
Stark wechselwirkende Drei-Körper-Systeme

Maxim Mai

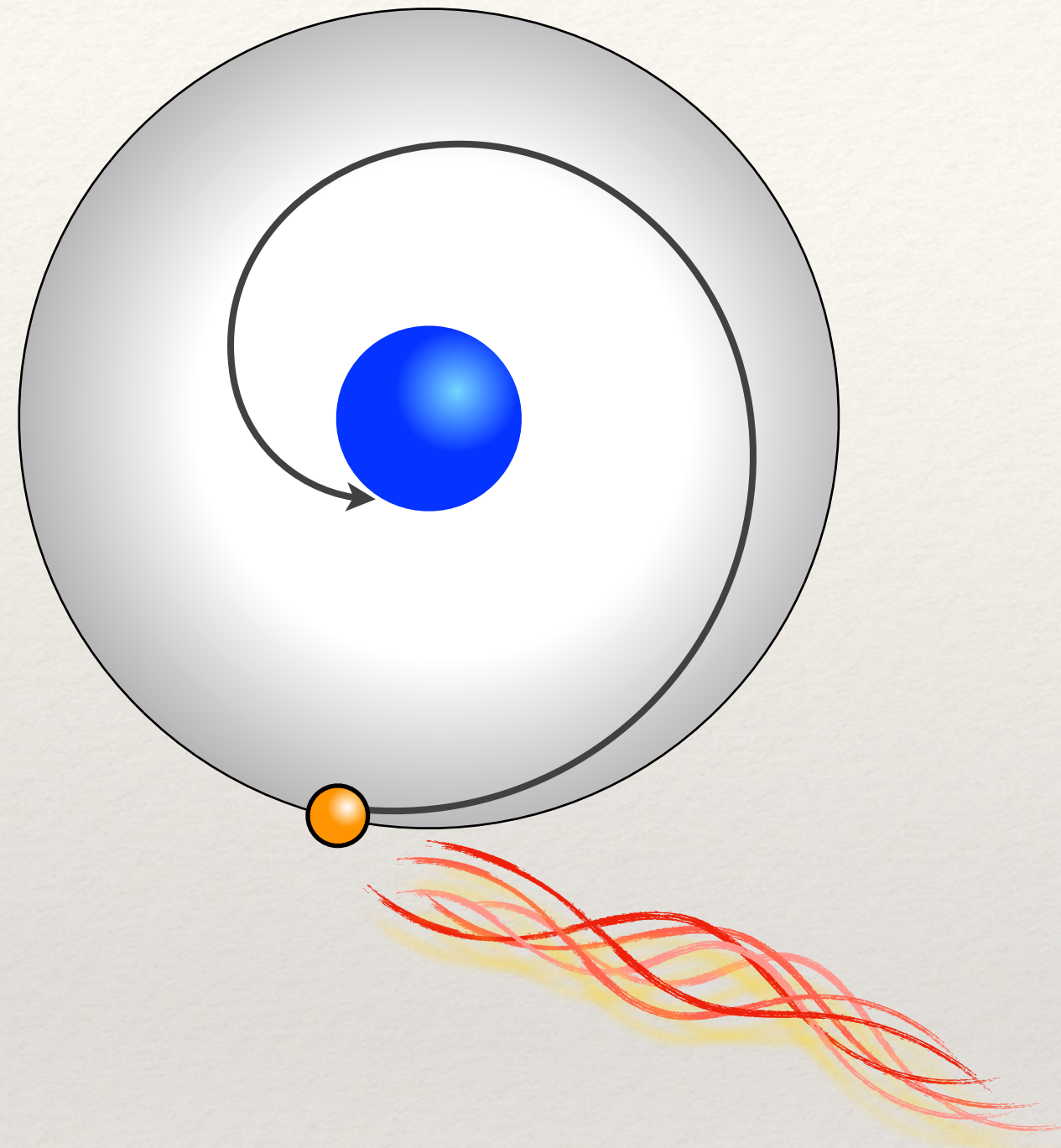
Antrittsvorlesung an der Universität Bonn

15. Mai 2024

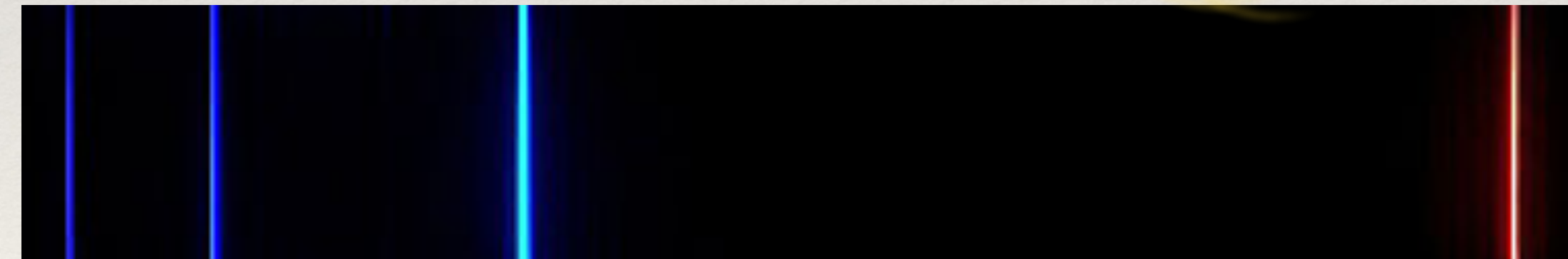
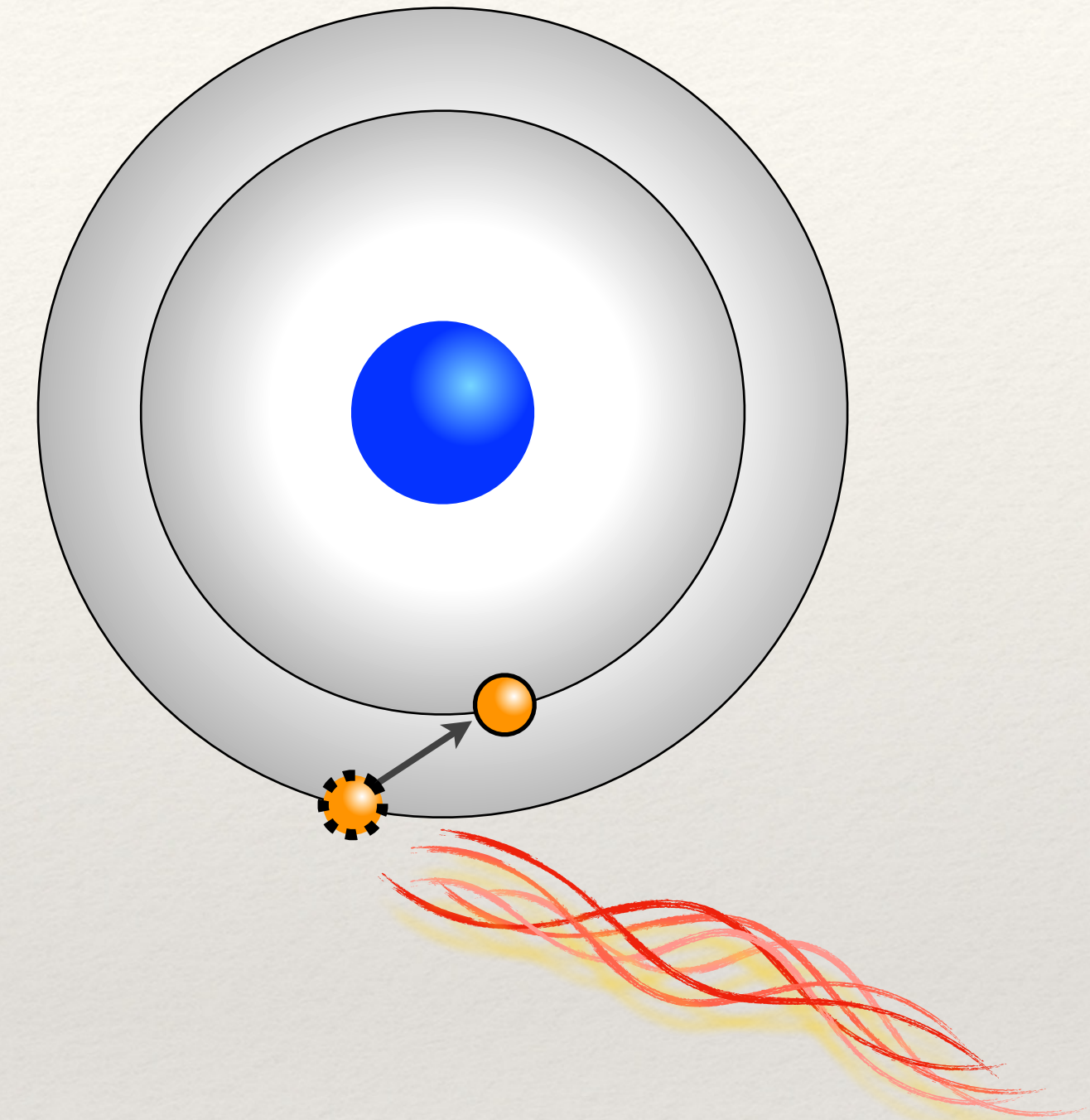


Was sind Quantensprünge?

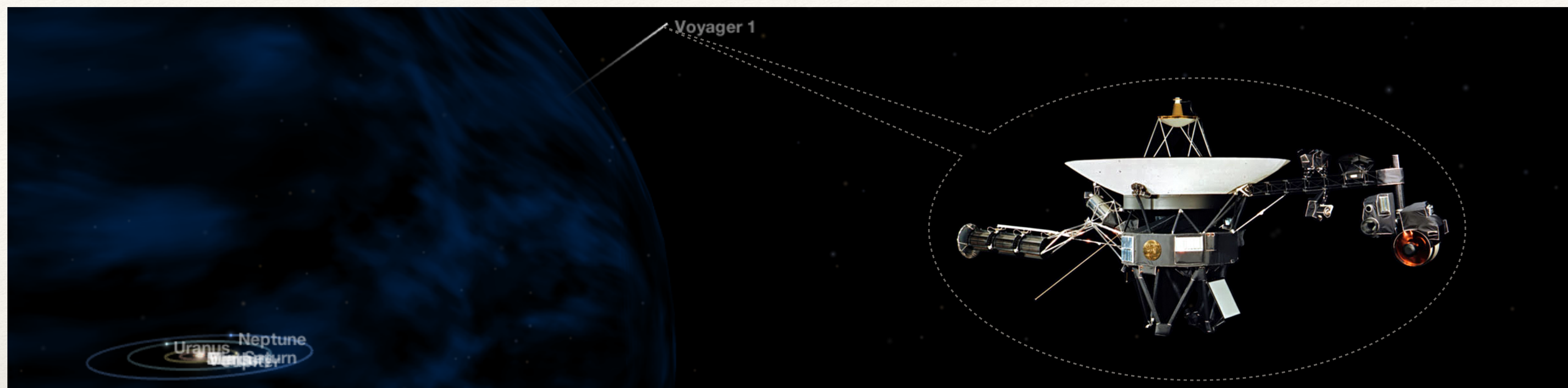
Kontinuierliche Abstrahlung



Diskrete Abstrahlung (Quanten)



🤔 *Hat das eine Anwendung?*



NASA

Goldene Schallplatte: “Botschaft ins All”

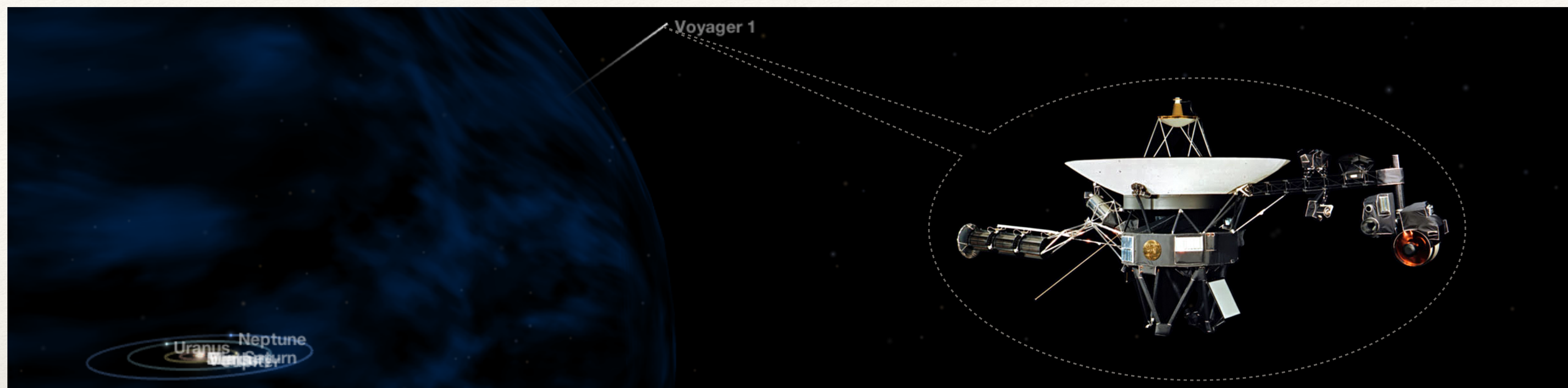
- ❖ Zeugnis der menschlichen Zivilisation
- ❖ 90 Minuten ausgewählte Musik (Bach, Beethoven, ...)

Aber Moment...

Wie spielt man diese Schallplatte ab?



NASA



NASA

Goldene Schallplatte: Anleitung

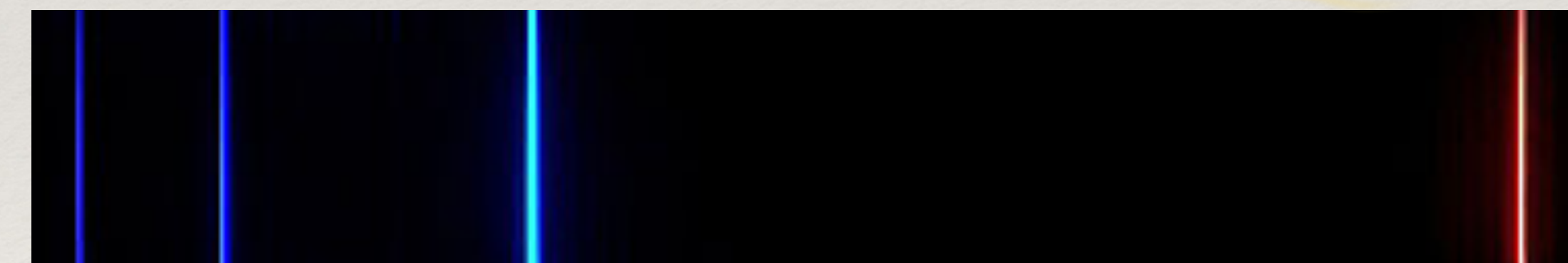
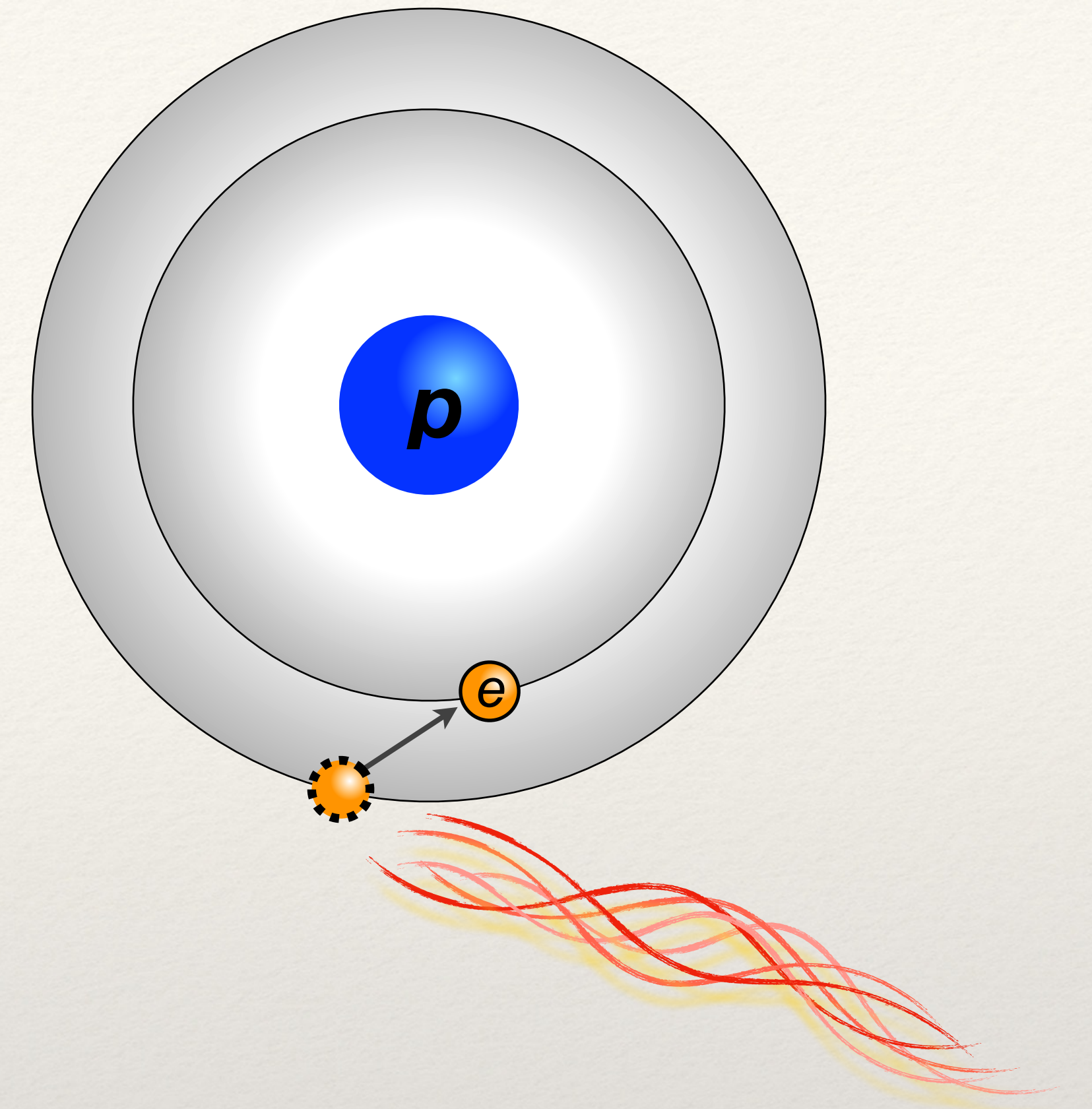
- ❖ muss universell verständlich sein — ausserirdische Sprache, Denkmuster...
- ❖ Wie schnell soll sich die Schallplatte drehen / Zeiteinheit?
 - ➔ Sekunde / Minute / ... sonnensystembezogen 🙄
 - ➔ Anregungsstufen des Wasserstoffs elementbasiert 👍



NASA

Atomspektrum

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

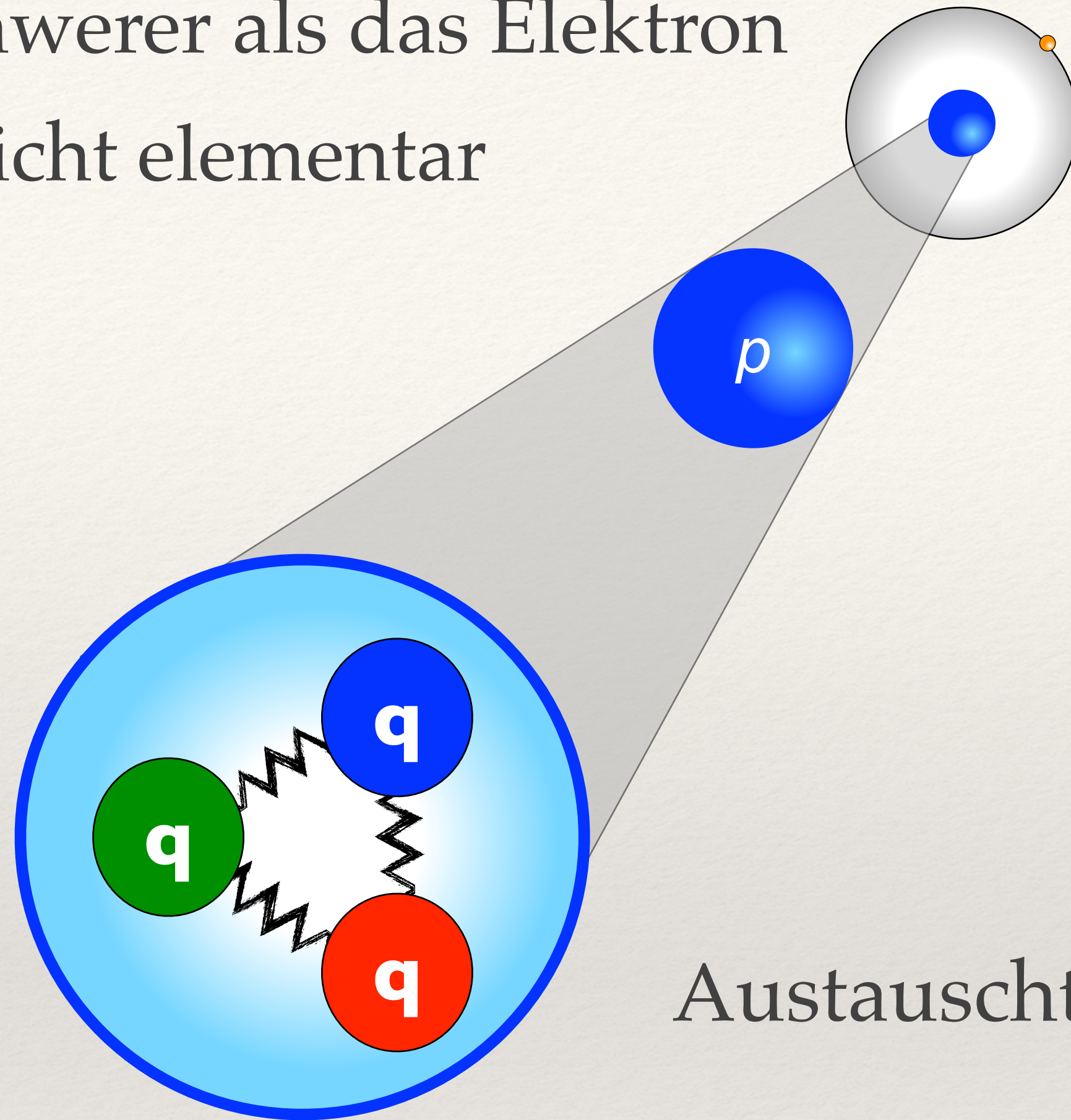


Wellenlänge

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

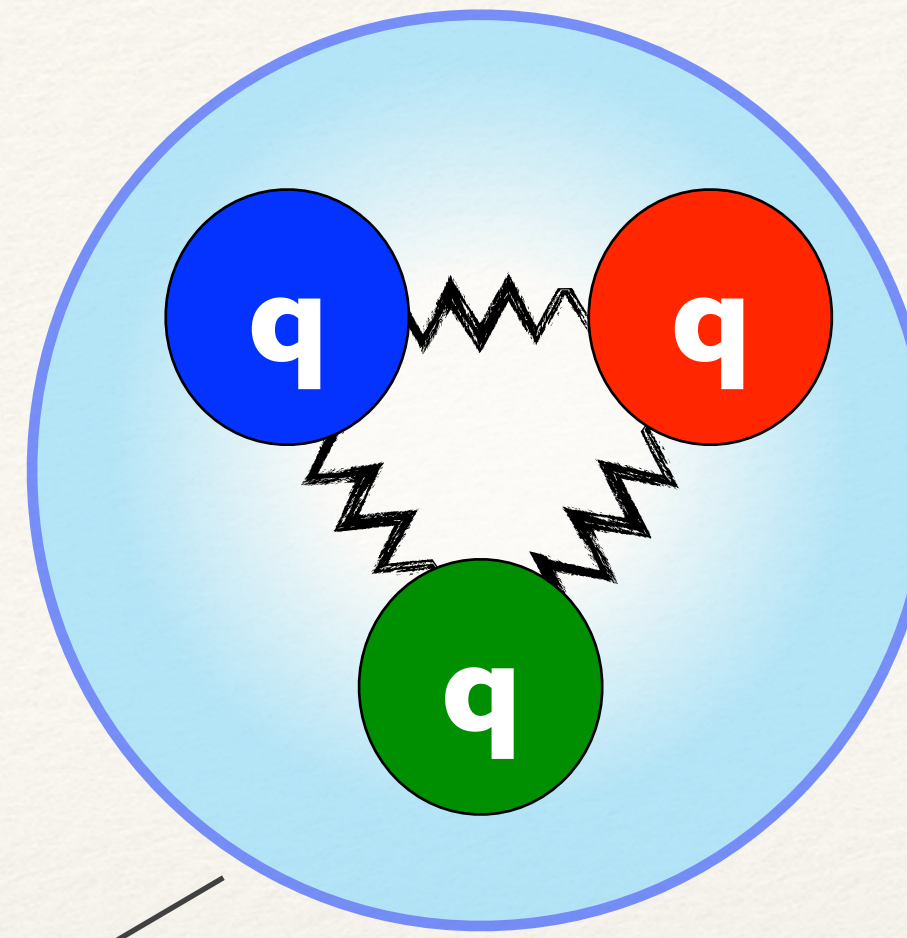
... $\Delta E \sim 1000\ 000 \times$ Elektromagnetismus

*Kernenergie(fusion) viel effektiver als die
Verbrennung fossiler Treibstoffe*

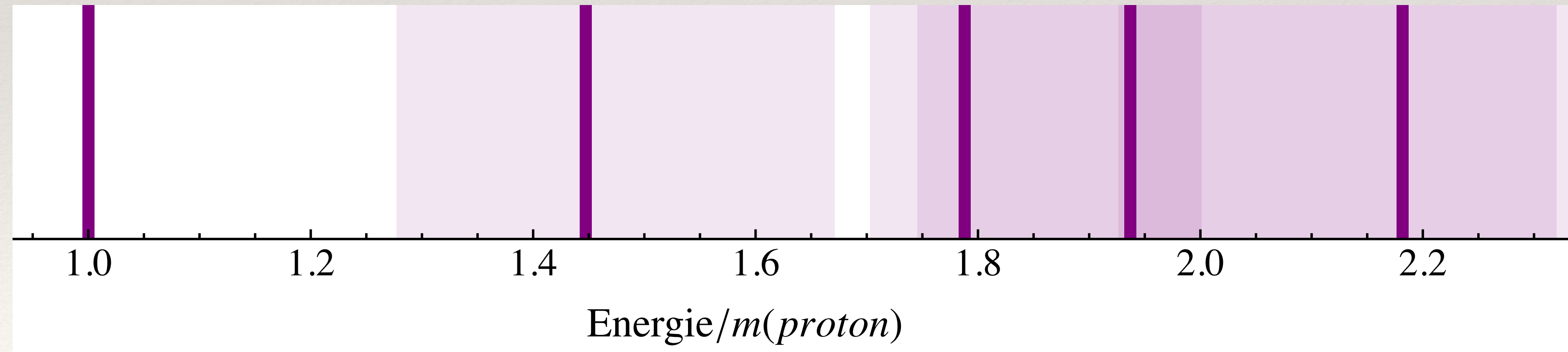
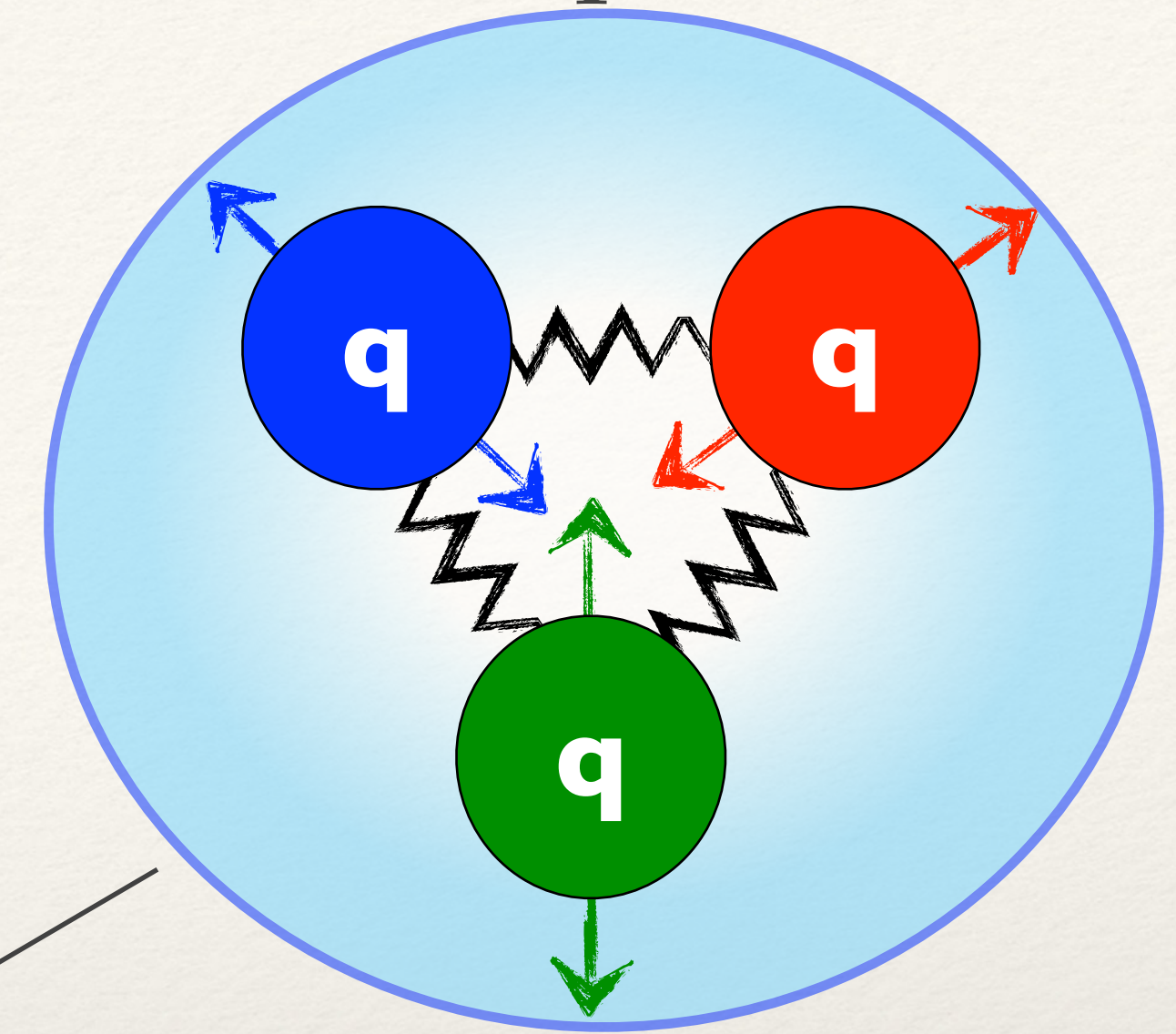
<https://maxim-mai.github.io/talks.html>

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

Proton



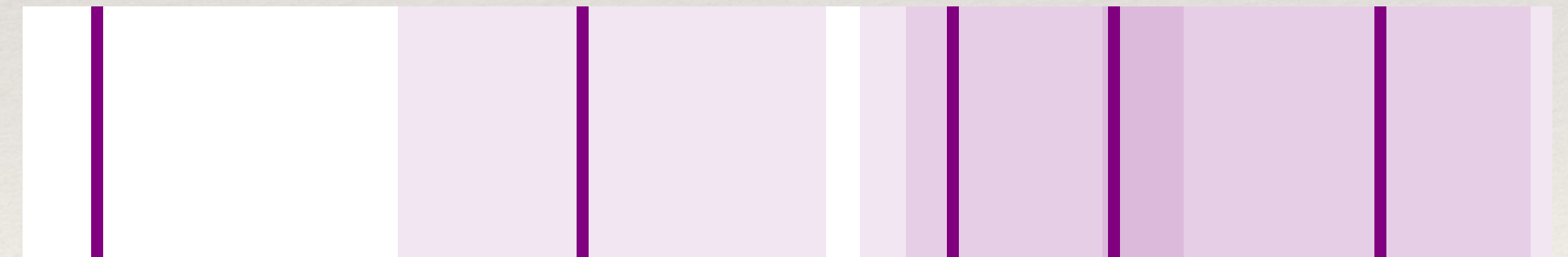
“Roper”



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 (~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)



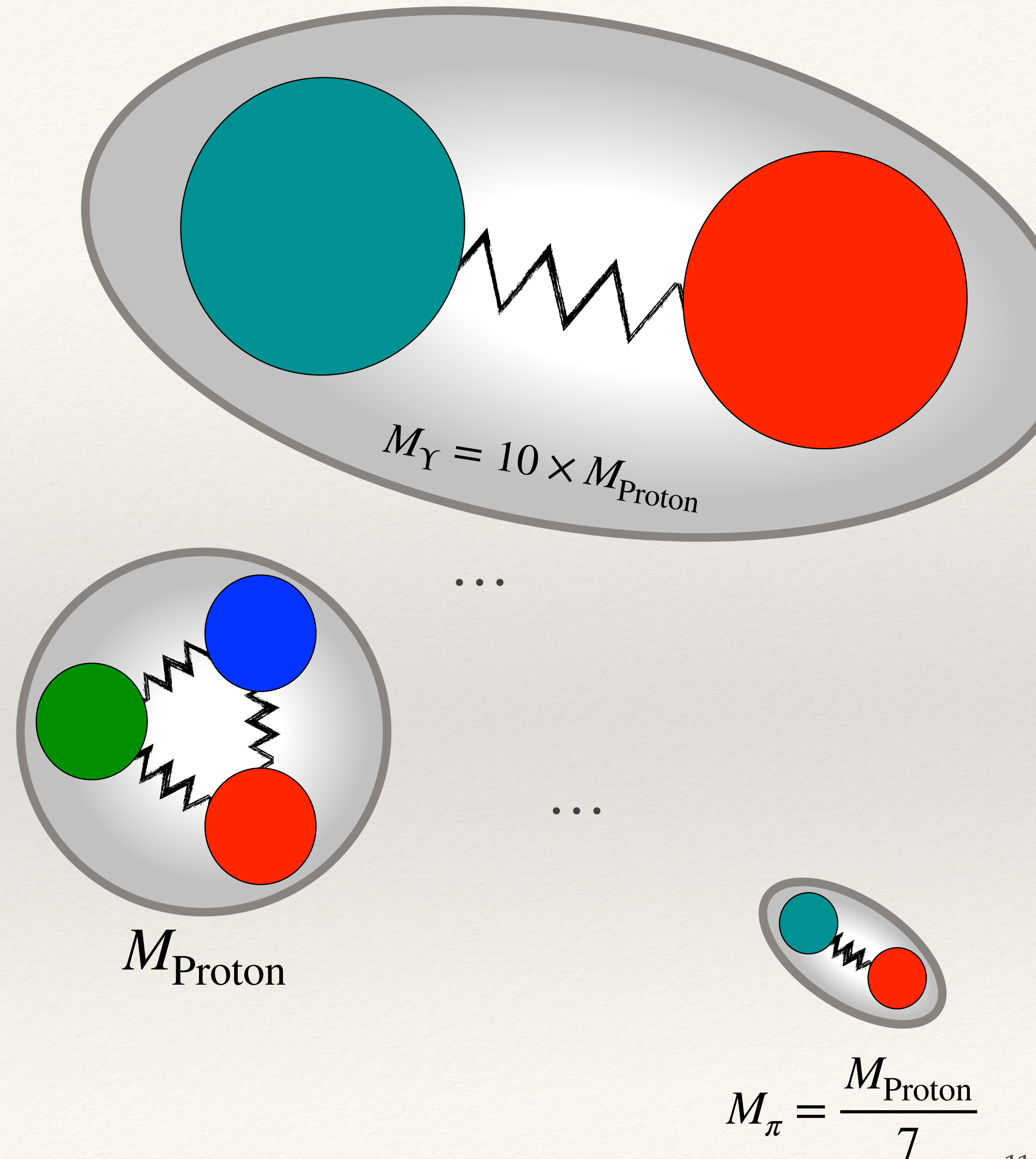
MM/ELSA/GoogleEarth

Beobachtung

❖ CERN, ELSA(Bonn), ...

Beobachtung

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



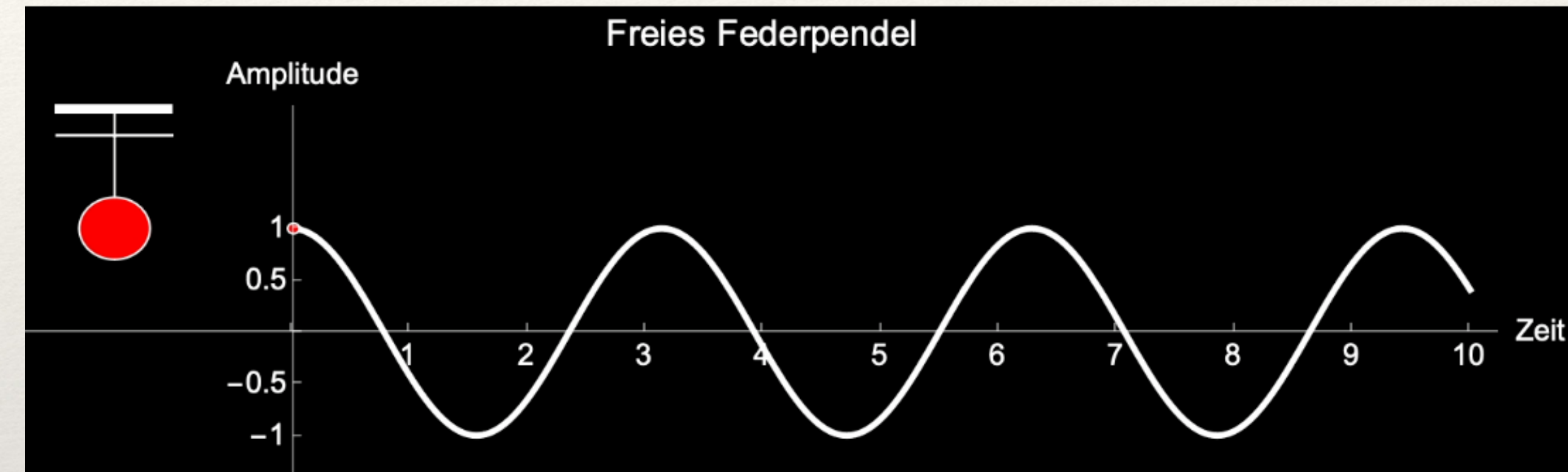
... die meisten sind instabil (zerfallen in andere Hadronen)

Welche Masse haben sie dann?

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

❖ Stabiles Teilchen $\sim e^{iMt}$

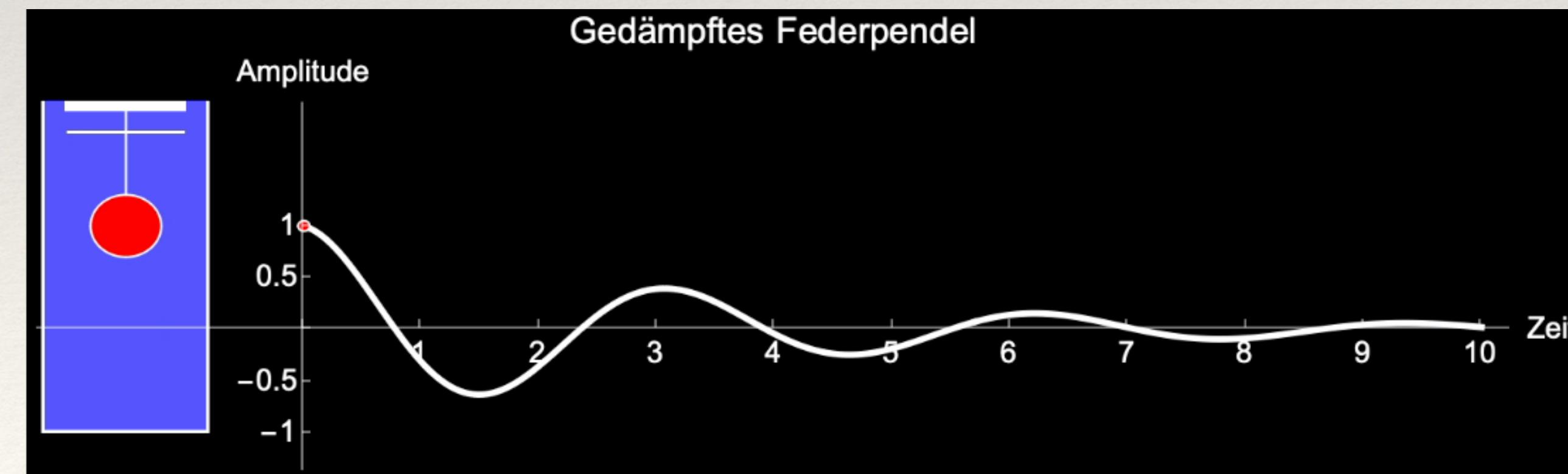
z.B. das Proton zerfällt nicht



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

z.B. Roper zerfällt in 10^{-24} s

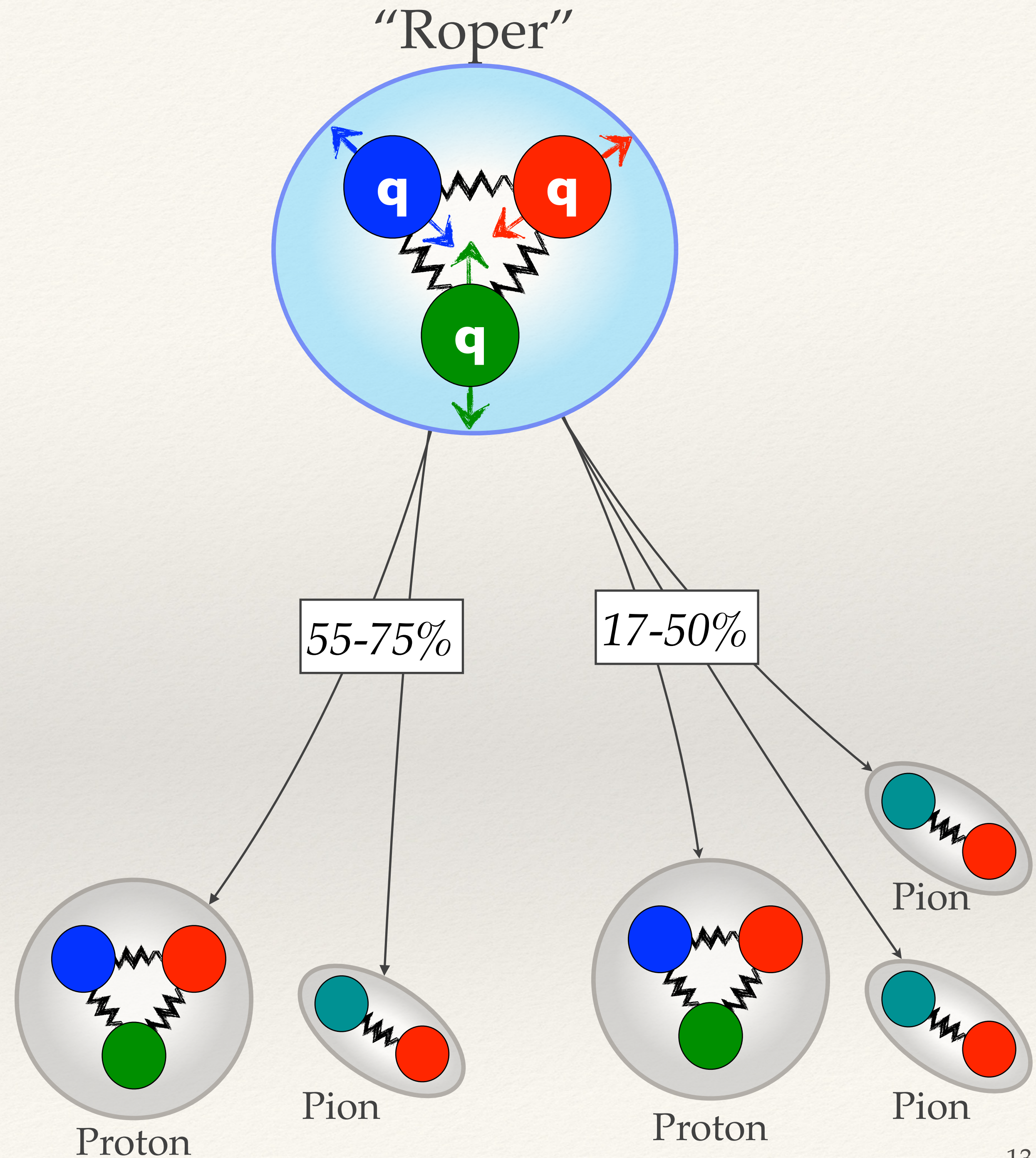
Dämpfung



- ❖ **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**

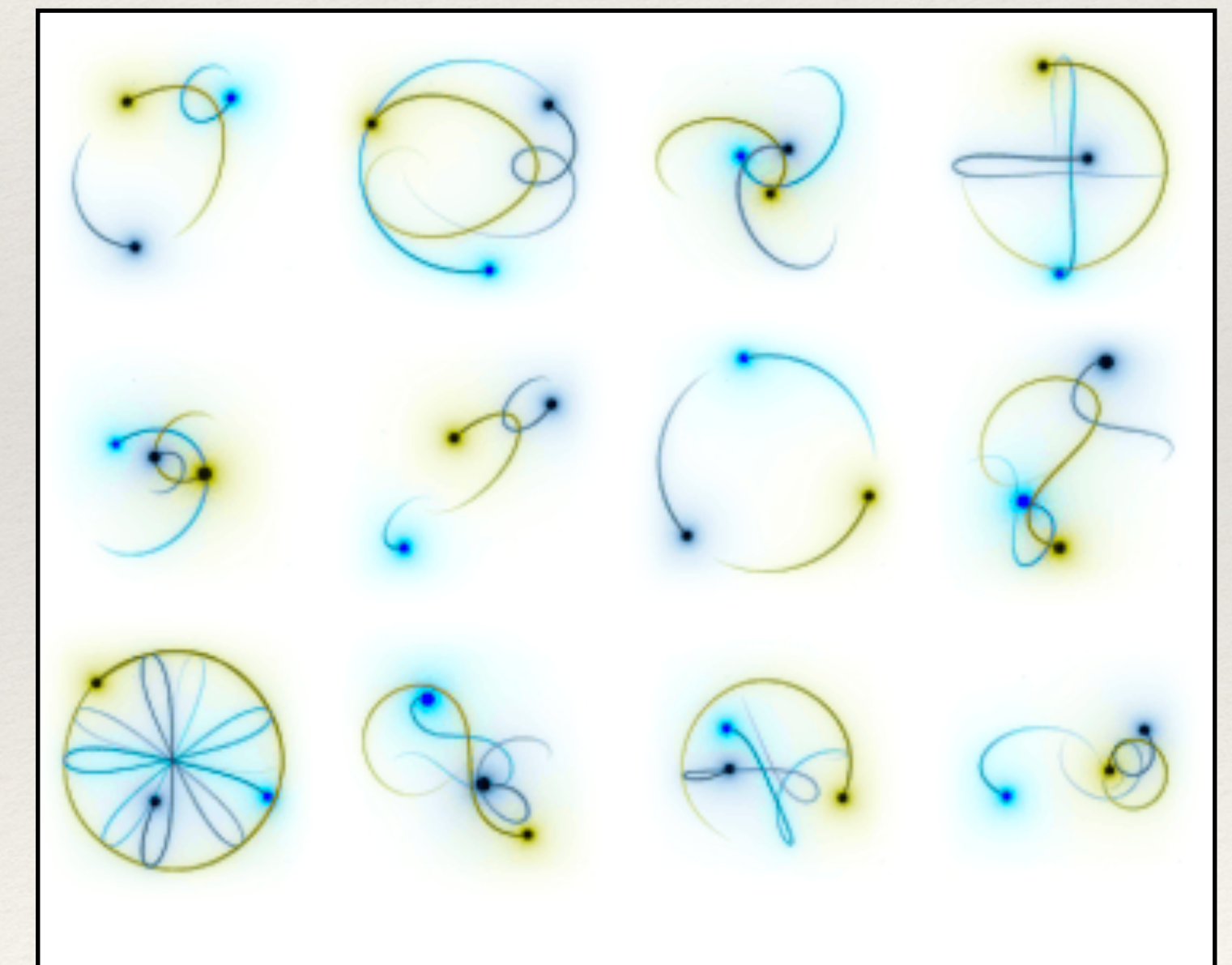
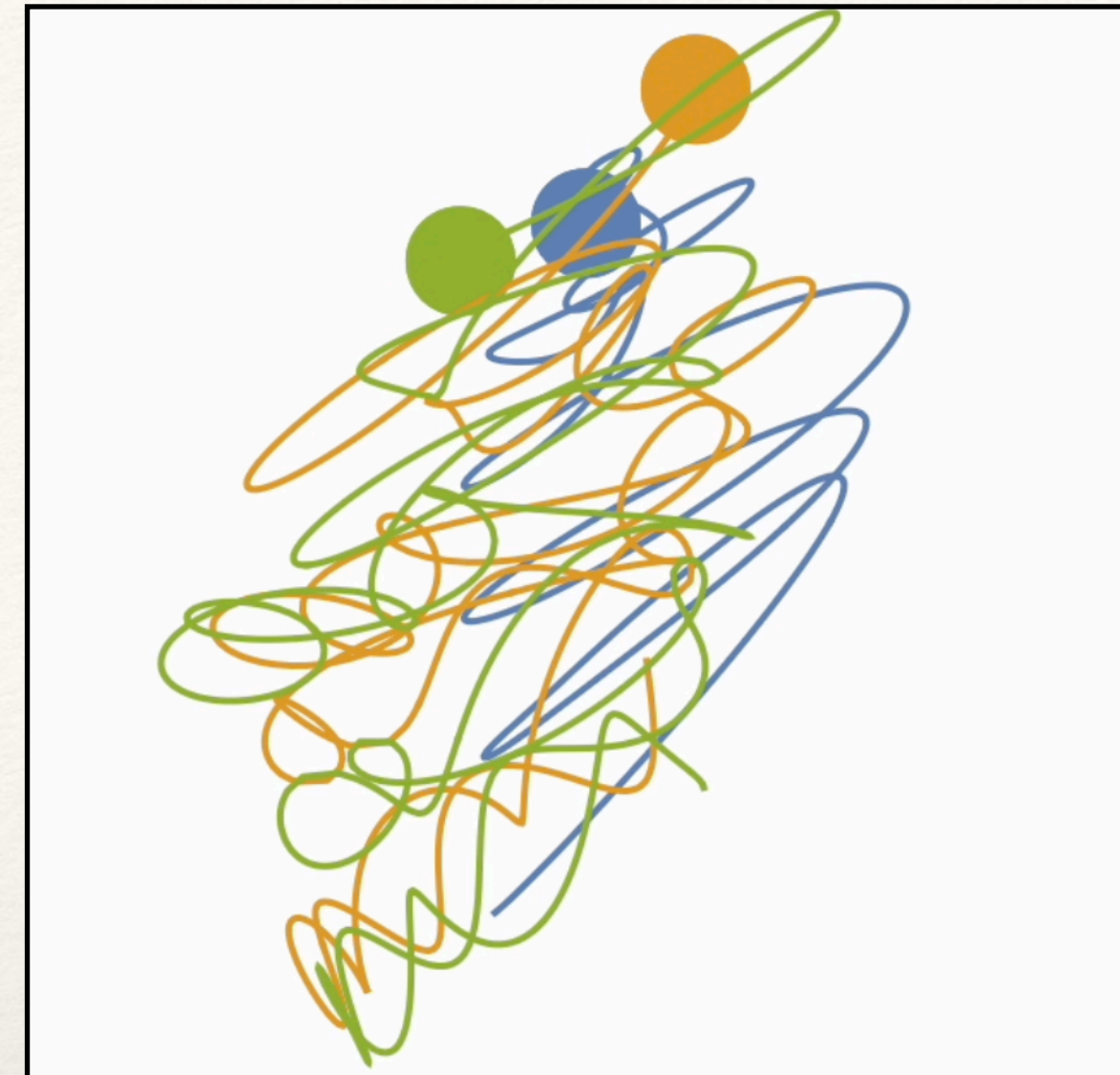
- ➔ πp — viele verlässliche Methoden
- ➔ $\pi\pi p$ — **Dreikörperproblem**



DREIKÖRPERPROBLEM

Dreikörperproblem der Himmelsmechanik

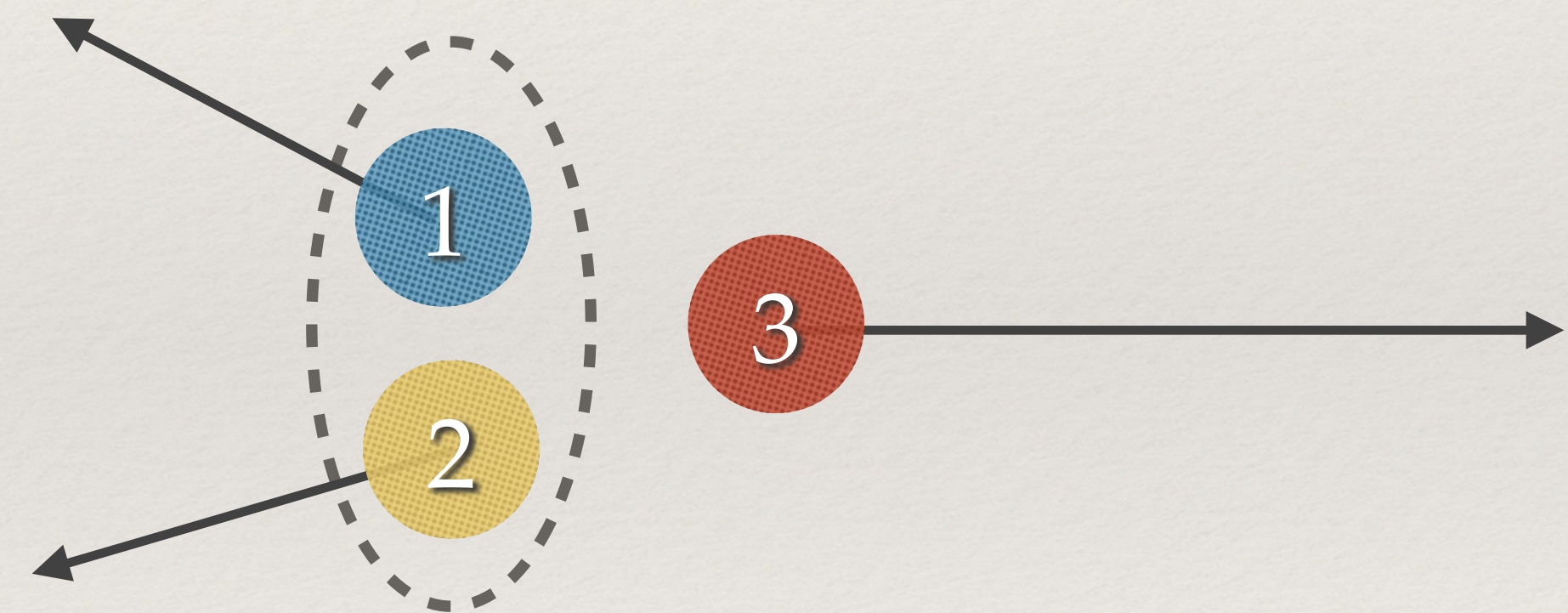
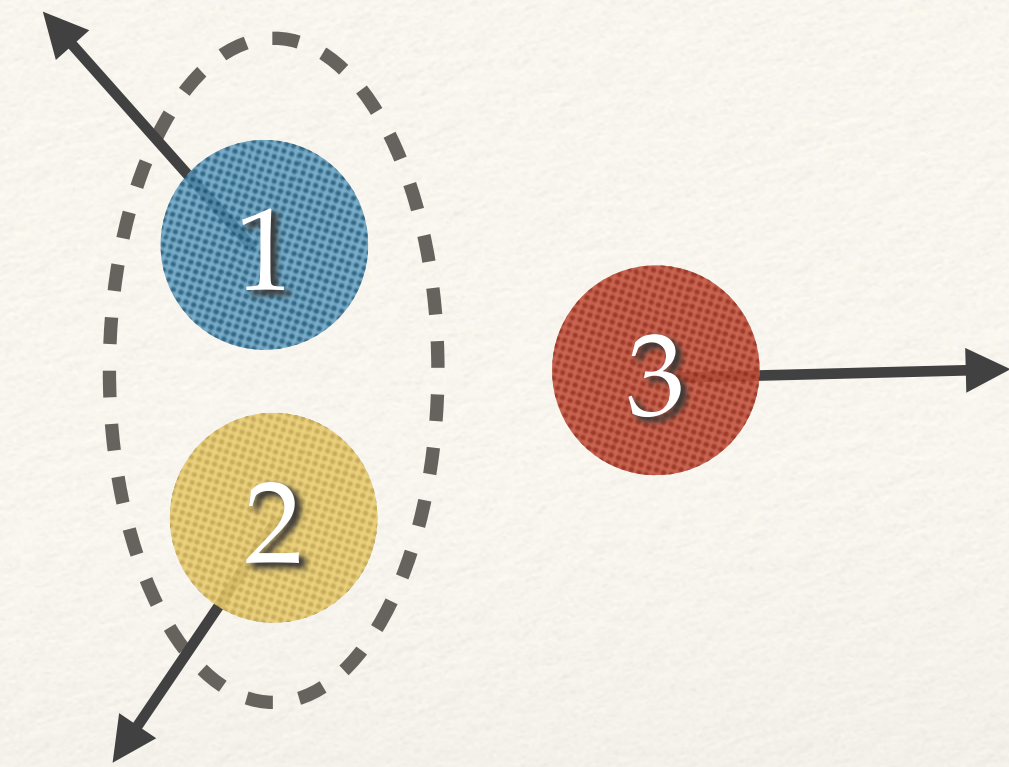
- ❖ Ziel: Berechnung der Raum-Zeit-Flugbahn
- ❖ Keine geschlossene Lösung
- ❖ Im Allgemeinen nicht-periodisch (wenige Ausnahmen)



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

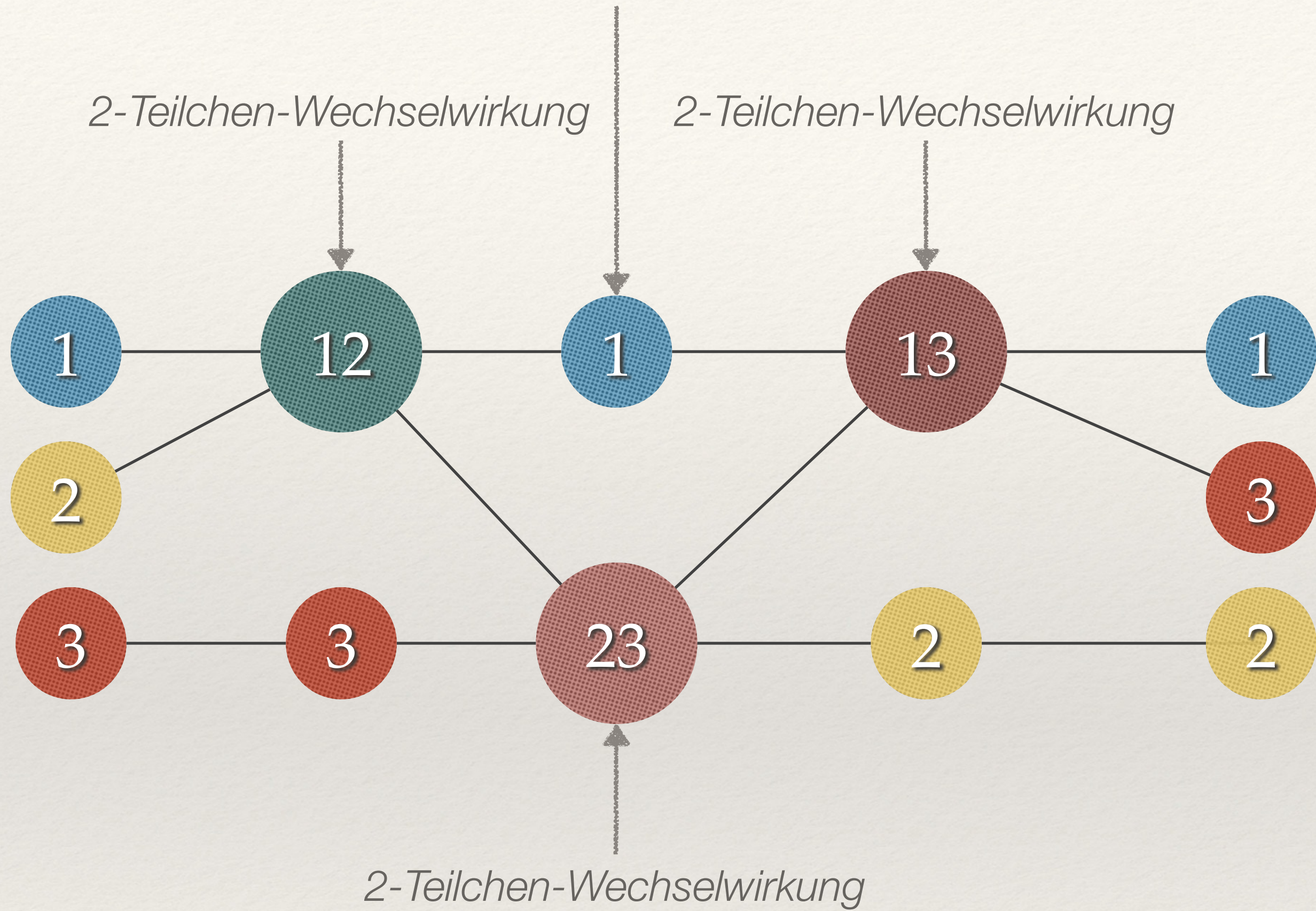


$$M_{12}(p_3)$$

Möglichkeit #3

Generelle Lösungsstrategie

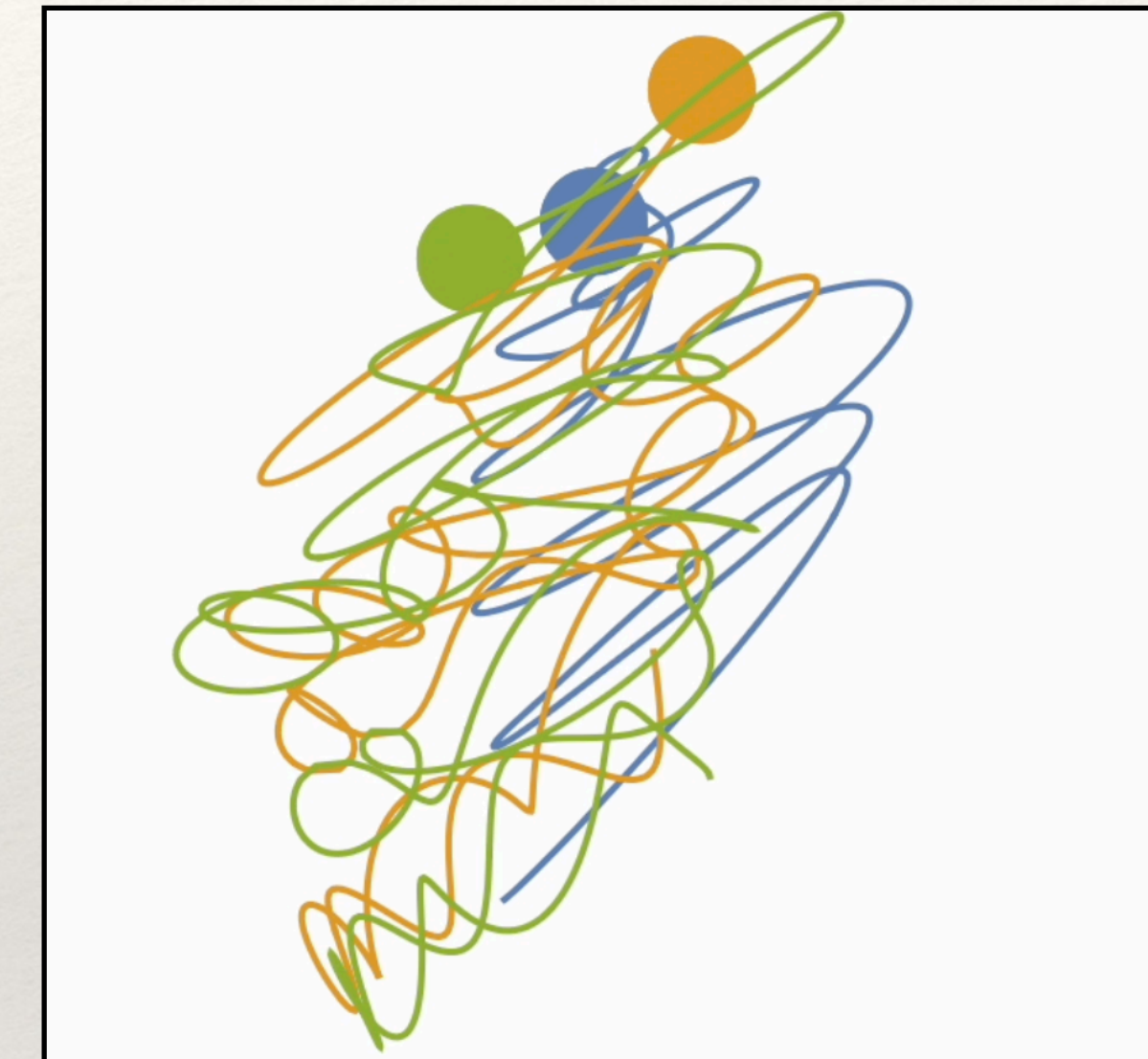
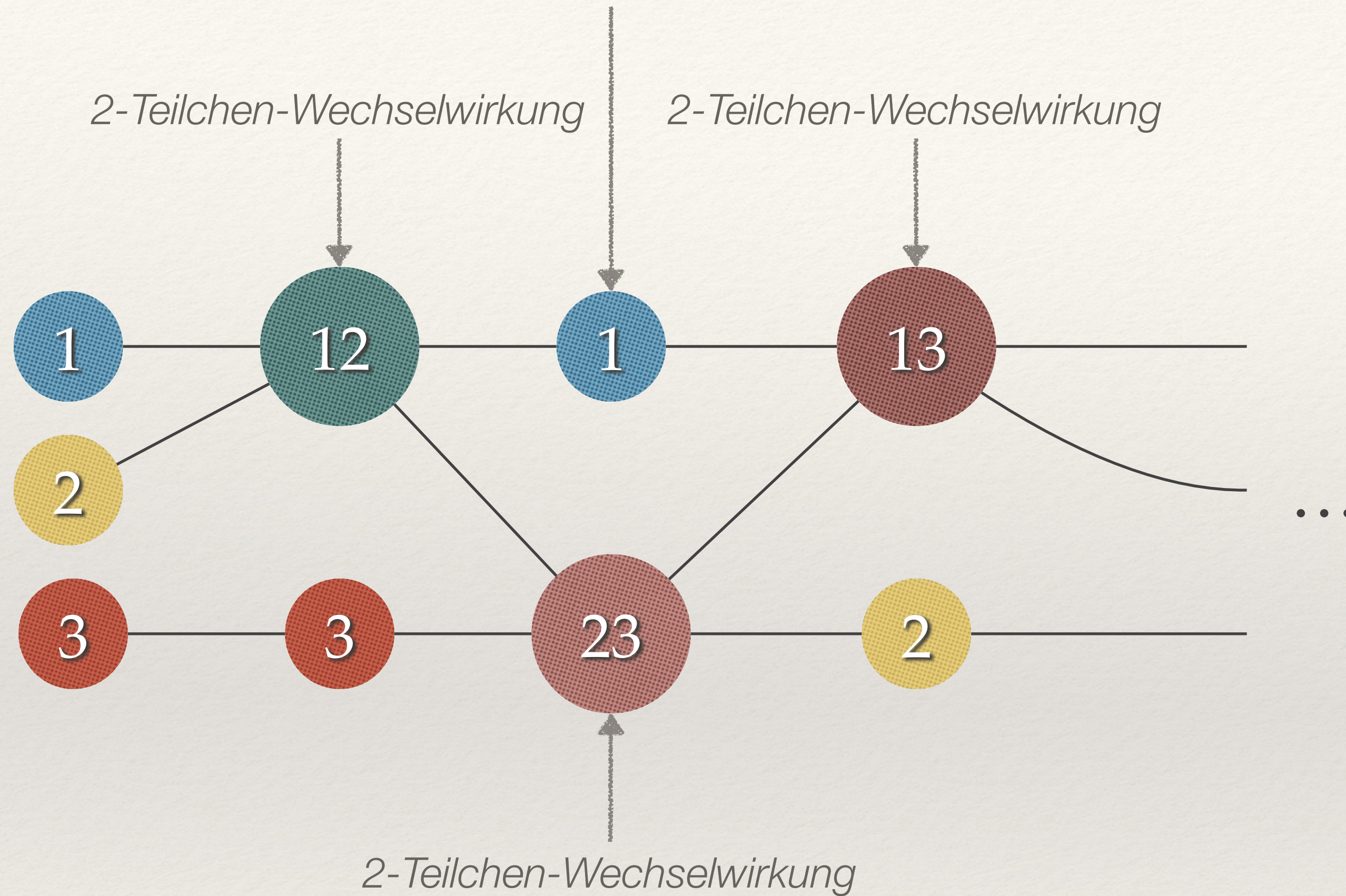
(1) kann beliebig hohe Impulse erlangen



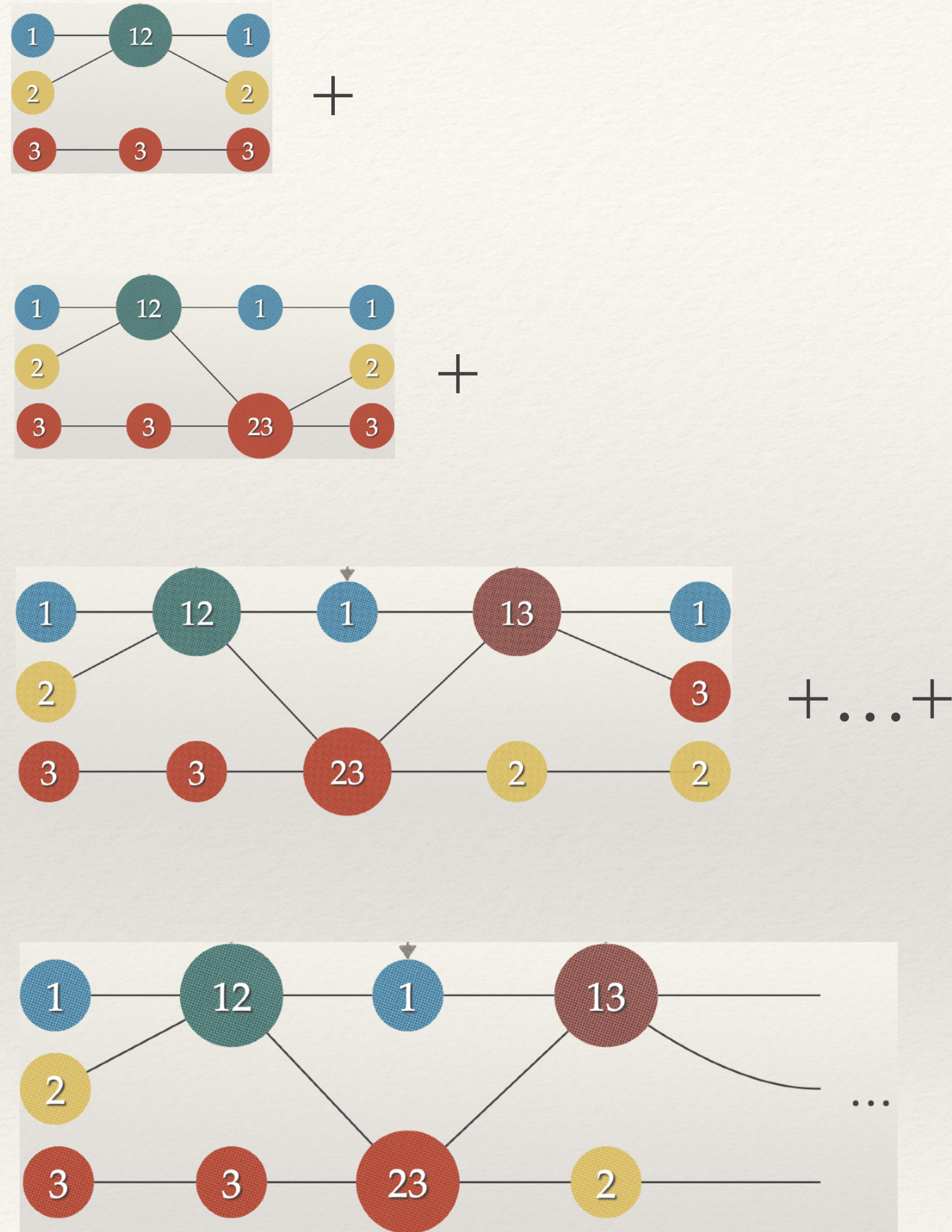
Möglichkeit #N

Generelle Lösungsstrategie

(1) kann beliebig hohe Impulse erlangen

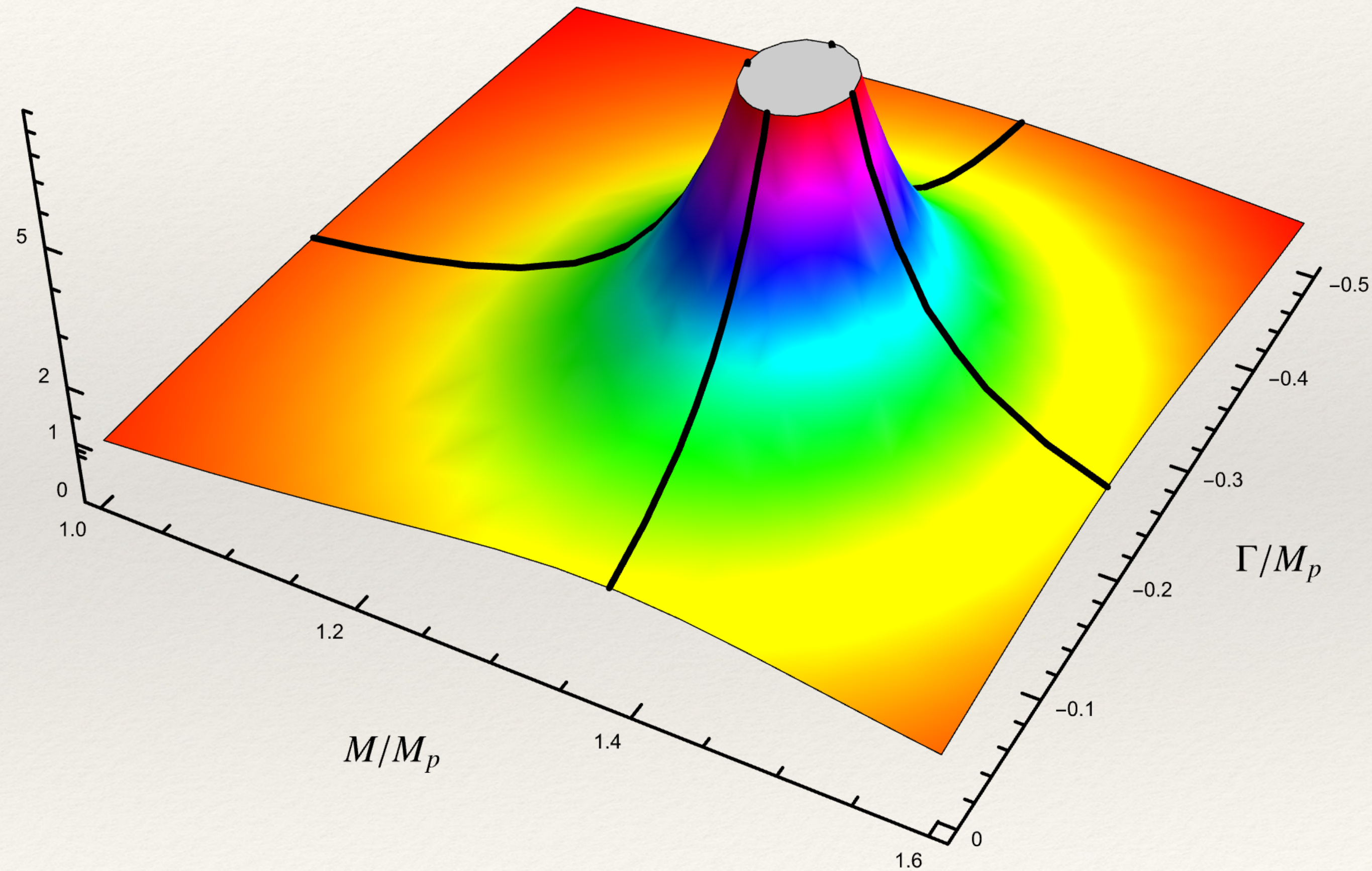


Möglichkeit #1+#2+...



Generelle Lösungsstrategie

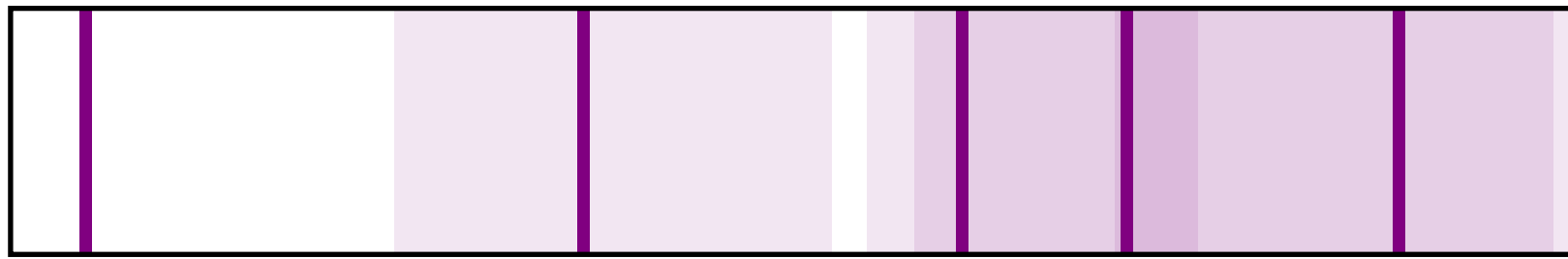
Lösung der Gleichung: $M + i\Gamma$



ZUSAMMENFASSUNG

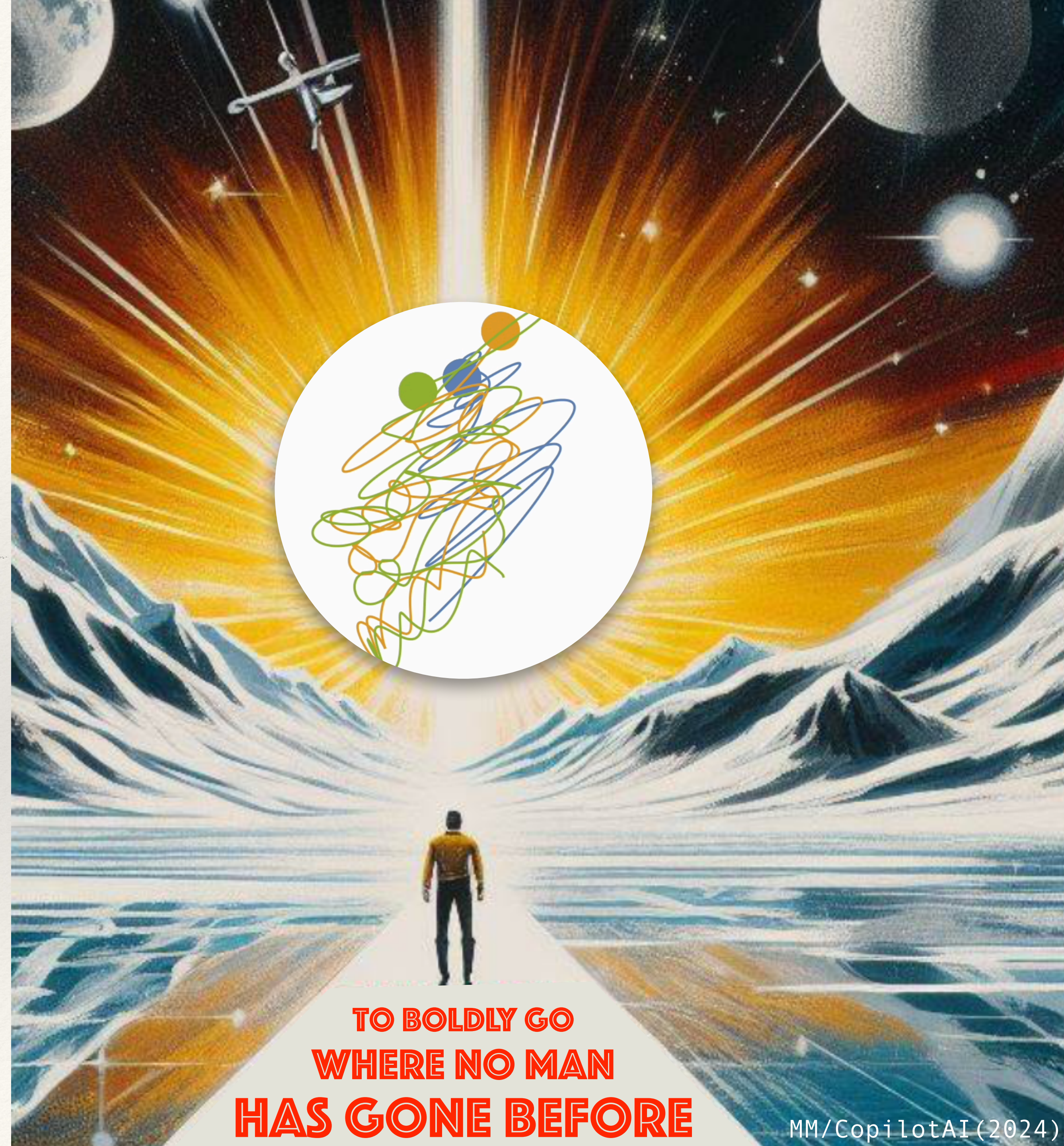
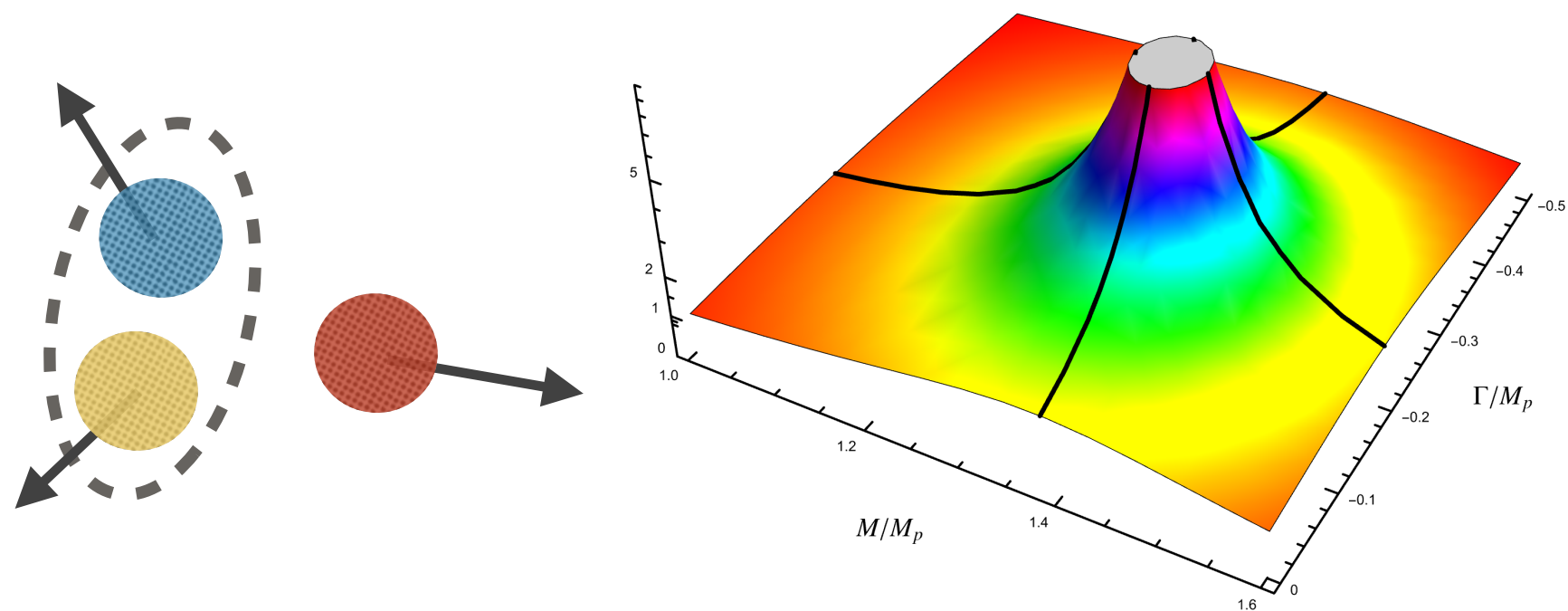
Universelle Signatur ("DNA") unserer Welt

Spektrum der subatomaren Teilchen



Hadronisches Dreikörperproblem

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



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

