

# PROGETTI TESI LAUREA TRIENNALE

Ultimo aggiornamento: 06.2017

Questo documento contiene una lista (incompleta) di possibili progetti di tesi triennale con un taglio di fisica teorica ed, in particolare, nel campo della gravita', astrofisica teorica e fisica computazionale.

Gli studenti interessati alla tesi avranno inoltre la possibilita' di essere coinvolti nell'attivita' del gruppo di fisica teorica del dipartimento (<http://www.pr.infn.it/>) che include seminari, journal club ed attivita' di divulgazione.

Per ulteriori informazioni:

Sebastiano Bernuzzi ([sebastiano.bernuzzi@unipr.it](mailto:sebastiano.bernuzzi@unipr.it))

Tel: +39 0521 905214

<http://www.fis.unipr.it/~sebastiano.bernuzzi/>

## Onde gravitazionali da sistemi binari di buchi neri

Le onde gravitazionali sono una delle predizioni piu' intriganti della relativita' generale. Dopo anni di lavori teorici che ne hanno chiarito la rilevanza fisica e la conferma sperimentale data dalle osservazioni delle pulsars, sono state rilevate direttamente sulla terra nel 2015, esattamente un secolo dopo la loro Albert Einstein proposta. Il segnale rilevato dall'esperimento LIGO corrisponde a quello emesso durante la collisione di due buchi neri.

Questo progetto prevede il calcolo a leading order in teoria perturbativa (post-Newtoniana) della formula per le onde gravitazionali emesse da sistemi binari di oggetti compatti a distanze cosmologiche. Il progetto prevede un'introduzione generale ai principi della relativita' generale e delle equazioni rilevanti (non e' richiesta una preparazione specifica).

## Buchi neri e raggi di luce

La relativita' generale di Einstein predice che i raggi di luce abbiano traiettorie determinate dalla curvatura dello spaziotempo. Osservazioni della deflessione della luce da parte del Sole iniziarono con il famoso esperimento di Sir Arthur Eddington, durante l'eclisse totale del 29 Maggio 1919. Un buco nero e' uno spaziotempo con una gravita' estrema, il cui orizzonte degli eventi puo intrappolare anche la luce. Un buco nero e' la piu forte lente gravitazionale concepibile, e puo quindi alterare significativamente il percorso dei raggi di luce nelle sue vicinanze. (Si veda per esempi suggestivi le immagini astronomiche degli anelli di Einstein o del film "Interstellar").

Il progetto prevede il calcolo numerico del cammino dei raggi di luce in presenza di un buco nero e la produzione di immagini "deformate" dal campo gravitazionale del buco nero. Il progetto prevede un'introduzione generale ai principi della relativita' generale e delle equazioni rilevanti (non e' richiesta una preparazione specifica), lo studio di algoritmi di base per la risoluzione di ODE, e l'implementazione di un codice numerico.

## Soluzione numerica dell'equazione delle onde

I fenomeni ondulatori sono comuni in moltissimi campi della fisica, dall'elettromagnetismo alla meccanica quantistica e dei fluidi. In molte situazioni le equazioni alle derivate parziali (PDE) hanno un carattere nonlineare e la loro soluzione deve essere studiata con metodi numerici.

Il progetto prevede lo studio e l'implementazione di metodi numerici per l'equazione delle onde in una o piu dimensioni spaziali utilizzando moderni algoritmi in cui lo spazio e' discretizzato con un sistema di griglie.

## **Propagazione di particelle senza massa nell'intorno di oggetti compatti**

Secondo la teoria della relativita' generale di Einstein, una particella in prossimita' di un oggetto compatto (cioe', di una nana bianca, di una stella di neutroni o di un buco nero) segue traiettorie determinate dalla curvatura dello spaziotempo. La propagazione di particelle senza massa (o con una massa piccolissima) in prossimita' di oggetti compatti e' importante per svariati fenomeni astrofisici, tra cui la fisica dei dischi di accrescimento, la produzione di gamma-ray burst e l'espulsione di materia dopo il merger di stelle di neutroni.

Il progetto prevede il calcolo numerico delle traiettorie per fotoni e neutrini in prossimita' di oggetti compatti non ruotanti, e il confronto con un approccio approssimato, ma computazionalmente molto efficiente, al problema. Dopo un'introduzione generale ai principi della relativita' generale e alle equazioni rilevanti (non e' richiesta una preparazione specifica), il progetto si articola nello studio di algoritmi di base per la risoluzione numerica di integrali e di sistemi di equazioni non lineari, e nell'implementazione di un codice numerico.

Co-relatore: Albino Perego.

## **Thorne-Zytkow objects (TZOs)**

Un sistema binario di stelle formato da una stella di neutroni e una stella massiva espansa (gigante rossa) puo' dare origine ad uno degli oggetti piu' esotici dell'Universo: un Thorne-Zytkow objects (TZOs). La stella di neutroni si posiziona nel centro della stella espansa e ne influenza l'evoluzione e il collasso. Il fatto di questi oggetti e' ancora poco conosciuto, ma la loro presenza e' pressoché certa e numerosa.

In questo progetto si prevede di studiare le proprieta' dei Thorne-Zytkow objects partendo dalla letteratura nota e di esplorare possibili configurazioni di equilibrio per il sistema formato dalla stella di neutroni contornata dalla stella massiva, secondo le equazioni della relativita' generale. Questo studio prevede la soluzione numerica di ODE attraverso i metodi numerici piu' diffusi ed utilizzati in ambito scientifico. Un'introduzione ai principi teorici necessari e alle equazioni rilevanti sara' fornita all'inizio del progetto.

Co-relatore: Albino Perego.

## **Struttura interna e relazione massa-raggio per stelle di neutroni con equazioni di stato microfisiche**

Secondo la teoria della relativita' generale, la struttura interna di una stella di neutroni e' determinata dalla curvatura dello spaziotempo che la distribuzione stessa di materia della stella determina. Un ruolo fondamentale nella soluzione consistente di questo problema e' svolto dalle proprieta' microfisiche della materia, che fissano la densita' di energia e la pressione in funzione della densita' di materia.

In questo progetto si vuole studiare la struttura interna delle stelle di neutroni al variare dell'equazione di stato microfisica. Questo studio prevede la soluzione numerica di ODE attraverso i metodi numerici piu' diffusi ed utilizzati in ambito scientifico. Un'introduzione ai principi teorici necessari e alle equazioni rilevanti sara' fornita all'inizio del progetto.

Co-relatore: Albino Perego.

## **La profondita' ottica dei neutrini in materia densa e calda**

I neutrini sono particelle estremamente elusive che viaggiano a velocita' prossime a quella della luce e che interagiscono molto debolmente con la materia. Questo significa che la gran parte dell'Universo e' completamente trasparente ad essi. Tuttavia, in presenza di materia densa e calda (come, per esempio, nelle core-collapse supernovae o nelle collisioni di stelle di neutroni), anche i neutrini possono essere intrappolati e propagare lentamente per diffusione. La profondita' ottica e' una grandezza chiave che misura il grado di (non) trasparenza della materia ai neutrini.

In questo progetto si vuole studiare come la profondita' ottica dipende dall'energia dei neutrini e come sia possibile scrivere una parametrizzazione di questa grandezza rispetto a tale energia. Una tale parametrizzazione sarebbe di grande rilievo in simulazioni numeriche che utilizzano la profondita' ottica per studiare il fenomeno del trasporto radiativo di energia. Il progetto prevede l'utilizzo di tecniche di base di interpolazione numerica. I concetti fondamentali e le equazioni chiave saranno forniti all'inizio del progetto.

Co-relatore: Albino Perego.

## **Equazione di stato per un gas ideale di Fermioni massivi**

In molti contesti astrofisici la conoscenza delle proprieta' termodinamiche della materia e' di primaria importanza per lo studio della dinamica dei suddetti fenomeni. Il gas ideale di Fermioni e' un ottimo modello per descrivere le proprieta' di particelle elementari, quali gli elettroni e i muoni, in materia calda e densa.

In questo progetto si calcolera' l'equazione di stato per un gas di Fermioni massivi, con livello di degenerazione e di grado di relativita' arbitrari, con particolare interesse per un gas formato da un misto di elettroni e di muoni. I concetti necessari di termodinamica e di teoria delle particelle elementari saranno forniti all'inizio del progetto.

Co-relatore: Albino Perego.