

High energy nuclear physics

Membri

- UNIFI

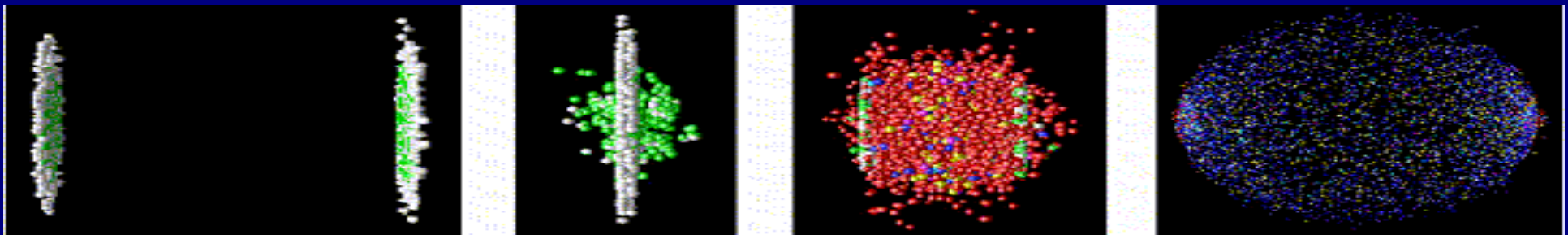
F.B (PO), L. Del Zanna (PA), E. Grossi (RTDA)

- UNICT

V. Greco (PO), S. Plumari (PA), S. Siringo (PA)

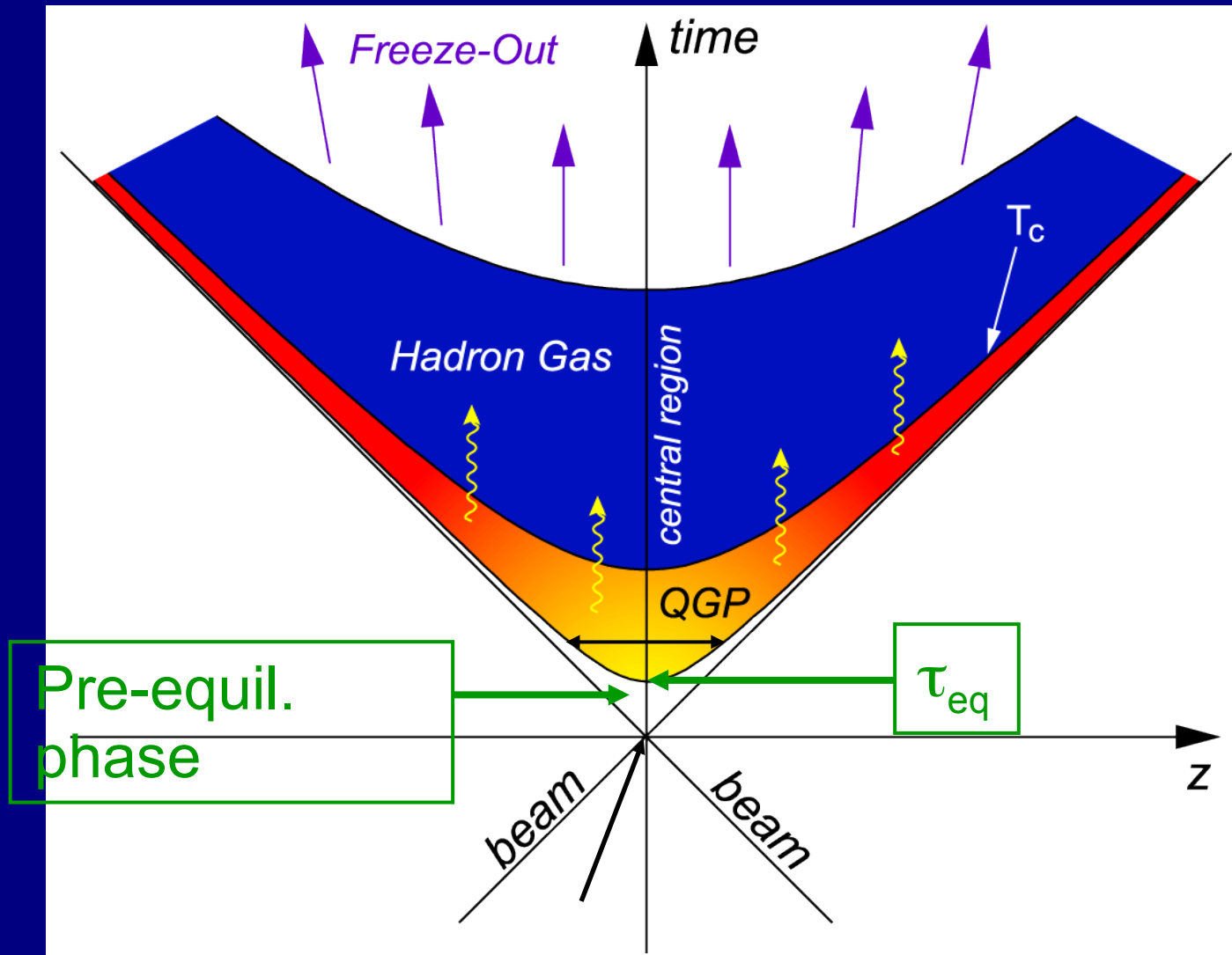
Collisioni nucleari ultrarelativistiche

Produzione del plasma di quarks e gluoni e studio della fase deconfinata di QCD

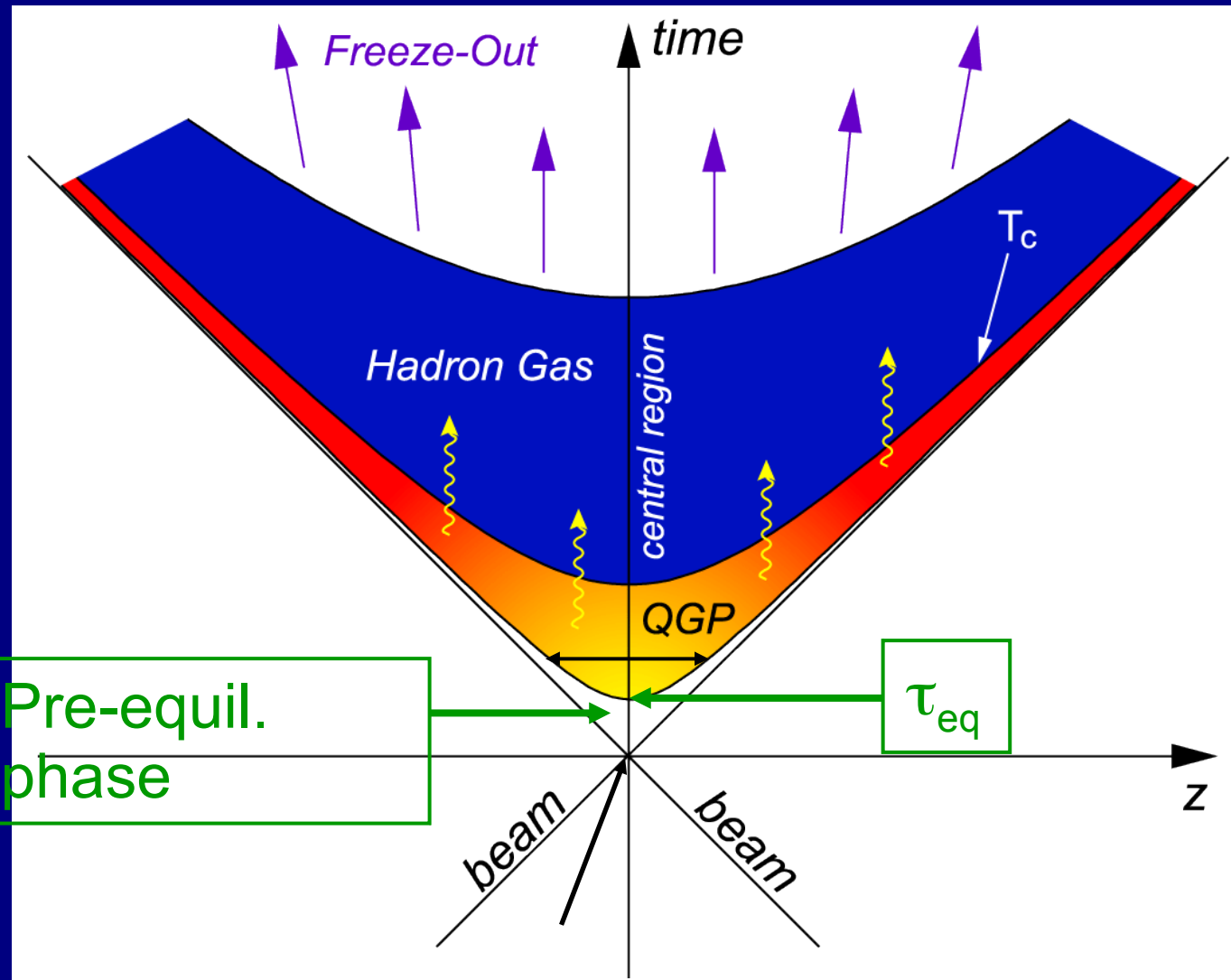


Accelerator	Lab	$\sqrt{s_{NN}}$	Nuclei
SPS (90's)	CERN	6-18	Pb-Pb
RHIC (00-..)	RHIC	7.7-200	Au-Au
LHC (09-..)	CERN	2750	Pb-Pb

Schema del processo di collisione



Relativistic hydrodynamical model



$$\partial_{\mu} T^{\mu\nu} = 0$$

$$\partial_{\mu} j_B^{\mu} = 0$$

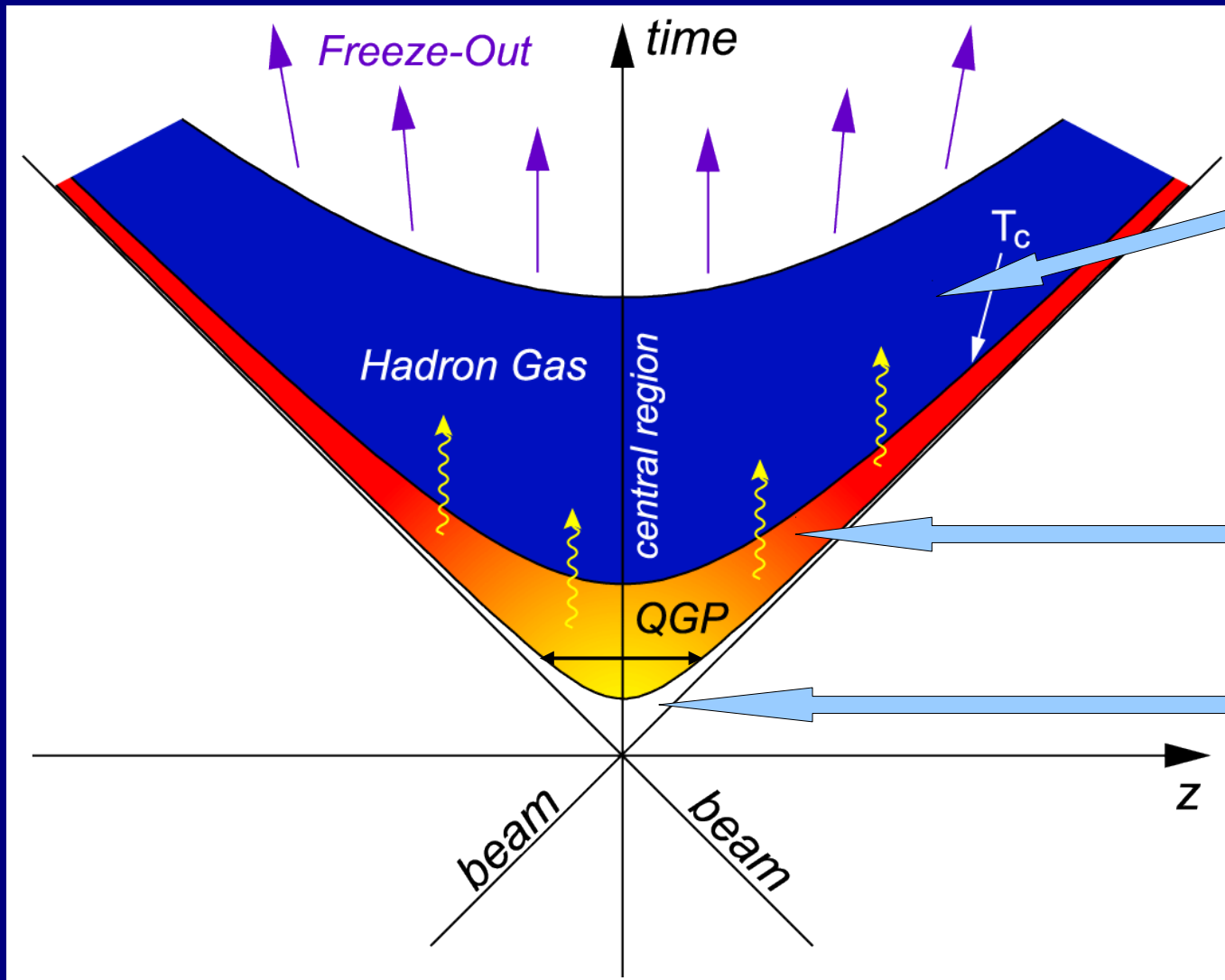
★ Local thermodynamical equilibrium throughout the QGP phase

★ Lattice QCD Equation of State

★ Viscous fluid

★ 3+1 D numerical calculations

Numerical codes



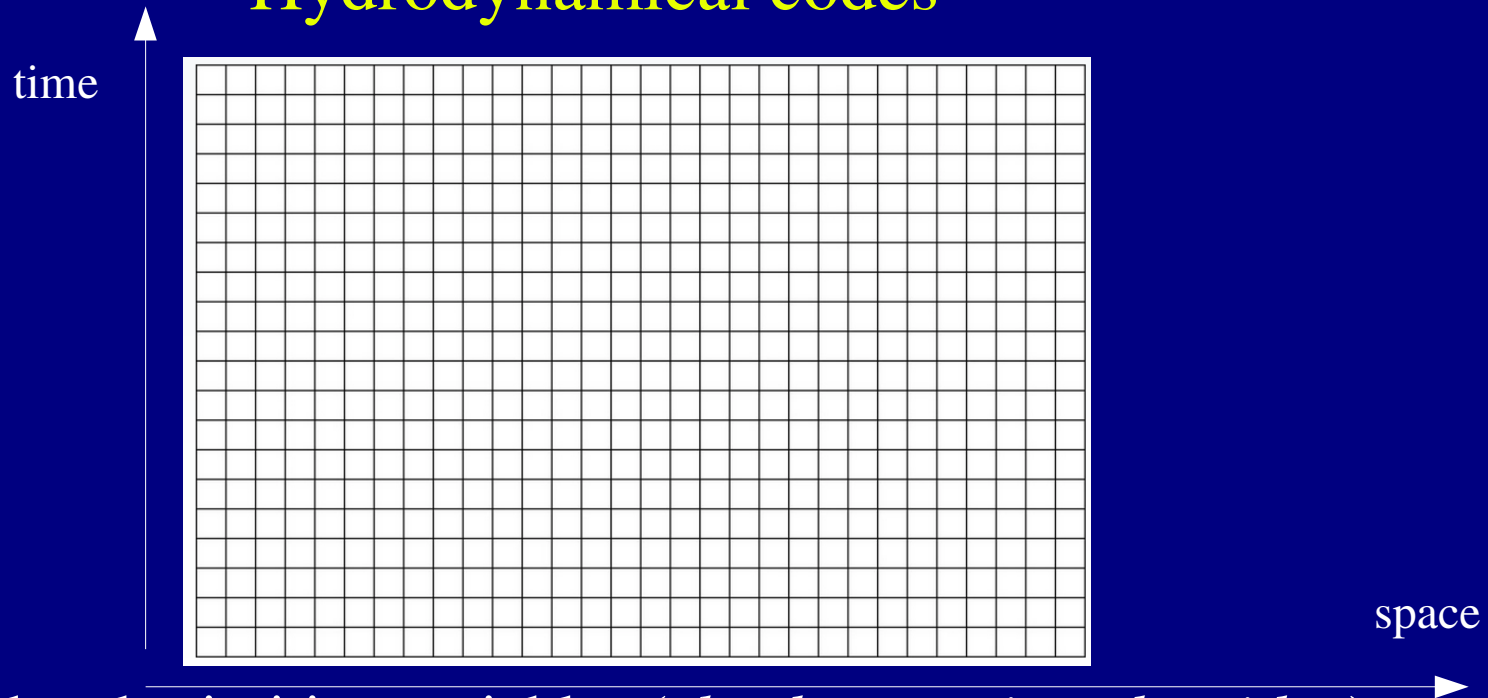
- UrQMD
- Smash
-

- **ECHO-QGP**
- Vhll
- Trajectum
- Vishnu
- Music

- Ip-Glasma (CGC)
- Trento (Glauber)
- Glissandro (Glauber)
- KOMPOST (Kinetic)

Multiple codes for a single event

Hydrodynamical codes



Conserved and primitive variables (*shock capturing algorithm*)

$$\partial_t U + \partial_i U^i = S \quad U^j = (T^{0j}, T^{ij})^T$$

At each time step for each site one needs to solve a non linear system to obtain temperature, fluid velocity ecc. from the stress-energy tensor

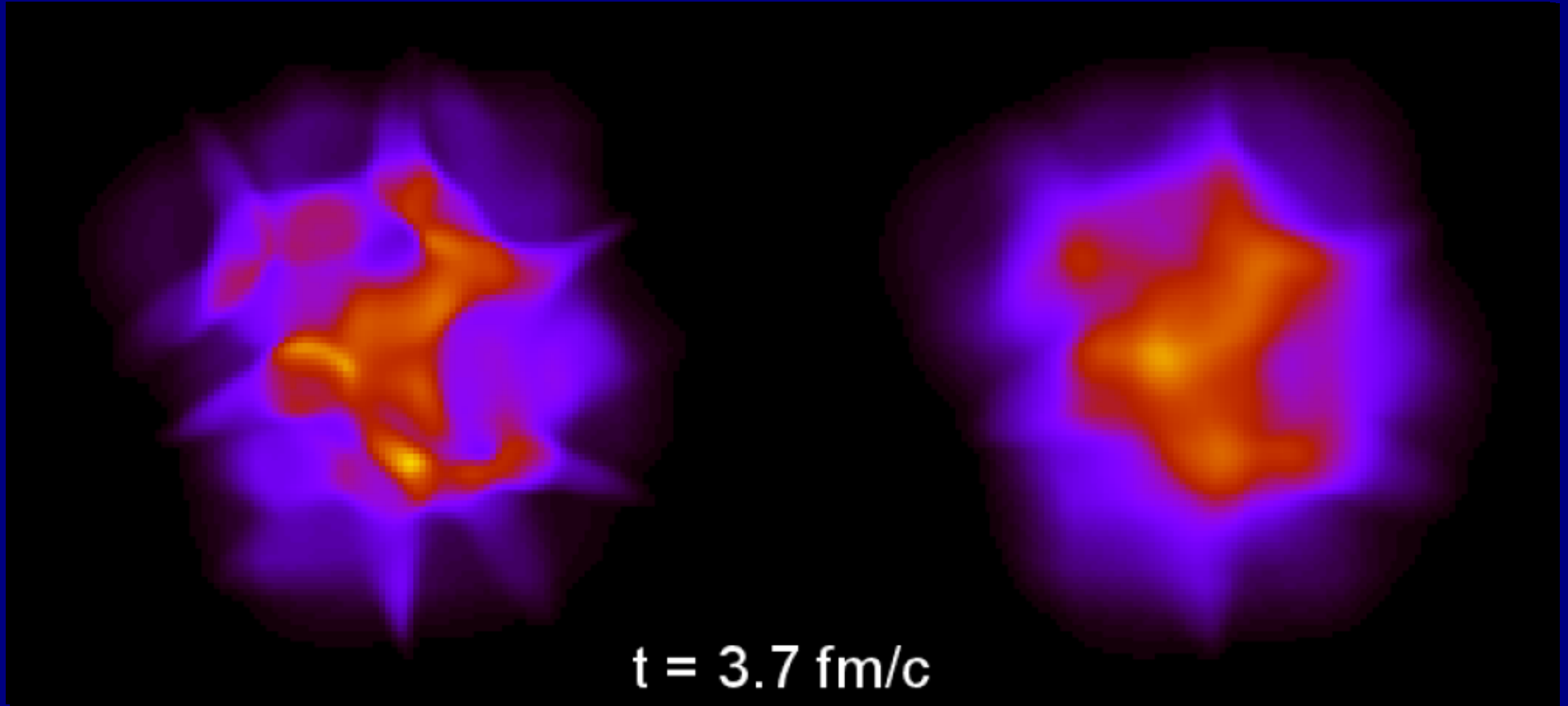
Extra equation: Israel-Stewart theory

$$\tau_\pi u^\lambda \nabla_\lambda \pi^{\mu\nu} = -\eta \sigma^{\mu\nu} + \pi^{\mu\nu}$$

Viscosity smoothens fluctuations and affect more higher harmonics

Ideal

Viscous



$\eta/s=0$

$\eta/s=0.16$

Three years plan

UNIFI

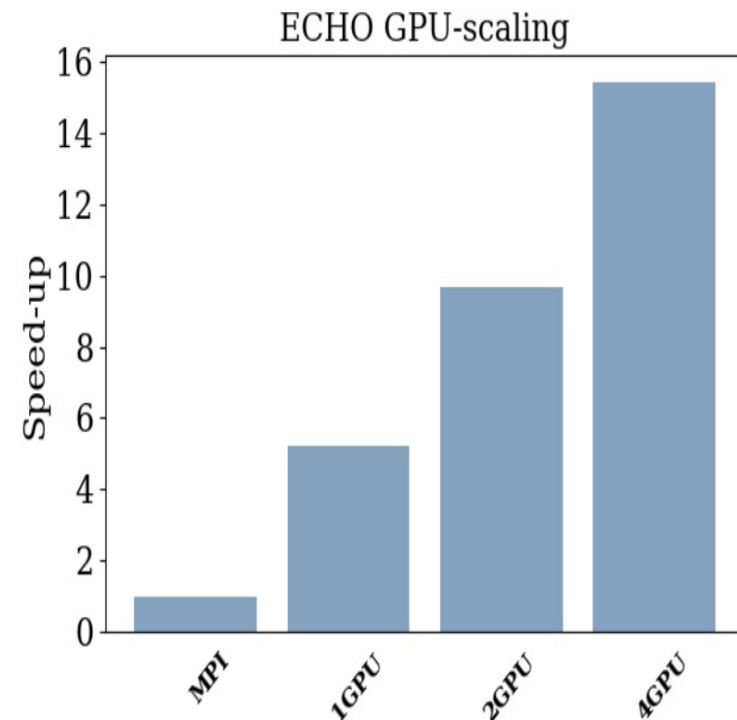
- Optimization of the existing codes for fast generation of events;
- Develop a new version of ECHO-QGP (viscous) with direct solution of the partial differential equations in the primitive variables;
- Inclusion of EM field (RvMHD), axial current
- Transition from the variables u, p, ε, n (four-velocity, pressure, energy density and charge density) to the four-temperature vector $\beta = (1/T) u$ and $\zeta = \mu/T$;
- Implementation of first-order causal relativistic hydrodynamics (no Israel-Stewart theory required)

HPC for relativistic fluid dynamics and MHD: the ECHO code

Need of porting ECHO and ECHO-QGP on GPUs

The code is written in modern fortran90, preliminary tests based on the use of DO CONCURRENT and PURE FUNCTION statements already produced a **16x speedup** compared to pure MPI (single node)

Results: Final Profile

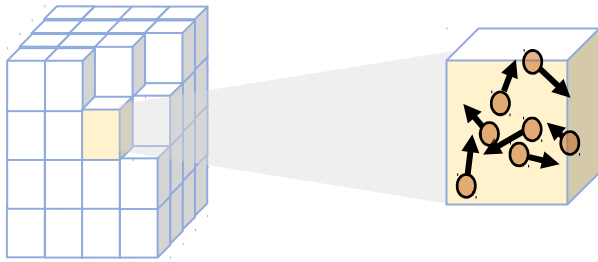


Single node, 3D 128^3 test, MPI means using all 128 tasks, 1 GPU per task

Relativistic Boltzmann Transport code

$$\{p^\mu \partial_\mu + m \partial^\mu m \partial_\mu^p\} f(x, p) = C_{22} [f] + \dots$$

$$C_{22} [f] = \frac{1}{2E_1} \int \frac{d^3 p_2}{2(2\pi)^3 E_2} \int \frac{d^3 p'_1}{2(2\pi)^3 E'_1} \int \frac{d^3 p'_2}{2(2\pi)^3 E'_2} [f(p'_1) f(p'_2) - f(p_1) f(p_2)] |M|^2 (2\pi)^4 \delta^4(p_1 + p_2 - p'_1 p'_2)$$



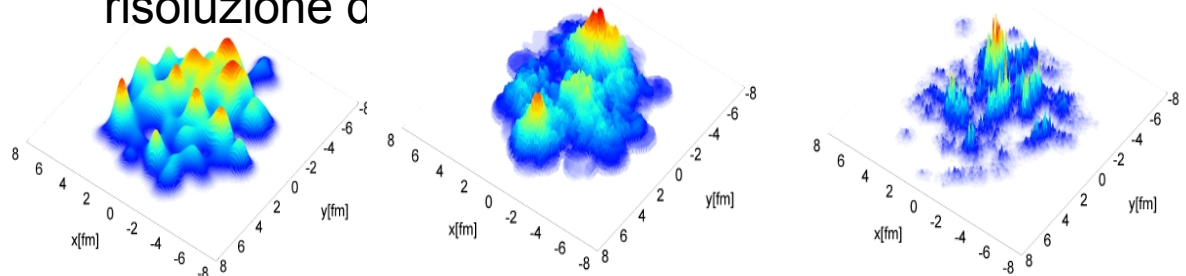
- Risolviamo le eq. di Hamilton per le test particles (Runge-Kutta di ordine 4)

$$\vec{r}_i = \frac{\dot{p}_i}{\sqrt{p_i^2 + m(t, r_i)^2}} \quad \dot{p}_i = -\frac{\partial V_r(t, r_i)}{\partial p_i} + \text{coll.}$$

- Usiamo algoritmi Monte Carlo per risolvere l'integrale di collisione in ogni celletta della box di calcolo.

Simulazioni realistiche di collisione ad energie relativistiche dalle energie di RHIC alle energie di LHC e FCC.

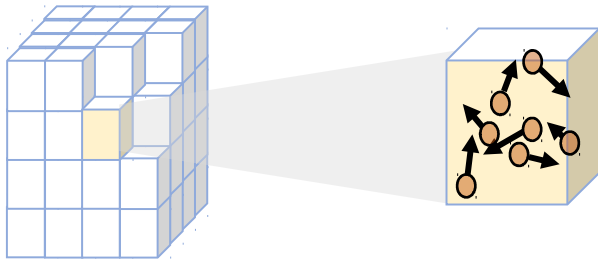
- Simulazioni evento per evento con un numero di eventi dell'ordine di $N_{\text{event}} \sim 10^{5-6}$
- Trattare in maniera unificata dalla fisica della scala di Λ_{QCD} fino alla dinamica dei Jet alle scale di $p_T \sim 100$ GeV.
- Studiare diversi sistemi di collisione: da collisione nucleo-nucleo fino ai small systems come collisione protone-protone che richiedono una migliore risoluzione d



Relativistic Boltzmann Transport code

$$\{p^\mu \partial_\mu + m \partial^\mu m \partial_\mu^p\} f(x, p) = C_{22} [f] + \dots$$

$$C_{22} [f] = \frac{1}{2E_1} \int \frac{d^3 p_2}{2(2\pi)^3 E_2} \int \frac{d^3 p'_1}{2(2\pi)^3 E'_1} \int \frac{d^3 p'_2}{2(2\pi)^3 E'_2} [f(p'_1) f(p'_2) - f(p_1) f(p_2)] |M|^2 (2\pi)^4 \delta^4(p_1 + p_2 - p'_1 p'_2)$$



- Risolviamo le eq. di Hamilton per le test particles (Runge-Kutta di ordine 4)

$$\vec{r}_i = \frac{\dot{p}_i}{\sqrt{p_i^2 + m(t, r_i)^2}} \quad \dot{p}_i = \frac{-(1) \mathbf{v}_i \cdot \mathbf{r}_i m(t, r_i)^2}{(2)} + \text{coll.}$$

- Usiamo algoritmi Monte Carlo per risolvere l'integrale di collisione in ogni cella della box di calcolo.

Esiste una domanda sempre crescente di risorse computazionali nelle simulazioni delle collisioni tra ioni pesanti ad energie relativistiche in seguito all' aumento del dettaglio degli effetti simulati.

Sviluppare algoritmi più performanti per la risoluzione del codice del trasporto che si adattano al calcolo parallelo su GPU.

L'utilizzo delle GPU è una soluzione promettente e offre un aumento della potenza di calcolo rispetto alle simulazioni standard che utilizzano CPU tradizionali.

Questo è particolarmente importante per High-Luminosity LHC (HL-LHC) dove si possono testare simulazioni sempre più realistiche.

Permette di testare condizioni con IP-Glasma dove si sviluppano alti gradienti.

Permette di accedere allo studio delle correlazioni tra flussi collettivi anche tra light flavor e heavy flavor observables.

Permette di essere competitivi: codici del trasporto su GPU si stanno già sviluppando J Zhang et al., PRD 102, 074011 (2022).

