

Aprendendo Hidrodinâmica com Yogyro: II

Frédérique Grassi

Instituto de Física-USP

Retinha 18

Outline

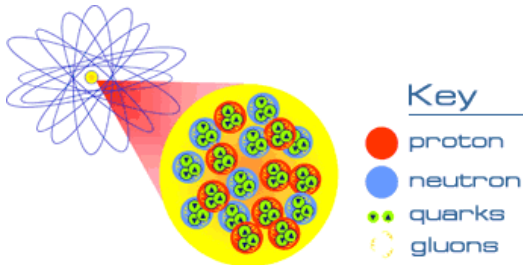
- 1 Motivação
- 2 Descrição das colisões nucleares relativísticas
- 3 Retrospectiva
- 4 Nossa contribuição
- 5 Conclusão

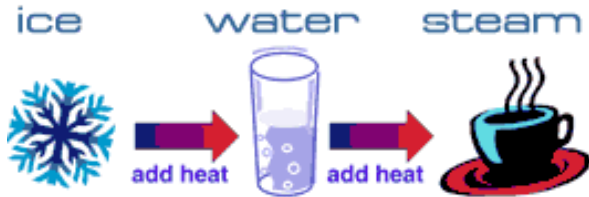
A hidrodinâmica tem muitas aplicações

- formação e propagação das ondas do mar,
- previsões de tempo,
- sustentação de aviões no ar,
- coalescência de buracos negros e outros objetos estelares,
- expansão do universo primordial,
- etc.

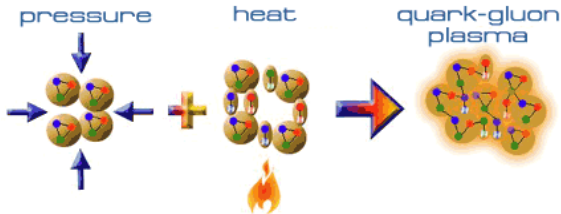
Em nosso caso...

- Previsão (meio dos 70's): existe **um novo estado da matéria, o Plasma de Quarks e Gluons ou QGP**





Aquecendo gelo temos água, aquecendo mais, vapor.



Aquecendo ou comprimindo nucleons, podemos ter um plasma de

- Previsão baseada na liberdade assintótica da QCD

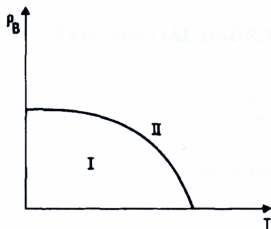


Prêmio Nobel de Física 2004: Gross, Politzer e Wilczek

A grandes densidades (Collins & Perry, Phys. Rev. Lett. 34 (1975) 1356) ou grandes temperaturas, **os quarks se tornam livres**

Volume 59B, number 1

PHYSICS



O primeiro (?) diagrama de fase para o QGP: Cabibo & Parisi, Phys. Lett. B59 (1975) 67

Esta previsão inspirou muitos esforços teóricos e experimentais no estudo das **colisões nucleares relativísticas**

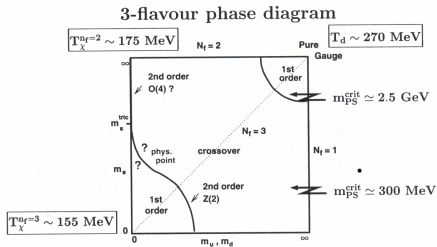
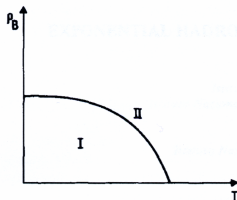
LADO EXPERIMENTAL:

Início	<i>Maquina</i>	<i>Energia do feixe GeV.A</i>	<i>Energia no CMS GeV.A</i>
1986	<i>AGS</i>	~ 15	~ 5
1986	<i>SPS</i>	~ 200	~ 20
2000	<i>RHIC</i>	-	~ 200
2008	<i>LHC</i>	-	~ 5500

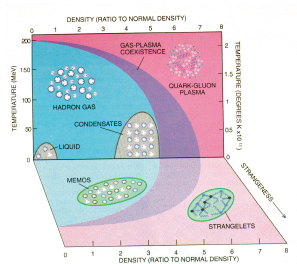
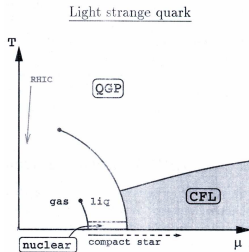
LADO TEÓRICO:

Volume 59B, number 1

PHYSICS



Versão antiga do diagrama de fase (esq.). Hoje, não sabemos se há transição de fase da 1a ordem, ou 2a, ou crossover(dir.)



Várias novas fases foram previstas: matéria de quarks supercondutora, condensados de Bose-Einstein, “strangelets”, “memos”

PORQUE TODO ESTE ESFORÇO?

- o QGP existiu no universo primordial,
- o QGP pode existir no centro das estrelas de neutrons (—> Sergio Duarte),
- podem existir estrelas de quarks, similares as estrelas de neutrons,
- podem existir estrelas de quarks formadas e matéria “estranha”,
- o QGP pode existir nos raios cômicos (ex. Centauro:—> Edison Shibuya),
- pode existir brevemente nas colisões nucleares relativísticas.

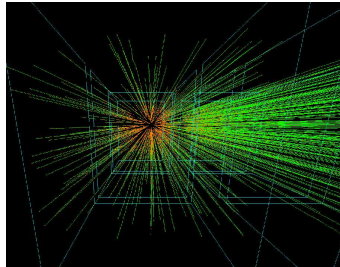
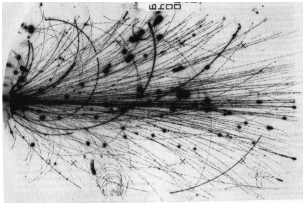
Precisamos conhecer as propriedades do QGP para entender o mundo aoredor de nos.

[Committee on the Physics of the Universe, National Research Council, “Eleven Science Questions for the New Century”: What Are the New States

O que é uma colisão nuclear relativística?

animação AuAu

Cada vez mais partículas são criadas:



AGS Au+Au	SPS		RHIC Au+Au
	S+S	Pb+Pb	
$h^- \sim 176$ EMU01	$h^- = 103 \pm 5$ NA35	$h^- \sim 680$ NA49	$N_{ch} = 4100 \pm 100 \pm 400$ Phobos@130 GeV

COMO DESCREVER AS COLISÕES NUCLEARES RELATIVÍSTICAS?

Modelos microscópicos: seguem cada parton ou nucleon que collide

vs.



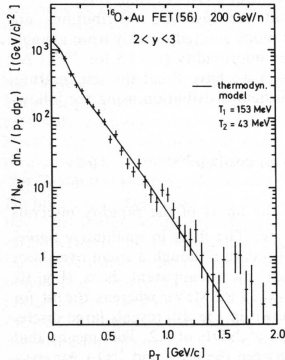
Modelos hidrodinâmicos (relativísticos): podem ser usados para descrever colisões a alta energia, Landau 1953

EM QUAIS MODELOS, OS EXPERIMENTALISTAS CONFIAVAM?

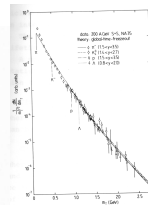
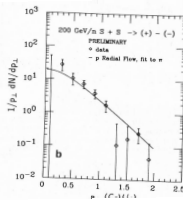
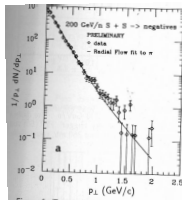
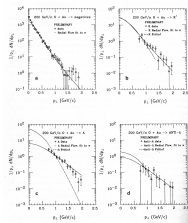
Uma boa ferramenta: as distribuições de momento transversal

Retrospectiva a partir das conferências “Quark matter”

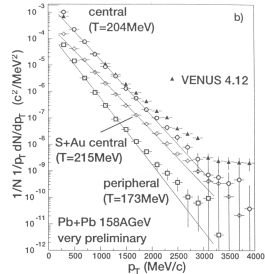
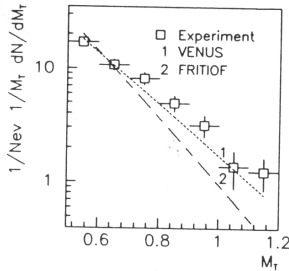
- O momento transversal ($= \perp$ feixe) era \sim zero inicialmente e aparece devido á colisão e expansão
- \Rightarrow “**distribuições de momento transversal**” dão informações sobre **temperatura e velocidade** do fluido no momento da emissão das partículas observadas
- Em geral, esta emissão é suposta repentina e chamada de **freeze out**.



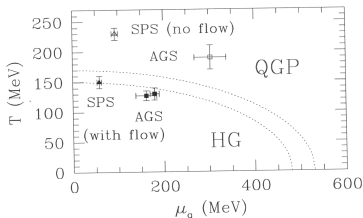
QM87 NA35: os primeiros resultados de O+Au são ajustados com o modelo térmico de 2 temperaturas. PORQUÊ?



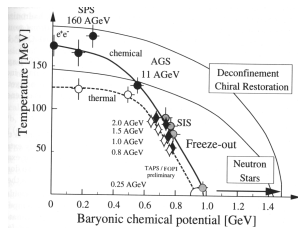
QM88 NA35: os resultados de O+Au e S+S são ajustados com uma parametrização tipo hidrodinâmica de Heinz mas não pelo modelo microscópico Fritiof. **QM90** Heinz: confirma e melhora.



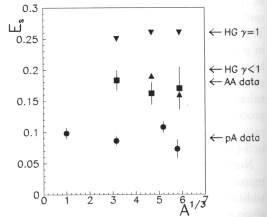
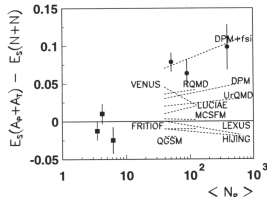
QM91 NA35: os resultados de S+S são ajustados com o modelo microscópico Venus **QM96** : WA80/WA98 os resultados de Pb+Pb são ajustados com o modelo microscópico Venus ou curvas tipo modelo térmico.



Note that, as discussed above, there is now evidence that, at SPS energy, thermal freeze-out happens at smaller temperature than chemical freeze-out.



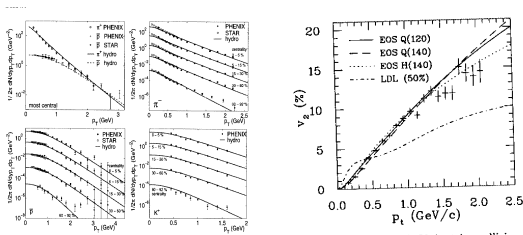
QM95 B. Müller: diagrama de fases com 1 só freeze-out. QM97 Heinz: diagrama de fases com freeze-outs químico e térmico. QM97 Braun-Munzinger.



objects even when they occur in isolation, and practically nothing about their interactions (or even their existence) in a dense environment. Any skeptical scientist must conclude that the application of these models to the early phase of a Pb+Pb collision at the SPS, is highly speculative. (these models =microscopical models)

Problemas para os modelos microscópicos: **QM97** G.Odyniec: os modelos microscópicos não conseguem reproduzir dados sobre estranheza e não-estranheza simultaneamente para p+p e A+B central, modelos térmicos sim. **QM99** B. Müller.

E com os dados do RHIC, como ficou a situação dos modelos hidrodinâmicos?



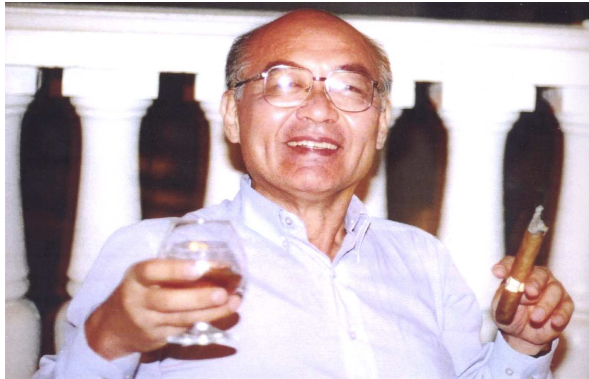
A hidrodinâmica com invariância de boost reproduz as distribuições de p_t .

QM01 STAR: ela **previu** os dados de fluxo elíptico. Os modelos microscópicos não funcionam.

Praticamente todos os dados do RHIC são reproduzidos pela hidrodinâmica.

O Brasil tem uma boa tradição na área da hidrodinâmica.

O Brasil tem uma boa tradição na área da hidrodinâmica.



Trabalhos pós início do SPS/AGS

1987: HBT com Sandra



- **HBT**: método para determinar as dimensões espaciais e temporal de uma fonte
- baseado na estimativa da probabilidade de detecção simultânea de 2 partículas

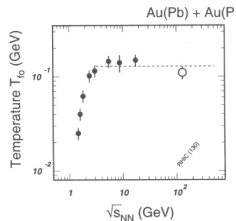
- meados 50: usado para estrelas
- 1960: usado para $p - \bar{p}$ (Goldhaber et al.)
- depois: usado para todo tipo de colisão
- 1987: QM87 primeiros dados de HBT para O+au
- 1987: doutorado de Sandra Padula: importância da expansão da fonte para HBT (Phys. Rev. D37 (1988) 3227).
Hoje isto é sempre incluído, na época, não.
- Sandra: pós-doutorado em Berkeley (ressonâncias), entrou no IFT e agora é a especialista brasileira sobre HBT.

1992: $T_{f.out}(\sqrt{s})$ com Fernando



- 1984: mestrado sobre hidrodinâmica de Fernando Navarra (Phys. Lett. B129 (1983) 251, Z. Phys. C26 (1984) 465).
- Fernando: doutorado em Märburg com Weiner em 1989, entrou na USP, trabalha sobre IGM, minijatos, J/ψ , pentaquarks, CGC, etc

- 1992: com Fernando, $T_{f.out}(\sqrt{s}) \searrow$ (Z. Phys. C53 (1992) 502)



QM01: Xu & Kaneta observam este efeito no RHIC nos também com SPhRIO, estudando kaons

1995: emissão contínua com Takeshi e Frédérique



- Modelo levando em conta que o “freeze out” é uma aproximação e a emissão é contínua (Phys. Lett. B355 (1995) 9; Z.Phys.C73 (1996) 153)
- Deu origem a muitos outros trabalhos: colaboração com L.Csernai, colaboração com Y. M. Y.Sinyukov, trabalhos com Otávio sobre produção de partículas estranhas, etc.
- Melhora as previsões de HBT no RHIC com SPheRIO.

1997: flutuações nas C.I. com Sâmya



- 1995: doutorado de Samya Paiva e trabalhos sobre flutuações em p-p (Phys. Rev. C55 (1997) 1455; Phys. Rev. Lett. 78 (1997) 3070)
- importância das flutuações nas condições iniciais para prever observáveis—> SPheRIO

2001: polarização dos hiperons com Celso



- mestrado (1995) e doutorado (2001) de Celso (Phys. Rev. C63 (2001) 1) sobre polarização de hiperons, inspirado por Y.Hama & T.Kodama (Phys. Rev. D48 (1993) 3116) onde parte da polarização dos (anti)hiperons vem da sua interação com o meio em expansão

2001: 2 “freeze outs” com Nelmara, Otavio e Frédérique



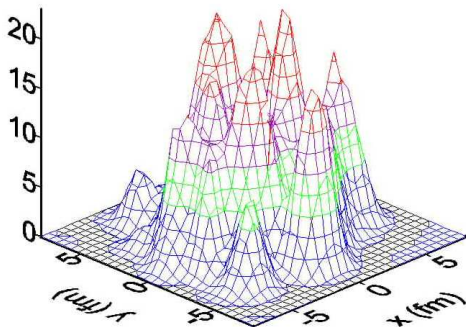
- Nelmara fez o mestrado com Carolina Nemes (1990), doutorado em Marburg com Weiner, posdoutorado com Yojiro
- Importância de incluir o efeito dos 2 freeze outs (químico e térmico) na hidrodinâmica (Phys. Rev.C64 (2001) 1). Primeiro artigo mostrando isto, mas seguido por vários outros (T.Hirano, D.Teaney).

2003: procura por soluções exatas

- Colaboração com T.Csörgo envolvendo (daquí) Yogyiro, Takeshi, (Phys. Rev. C 67 (2003) 1) e FG (Phys. Lett. B565 (2003) 107).

2001: início de SPheRIO

- Código baseado num método novo: **S**mooth **P**article **h**ydro **e**volution of **R**elativistic **I**ons
- Tem a característica de permitir incluir condições iniciais complicadas



- Primeira versão escrita por **T.Osada** principalmente (J. Phys. G27 (2001) 557)



- Muitas pessoas trabalham nele agora:
 - Otavio**, jovem pesquisador no ITA (HBT, emissão contínua, equação de estado com “crossover”
 - Rone**, mestrando no IFUSP (fluxo elíptico)
 - Wei-Liang**, posdoutorando no IFUSP (estranheza)
 - Arthur**, doutorando no IFUSP (CGC)
- tem boa aceitação: T.Kodama (QM2001), T.Hirano (QM2004), Y.Hama (QM2005)

- Existe um grande esforço no mundo para procurar o QGP em colisões nucleares relativísticas como as do RHIC.
- A hidronâmica se estabeleceu como uma ferramenta boa para descrever as colisões do RHIC.
- Graças a Yogi, tem no Brasil um grupo de hidrodinâmicos prestes a participar da busca.