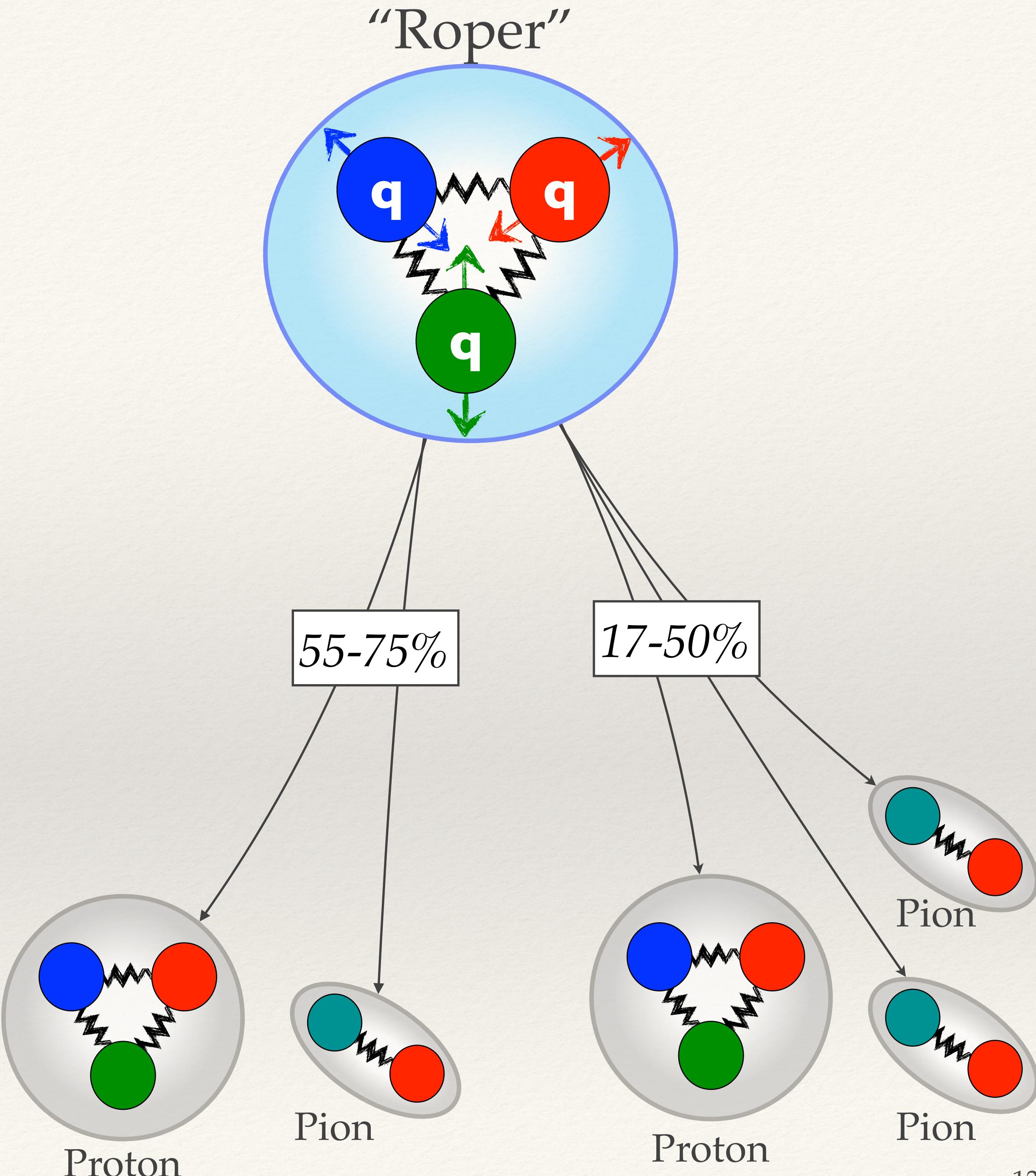
❖ Instabiles Teilchen  $\sim e^{i(M+i\Gamma)t} = e^{iMt} \cdot e^{-\Gamma t}$

*z.B. Roper zerfällt in  $10^{-24}$  s*

↑  
Dämpfung  
↑



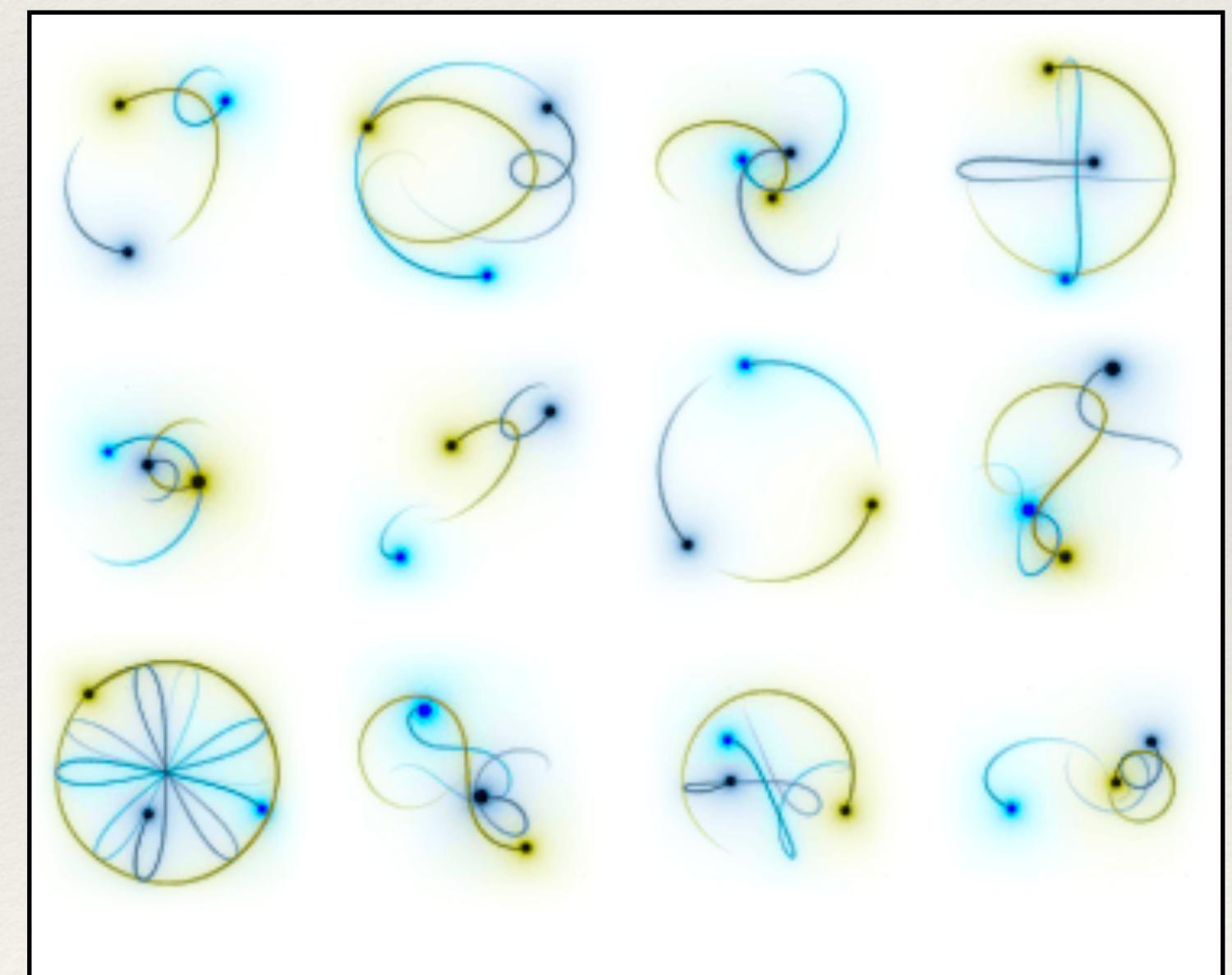
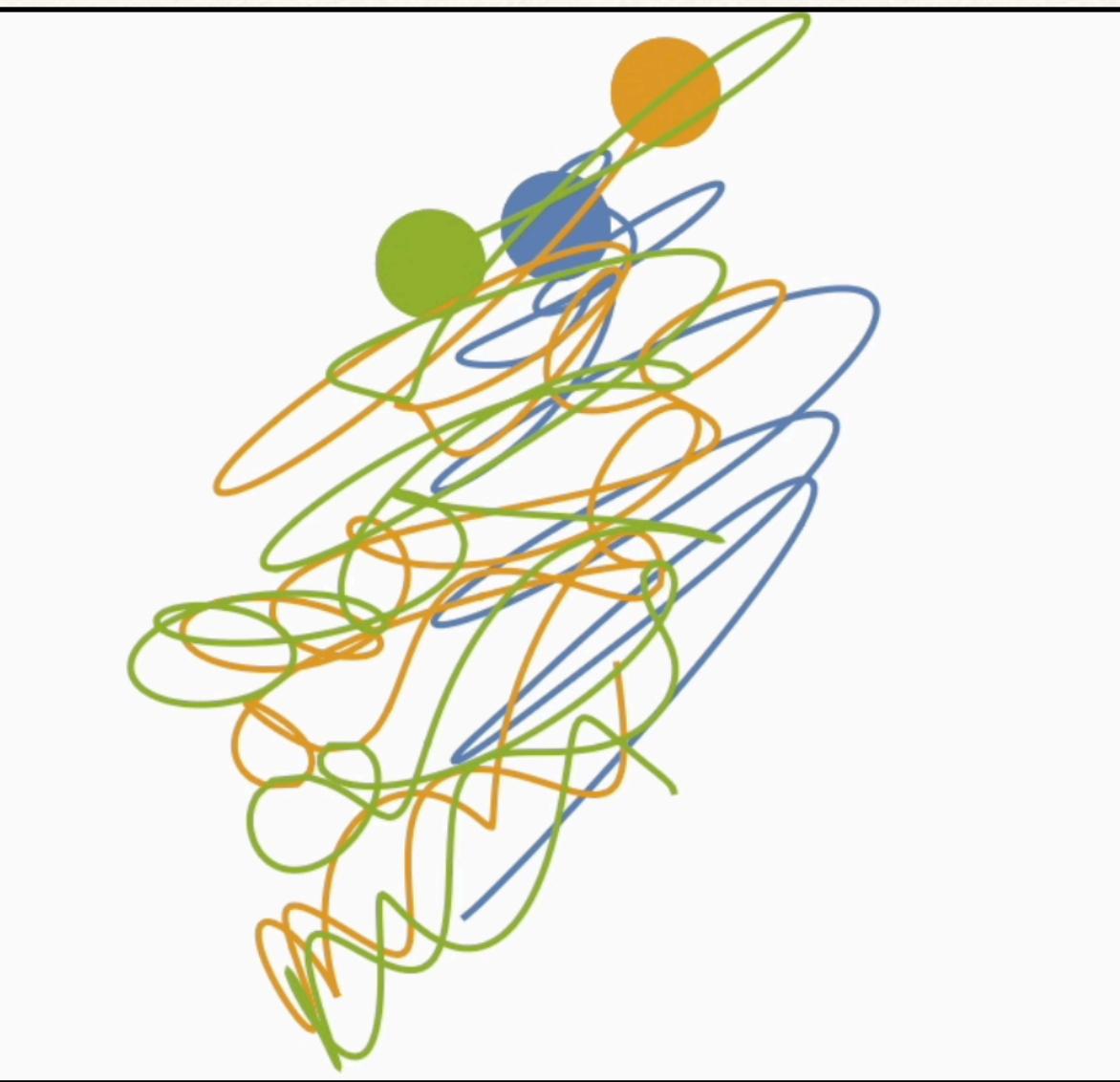
- ❖ Roper  $\sim 40\%$  schwerer als das Proton
  - genug Energie um in
  $\pi + p$  ( $M/M_p = 1.1$ ) oder
  $\pi + \pi + p$  ( $M/M_p = 1.3$ ) zu zerfallen
  - experimentell verifiziert und dominant
- ❖ Theorie
  - $\pi p$  — viele verlässliche Methoden
  - $\pi\pi p$  — Dreikörperproblem



# DREIKÖRPERPROBLEM

## Dreikörperproblem der Himmelsmechanik

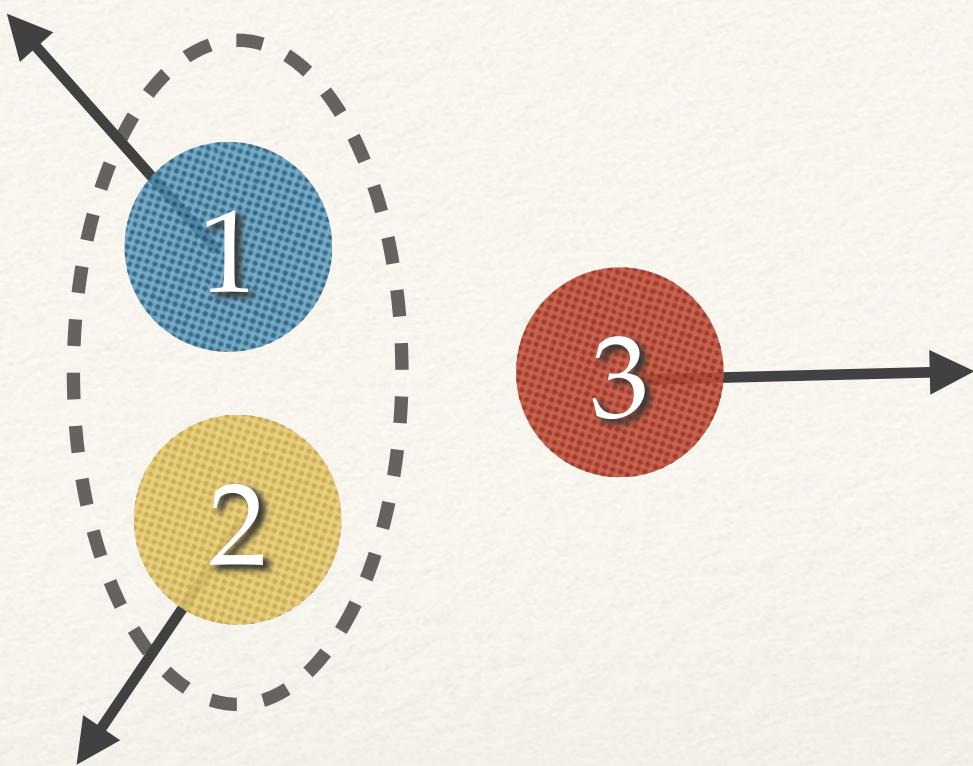
- ❖ Ziel: Berechnung der Raum-Zeit-Flugbahn
- ❖ Keine geschlossene Lösung
- ❖ Im Allgemeinen nicht-periodisch (wenige Ausnahmen)



Perosello, CC BY-SA 4.0 <[https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)>, via Wikimedia Commons

## Hadronisches Dreikörperproblem

- ❖ Ziel: Übergangswahrscheinlichkeiten
- ❖ Probleme
  - ❖ komplexe Kinematik (Winkel, Impulse, ... )
  - ❖ 2-Teilchen Subsystem erlangt eine kontinuierliche “Masse”  
... Integralgleichung nötig

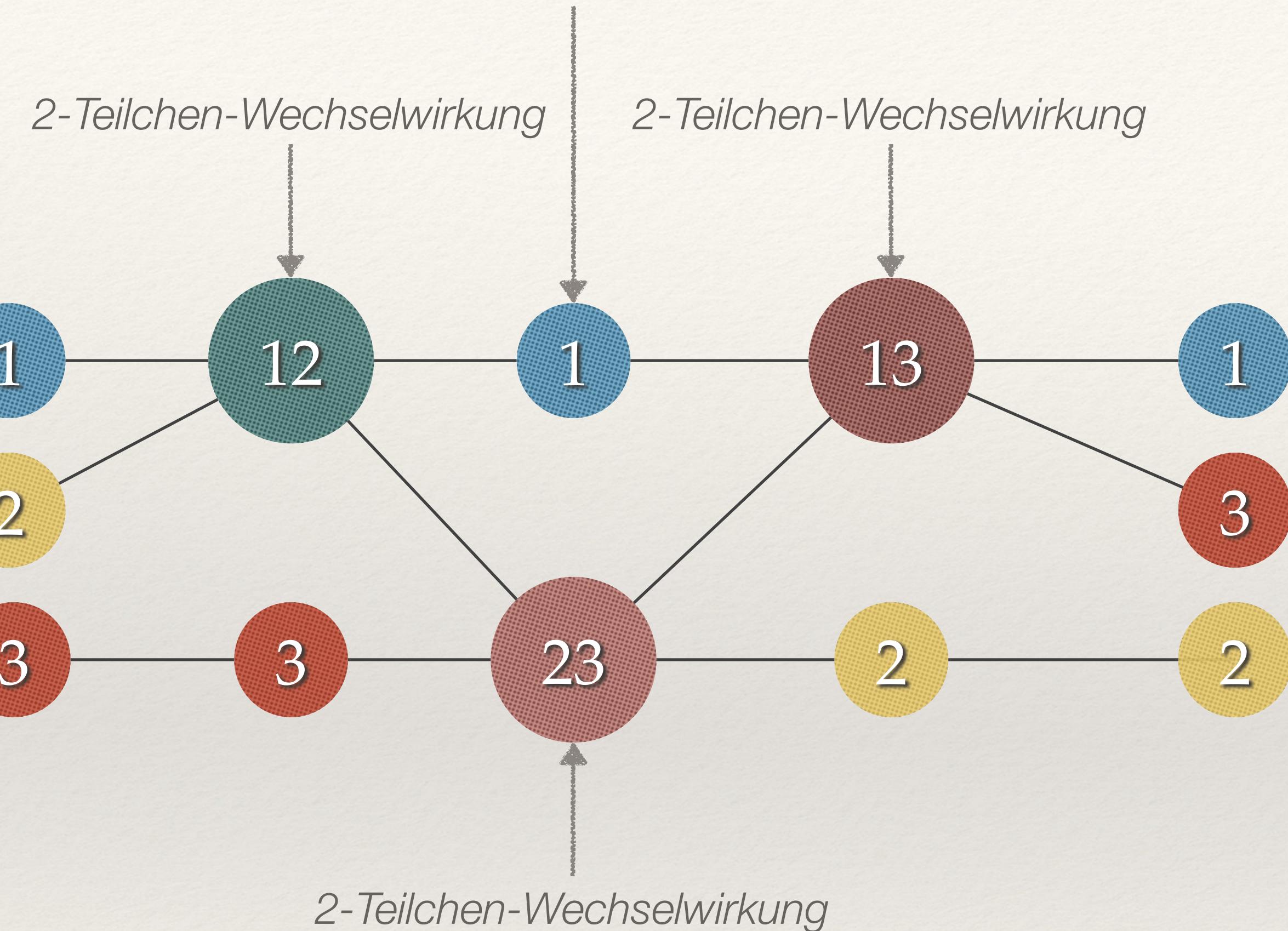


$$M_{12}(p_3)$$

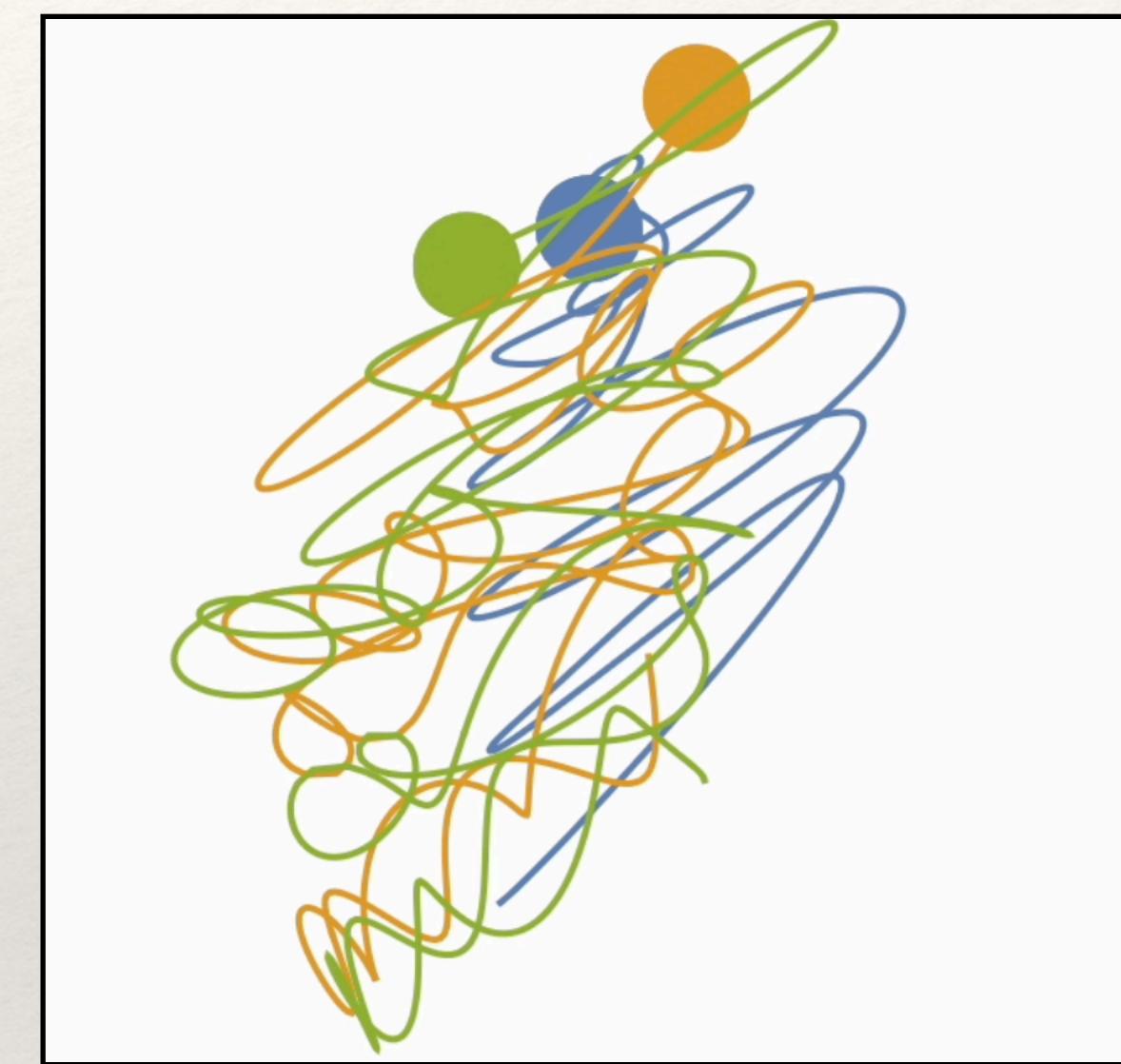
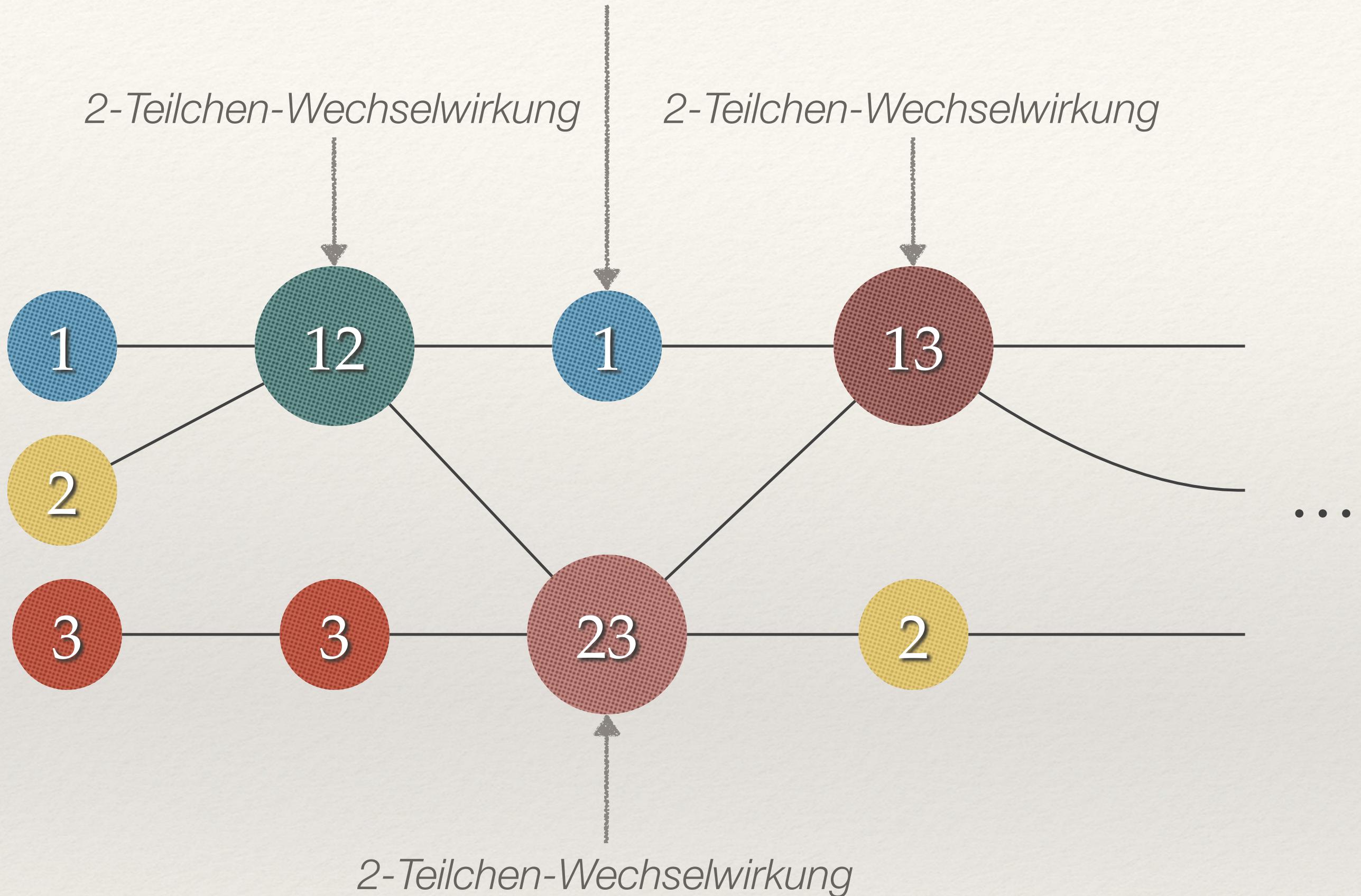
# Generelle Lösungsstrategie

## Möglichkeit #3

(1) kann beliebig hohe Impulse erlangen

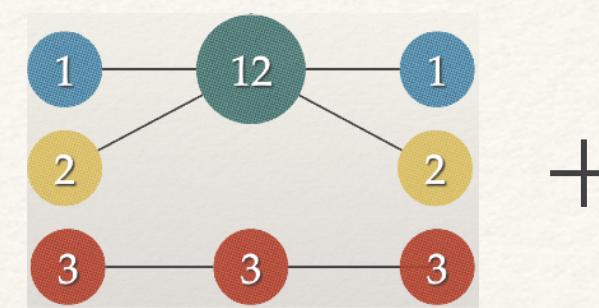


## (1) kann beliebig hohe Impulse erlangen

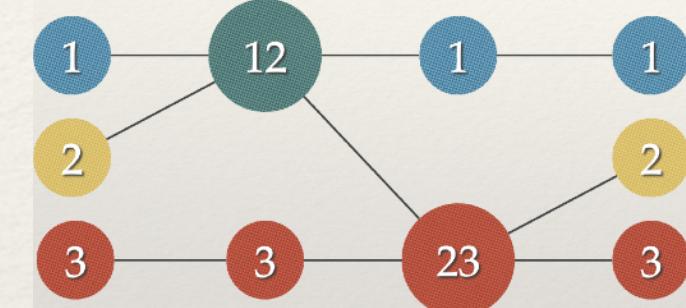


Möglichkeit #1+#2+...

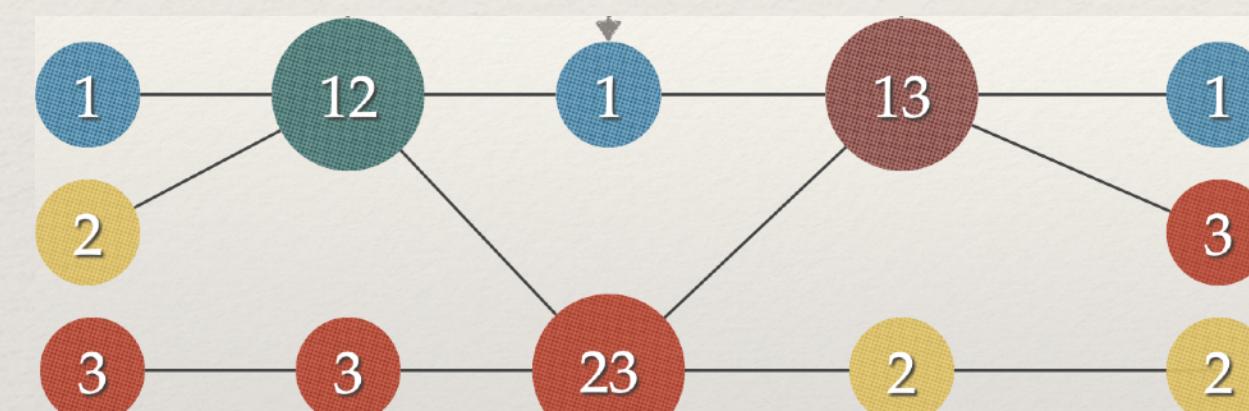
# Generelle Lösungsstrategie



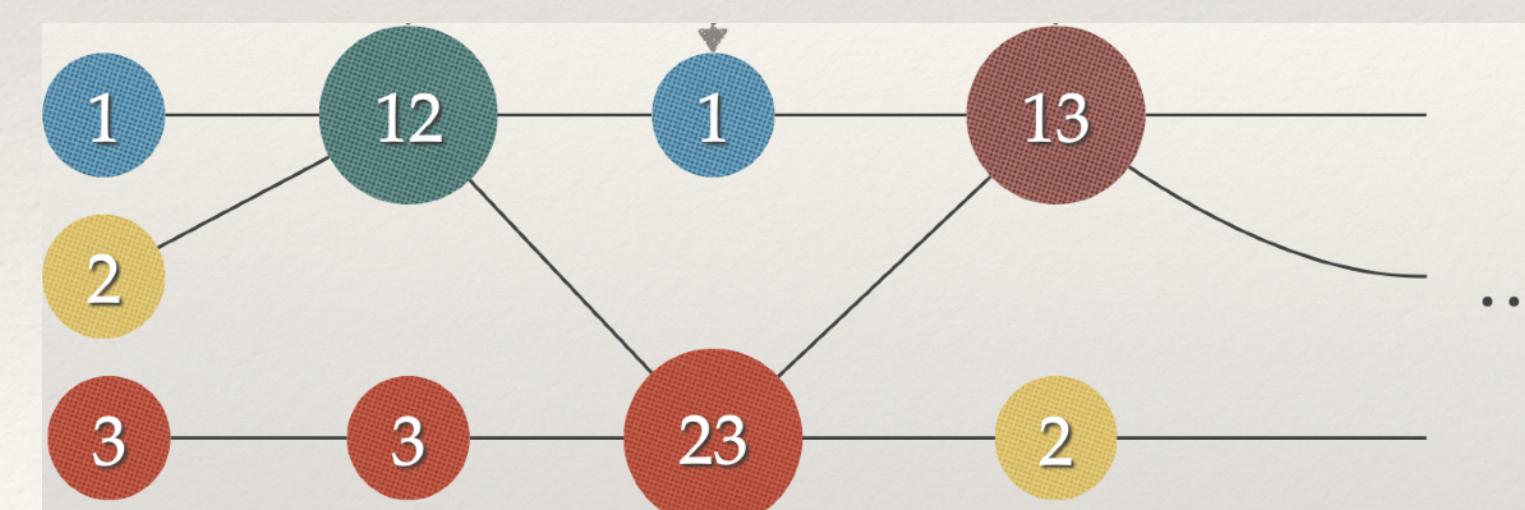
+



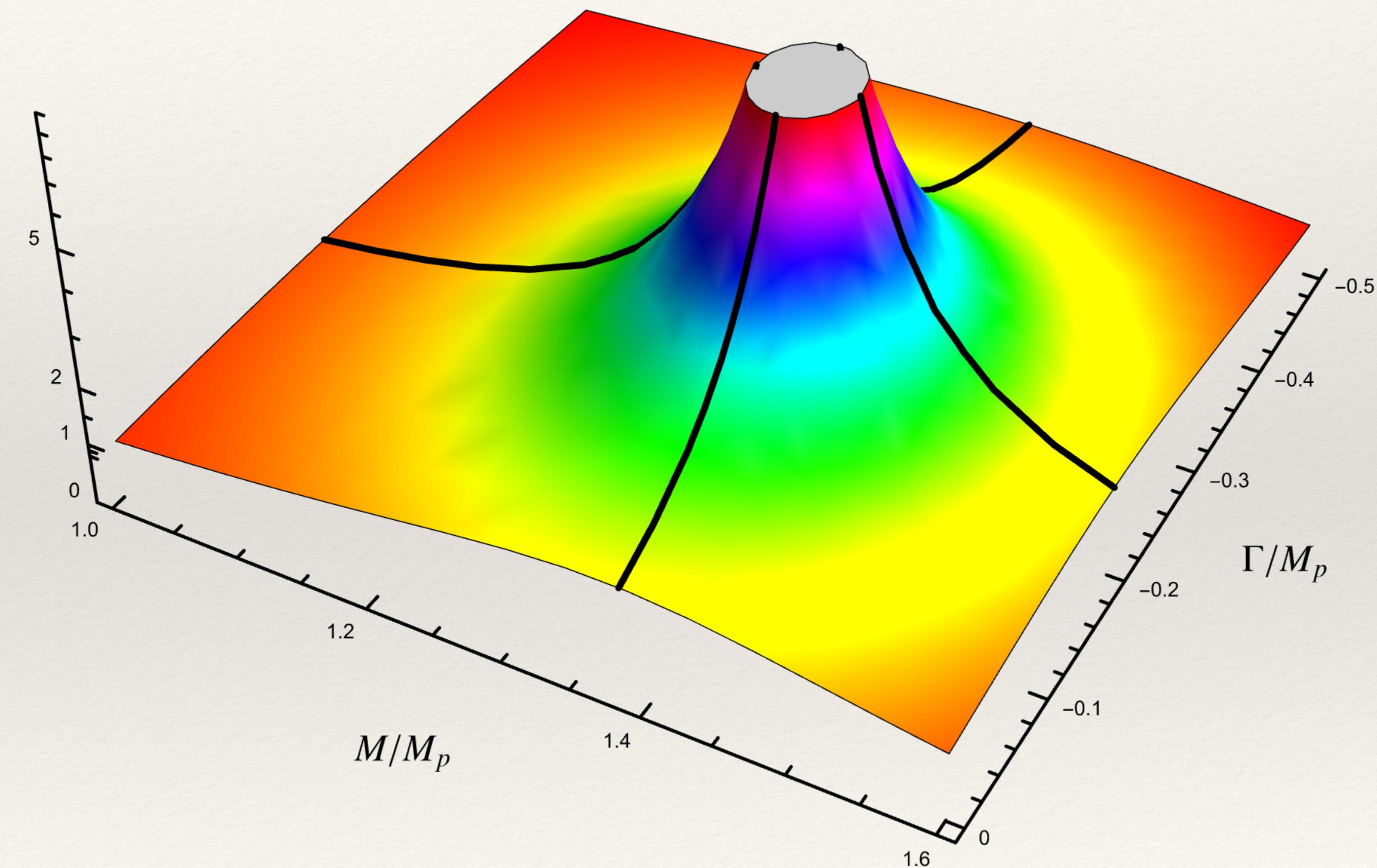
+



+ ... +



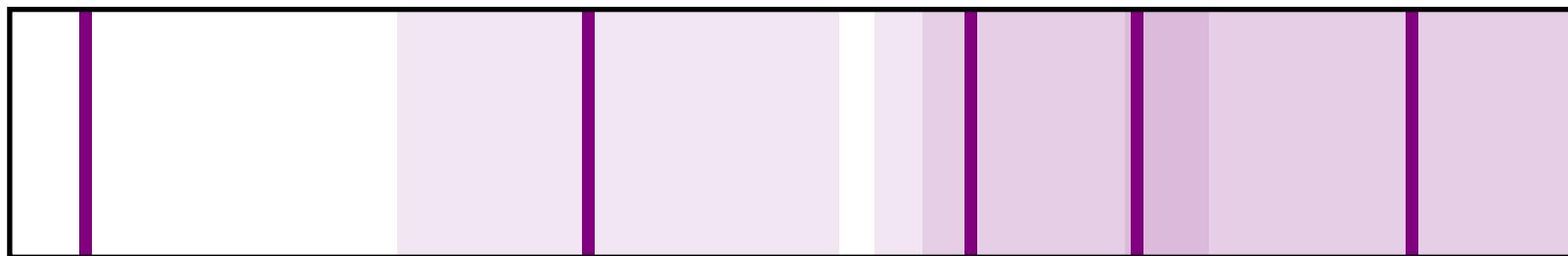
Lösung der Gleichung:  $M + i\Gamma$



# ZUSAMMENFASSUNG

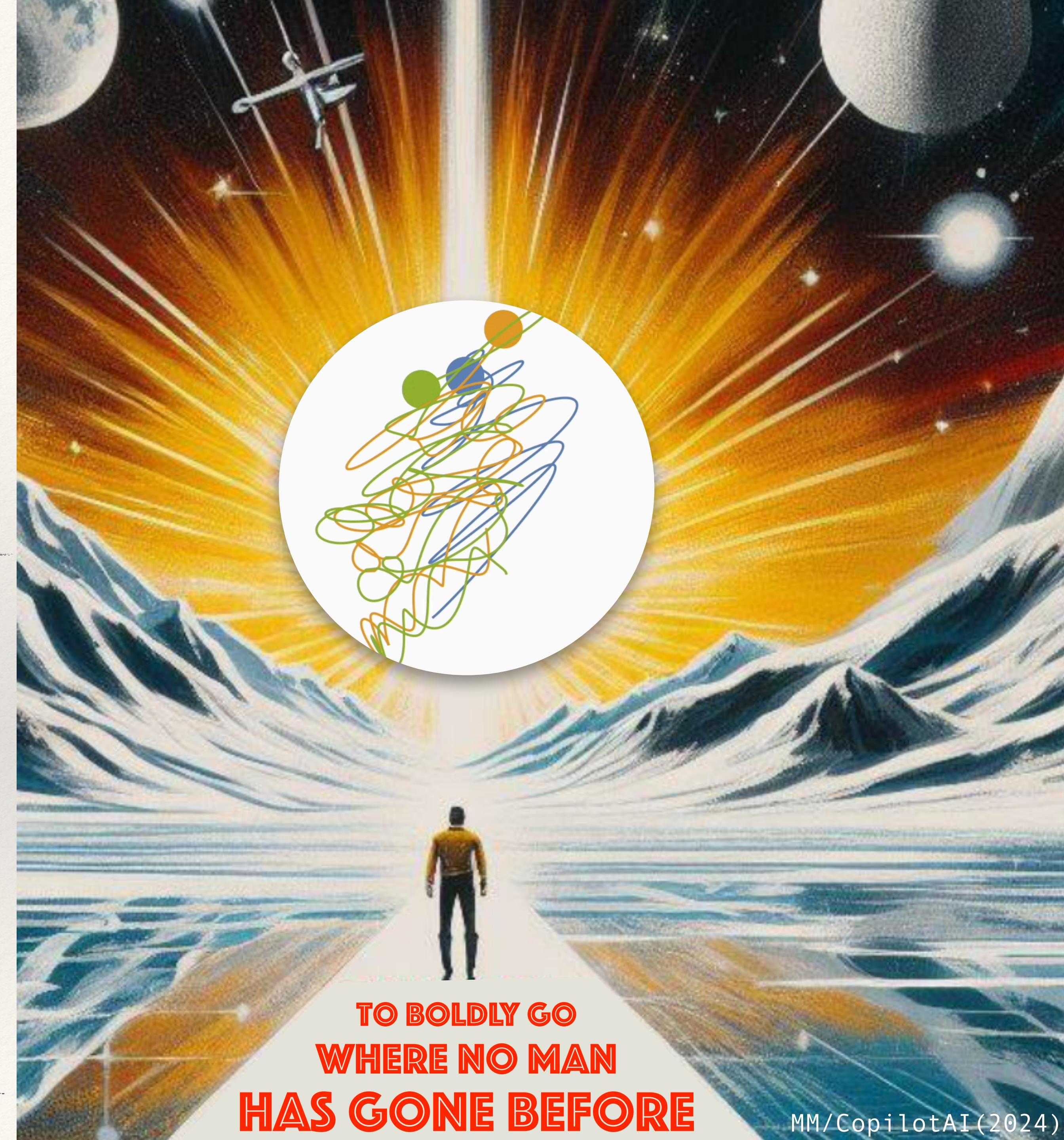
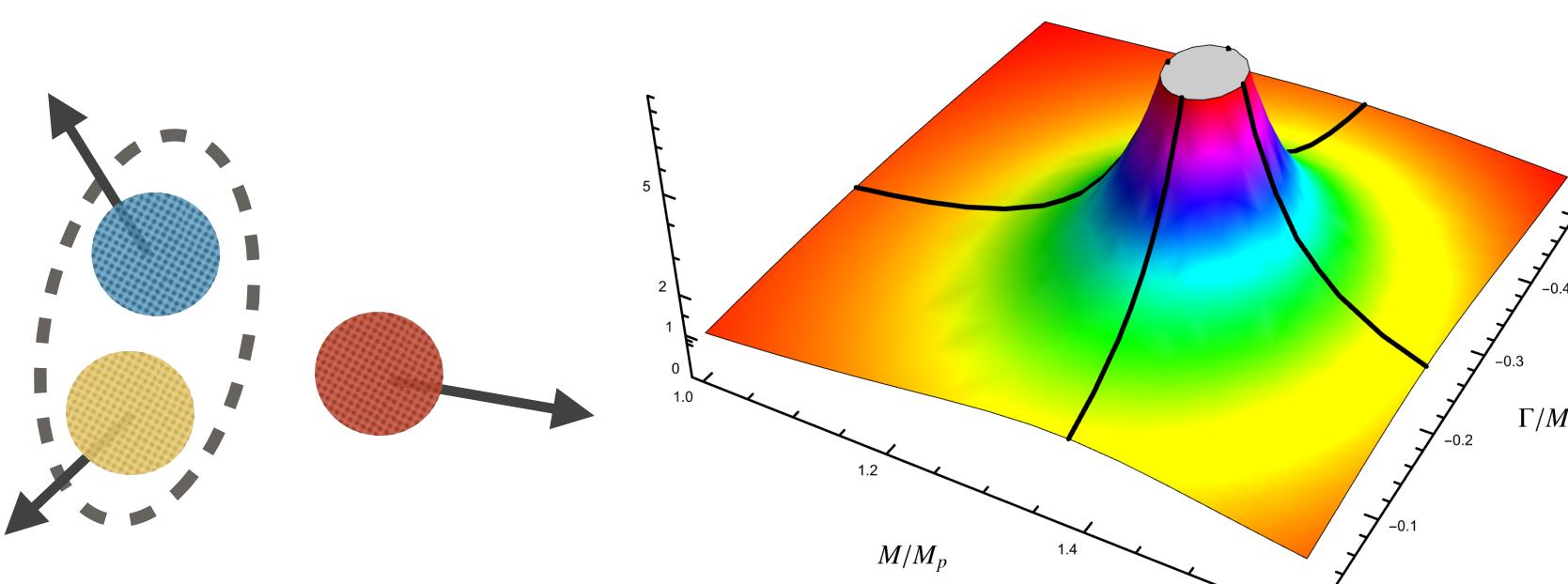
# Universelle Signatur ("DNA") unserer Welt

## Spektrum der subatomaren Teilchen



### Hadronisches Dreikörperproblem

- ❖ grosse Relevanz
- ❖ neue verbesserte Lösungsansätze ...



**TO BOLDLY GO  
WHERE NO MAN  
HAS GONE BEFORE**

