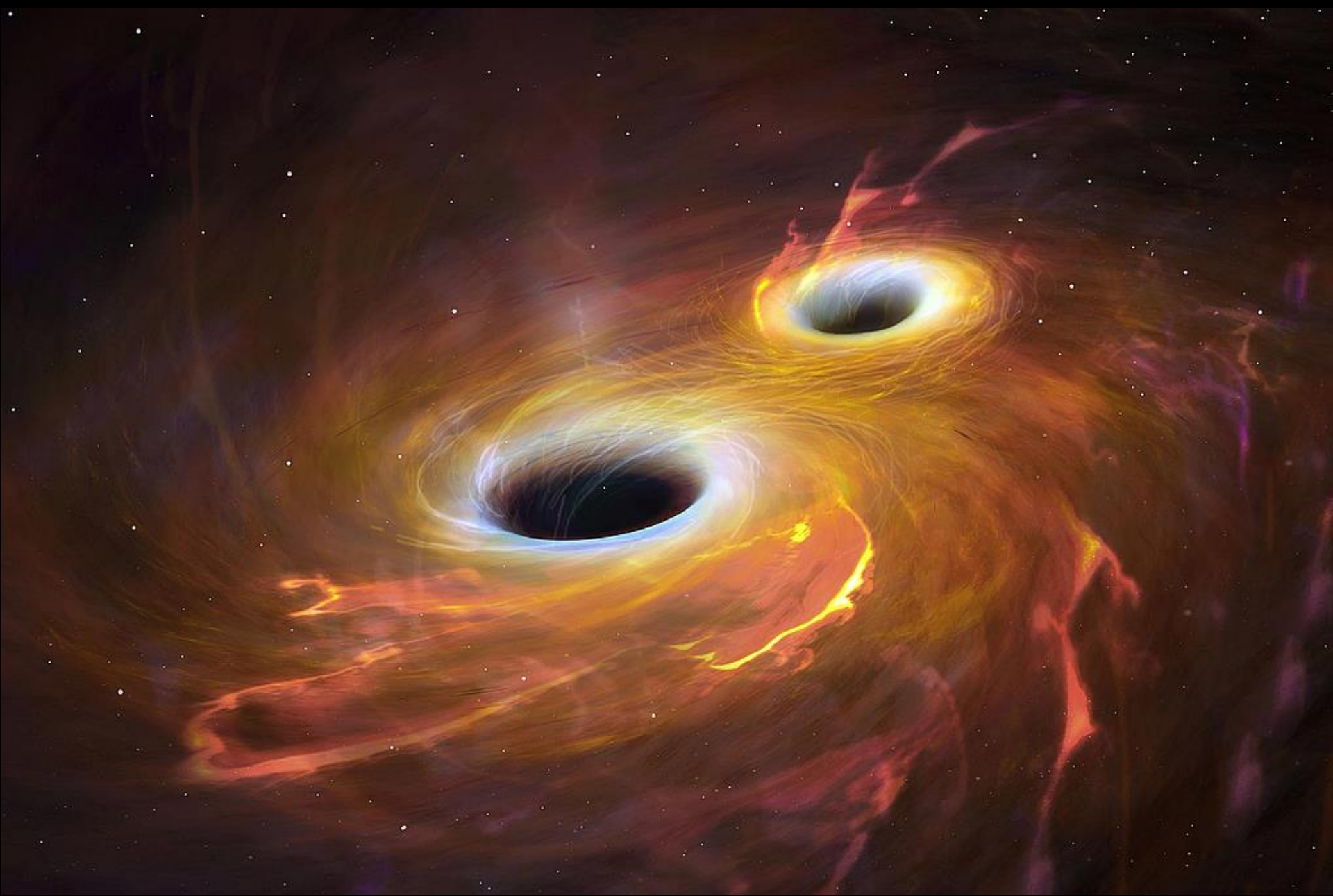


# Verschmelzung von Schwarzen Löchern und Neutronensternen



60 bis 70% aller Sterne im Milchstraßensystem gehören Doppel- oder Mehrfachsystemen an.



Die Entwicklungsdauer eines Sterns bis zu seinem stabilen Endzustand (Weißer Zwerg, Neutronenstern, Schwarzes Loch) hängt von dessen Ausgangsmasse ab.

- kleine Masse → lange Verweildauer auf der Hauptreihe
- große Masse → kurze Verweildauer auf der Hauptreihe

Besteht ein Doppel- oder Mehrfachsternsystem aus „kompakten“ Objekten, insbesondere Neutronensterne und Schwarzen Löchern, die auf engen Bahnen ihren Systemschwerpunkt umlaufen → spricht man von „Compact Close Binaries“.



### Taylor-Hulse Doppel-Pulsar

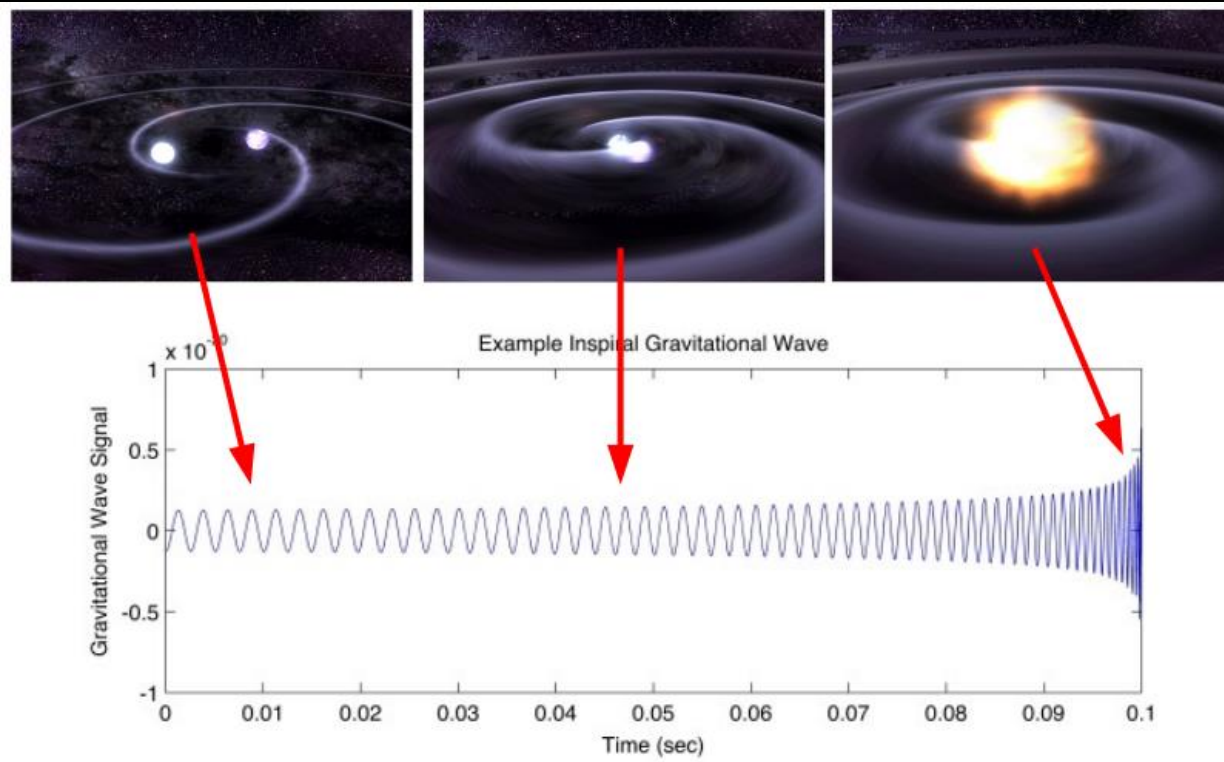
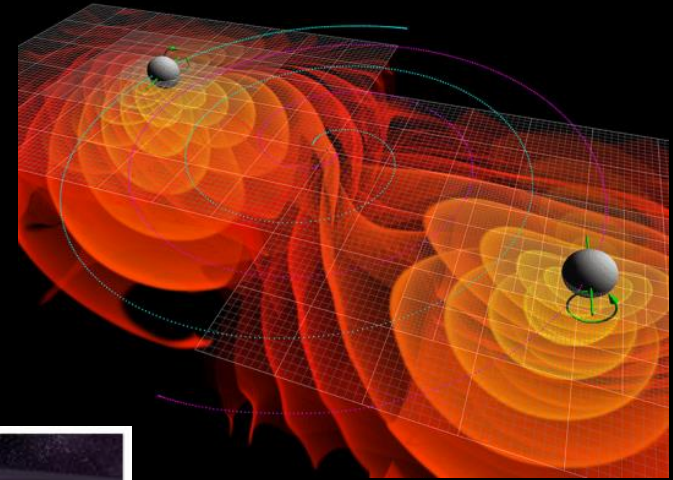
Bewegen sich zwei kompakte Objekte in geringer Entfernung um ihren gemeinsamen Schwerpunkt, dann verliert das System im Laufe der Zeit Bahndrehimpuls durch Gezeitenkräfte und Gravitationswellenabstrahlung, was wiederum dazu führt, dass sie sich immer weiter annähern bis sie schließlich kollidieren...

# Drei Typen kompakter Doppelsterne:

Neutronstern – Neutronstern (**NSNS**)

Neutronstern – Black hole (**NSBH**)

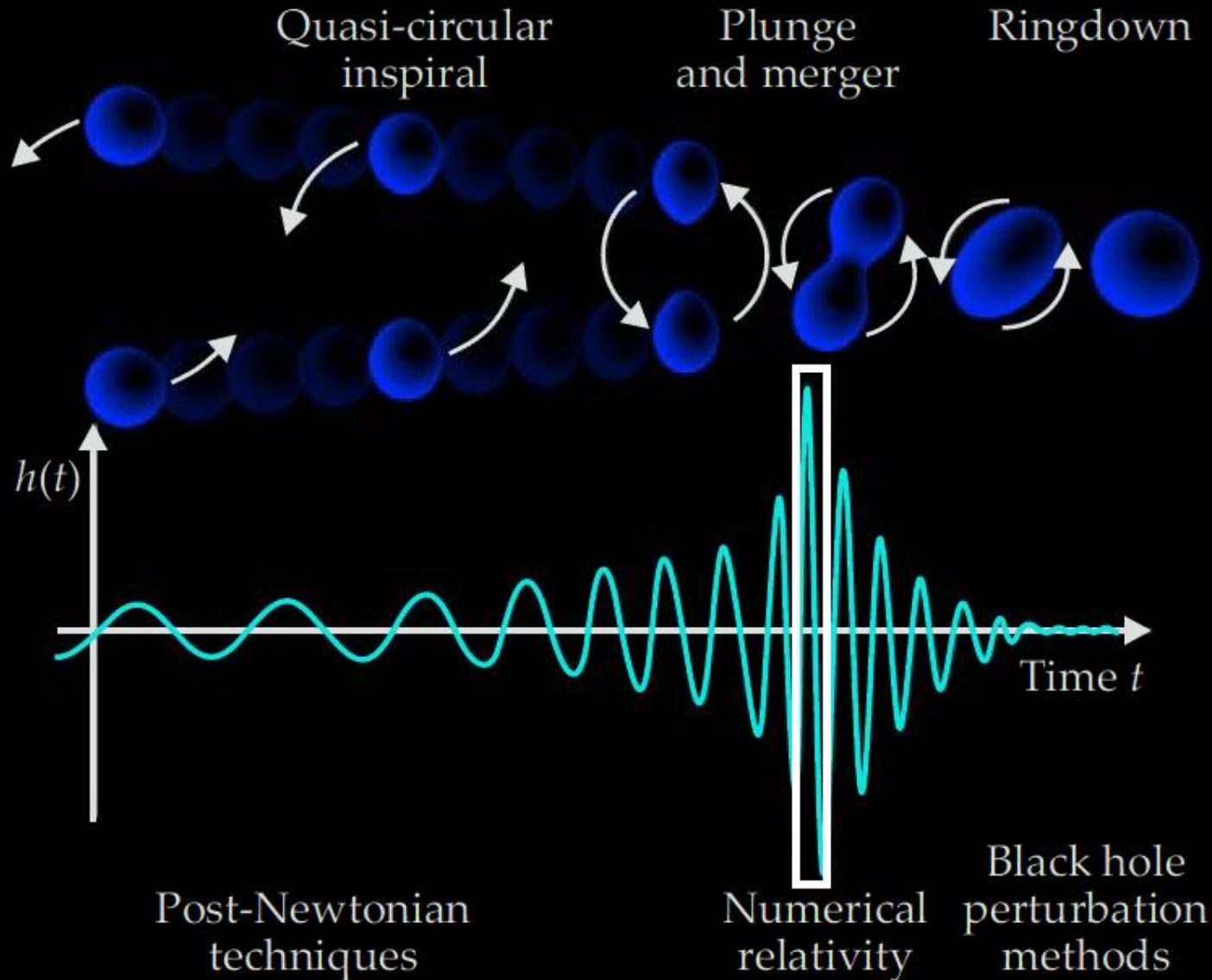
Black hole – Black hole (**BHBH**)



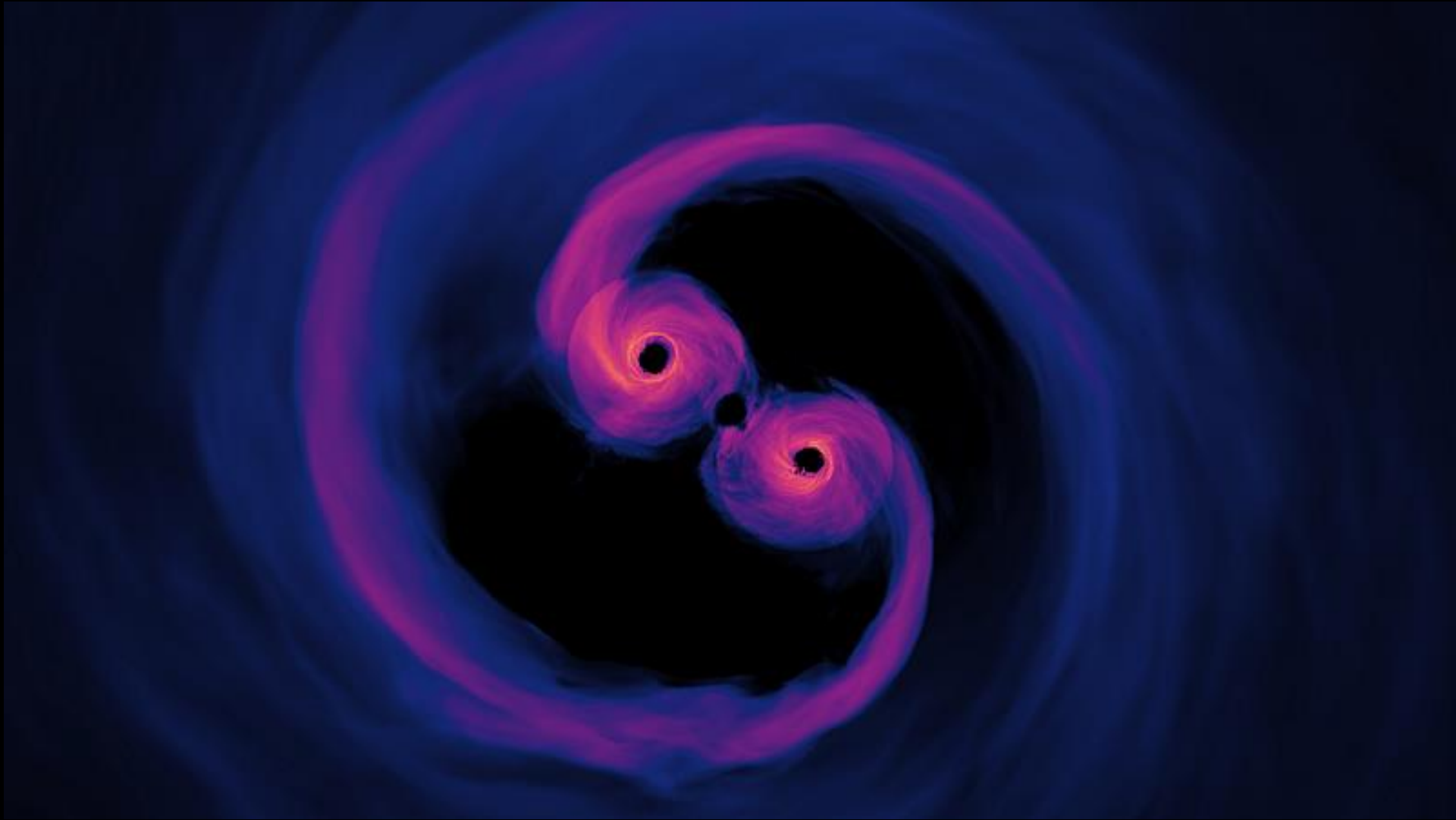
Gravitationswellensignal bis zum Gravitationskollaps



# Phasen der Verschmelzung zweier Schwarzer Löcher



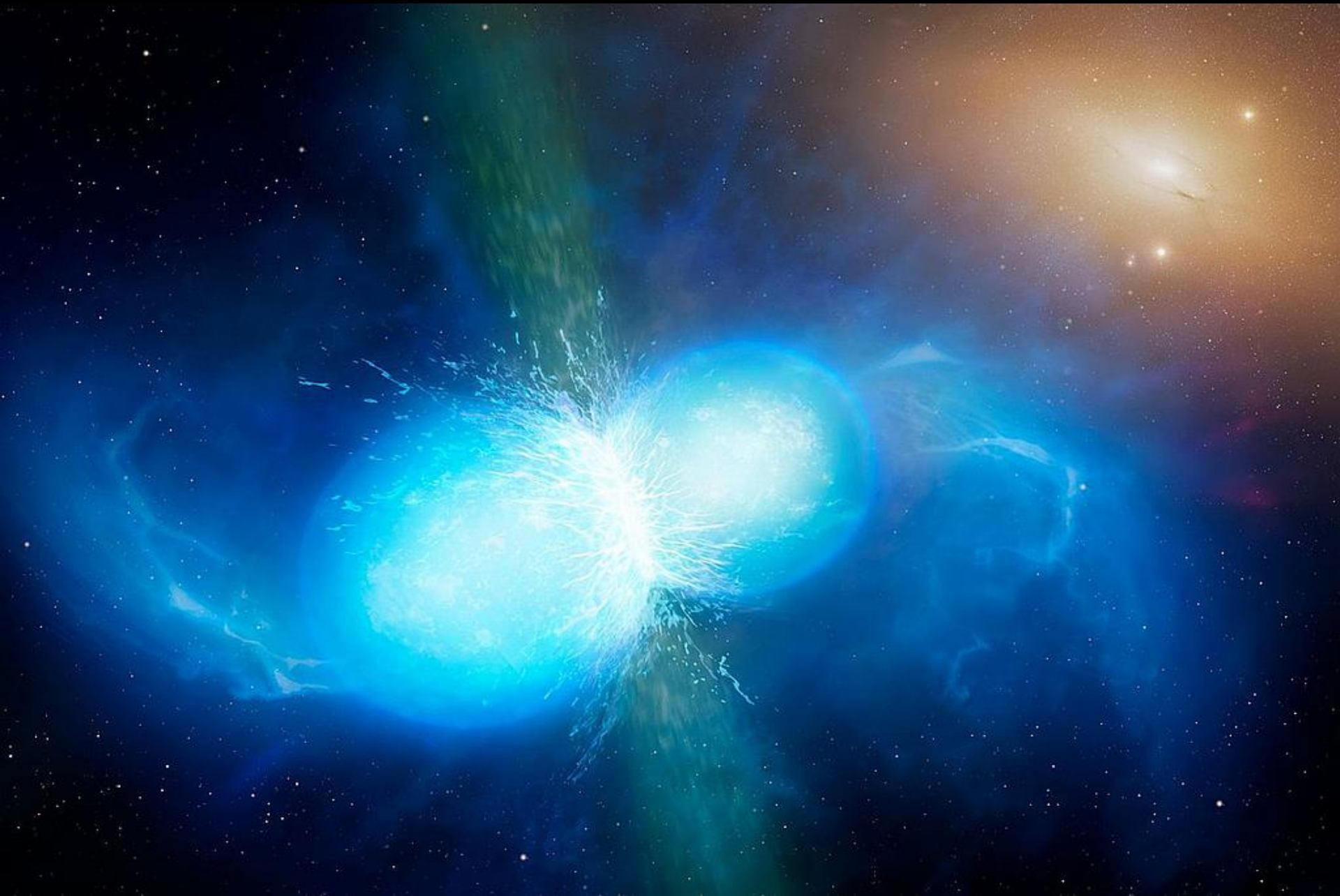
# Simulation des Verschmelzungsvorgangs



# Simulation der Verschmelzung eines Neutronensterns mit einem Black hole



# Simulation Vereinigung zweier Neutronensterne





# Neue Art von „Sternexplosionen“: Die Kilonova

- wird ca. 1000 mal heller als eine klassische Nova
- Entsteht bei der Verschmelzung NSNS bzw. NSBH zu einem Schwarzen Loch
- Dabei entstehen über den r-Prozess Elemente sehr hoher Ordnungszahl, insbesondere auch Gold, in riesigen Mengen

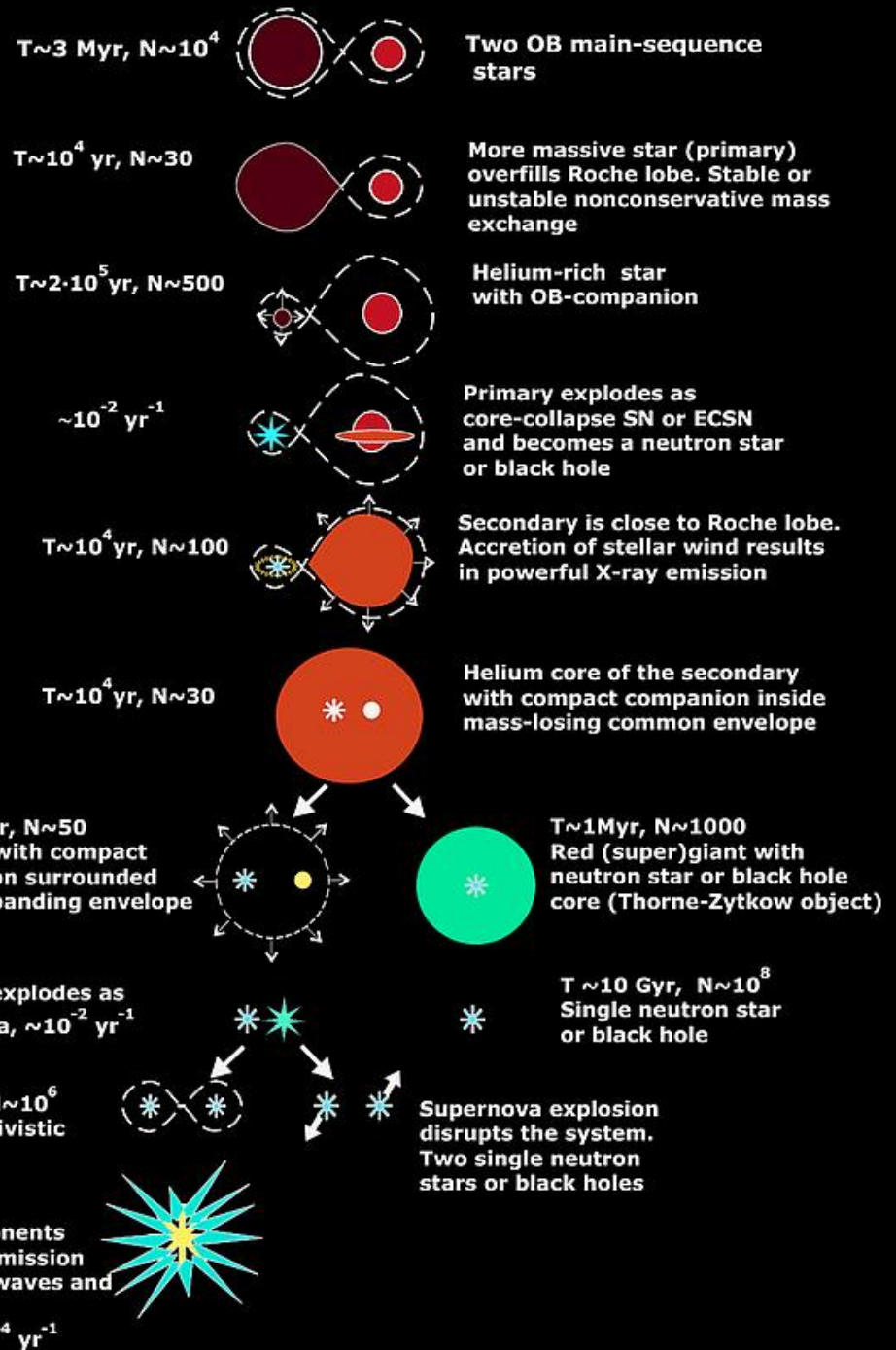
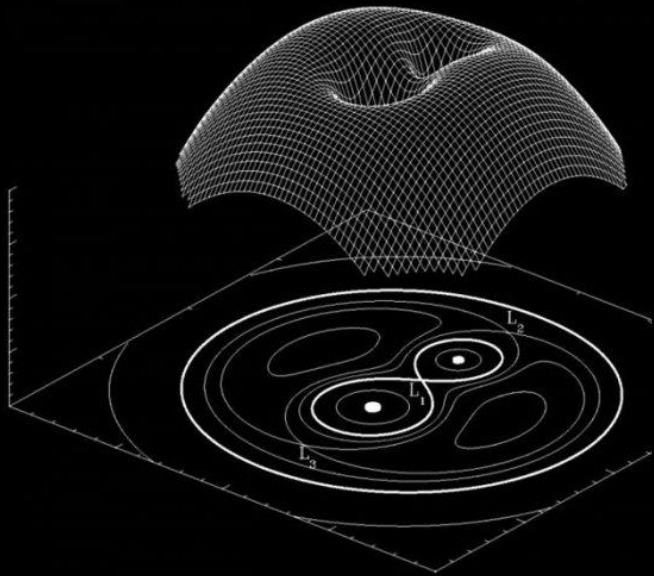
Das Spektrum von einer Kilonova ist quasi-thermisch (Planckfunktion mit  $T \sim 10.000$  K), aber völlig spektrallinienfrei aufgrund der hohen Expansionsgeschwindigkeit der Hülle ( $v \sim 0.1 \dots 0.2 c$ )



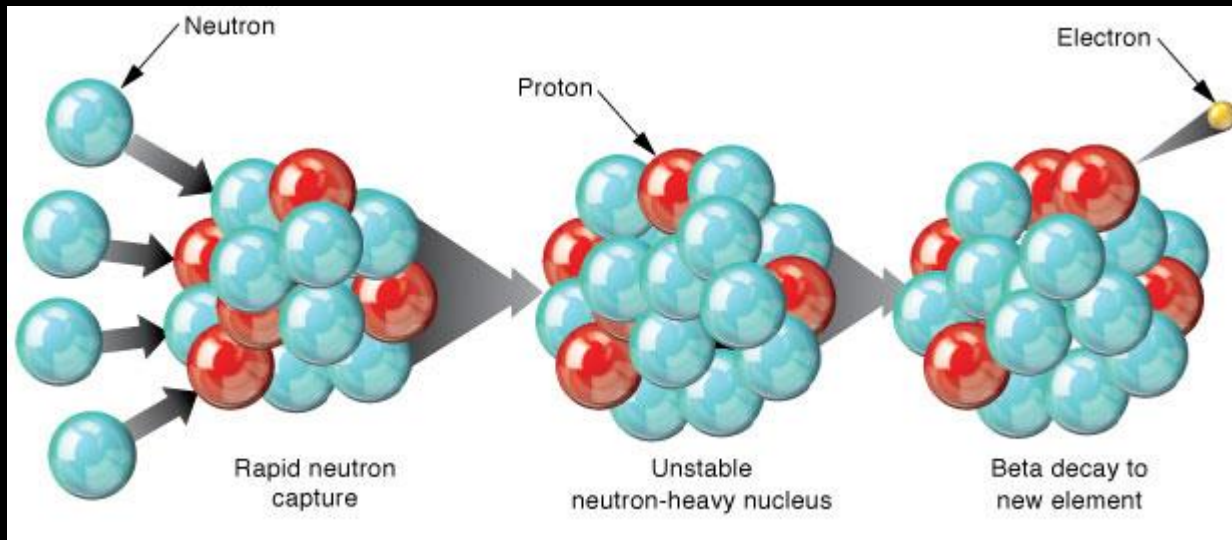
NGC 4993 ( $130 \times 10^6$  Lj)

17. August 2017  
simultaner Gravitationswellenausbruch + Gamma-Flash, anschließend auch optisch sichtbar

# Entwicklungsweg eines engen Doppelsterns bis zum Ausbruch einer Kilonova



# r-Prozess: Die kosmische Goldfabrik



Seite 517 ff

Neutroneneinfänge erfolgen viel schneller, als die dadurch mit Neutronen angereicherten Kerne radioaktiv (Beta) in dieser Zeit wieder zerfallen können.

Kerne großer Massezahlen → Betazerfall-Kaskaden → stabiles Element hoher Ordnungszahl

**Bedingung:** extrem hohe Neutronenflussdichten ( $>10^{26} /(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )

Kernkollaps-Supernovae, Kilonovae

