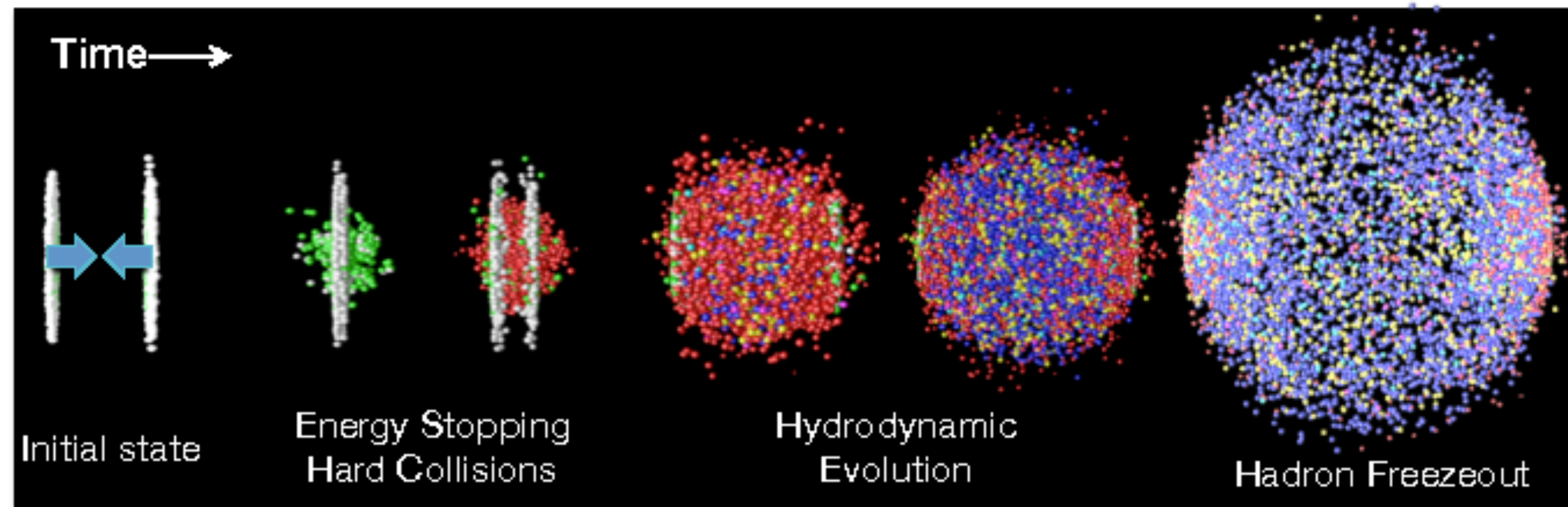


Hydrodynamika plazmy kwarkowo gluonowej

Michał Spaliński
2016/10/05

Plazma kwarkowo gluonowa

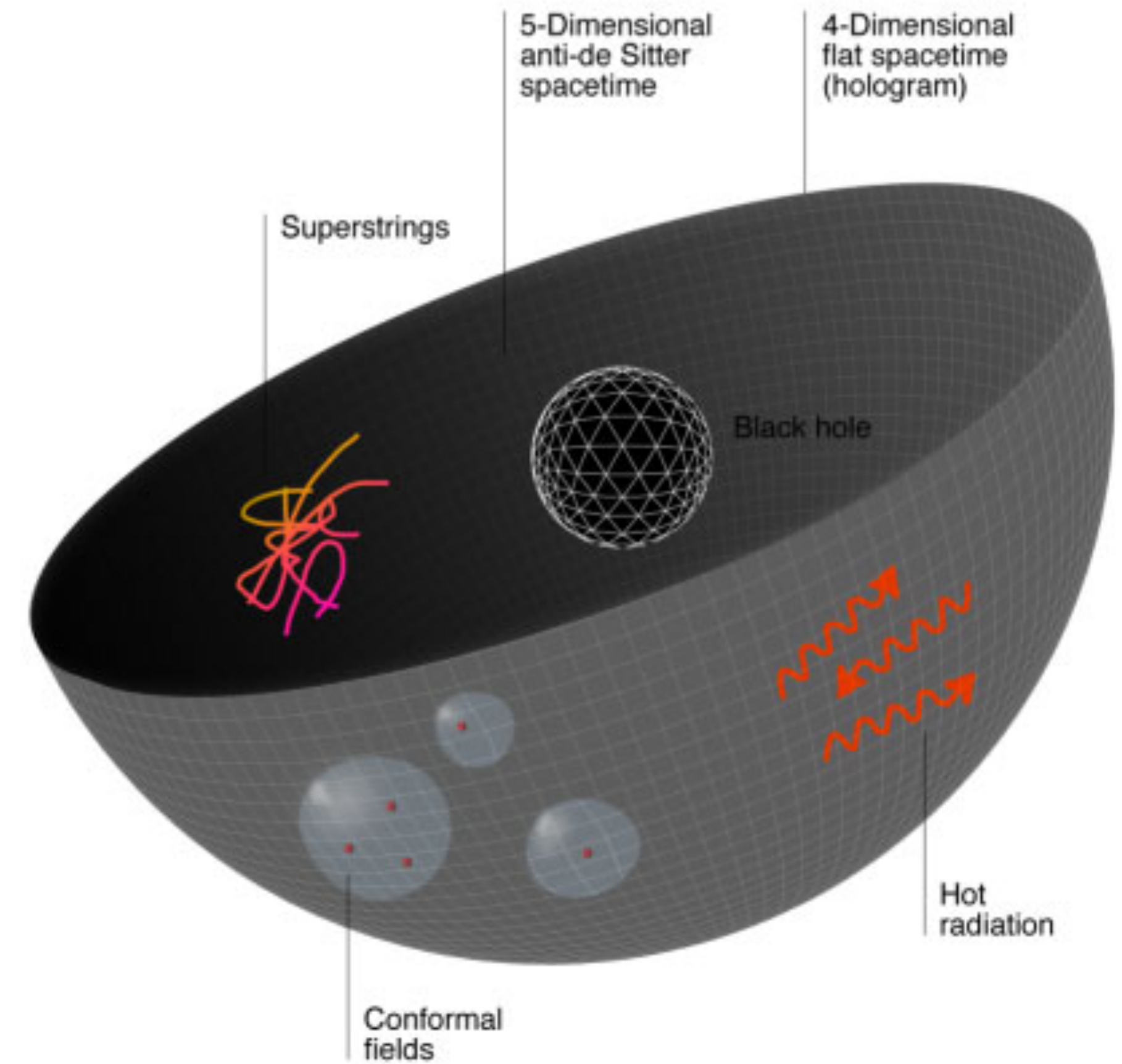


- Fermi (1950): lokalna równowaga termodynamiczna (!)
- Landau (1953): hydrodynamika relatywistycznego płynu doskonałego
- Eksperymenty w RHIC (200x): hydrodynamika z “małą” lepkością

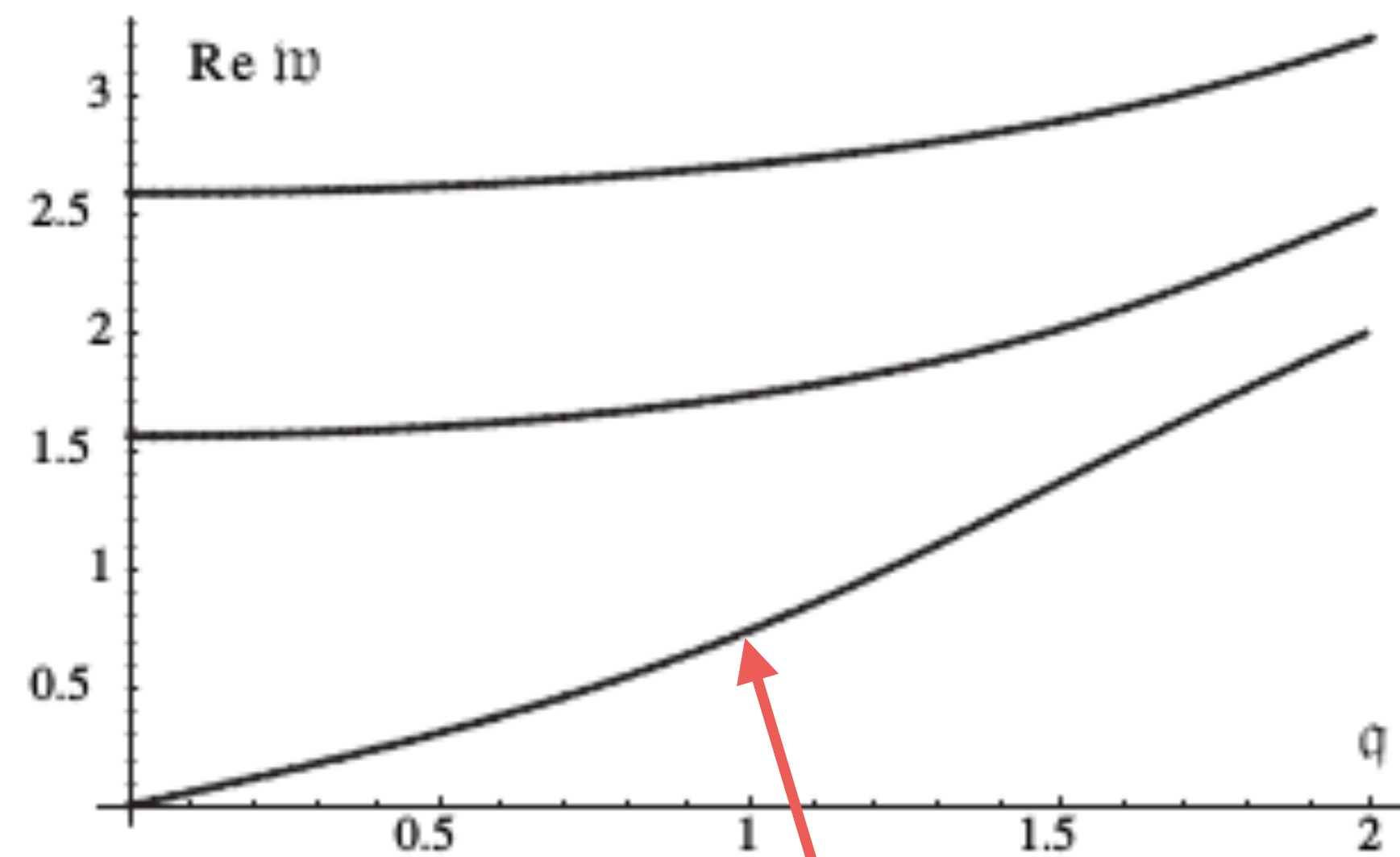
Jak uzasadnić fenomenologiczny opis hydrodynamiczny na gruncie QCD?

Dualność AdS/CFT

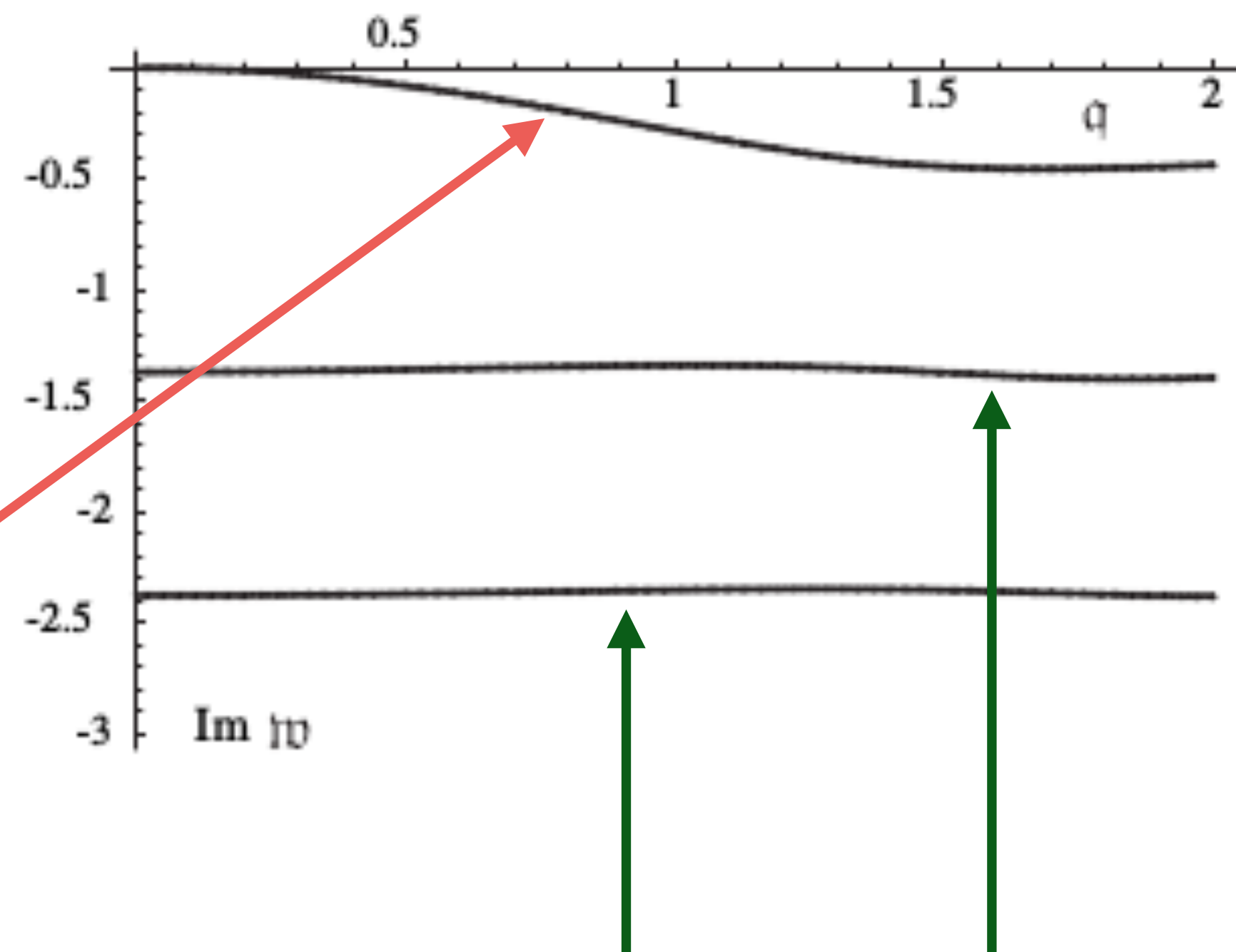
- Holograficzna relacja między pewną teorią Yanga-Millsa a teorią strun
- Silnie sprzężona teoria Yanga-Millsa odpowiada klasycznej grawitacji
- Stany równowagowe w $T > 0$ odpowiadają czarnym dziurom
- Zaburzenia równowagi: mody quasinormalne



- Mody quasinormalne $\delta\Phi \sim \exp\left(-i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{x})\right)$
 - Tłumienie gdy $Im(\omega) < 0$
- zależy od k



mod hydrodynamiczny



mody niehydrodynamiczne

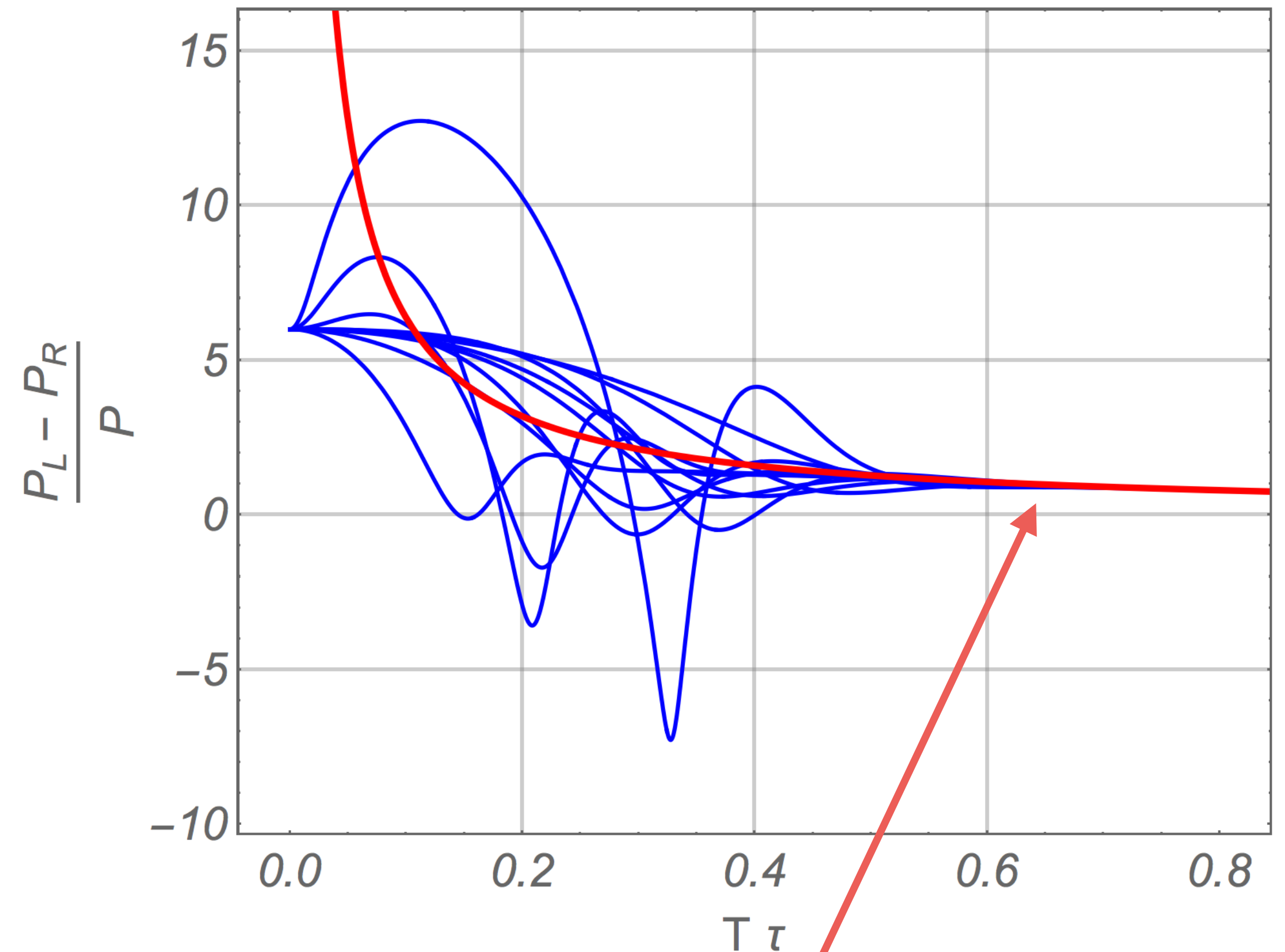
Dynamika modów hydrodynamicznych wyraża się **rozwinięciem w gradientach** gęstości energii i prędkości przepływu.

- Porównanie z “obowiązującą” w 2007 roku teorią Israela-Stewart’a pokazało, że **wymaga ona uzupełnienia** w taki sposób, by możliwe było dopasowanie do dowolnej teorii mikroskopowej.
- Quasi-universalne zachowanie hydrodynamiczne pojawia się wtedy, gdy **mody niehydrodynamiczne** są rzeczywiście zaniedbywalne.
- Rozwinięcie gradientowe **ma charakter asymptotyczny** i stanowi element trans-szeregu, którego struktura jest zgodna z teorią resurgencji.

“Numeryczna Holografia”

Symulacja dynamiki silnie sprzężonej kwantowej teorii Yanga-Millsa poprzez numeryczne rozwiązywanie klasycznych równań różniczkowych.

- Hydrodynamika działa znakomicie nawet przy bardzo dużej anizotropii ciśnienia ($\sim 60\%$).
- Dla małych czasów: efekty modów niehydrodynamicznych
- “Hydrodynamiczacja” dla $\tau T \sim 0.7$



Hydro 1 rzędu

Konsekwencje dla fizyki QGP

- Hydrodynamikę można systematycznie powiązać z teorią mikroskopową poprzez rozwinięcia gradientowe
- Granicę stosowalności wyznacza relaksacja modów niehydrodynamicznych
 - A. “hydrodynamizacja” dla małych czasów
 - B. zachowanie hydrodynamiczne w zderzeniach pA, pp