

***EFFETTI DI DISSIPAZIONE INDOTTI
DA DINAMICHE FONDAMENTALI:
POSSIBILI TESTS SPERIMENTALI***

R. Floreanini

*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Trieste
Dipartimento di Fisica Teorica, Università di Trieste
Strada Costiera 11, 34014 Trieste, Italy*

*In collaborazione con: F. Benatti
M. Piani
R. Romano*

Son stati introdotti *diversi approcci* (più o meno fenomenologici) alla *teoria quantistica della gravità*

- *space-time foam*
 - *dimensioni extra*
 - *teorie fondamentali di oggetti estesi (stringhe, brane, ...)*
-

Inducono *decoerenza e dissipazione* a *bassa energia*:

- *space-time foam*:
le fluttuazioni quantistiche e la presenza di buchi neri virtuali a scale vicine a quella di Planck possono produrre fenomeni di *perdita di coerenza quantistica*
- *dimensioni extra*:
la perdita di energia sotto forma di gravitoni nel bulk può indurre *rumore* sul bordo a quattro dimensioni
- *oggetti estesi*:
a *bassa energia*, la loro dinamica può essere descritta da un *bagno termico*

MATRICE DENSITÀ

Gli *stati* di un *sistema quantistico* possono venir descritti in modo generale da *matrici densità*

$$\rho = \sum_m p_m |\psi_m\rangle \langle \psi_m|$$

p_m è la *probabilità* che il sistema si trovi in $|\psi_m\rangle$

$$p_m \geq 0 \qquad \sum_m p_m = 1$$

Ne segue che ρ è un operatore *hermitiano*, *definito positivo* e *normalizzato*

$$\rho \geq 0 \qquad \text{Tr}[\rho] = 1$$

Nel caso di un *sistema a due livelli*:

$$\rho = \begin{pmatrix} \rho_1 & \rho_3 \\ \rho_4 & \rho_2 \end{pmatrix}, \qquad \rho_4 = \rho_3^*$$

$$\rho_1 + \rho_2 = 1 \qquad \text{Det}[\rho] \geq 0$$

Il *valor medio* di un'osservabile \mathcal{O} è data da

$$\langle \mathcal{O} \rangle = \text{Tr}[\rho \mathcal{O}] = \sum_m p_m \langle \psi_m | \mathcal{O} | \psi_m \rangle$$

Se il sistema si trova in uno *stato puro*, l'operatore densità è un *proiettore*

$$\rho = |\Psi\rangle\langle\Psi| \quad \rho^2 = \rho$$

L'evoluzione temporale nella *rappresentazione di Schrödinger* è generata da

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho(t) = -i[H, \rho(t)]$$

e quindi

$$\rho(0) \mapsto \rho(t) = e^{-iHt} \rho(0) e^{iHt}$$

SISTEMI APERTI

Sono *sottosistemi* \mathcal{S} in interazione con un *ambiente esterno* \mathcal{E}

L'evoluzione temporale del *sistema globale* $\mathcal{S} + \mathcal{E}$ è realizzata da un *operatore unitario*:

$$U(t) = e^{-iH_{\text{tot}} t}$$

dove

$$H_{\text{tot}} = H_{\mathcal{S}} + H_{\mathcal{E}} + H'$$

La dinamica del sottosistema \mathcal{S} si ottiene eliminando i gradi di libertà dell'ambiente

$$\rho(0) \mapsto \rho(t) = \text{Tr}_{\mathcal{E}} \left[e^{-iH_{\text{tot}} t} \left(\rho(0) \otimes \rho_{\mathcal{E}} \right) e^{iH_{\text{tot}} t} \right]$$

ρ : *matrice densità* rappresentante lo stato di \mathcal{S}

$\rho_{\mathcal{E}}$: *matrice densità* rappresentante lo stato di \mathcal{E}

Quando l'interazione fra ambiente \mathcal{E} e sottosistema \mathcal{S} è *debole*, l'equazione di evoluzione per $\rho(t)$ assume una forma lineare

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho(t) = -i [H_{\text{eff}}, \rho(t)] + D[\rho(t)]$$

La dinamica di \mathcal{S} è descritta da *trasformazioni lineari* (*semigruppì dinamici*), soddisfacenti *proprietà fisiche* molto generali

- *composizione per tempi positivi* (proprietà di semigruppò)
- *aumento dell'entropia* (irreversibilità)
- *completa positività* (per consistenza fisica)

STIME DIMENSIONALI

I termini indotti dall'interazione con l'ambiente

$$\omega \equiv |H_{\text{eff}} - H_S| \quad \alpha \equiv |D|$$

sono in generale *molto piccoli*

$$\alpha \simeq \frac{E^2}{M_F}$$

dove E è *l'energia tipica del sistema* mentre M_F rappresenta *la scala caratteristica* dei processi fondamentali nell'ambiente

Nel caso di effetti dissipativi *indotti dalla gravità*

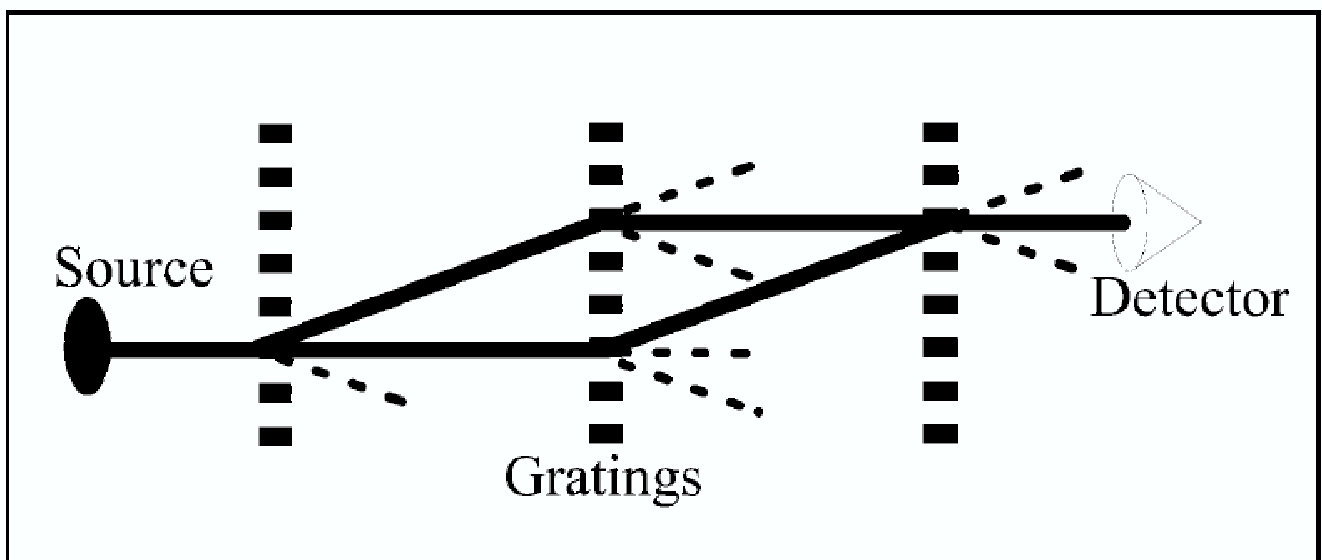
$$M_F \simeq M_P$$

e quindi

$$\alpha \simeq \left(\frac{E}{\text{GeV}} \right)^2 \times 10^{-19} \text{ GeV}$$

Gli effetti di *decoerenza* e *dissipazione* indotti a una *scala fondamentale* possono venir studiati mediante *interferometria* in:

- *mesoni neutri*
- *oscillazione dei neutrini*
- *propagazione di fotoni polarizzati*
- *propagazione di atomi*



MESONI K NEUTRI

Il *sistema* K^0 - \overline{K}^0 può essere descritto tramite uno spazio di Hilbert bidimensionale, con base:

$$|K^0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad |\overline{K}^0\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

L'evoluzione temporale $\rho(0) \rightarrow \rho(t)$ prende la forma di un *semigrupp*o dinamico

Le relative *osservabili* \mathcal{O} sono associate ai *decadimenti*: $K \rightarrow 2\pi$, $K \rightarrow 3\pi$, $K \rightarrow \pi l\nu$

I rispettivi *valori medi*

$$\langle \mathcal{O}(t) \rangle \equiv \text{Tr}[\rho(t) \mathcal{O}]$$

possono essere confrontati con i *dati sperimentali*, costruendo opportune *asimmetrie*

$$A(t) = \frac{\text{Tr}[\rho_{\overline{K}^0}(t) \mathcal{O}_{\bar{f}}] - [\rho_{K^0}(t) \mathcal{O}_f]}{\text{Tr}[\rho_{\overline{K}^0}(t) \mathcal{O}_{\bar{f}}] + [\rho_{K^0}(t) \mathcal{O}_f]}$$

Φ -FACTORIES

Il mesone ϕ ha *spin uno* e quindi il suo decadimento in due bosoni a *spin zero* produce uno *stato antisimmetrico*:

$$|\psi_A\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|K^0, -p\rangle \otimes |\overline{K^0}, p\rangle - |\overline{K^0}, -p\rangle \otimes |K^0, p\rangle \right)$$

La corrispondente matrice densità ρ_A ha dimensione quattro, e permette di valutare *medie congiunte*

$$\mathcal{P}(f_1, t_1; f_2, t_2) \equiv \text{Tr} \left[\left(\mathcal{O}_{f_1} \otimes \mathcal{O}_{f_2} \right) \rho_A(t_1, t_2) \right]$$

In *assenza di effetti dissipativi*

$$\mathcal{P}(f, t; f, t) \equiv 0$$

Il contributo dissipativo $D[\rho]$ dipende da sei parametri fenomenologici: a , b , c , α , β , γ

La probabilità di decadimento a *tre* pioni fornisce informazioni dirette sul parametro γ :

$$\mathcal{P}(\pi^+\pi^-\pi^0, t; \pi^+\pi^-\pi^0, t) \sim \frac{\gamma}{\Delta\Gamma} e^{-2t/\tau_L}$$

Analogamente, i rapporti di probabilità per *decadimenti semileptonici* risultano sensibili al parametro a :

$$\frac{\mathcal{P}(\ell^\pm, t; \ell^\pm, t)}{\mathcal{P}(\ell^\pm, t; \ell^\mp, t)} \sim 2 a t$$

$$a = (2.5 \pm 2.6) \times 10^{-17} \text{ GeV}$$

$$c = (0.7 \pm 1.2) \times 10^{-17} \text{ GeV}$$

$$\alpha = (1.8 \pm 4.4) \times 10^{-17} \text{ GeV}$$

$$\beta = (-0.7 \pm 1.3) \times 10^{-17} \text{ GeV}$$

$$\gamma = (0.1 \pm 22.0) \times 10^{-20} \text{ GeV}$$

INTERFEROMETRI ATOMICI

Gli stati che rappresentano i *due fasci* dentro l'interferometro possono venir presi come base nello spazio di Hilbert:

$$|\psi_u\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad |\psi_d\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

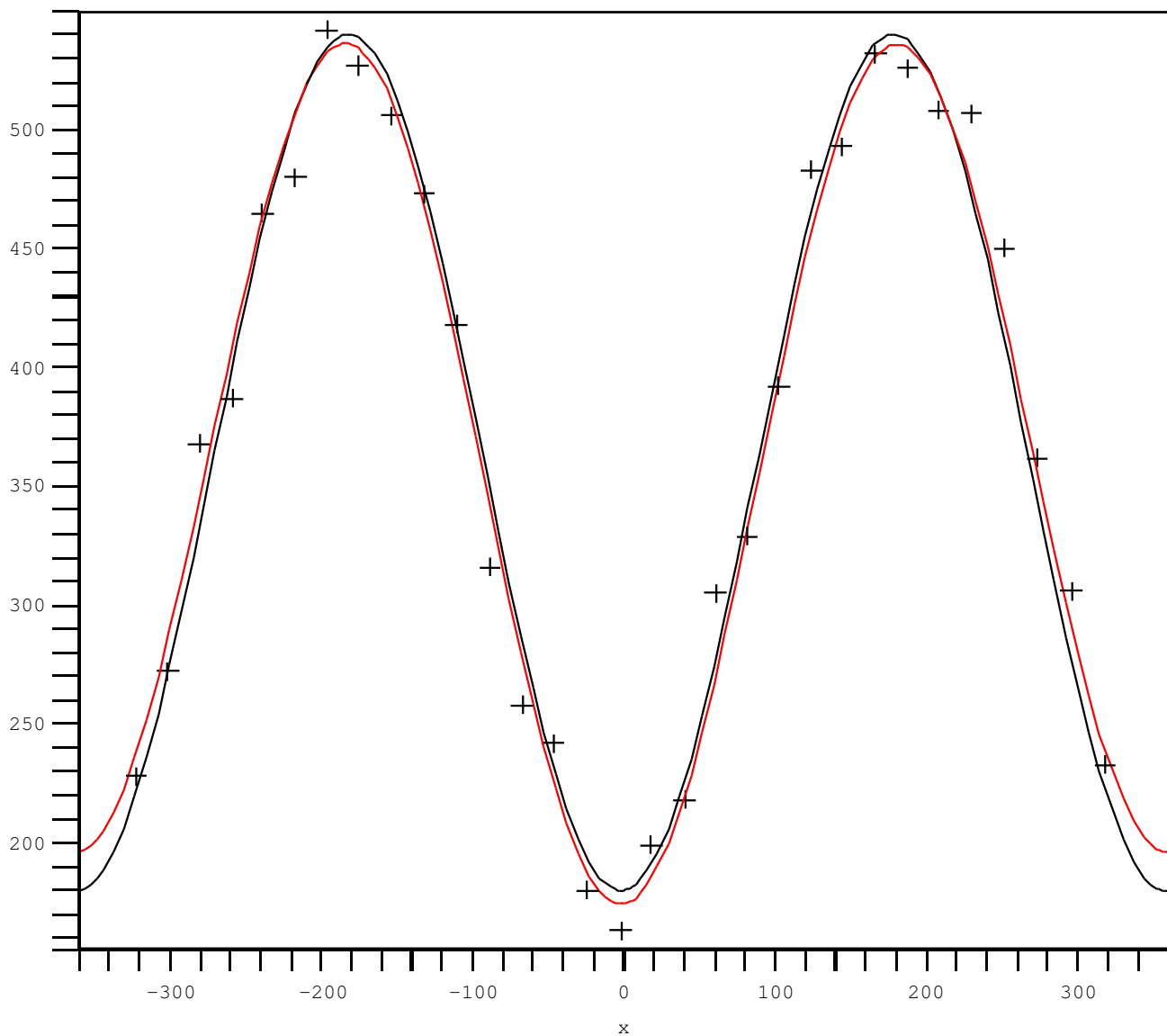
Dentro l'apparato, lo stato dell'*atomo* è descritto da una *matrice densità* ρ bidimensionale. In particolare, all'entrata dell'interferometro:

$$\rho(0) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

L'evoluzione nel tempo $\rho(0) \rightarrow \rho(t)$ è nuovamente dettata da un *semigruppò dinamico*

L'*intensità* del segnale all'uscita dell'interferometro:

$$I(t) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + e^{-2\alpha t} \cos(\theta - 2\omega t) \right\}$$



- + Dati sperimentali
- Fit standard
- Fit in presenza di dissipazione

IN BREVE

- La *dinamica fondamentale* a scale molto grandi (tipicamente la *scala di Planck*) produce a *basse energie* effetti di *decoerenza* e *dissipazione*
- Questi effetti possono venir descritti in modo *matematicamente preciso* e *fisicamente consistente* mediante *semigrupperi dinamici*
- L'accuratezza raggiunta dagli esperimenti di *interferometria* può permettere uno *studio diretto* di questi *fenomeni non-standard*