

Stark wechselwirkende Drei-Körper-Systeme

Maxim Mai

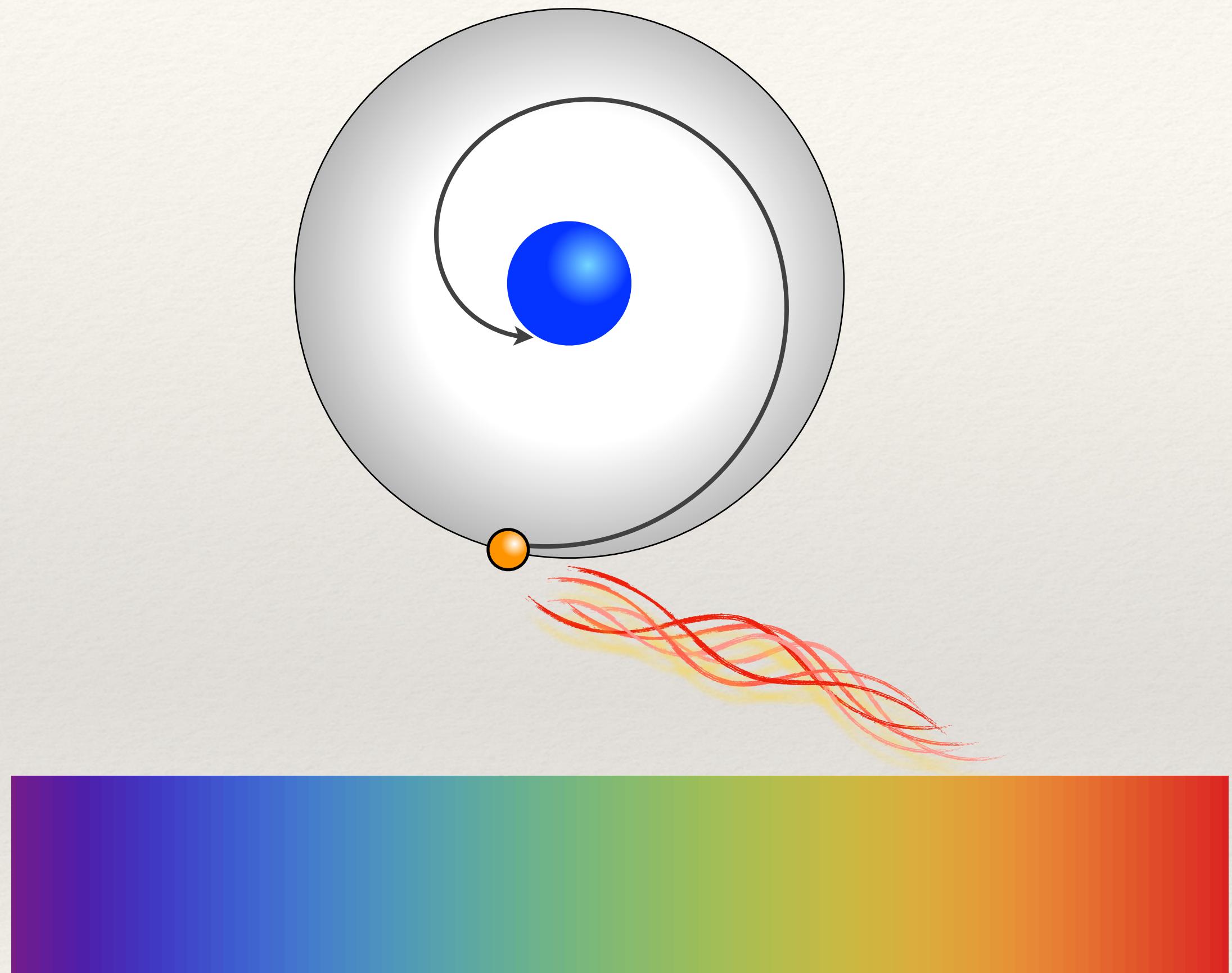
Antrittsvorlesung an der Universität Bonn

15. Mai 2024

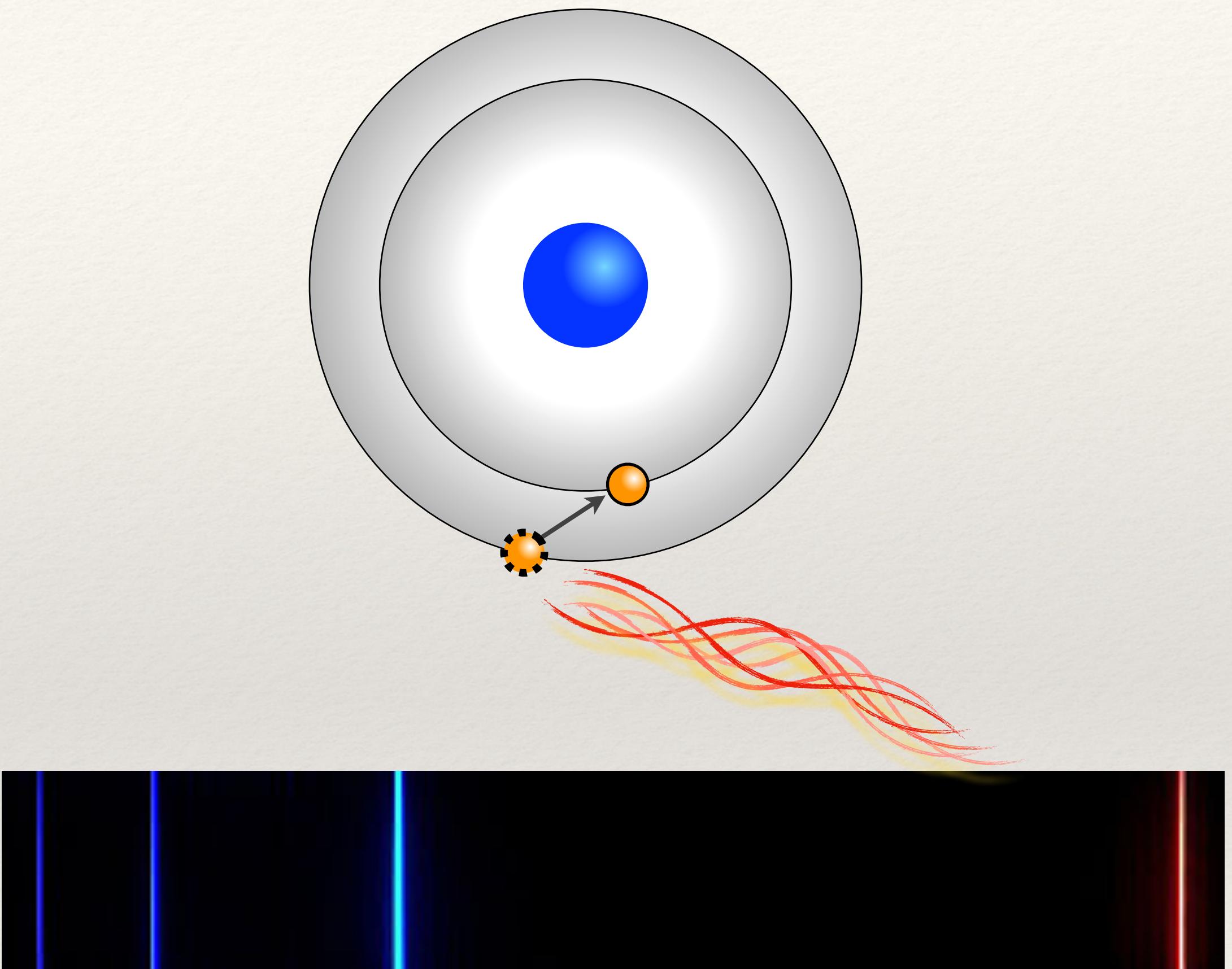


Was sind Quantensprünge?

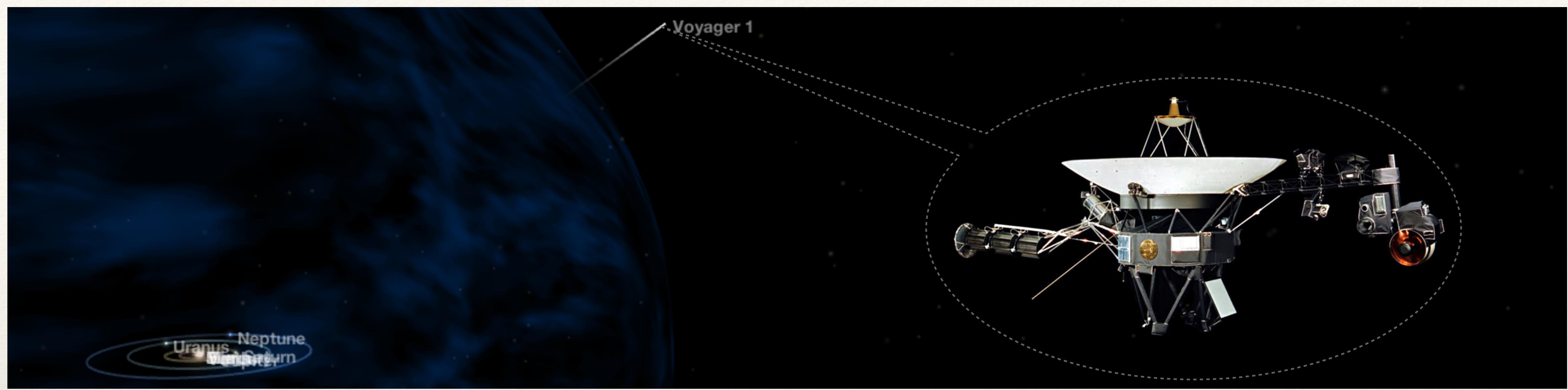
Kontinuierliche Abstrahlung



Diskrete Abstrahlung (Quanten)



Hat das eine Anwendung?



NASA

Goldene Schallplatte: “Botschaft ins All”

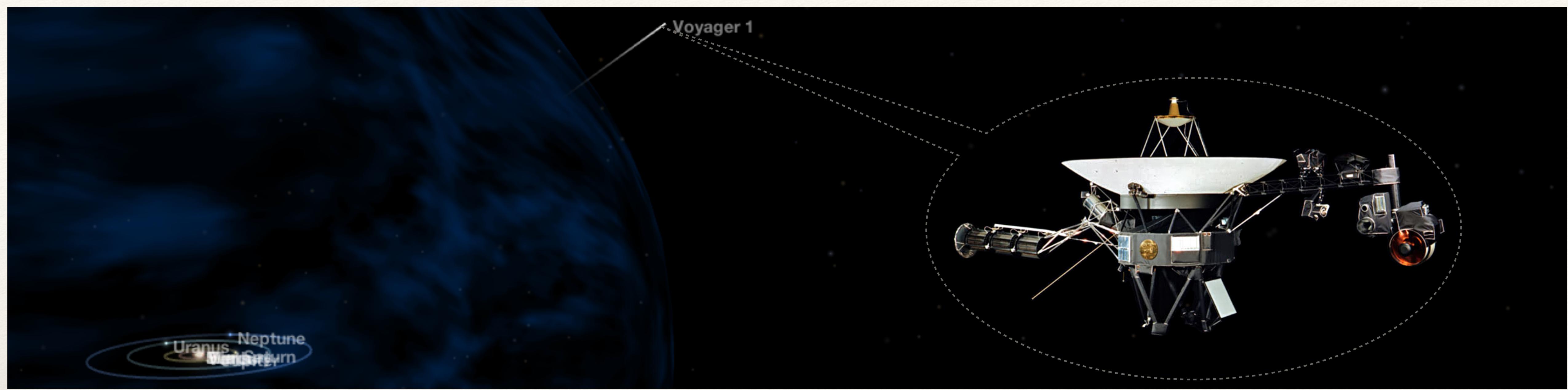
- ❖ Zeugnis der menschlichen Zivilisation
- ❖ 90 Minuten ausgewählte Musik (Bach, Beethoven, ...)

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

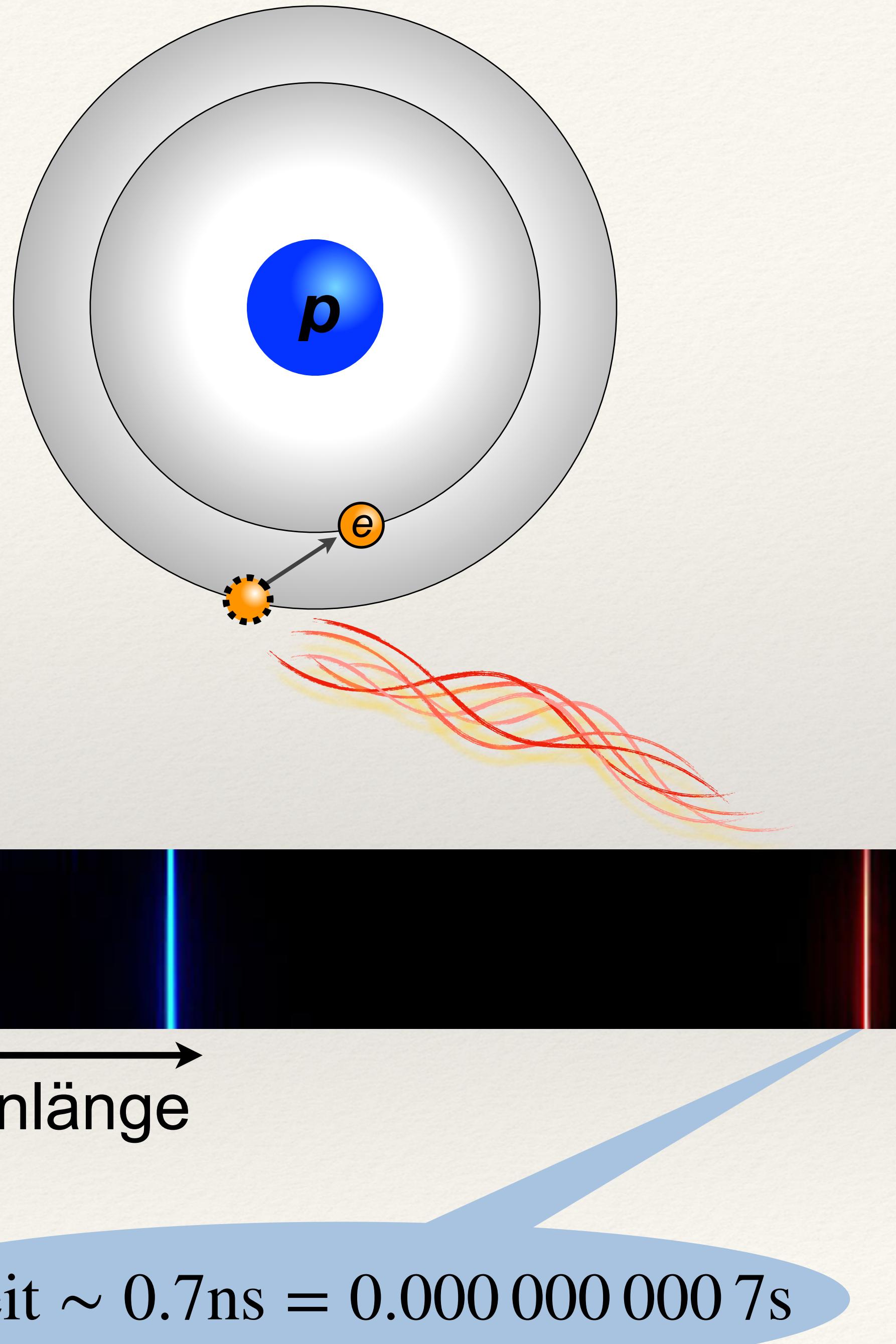
elementbasiert



NASA

Atomspektrum

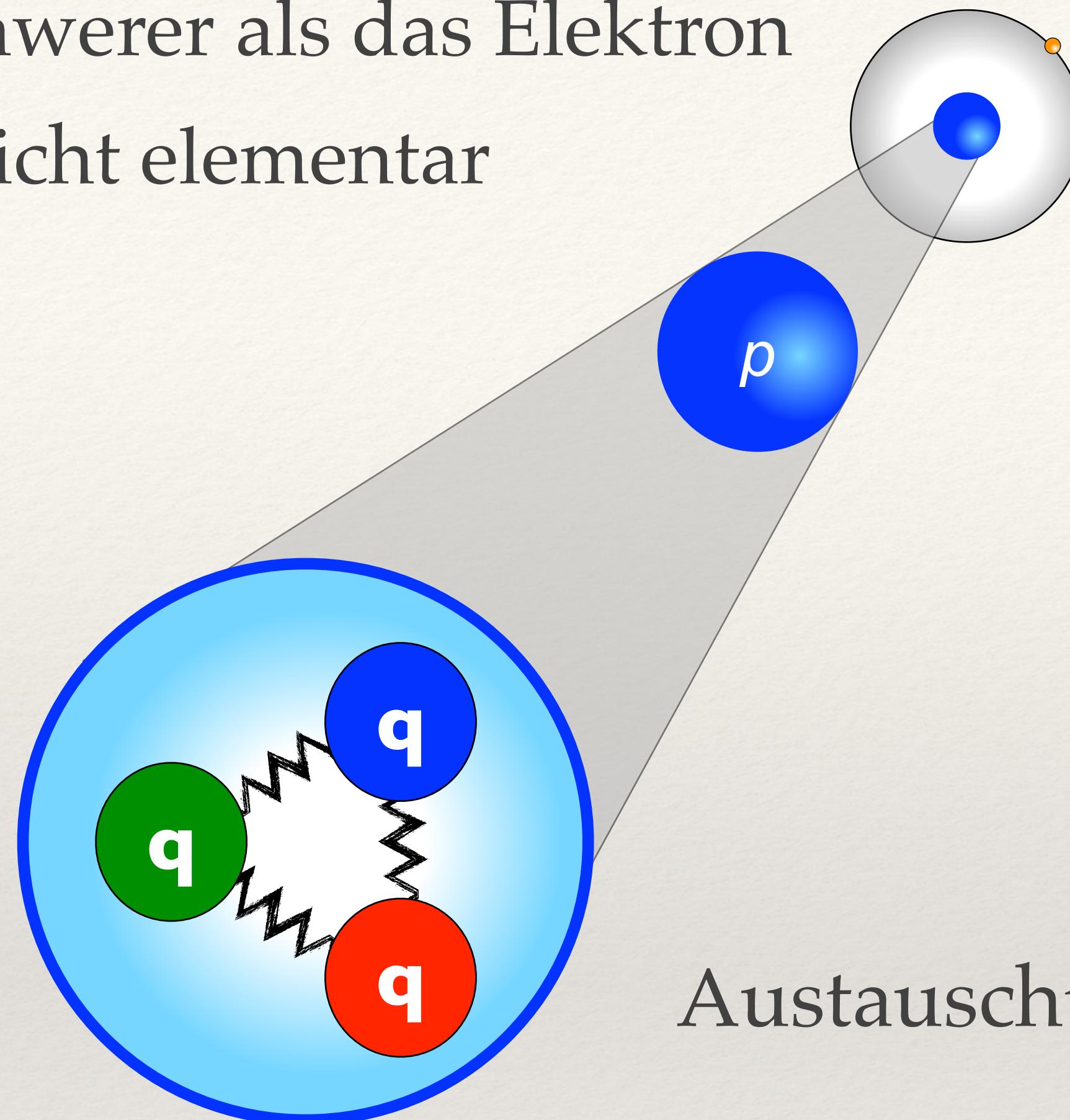
- ❖ Elektronen können nur bestimmte Energieniveaus besetzen
(Schalen)
- ❖ Konsistente Beschreibung → **Quantenmechanik**
 - nichtintuitive Sprache, viele Interpretationen
 - beschreibt subatomare Welt ($\lesssim 10^{-9}$ m)



Proton

~ 2000 mal schwerer als das Elektron

... ist nicht elementar



Quarks

6 Sorten und 3 Farben



Gluonen

Austauschteilchen der *starken Wechselwirkung*

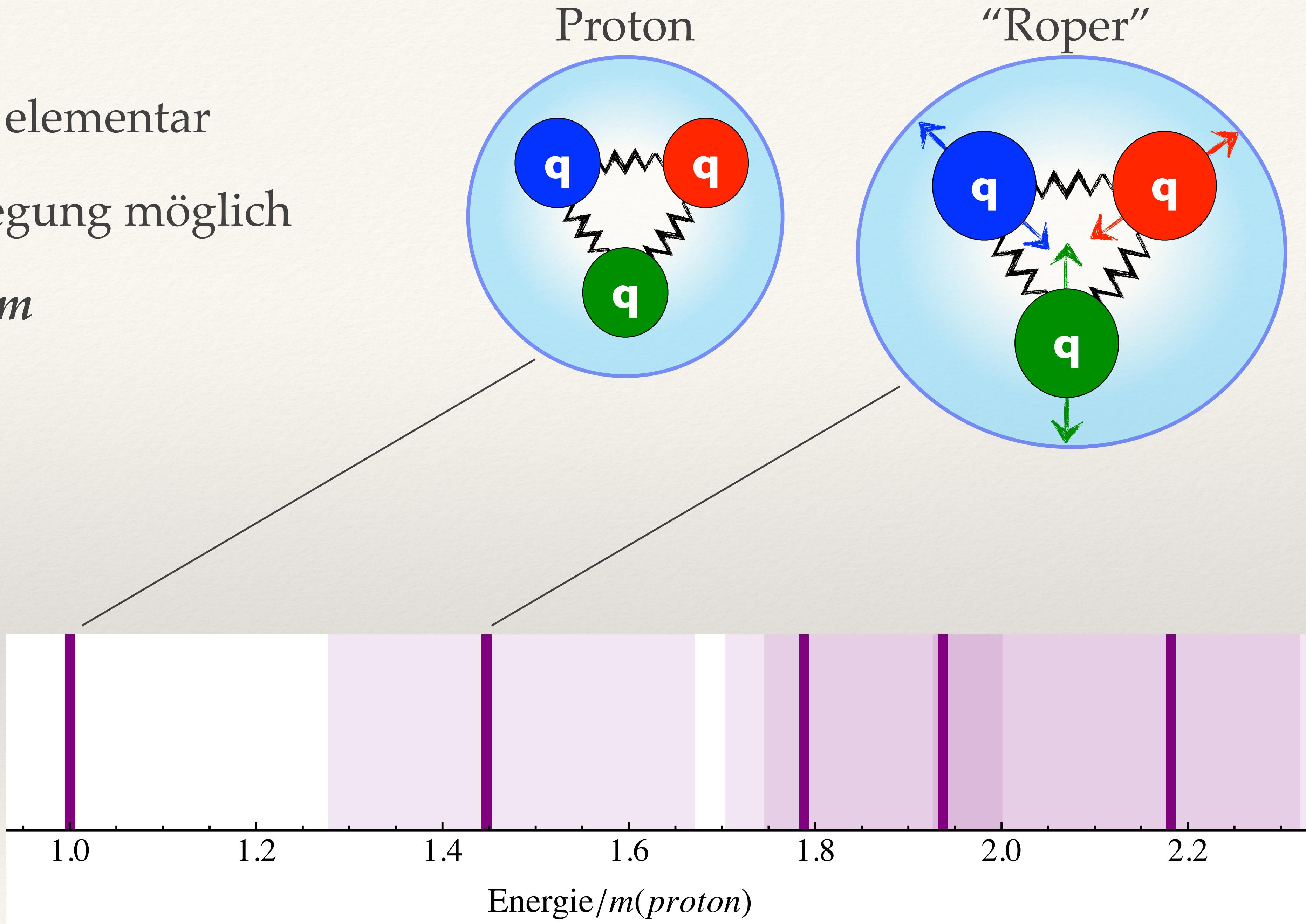
... nicht individuell beobachtbar

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

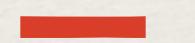


Kann man das berechnen?



Was hat das mit dem 3-Körperproblem zu tun?

HADRONEN



STARK WECHSELWIRKENDE TEILCHEN

Elektronen-Stretcher-Anlage (ELSA)

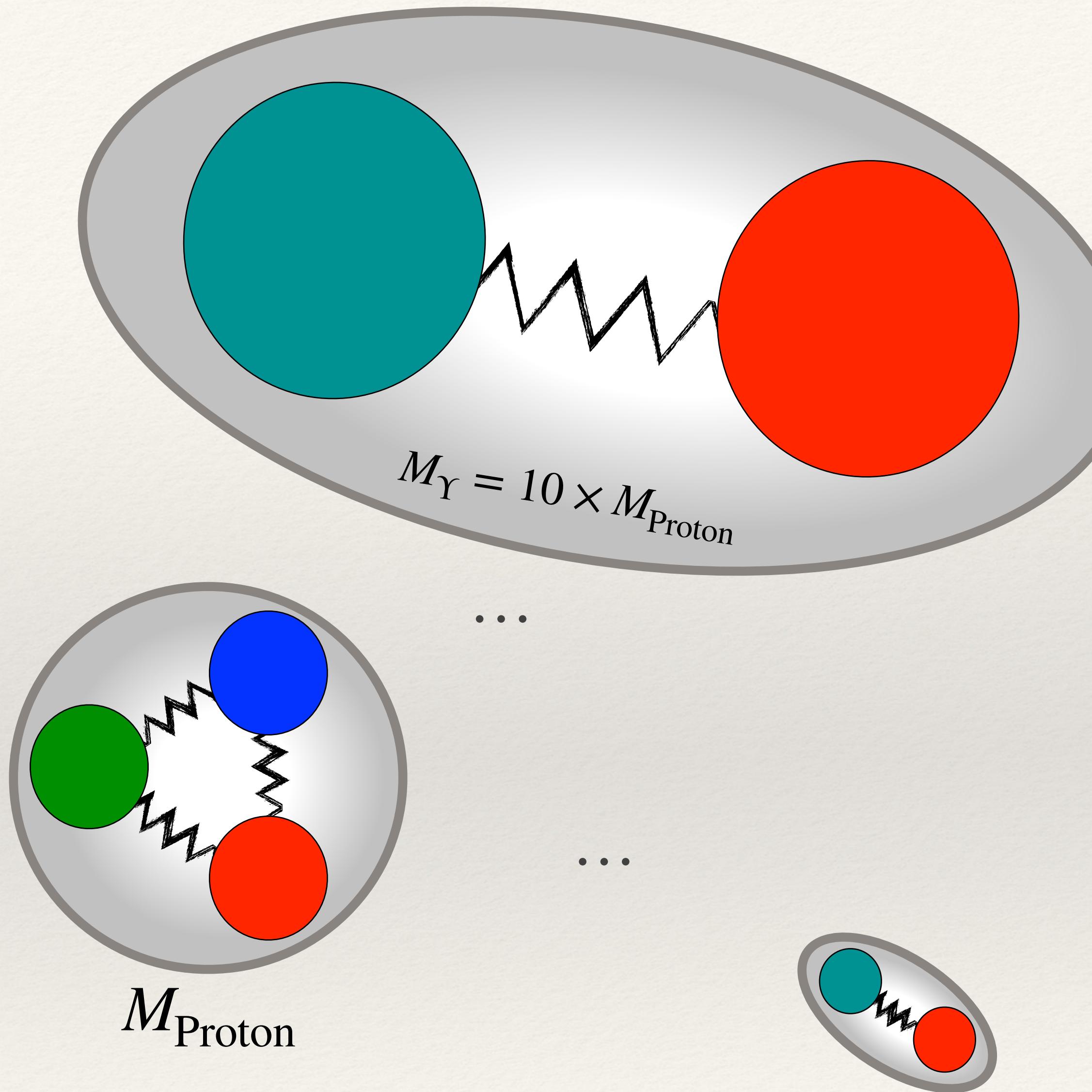


Beobachtung

- ❖ CERN, ELSA(Bonn), ...

Beobachtung

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



$$M_\pi = \frac{M_{\text{Proton}}}{7}$$

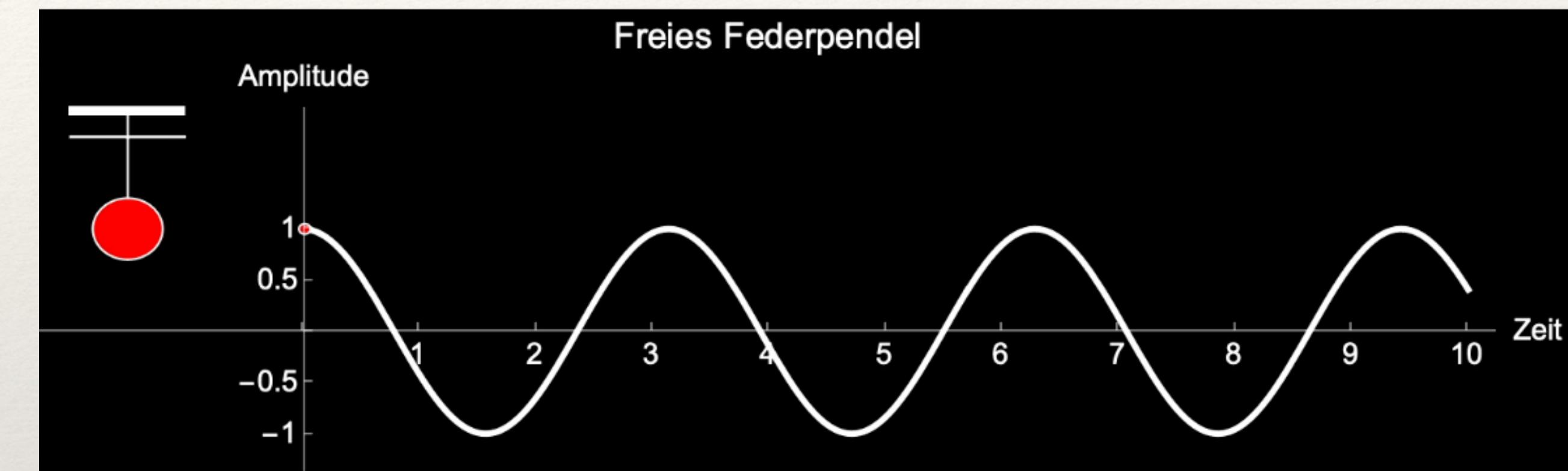
... die meisten sind instabil (zerfallen in andere Hadronen)

Welche Masse haben sie dann?

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

❖ Stabiles Teilchen $\sim e^{iM t}$

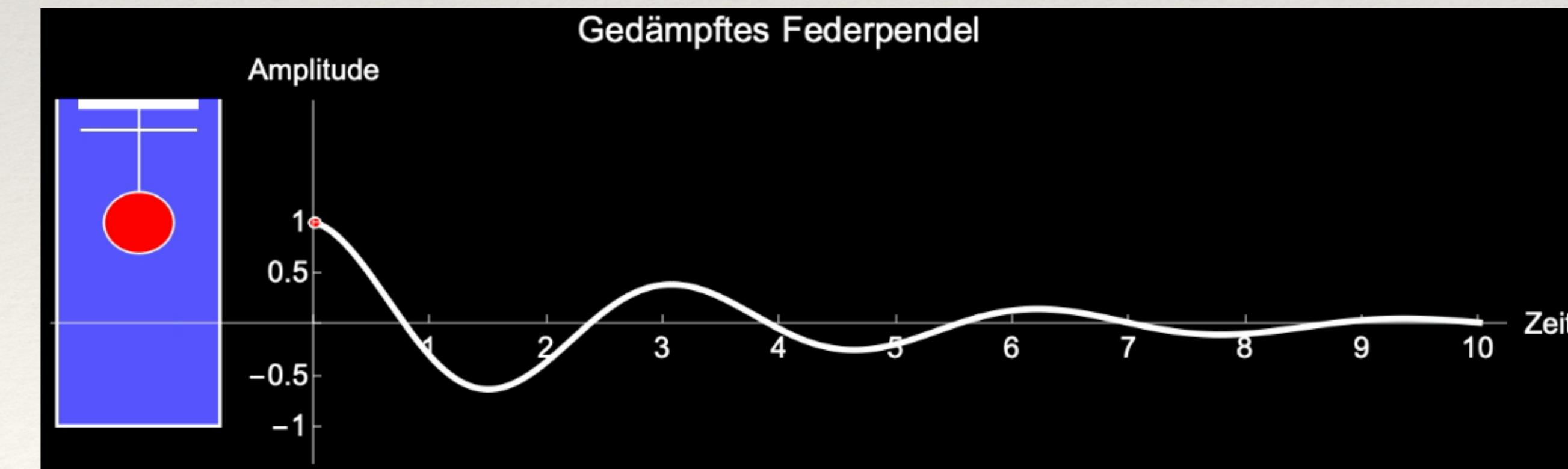
z.B. das Proton zerfällt nicht



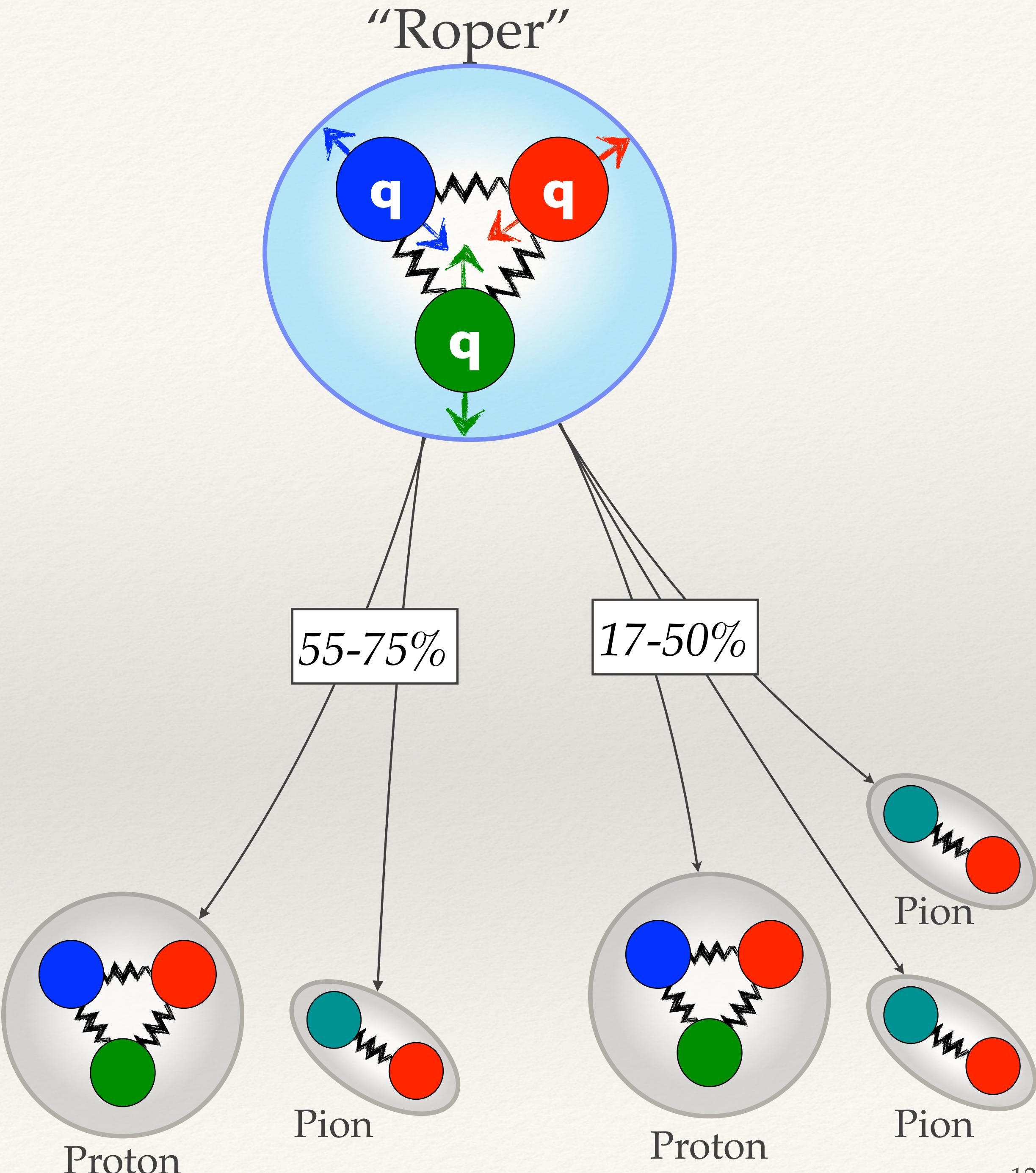
❖ Instabiles Teilchen $\sim e^{i(M+i\Gamma)t} = e^{iMt} \cdot e^{-\Gamma t}$

z.B. Roper zerfällt in 10^{-24} s

↑
Dämpfung
↑



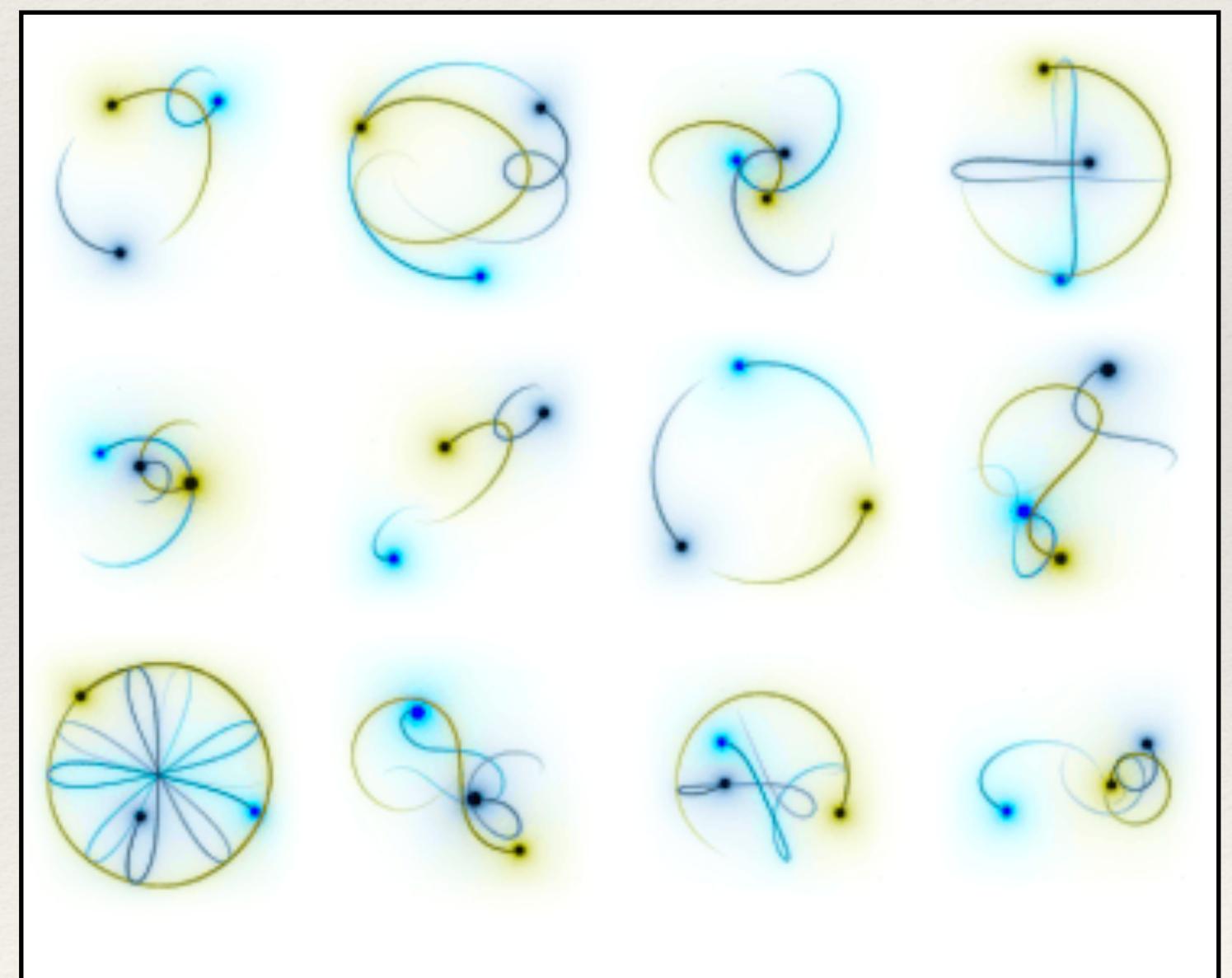
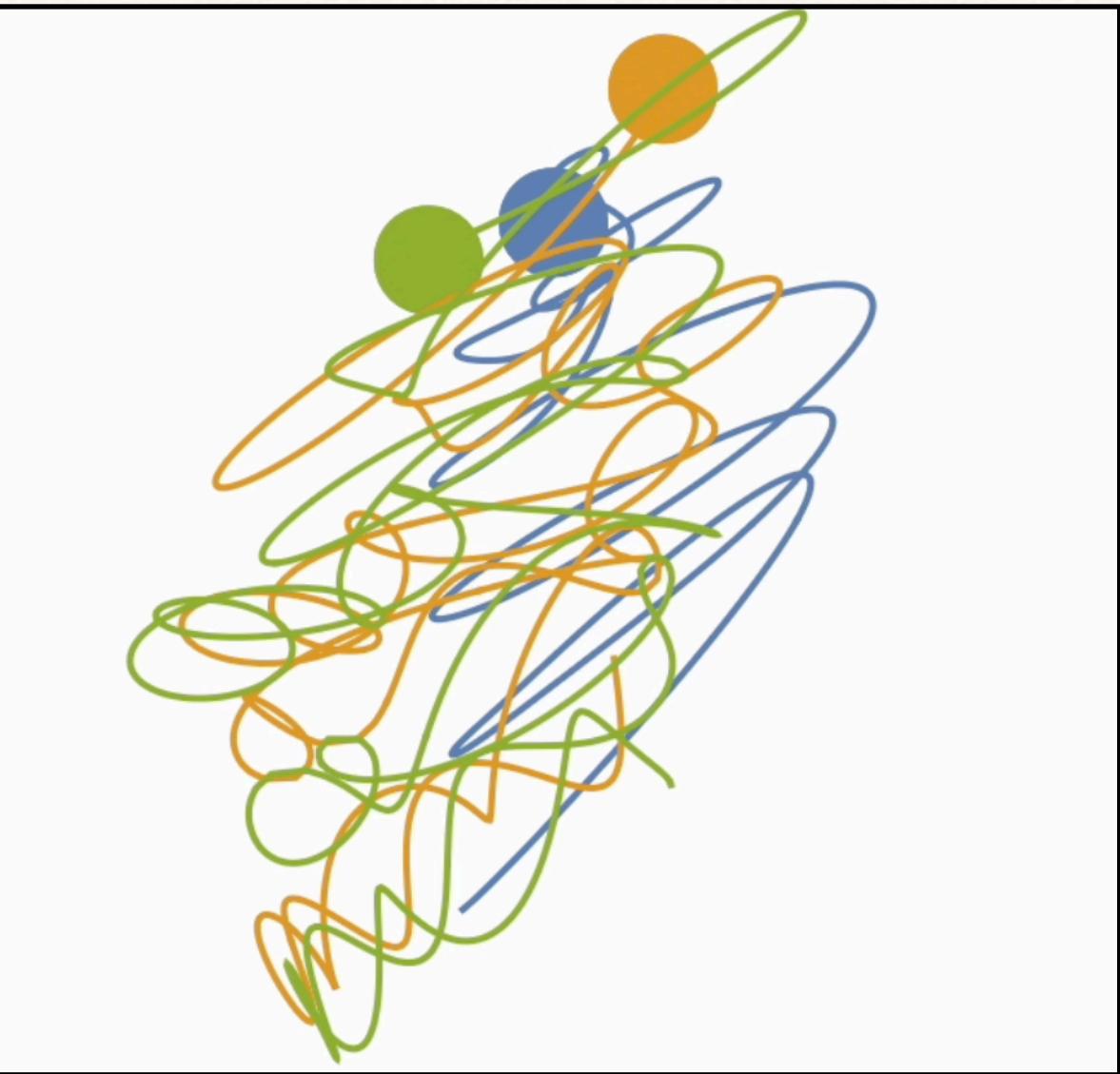
- ❖ Roper $\sim 40\%$ schwerer als das Proton
 - genug Energie um in $\pi + p$ ($M/M_p = 1.1$) oder $\pi + \pi + p$ ($M/M_p = 1.3$) zu zerfallen
 - experimentell verifiziert und dominant
- ❖ Theorie
 - πp — viele verlässliche Methoden
 - $\pi\pi p$ — Dreikörperproblem



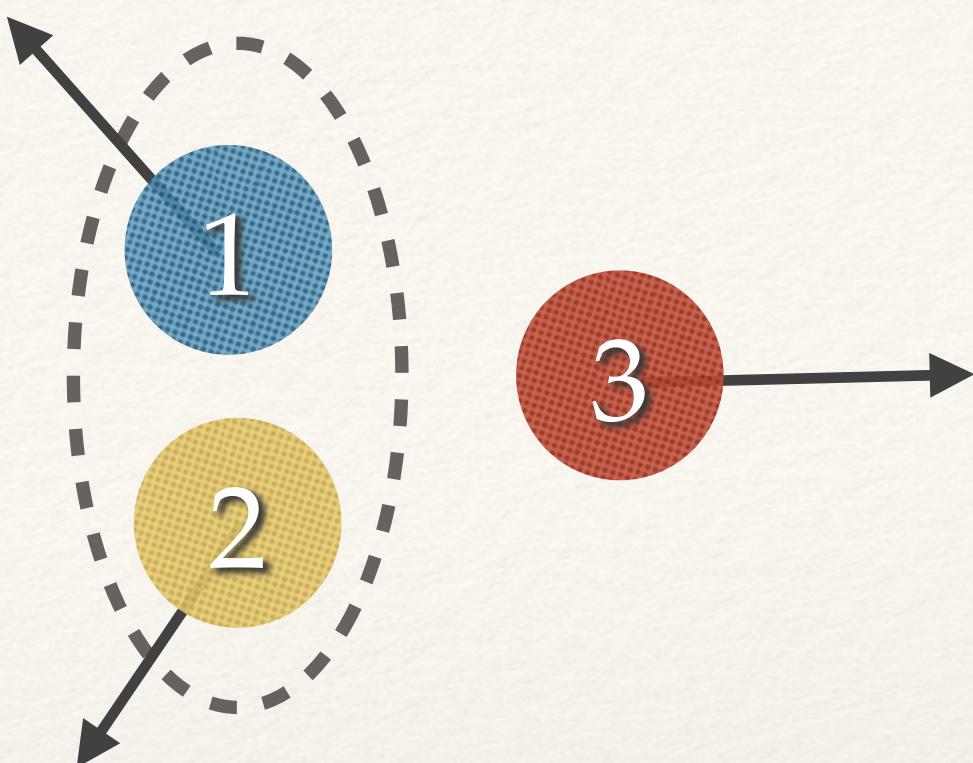
DREIKÖRPERPROBLEM

Dreikörperproblem der Himmelsmechanik

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

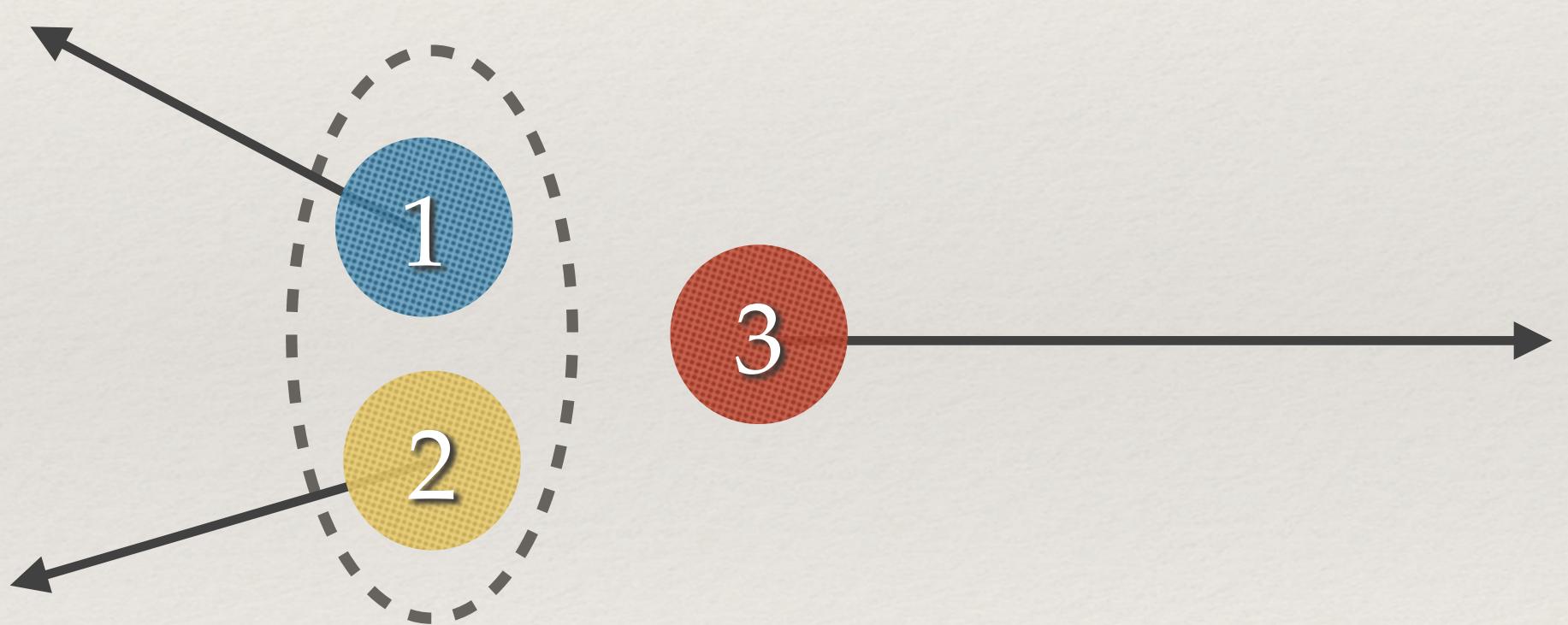


Perosello, CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, via Wikimedia Commons



Hadronisches Dreikörperproblem

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

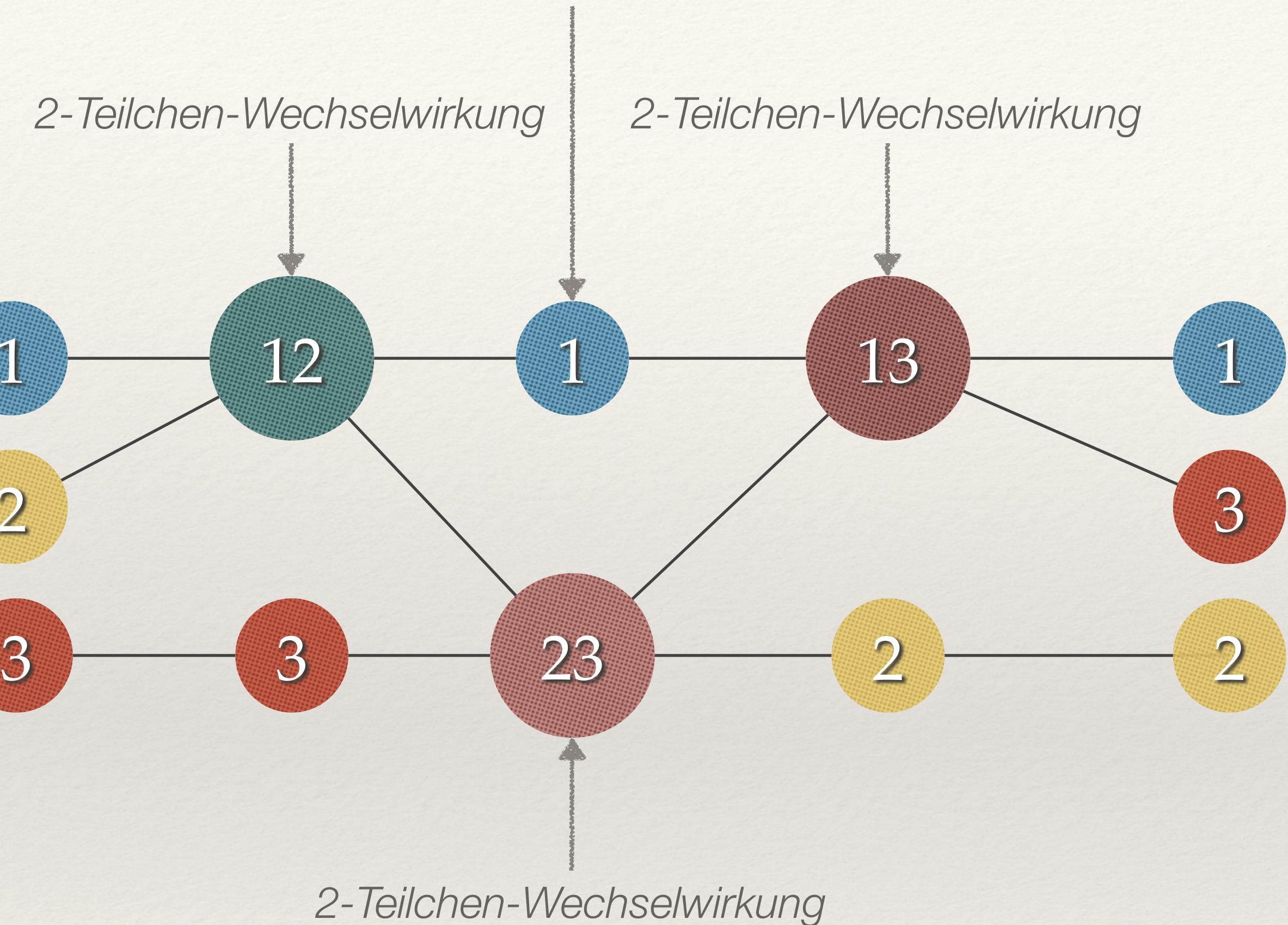


$$M_{12}(p_3)$$

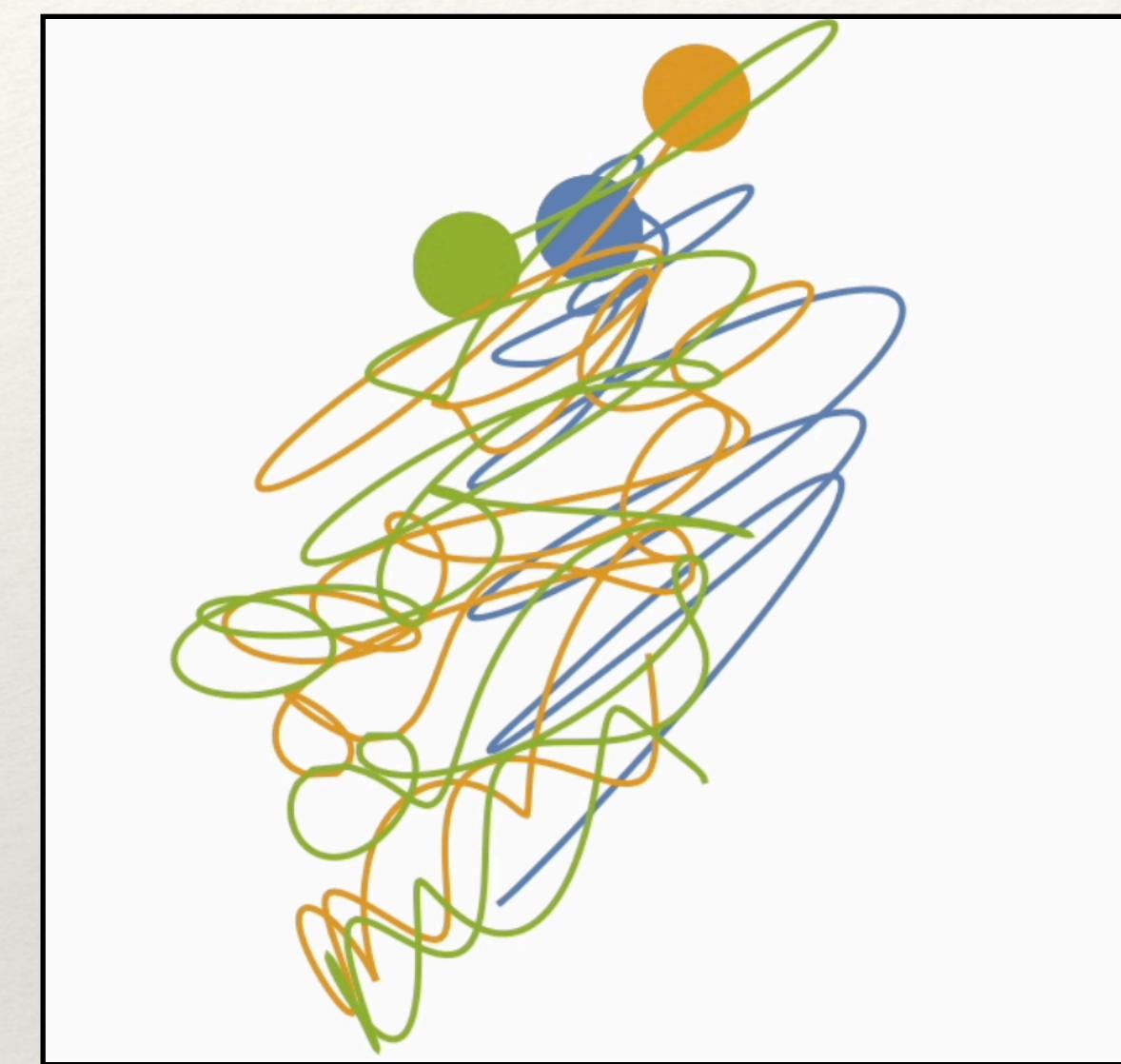
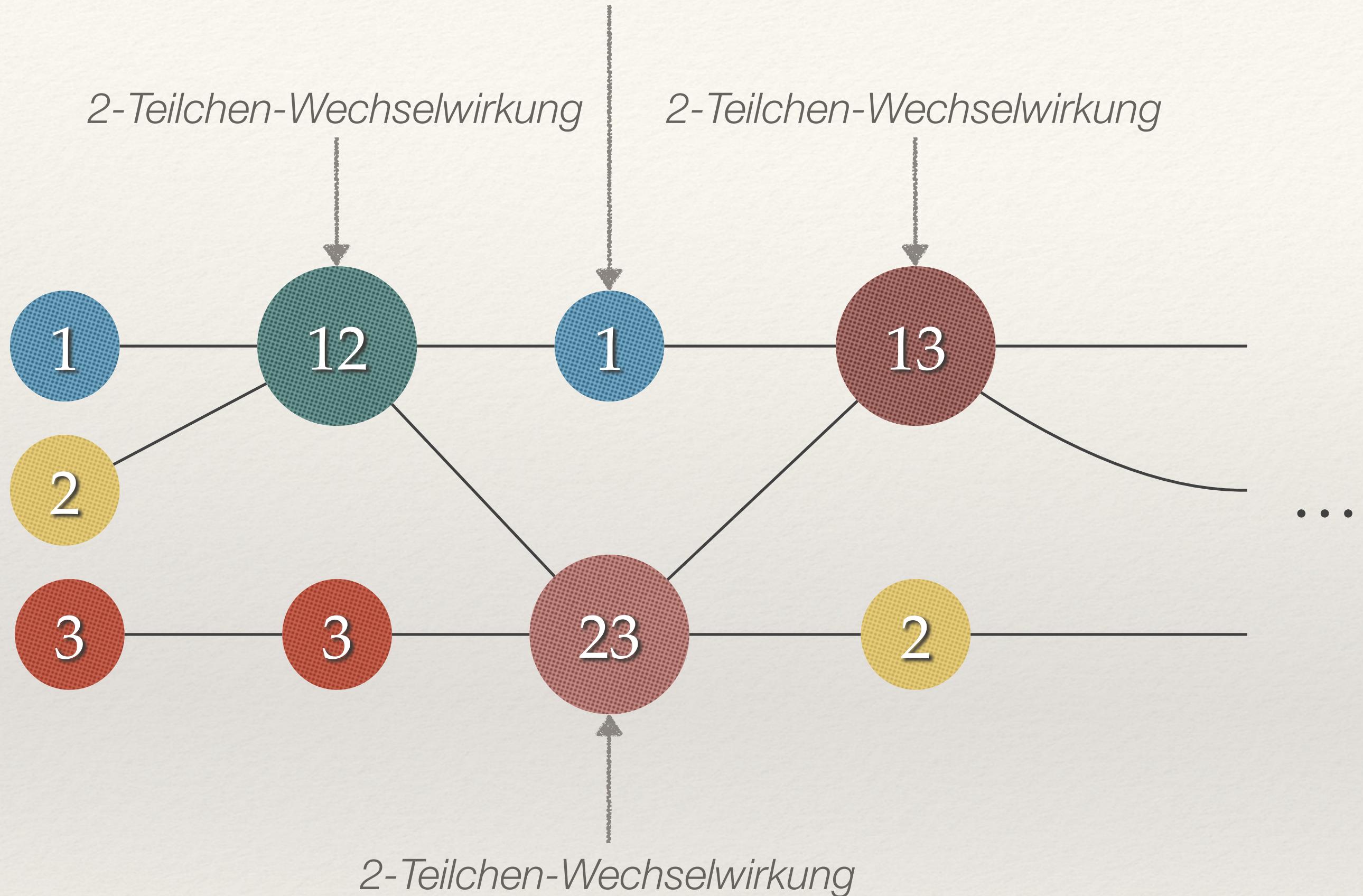
Möglichkeit #3

Generelle Lösungsstrategie

(1) kann beliebig hohe Impulse erlangen

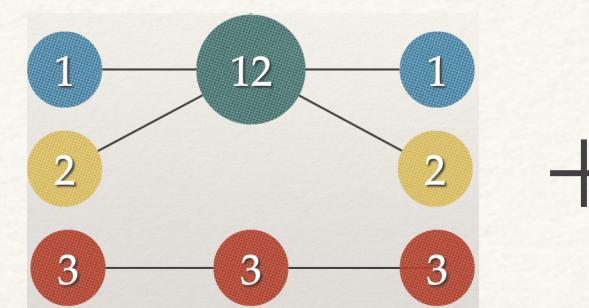


(1) kann beliebig hohe Impulse erlangen

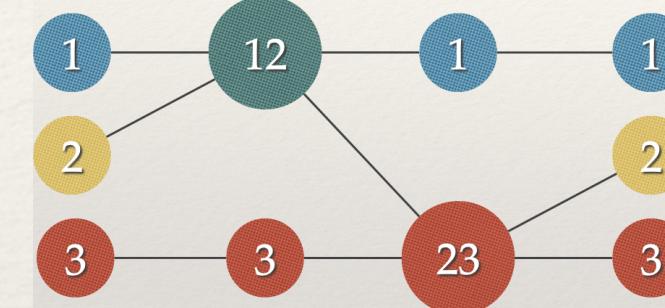


Möglichkeit #1+#2+...

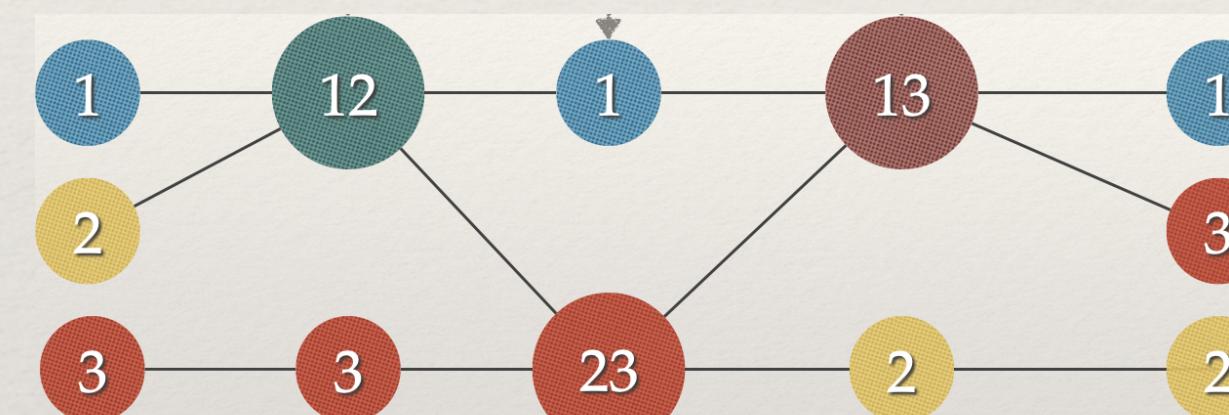
Generelle Lösungsstrategie



+



+

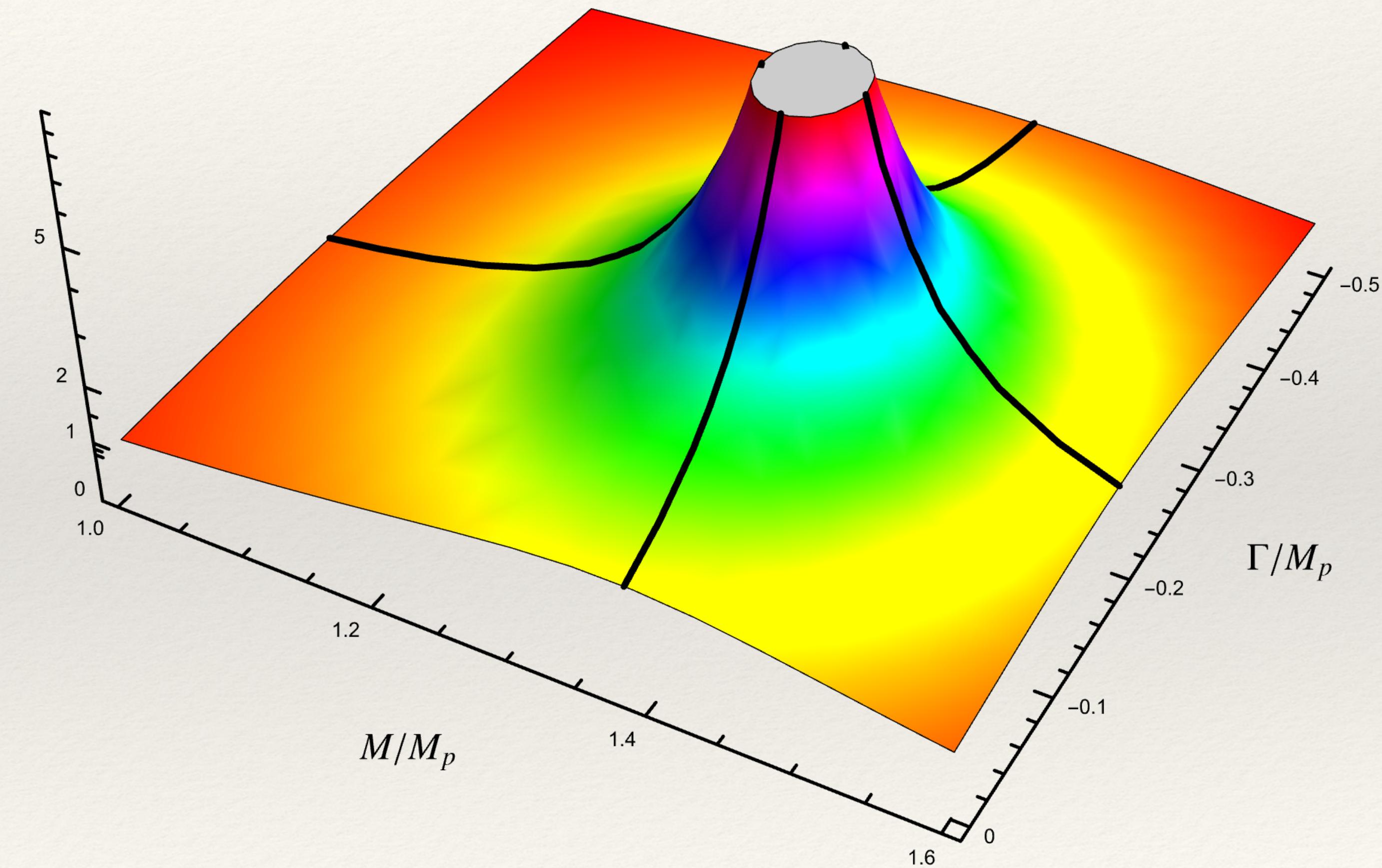


+ ... +



...

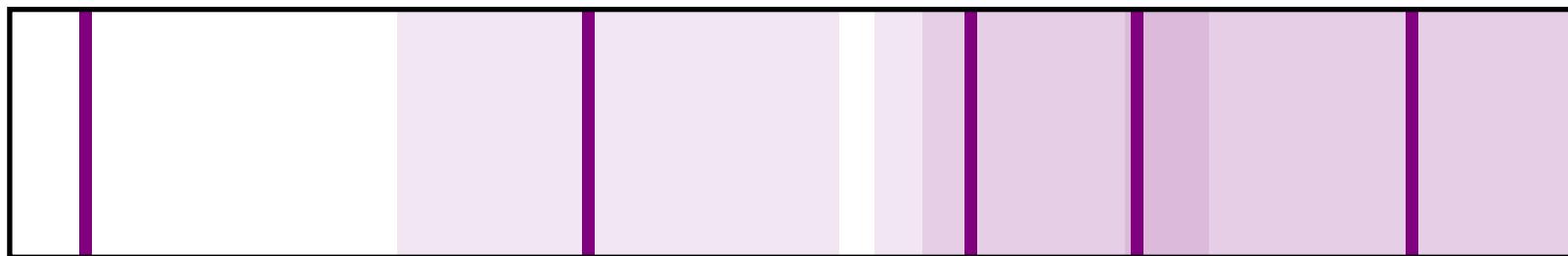
Lösung der Gleichung: $M + i\Gamma$



ZUSAMMENFASSUNG

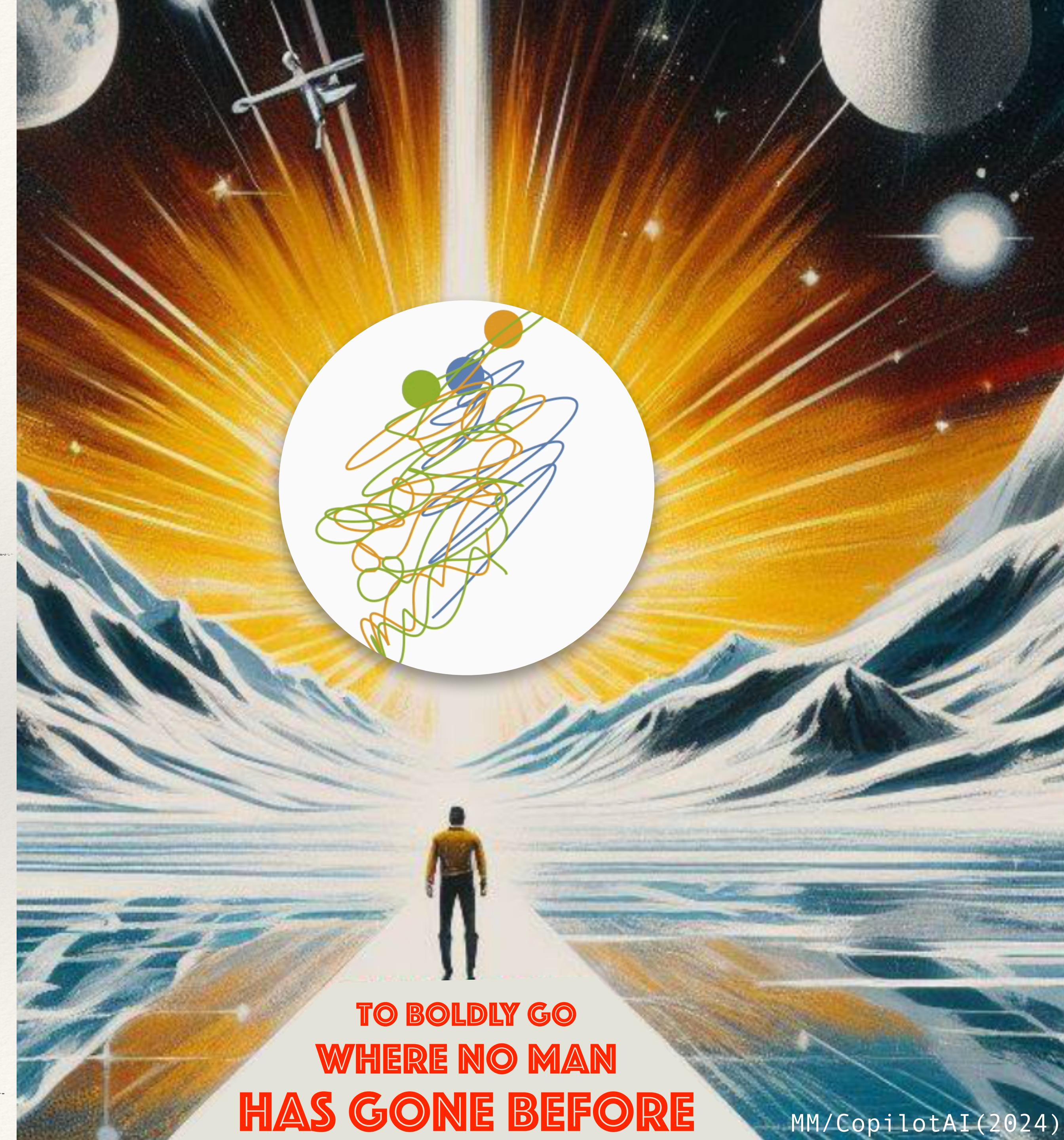
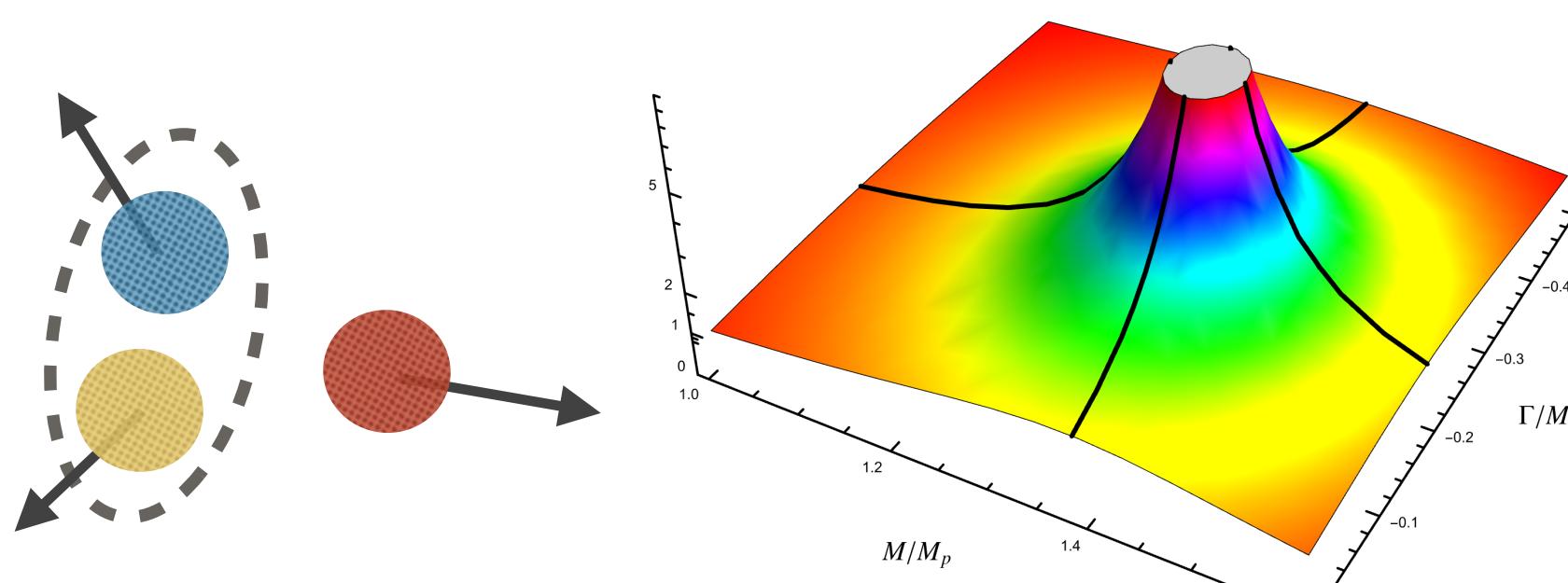
Universelle Signatur ("DNA") unserer Welt

Spektrum der subatomaren Teilchen



Hadronisches Dreikörperproblem

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



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

