Bari Theory Xmas Workshop 2016
December 22nd, 2016

Weak lensing and CMB: beyond Born approximation

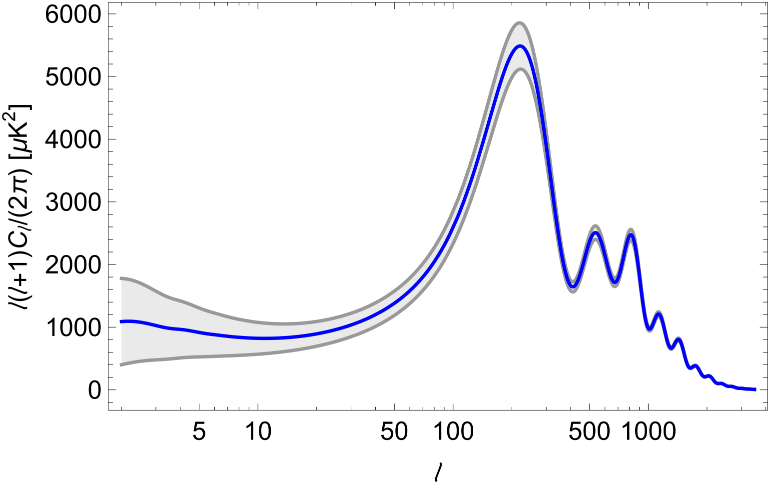
G. Fanizza
University of Zurich
Center for Theoretical Astrophysics and Cosmology
Institute for Computational Science

based on:
Marozzi, F, Di Dio, Durrer, JCAP 1609 (2016) no.09, 028, arXiv:1605.08761

CMB: proprietà generali

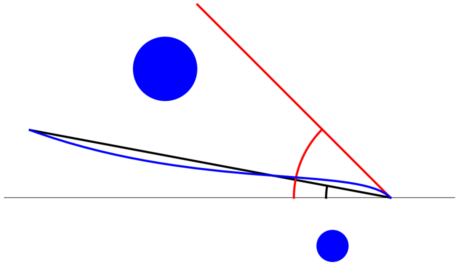
- La CMB è l'oggetto cosmologico studiato con più precisione finora
- Ha le caratteristiche di un corpo nero, la cui temperatura attuale è di $T_0 = 2.7$ K
- Misure sul suo spettro di emissione mostrano un suo alto grado di omogeneità ed isotropia
- Tuttavia, anisotropie sono presenti e sono studiate in dettaglio dal punto di vista teorico e misurate con alta precisione

Anisotropie nella temperatura della CMB (1)



Anisotropie nella temperatura della CMB (2)

- Le anisotropie della CMB possono essere di natura primaria o secondaria
- Il loro studio permette di ottenere precise stime sulla determinazione dei parametri cosmologici
- La loro determinazione è limitata intrinsecamente dalla cosidetta varianza cosmica $\sigma_\ell = \frac{C_\ell}{\sqrt{\ell+1/2}}$
- Tuttavia, tra le sorgenti di anisotropia secondarie, bisogna sottrarre il contributo dovuto al lensing gravitazionale di natura cosmologica



Rimuovere il lensing dalla CMB (1)

- Per via di questo, le correzioni di lensing modificano le anisotropie in temperatura come segue

$$\Delta\tilde{T}(\tilde{\theta}^a) = \Delta T(\theta^a + \delta\theta^a)$$

- Le correzioni $\delta\theta^a$ sono direttamente generate dal potenziale gravitazionale ψ, legato alle strutture presenti nell'universo
- Le correzioni linearizzate saranno, dunque

$$\Delta\tilde{T}(\tilde{\theta}^a) \simeq \Delta T(\theta^a) + \theta^{(1)b}\nabla_b \Delta T(\theta^a)$$

- $\theta^{(1)a}$ è l'angolo di deflessione al primo ordine nello sviluppo in ψ

Rimuovere il lensing dalla CMB (2)

- Da quanto detto, segue che gli spettro con e senza correzioni di lensing saranno rispettivamente dati da

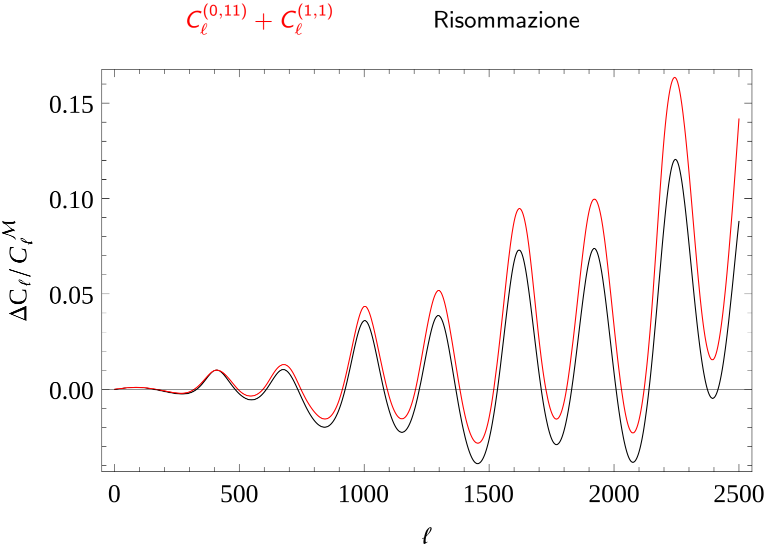
$$\delta(\boldsymbol{\ell}-\boldsymbol{\ell}')\tilde{C}_\ell = \langle \Delta\tilde{T}(\boldsymbol{\ell})\Delta\bar{\tilde{T}}(\boldsymbol{\ell}')\rangle$$
$$\delta(\boldsymbol{\ell}-\boldsymbol{\ell}')C_\ell = \langle \Delta T(\boldsymbol{\ell})\Delta\bar{T}(\boldsymbol{\ell}')\rangle$$

- Le correzioni al primo ordine sono date, dunque, da due soli termini

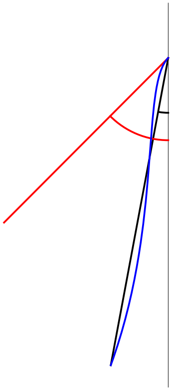
$$\tilde{C}_\ell = C_\ell + C_\ell^{(0,11)} + C_\ell^{(1,1)}$$

- Tuttavia, ψ ha una distribuzione gaussiana e da questo segue che lo è anche $\theta^{(1)a}$
- Questo permette di risommare l'intera correzione dovuta a $\theta^{(1)a}$ dalla semplice valutazione della funzione di correlazione a due punti $\langle\theta^{(1)a}\theta^{(1)b}\rangle$

Rimuovere il lensing dalla CMB (3)



Correzioni di lensing all'ordine successivo (1)



- La valutazione delle correzioni di lensing al primo ordine in ψ comporta correzioni nello spettro di ordine ψ^2
- Le correzioni all'ordine perturbativo successivo saranno, dunque, di ordine ψ^4, dal momento che $\langle\psi\rangle = 0$
- Dal punto di vista fisico, per considerare correttamente tutti i termini coinvolti, dobbiamo andare oltre la cosiddetta approssimazione di Born

Correzioni di lensing all'ordine successivo (2)

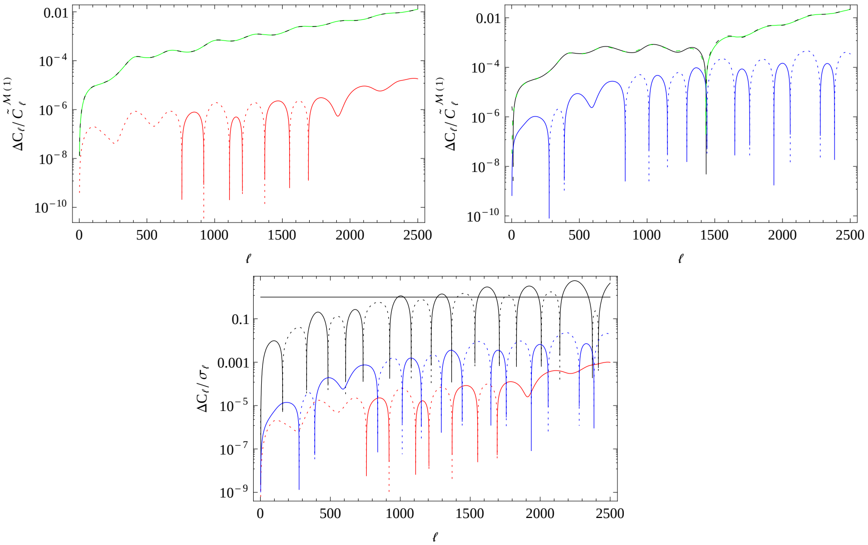
- Poiché, in generale, $\theta^{(n)a} \sim \psi^n$, i termini da noi richiesti richiederanno correzioni dovute fino a $\theta^{(3)a}$
- $\theta^{(4)a}$ non contribuisce, dal momento che il suo contributo allo spettro va via per simmetria rotazionale
- Dal punto di vista fisico, andare ad ordine successivi vuol dire considerare anche effetti di deflessione multipli, dovuti all'incontro di più lenti gravitazionali lungo le geodetiche

Correzioni di lensing all'ordine successivo (3)

Le correzioni totali allo spettro sono date da

$\tilde{C}_\ell = C_\ell$	
$+C_\ell^{(0,11)} + C_\ell^{(1,1)}$	Primo ordine
$+C_\ell^{(0,1111)} + C_\ell^{(1,111)} + C_\ell^{(11,11)}$	Secondo ordine (risommazione di $\theta^{(1)a}$)
$+C_\ell^{(0,22)} + C_\ell^{(0,13)}$	Si cancellano tra di loro
$+C_\ell^{(1,3)} + C_\ell^{(2,2)}$	Correlazione a due punti di $\theta^{(n)a}$ di ordine ψ^4
$+C_\ell^{(1,12)} + C_\ell^{(2,11)}$	Correlazione a tre punti di $\theta^{(n)a}$ di ordine ψ^4

Risultati



0.01
10^{-4}
10^{-6}
10^{-8}
10^{-10}
$\Delta C_\ell / \tilde{C}_\ell^{\mathcal{M}(1)}$
0
500
1000
1500
2000
2500
ℓ
0.1
0.001
10^{-5}
10^{-7}
10^{-9}
$\Delta C_\ell / \sigma_\ell$

Riassumendo...

- Le correzioni dovute al lensing gravitazionale allo spettro delle anisotropie della temperatura possono essere prese in considerazione correttamente dalla funzione di correlazione a due punti della deflessione angolare solo al primo ordine
- Al secondo ordine, le correzioni dovute alla funzione di correlazione a tre punti sono presenti, dal momento che $\theta^{(n)a}$, in generale, non ha più una distribuzione gaussiana
- Queste correzioni sono addirittura dominanti rispetto a quelle ottenute dalla funzione di correlazione a due punti
- Tuttavia, a causa di una forte cancellazione tra i termini, anche se dominanti, tali correzioni rimangono sotto il limite intrinseco della varianza cosmica

Altre applicazioni

- Tali correzioni devono essere prese in considerazione anche per gli altri spettri della CMB: in particolare polarizzazione
- Anche li valgono considerazioni simili per le correzioni ad ordine successivo
- Tuttavia, per i B modes, le correzioni risultano essere più grandi, rispetto agli spettri
- Considerando anche altri effetti, dovuti al bispettro delle strutture a grandi scala e alla rotazione del piano di polarizzazione, tali correzioni devono essere prese in considerazione per ottenere informazioni corrette sulla determinazione dei parametri cosmologici e sulla eventuale rivelazione dei B modes di origine primordiale