



Université de Corse-Pascal Paoli
École Doctorale Environnement et Société
UMR CNRS 6134 (SPE)



Thèse présentée pour l'obtention du grade de

DOCTEUR EN PHYSIQUE

Mention : **Constituants élémentaires**

Soutenue publiquement par

Mohamed OULD EL HADJ

le : 20/07/2016

Rayonnement des trous noirs en interaction avec des champs bosoniques massifs

Directeurs :

M Antoine FOLACCI, Professeur, Université de Corse

M Yves DECANINI, Professeur, Université de Corse

Rapporteurs :

Mme Nathalie DERUELLE, Directrice de recherche au CNRS, Université Paris 7

M Mikhail VOLKOV, Professeur, Université de Tours

Jury :

M Luc BLANCHET, Directeur de recherche au CNRS, Université de Paris 6

M Yves DECANINI, Professeur, Université de Corse

Mme Nathalie DERUELLE, Directrice de recherche au CNRS, Université Paris 7

M Antoine FOLACCI, Professeur, Université de Corse

M Mikhail VOLKOV, Professeur, Université de Tours

Rayonnement des trous noirs en interaction avec des champs bosoniques massifs

Résumé :

Cette thèse porte sur le rayonnement des trous noirs en interaction avec des champs bosoniques massifs (champ scalaire, champ électromagnétique de Proca et champ des gravitons de Fierz-Pauli). Nous avons étudié plus particulièrement l'influence du spectre des résonances (quasi-normales ou quasi-liées) sur la réponse du trou noir à une perturbation extérieure. Ce travail est un premier pas pour mettre en évidence des effets nouveaux dans le rayonnement des trous noirs supermassifs qui permettraient de tester les théories de gravité massive ou de trancher en faveur de la relativité générale d'Einstein.

Plus précisément :

- Afin de contourner les nombreuses difficultés liées aux théories de gravité massive et à leurs perturbations en présence de trous noirs, nous avons d'abord travaillé sur un modèle où le champ des gravitons est remplacé par un champ scalaire massif couplé linéairement à une "particule" plongeant dans le trou noir de Schwarzschild. Nous avons étudié l'influence de la masse du champ sur la structure des réponses du trou noir et comparé nos résultats à ceux du champ non massif. Nous avons mis en évidence des effets nouveaux dus au paramètre de masse comme l'excitation des modes quasi-liés du trou noir en plus de celle de ses modes quasi-normaux ainsi que l'effondrement de la forme d'onde lorsque la particule se déplace sur une trajectoire quasi-circulaire.

- Nous nous sommes ensuite intéressés à l'excitation des modes quasi-normaux du trou noir de Schwarzschild parce que, d'un point de vue observationnel, ils sont censés fournir une preuve directe de l'existence des trous noirs. Nous avons montré numériquement et analytiquement la présence d'un comportement résonant de leurs facteurs d'excitation qui, théoriquement, devrait induire des sonneries d'amplitude géante et à faible décroissance temporelle. Ce comportement a été mis en évidence sur le champ de Fierz-Pauli et nous l'avons généralisé aux autres champs bosoniques (scalaire et de Proca). Cependant, en travaillant sur un problème de Cauchy, nous avons aussi montré que, contrairement à ce qui se passe pour les champs non-massifs, la sonnerie quasi-normale ne peut être clairement individualisée sur une forme d'onde et que son caractère géant est même neutralisé du fait de la coexistence de deux phénomènes : (i) l'excitation des modes quasi-liés qui floutent la contribution des modes quasi-normaux et (ii) la nature évanescence des modes partiels particuliers supposés exciter les modes quasi-normaux dont le facteur d'excitation a un comportement résonant.

Mots clés : Rayonnement des trous noirs, champs bosoniques massifs, modes quasi-normaux, modes quasi-liés, formes d'ondes.

Radiation from black holes interacting with massive bosonic fields

Abstract:

This thesis focuses on the radiation from black holes interacting with massive bosonic fields (the scalar, Proca and Fierz-Pauli fields). We studied more particularly the influence of resonances spectrum (quasinormal modes or quasibound states) on the response of the black hole to an external perturbation. This work is the first step to highlight new effects in the radiation from supermassive black holes which could allow us to test the various massive gravity theories or to further support Einstein's general relativity.

More precisely:

- In order to circumvent the numerous difficulties associated with massive gravity theories and black hole perturbation in this context, we worked at first on a toy model where the graviton field is replaced by a massive scalar field linearly coupled to a particle plunging into the Schwarzschild black hole. We studied the role of the field mass on the structure of the black hole responses and compared our results with those obtained for the massless field. We highlighted unexpected effects due to the mass parameter and in particular the excitation of the quasibound states of the black hole in addition to that of its quasinormal modes as well as the possible vanishing of the waveform when the particle moves on a quasi-circular trajectory.

- We also considered the excitation of quasinormal modes of the Schwarzschild black hole because, from an observational point of view, they are supposed to provide a direct proof of the existence of the black holes. We have shown numerically and analytically the presence of a resonant behaviour of the quasinormal excitation factors which, theoretically, could lead to giant and slowly decaying ringings. This behaviour has been highlighted on the Fierz-Pauli field and we have generalized it to the other bosonic fields (the scalar and Proca fields). However, by working on a Cauchy problem, we also showed that, contrary to what occurs for massless fields, the quasinormal ringing cannot be clearly individualized on a waveform and its giant character is in fact neutralized due to the coexistence of two phenomena (i) the excitation of quasibound states which blur the quasinormal contribution and (ii) the evanescent nature of the particular partial modes which could excite the quasinormal modes whose excitation factor has a resonant behaviour.

Keywords: Radiation of black holes, massive bosonic fields, quasinormal modes, quasibound states, waveforms.

Riassuntu pà u cummunu :

Pozzi neri è ondi gravitazionali : al di là di a relatività generale ?

A relatività generale, sta teoria geometrica di u spaziu-tempu è di a gravitazione cuncipita da Einstein tra u 1907 è u 1915, hè unu di i dui pilastri chì sustenani a fisica moderna. Hà rimpiazzatu a vechja teoria di Newton chì cunsiderava (i) a gravitazione cume un'azione à distanza tra i corpi massivi è (ii) i cuncetti di tempu è di spaziu cume spiccati è assoluti. A relatività generale ci hà dattu l'attrazzi pà descrive u nostru Universu à largu è ci hà permessu di cunsiderà a so storia da u so principiu (u Big-Bang) à oghje, ma hè ancu à l'origine di successi tecnulogichi cume u GPS.

A relatività generale ci pare una teoria matematica è fisica veramente sicura ma, da una vintina d'anni, unipochi d'osservazioni cusmolugichi ci purtani à pinsà che, in fattu, ùn capiscimu micca a natura di l'energia rispunsevule di l'allarghera di l'Universu è chì ùn sapemu mancu descrive a maiò parte di u so cuntinutu materiale. E oghje, sò numarosi i fisici chì stimani nicissariu d'andà al di là di a teoria di Einstein è chì pruponani teorii alternativi di u spaziu-tempu è di a gravitazione.

Trè mesi fà, una spirienza americana principiata à l'intrata di l'anni 1990 è chì mubilizeghja guasgi una millaia di fisici americani è auropei hà permessu di cunfirmà dui di i predizioni i più straordinarii di a relatività generale : l'esistenza d'ondi gravitazionali (sò infimi vibrazioni di u spaziu-tempu chì prupagani a gravitazione) è di i pozzi neri (sò ogetti astrufisichi densi chì imprighjuneghjani a luce è tuttu ciò chì falà in drentu).

U nostru travagliu tratta di l'emissione d'ondi gravitazionali pà un pozzu neru quand'ellu inghjotta un astru cumpattu è di i caratteristichi di u segnale pruduttu. Ci simu soprattutto interessati à i mudificazioni di stu segnale pà certi teorii alternativi à quella di Einstein chì supponani una massa chjuca chjuca pà a particella quantistica chì trasmetta a gravità. Avemu missu in evidenza, à u pianu teoricu, qualchi mudificazioni di u segnale gravitazionale. Spiremu che da qui à una quindicina d'anni, incu u sviluppu di a tecnulugia, sara pussibile di mette à a prova i nostri risultati. Tandù, l'osservazioni permetterani di favurisce i teorii di gravità massiva o di validà a relatività generale di Einstein.