



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo
Galilei”

Corso di Laurea in Fisica

Tesi di Laurea

La formazione delle caustiche nella struttura su grande scala dell’Universo

Relatore: Sabino Matarrese
sandro Bianchetti

Laureando: Ales-

Anno Accademico 2019/2020

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Indice

1	Capitolo Uno	4
1.1	Parte prima	4
1.2	Parte seconda	5
2	Capitolo Due	6
2.1	Parte prima	6
2.2	Parte seconda	7

Introduzione

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Capitolo 1

Capitolo Uno

1.1 Parte prima

Le singolarità sono una caratteristica essenziale di molte discipline, e hanno talvolta conseguenze drammatiche sul modello matematico...

In cosmologia, le caustiche sono i processi fondanti della formazione delle strutture cosmologiche su larga scala. Queste corrispondono ai punti presso i quali la densità risulta localmente infinita e sono i prodotti del cosiddetto *shell-crossing*, che si verifica all'incrociarsi delle traiettorie delle particelle di CDM, e corrispondono dunque alle singolarità matematiche che emergono naturalmente nel trattare il problema con la dinamica gravitazione Newtoniana. In particolare con al primo shell-crossing le particelle si spostano dal regime di *single-stream* a quello di *multistreaming*, dove le orbite particellari si intersecano e i fenomeni di shell-crossing si moltiplicano, determinando il diramarsi dei flussi.

Nel regime di single-stream l'approssimazione di Zel'dovich è opportuna, in quanto costituisce un modello non accelerato dove le particelle procedono imperturbate e a velocità costante (quale velocità, comovente?). Tuttavia non appena entriamo in multistreaming l'approssimazione perde di validità, in quanto non prevede effetti di accelerazione gravitazionale.

Muoviamo innanzitutto dal modello cosmologico Einstein-De Sitter, che pone la curvatura dell'universo e la costante cosmologica Λ pari a 0 e prevede uno spazio composto sostanzialmente di CDM. In tale cornice definiamo una mappa Lagrangiana $q \mapsto x(q, \tau)$ che connette la posizione iniziale alla posizione corrente x al tempo comovente $\tau \propto t^{\frac{2}{3}}$. Inoltre le coordinate x sono coordinate comoventi legate alle coordinate fisiche r dalla relazione $x = r/a$, dove a rappresenta il fattore cosmico di scala, che corrisponde a τ in un universo EdS. Definiamo infine le velocità $\mathbf{v} = a\dot{\mathbf{x}}$ e $\mathbf{w} = \dot{\mathbf{r}} = H\mathbf{r} + \mathbf{v}$

Adottiamo la descrizione Newtoniana di un fluido di materia oscura fredda autogravitante: in particolare sposiamo l'ipotesi di entropia costante e di assenza di termini di pressione dal momento che trattiamo la CDM come una polvere non collidente. Il set di equazioni opportuno è dato da

$$\left. \frac{\partial \rho}{\partial t} \right|_{\mathbf{r}} + \nabla_{\mathbf{r}}(\rho \mathbf{w}) = 0 \quad (1.1)$$

$$\left. \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial t} \right|_{\mathbf{r}} + (\mathbf{w} \cdot \nabla_{\mathbf{r}}) \mathbf{w} = -\nabla_{\mathbf{r}} \Phi \quad (1.2)$$

$$\nabla_{\mathbf{r}}^2 \Phi = 4\pi G \rho \quad (1.3)$$

dove la 1.1 è l'equazione di continuità che costituisce la conservazione della massa, la 1.2 è l'equazione di Eulero e viene dalla conservazione del momento, mentre la 1.3 rappresenta l'equazione di Poisson relativa al potenziale gravitazionale Φ . Poniamo inoltre $\rho = \rho_b + \delta\rho$, dove ρ_b è la densità media di background e $\delta\rho$ costituisce una deviazione da tale valore medio. $\Phi = \Phi_b + \phi$ invece è la somma di un potenziale di background e un potenziale peculiare ϕ . Grazie a queste due apposizioni possiamo separare l'equazione di Poisson, ottenendo un'equazione nella sola coordinata comovente \mathbf{x} . Possiamo riscrivere anche 1.2 e 1.3 nelle coordinate \mathbf{x} , usando la relazione

$$\left. \frac{\partial}{\partial t} \right|_{\mathbf{x}} = \left. \frac{\partial}{\partial t} \right|_{\mathbf{r}} + H(\mathbf{r} \cdot \nabla_{\mathbf{r}}) \quad (1.4)$$

Si ricava dunque

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + 3H\rho + \frac{1}{2}\nabla_{\mathbf{x}}(\rho\mathbf{v}) \quad (1.5)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + H\mathbf{v} + \frac{1}{a}(\mathbf{v} \cdot \nabla_{\mathbf{x}})\mathbf{v} = -\frac{1}{a}\nabla_{\mathbf{x}}\phi \quad (1.6)$$

$$\nabla_{\mathbf{x}}^2 \phi = 4\pi G \delta\rho \quad (1.7)$$

A questo punto operiamo un cambio di variabili

1.2 Parte seconda

Nella presente trattazione si fa uso di coordinate Lagrangiane per impostare la descrizione di dell'instabilità gravitazionale: in tale cornice l'approssimazione di Zel'dovich rappresenta lo sviluppo all'ordine zero delle equazioni della fluidodinamica in regime di single-stream. Tuttavia gli effetti gravitazionali che emergono con il multistreaming non sono descrivibili nemmeno utilizzando ordini superiori della teoria perturbativa lagrangiana, dal momento che le equazioni del fluido cessano di essere valide al primo shell-crossing. Pertanto la dinamica della CMD è basata unicamente sull'equazione di Vlasov, che sappiamo corretta ma di difficile risoluzione. Occorre quindi una teoria che risolva tale equazione, identificandone in particolare le singolarità matematiche. Per la risoluzione assumiamo un universo unidimensionale: questa assunzione si può giustificare sulla base del fatto che in effetti anche in tre dimensioni i fenomeni di shell-crossing hanno origine unidimensionale con la formazione dei pancakes (cosa sono, come si legano alle caustiche?...)

Tuttavia l'analisi offerta sarà facilmente estendibile a più dimensioni.

Capitolo 2

Capitolo Due

2.1 Parte prima

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

2.2 Parte seconda

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Conclusioni

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.