



Figura 1: Esempio di bounce solution. Come si può osservare, il centro dell'istantone, $\phi(0)$ è maggiore di qualsiasi altro valore $\phi(x)$

massivi di quelli considerati, possano effettivamente fornire un meccanismo di stabilizzazione. Per quanto riguarda il caso inerente all'introduzione di Nuova Fisica alla scala di Planck, nel range di masse esplorato, nessuno dei risultati ottenuti è stato alterato. Ciò è attribuibile, come si può notare in figura, che il valore del centro dell'istantone $\phi(0)$ è maggiore di qualsiasi altro valore $\phi(x)$. Avendo ottenuto valori di $\phi(0)$ estremamente piccoli nel range di masse esplorato (vedere tabella), visto e considerato che la Nuova Fisica viene parametrizzata, alla scala di Planck dagli operatori $\frac{\phi^6(x)}{M_P^2}$ e $\frac{\phi^8(x)}{M_P^4}$, tali interazioni non possono portare alcun contributo significativo al caso in cui la Nuova Fisica sia assente. I risultati ottenuti, sono sintetizzati nella tabella sottostante.

Conclusioni

I risultati appena presentati ci permettono di trarre delle conclusioni che supportano la linea di ricerca seguita durante lo svolgimento di questo progetto di tesi. Innanzitutto, avendo visto che il contributo dominante al rate di transizione proviene proprio da regioni immediatamente prossime all'orizzonte degli eventi, regioni in cui (come è già stato accenato nell'introduzione) lo spazio-tempo assume geometrie simili a quella del cono, ci si propone in eventuali progetti di ricerca futuri di sviluppare un metodo che consenta di trattare in maniera efficiente l'integrazione del-

$\frac{\mu}{M_P}$	$\frac{M_+}{M_P}$	$\frac{\tau}{T_u}$	$\phi(0) \times 10^8$
10^{-5}	$1,14 \times 10^{-5}$	$7,25 \times 10^{-61}$	1,96
10^{-4}	$1,01 \times 10^{-4}$	$2,09 \times 10^{-60}$	1,96
10^{-3}	$1,00 \times 10^{-3}$	$6,55 \times 10^{-60}$	1,96
10^{-2}	$1,00 \times 10^{-2}$	$2,07 \times 10^{-59}$	1,96
10^{-1}	$1,00 \times 10^{-1}$	$6,55 \times 10^{-59}$	1,96
10^0	$1,00 \times 10^0$	$2,07 \times 10^{-56}$	1,96
10^1	$1,00 \times 10^1$	$6,55 \times 10^{-58}$	1,96
10^2	$1,00 \times 10^2$	$2,07 \times 10^{-57}$	1,96
10^3	$1,00 \times 10^3$	$6,56 \times 10^{-57}$	1,96
10^4	$1,00 \times 10^4$	$2,10 \times 10^{-56}$	1,96
10^5	$1,00 \times 10^5$	$7,58 \times 10^{-56}$	1,96
10^6	$1,00 \times 10^6$	$8,94 \times 10^{-55}$	1,97
10^7	$1,00 \times 10^7$	$1,28 \times 10^{-48}$	2,00
10^8	$1,00 \times 10^8$	166,61	2,69

le funzioni che caratterizzano il sistema fisico preso in esame, in modo tale da estrarre il corretto contenuto fisico previsto dalla teoria. Per quanto riguarda i risultati numerici presentati, la transizione osservata tra $10^7 M_P$ e $10^8 M_P$ attesta che il modello da noi studiato è particolarmente sensibile in questa regione, suggerendoci, tuttavia, che all'aumentare della massa del buco nero si potrebbe effettivamente scoprire che tali oggetti forniscano un meccanismo di stabilizzazione per il vuoto elettrodebole.



UNIVERSITÀ
degli STUDI
di CATANIA

Dipartimento
di Fisica
e Astronomia
"Ettore Majorana"



CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN FISICA

GIUSEPPE SAYA

BLACK HOLES AND STABILITY OF THE
ELECTROWEAK VACUUM

TESI DI LAUREA

RELATORE:
CHIAR.MO PROF. V. BRANCHINA

ANNO ACCADEMICO 2019/2020

Abstract

Lo scopo principale di questo elaborato è di studiare l'impatto che la presenza di buchi neri può avere sulla condizione di stabilità dello stato in cui si trova il nostro Universo. Tutti i sistemi fisici, incluso il nostro Universo, tendono a raggiungere lo stato di più bassa energia ad essi permesso. Se non intervengono perturbazioni, il sistema si stabilizza in tale stato e vi permane. Tuttavia, le forze che governano la dinamica del sistema possono talvolta condurlo verso uno stato di più alta energia nel quale il sistema può rimanere anche per molto tempo prima di decadere nello stato di minima energia. Quando questo si verifica, lo stato in questione viene detto metastabile. Per quel che riguarda il nostro Universo, il cosiddetto "Modello Standard" della fisica delle particelle prevede che l'Universo si trovi in uno stato metastabile (gergalmente detto stato di "falso vuoto") che dovrebbe decadere nello stato di minima energia ("vero vuoto" o ground state) in un intervallo di tempo che supera grandemente l'età dello stesso Universo. Fino a non molto tempo fa, i fisici teorici che da diversi decenni si occupano di questo problema, si erano trovati concordi nel ritenere che la presenza di Nuova Fisica, a scale di energia molto grandi, non potesse avere alcun impatto sulla condizione di stabilità dell'Universo e, dunque, non potesse mutare la conclusione che l'Universo si trova in un "falso vuoto" ma con una vita media estremamente lunga se confrontata con l'età dell'Universo. Lavori recenti, hanno mostrato che così non è. Nuove forze (che in gergo vengono genericamente indicate come "Nuova Fisica") anche quando vivono a scale di energia molto alte (prossime alla scala di Planck) possono avere un enorme impatto sulla vita media del "falso vuoto", e potrebbero addirittura rendere il tasso di decadimento talmente elevato da renderne la vita media estremamente corta, più corta dell'età dell'Universo. In questo contesto, si è successivamente visto che, quando si tiene conto della presenza della gravità, l'effetto di destabilizzazione è minore. In gergo si dice che la gravità realizza un quencing. Si è visto che questo si realizza quando il sistema è immerso in un campo gravitazionale di debole intensità. Viene dunque naturale porsi la domanda relativa alla presenza di un campo gravitazionale di grande intensità. Come reagisce in questo caso il sistema, ovvero il nostro Universo? Lo scopo principale del seguente lavoro di tesi scaturisce appunto da questa domanda. In alcuni studi recenti si è iniziato a in-

vestigare questo problema, anche se ancora molte questioni restano aperte. Più precisamente, in tali lavori si è considerato il decadimento del "falso vuoto" in presenza di cosiddetti mini black holes e si è visto che all'interno di un certo range di masse dei black holes, che va da circa 10^6 a 10^8 masse di Planck, la presenza di questi black holes favorisce grandemente il decadimento.

Obiettivi

L'oggetto principale del lavoro in questione è stato esaminare, prima di tutto, cosa succede in range di masse più ampio rispetto a quello accennato nell'abstract, sia in assenza che in presenza di Nuova Fisica. Inoltre, a causa della enorme distorsione che un buco nero genera nello spazio-tempo, nelle immediate vicinanze dell'orizzonte degli eventi, la geometria spaziotemporale viene modificata al punto che essa diventa in tutto simile alla geometria di un cono, la cui caratteristica importante per i nostri scopi è quella di possedere un "vertice", una sorta di "punta", di "singolarità". Dal punto di vista tecnico, la difficoltà da superare consiste nel trovare la maniera corretta di effettuare l'integrazione delle appropriate funzioni su una tale superficie. Dal punto di vista fisico, salta fuori che il contributo dominante al rate di transizione a cui siamo interessati proviene proprio dalle immediate vicinanze dell'orizzonte degli eventi e, dunque dalle immediate vicinanze di questa singolarità. Da un punto di vista fisico, invece, definire la corretta procedura limite che permette di integrare correttamente attraverso tali superfici, è estremamente importante, in quanto il contributo dominante al rate di transizione associato al decadimento dallo stato di falso vuoto a quello di vero vuoto proviene esattamente da regioni immediatamente prossime all'orizzonte degli eventi e, quindi, in prossimità della singolarità geometrica sopra descritta. Ultimo, ma non meno importante, degli obiettivi di tale lavoro, è quello di vedere se la presenza di "Nuova Fisica" contribuisca o meno alla condizione di stabilità del vuoto elettrodebole.

Tecniche utilizzate

Per condurre l'analisi di stabilità del vuoto elettrodebole in presenza di buchi neri sono state utilizzate sia tecniche di

tipo analitico, che tecniche di tipo numerico. Da un punto di vista analitico, i fenomeni di vacuum decay, e questo non fa eccezione, vengono trattati facendo utilizzo degli istantoni, ovvero soluzioni di equazioni del moto che provengono dalla variazione dell'azione euclidea, ottenuta tramite un prolungamento analitico della coordinata temporale minkowskiana, il quale rende la segnatura dello spazio-tempo che si prende in considerazione del tutto simile a quella di uno spazio euclideo. Una volta ottenute tali equazioni del moto, è possibile calcolare il rate di decadimento. Tuttavia, in generale, la struttura di tali equazioni è talmente complicata che rende impossibile risolverle analiticamente. Nel caso studiato in questo elaborato, per risolvere tali equazioni è stato utilizzato un metodo numerico noto come *shooting method*, che permette di trasformare un problema ai valori al contorno, in un problema ai valori iniziali. Nella pratica, si sceglie una condizione iniziale di prova e si risolve il sistema di equazioni differenziali in questione. Nel caso in cui la soluzione corrispondente alla condizione iniziale scelta sia compatibile con le condizioni al contorno imposte dal problema, allora la soluzione sarà quella cercata, altrimenti il processo va iterato un numero necessario di volte (ma non definito a priori) affinché ciò si verifichi.

Risultati

In questo lavoro di ricerca sono stati separatamente studiati due casi relativi al contributo che il forte campo gravitazionale generato da un buco nero può dare al rate di transizione $\phi_T \rightarrow \phi_F$. Il primo riguarda la sola presenza del campo gravitazionale generato dal black hole. Il secondo, include la presenza di Nuova Fisica alla scala di Planck. Tale Nuova Fisica, nel nostro modello, è stata parametrizzata introducendo nel potenziale efficace del modello standard due operatori di potenze superiori all'usuale operatore associato al campo di Higgs, ϕ^4 , nello specifico ϕ^6 e ϕ^8 . Per quanto riguarda l'analisi del primo caso, in assenza di Nuova Fisica, è stato trovato che la presenza di buchi neri, in un range di masse esplorate $[10^{-5}, 10^7]M_P$ destabilizza estremamente il vuoto elettrodebole, rendendone la vita media estremamente minore della vita dell'Universo. Tuttavia, muovendosi di un ordine di grandezza, ovvero spostandosi da 10^7M_P a 10^8M_P è stato visto come tale vita media cresce di circa 50 ordini di grandezza, suggerendo, quindi, che buchi neri più