

## Light in the Inhomogeneous Universe

**Supervisor:** José Pedro Mimoso (jpmimoso@fc.ul.pt)

**Abstract:** The standard model of cosmology has been remarkably successful in accounting for the main observed features of the Universe. A basic pillar of the model is the so-called Cosmological Principle which assumes that the universe is spatially homogeneous and isotropic. This hypothesis found strong support in the discovery of the cosmic microwave background (CMB) and, subsequently, in the increasingly precise measurements of this relic radiation that confirm the extreme smoothness of the Universe at large scales, of the order of the Gpc.

However at smaller scales the Universe we observe is inhomogeneous. Indeed, we see a plethora of structures such as galaxies, clusters of galaxies, and we even know that there are collapsed objects that we do not directly see. We also detect the peculiar motions that these structures exhibit which are of the order of hundreds of km/s.

The importance of this evolved, inhomogeneous universe has been underestimated until recently. The recent discovery of an unexpected late time behavior of the Universe drawn from the surveys of the Supernovae of the type Ia (Sn Ia), has stimulated a variety of different approaches to explain the observations. At present the best interpretation is that the universe close to us ( $z \sim 0.5 - 1$ ) undergoes a phase of accelerated expansion. This viewpoint is derived by comparing the actual apparent luminosities of the Sn Ia with those that would be expected from a decelerating Einstein-de Sitter universe. It does assume that the universe is homogeneous, and this underlies all redshift, and subsequent distance observations.

In the present research proposal for a Phd work we aim at investigating whether this procedure is justified, and under which conditions. For that purpose we will consider inhomogeneous models, namely those that are spherically symmetric to retain the local isotropy, and will carefully analyze all the quantities that are derived from the local collection of light. The fact that the universe is inhomogeneous means that concepts as redshift, angular and diameter distances, and horizons will depend on the spatial locations of source and not just on the look back time. So all the concepts of observational cosmology have to be redefined within this extended cosmological setting, and this is what we set to do in the present research work. We will use a blend of geometrical and analytical methods, and numerical simulations to be contrasted with the latest data from combined observations.

The present work plan inscribes itself in the goals pursued by the project CERN/FP/123618/2011 to which it is hence related.

**Resumo:** O modelo padrão da cosmologia tem sido extremamente bem sucedido na explicação das principais observações do Universo. Um pilar básico do modelo é o chamado princípio cosmológico que assume que o universo é espacialmente homogéneo e isotrópico. Esta hipótese encontrou um decisivo apoio na descoberta da radiação cósmica de fundo (CMB) e, posteriormente, nas medições cada vez mais precisas desta radiação que confirmaram a regularidade extrema do Universo a grandes escalas, da ordem do Gpc.

No entanto, em escalas menores do universo que observamos é inhomogénea. De fato, podemos ver uma infinidade de estruturas como galáxias, aglomerados de galáxias, e sabemos que existem também objectos extremamente compactos não vemos diretamente. Além disso detectamos os movimentos peculiares que estas estruturas exibem e que são da ordem das centenas de km / s.

A importância deste universo mais perto de nós e inhomogéneo tem sido subestimada até há pouco tempo. A surpreendente descoberta de um comportamento inesperado do universo mais próximo a partir das observações de supernovas do tipo Ia (Sn Ia), desencadeou uma variedade de diferentes abordagens para explicar as observações. Actualmente, a melhor interpretação é que o universo perto de nós ( $z \sim 0,5-1$ ) passa por uma fase de expansão acelerada. Este ponto de vista é obtido através da comparação dos luminosidades aparentes das Sn Ia com aquelas que seriam de esperar num universo de Einstein-de Sitter em desaceleração. Assume-se porém que o universo é homogéneo, e isso está subjacente a todas as determinações de redshifts, e de indicadores de distância derivados.

Na presente proposta de investigação para um trabalho de doutoramento pretendemos investigar se esse procedimento é justificado, e em que condições. Para este efeito, consideram-se modelos não homogéneos, nomeadamente os que são simétricas esfericamente, de modo a conservar a isotropia local, e pretende-se analisar cuidadosamente todas as quantidades que são derivadas a partir da recolha local da luz. O fato do universo ser inhomogéneo significa que conceitos como redshifts, distâncias angulares e distancia diametral, e horizontes dependem agora das localizações espaciais das fontes e não apenas dos tempos de emissão na fonte e de detecção. Assim, todos os conceitos da cosmologia observacional têm de ser cuidadosamente redefinidos dentro deste cenário cosmológico estendido, e isso é o que se propõe fazer no presente trabalho de investigação. Para esse efeito exploraremos técnicas analíticas e geométricas em simultâneo com métodos numéricos e contrastar-se-ão as definições com dados observacionais recentes.

Este programa de trabalho inscreve-se nos objectivos do projecto CERN/FP/123618/2011 com o qual se relaciona.