

W dobie masywnych przeglądów galaktyk zjawisko silnego soczewkowania grawitacyjnego zyskało status użytecznego narzędzia pozwalającego na badanie podstawowych własności natury. Przykładowo, oryginalna idea S. Refsdala z 1964 wiąże pomiar opóźnień czasowych między sygnałami pochodzącymi z obrazów soczewkowanego odległego źródła z możliwością pomiaru wartości stałej Hubble'a (a więc uzyskaniu informacji odnośnie obecnego tempa ekspansji Wszechświata) w sposób komplementarny do innych obserwacji. Idea ta przez długi czas nie mogła zostać zastosowana z uwagi na brak narzędzi: pierwsza detekcja zjawiska silnego soczewkowania grawitacyjnego nastąpiła dopiero w 1979 roku. Odkrycie to zapoczątkowało erę intensywnych poszukiwań innych układów silnych soczewek grawitacyjnych. W rezultacie do końca lat 90-tych ubiegłego stulecia znanych było 11 takich obiektów. Obecnie zmiana strategii poszukiwawczych (przeglądy spektroskopowe skoncentrowane na analizie widm potencjalnych soczewek pod kątem obecności dodatkowego widma pochodzącego od obiektu znajdującego się na większych odległościach) zaowocowała setkami znanych układów silnych soczewek grawitacyjnych. To z kolei stwarza możliwość wykorzystania tychże obiektów w badaniu fundamentalnych zagadnień fizyki.

W szczególności, podążając kierunkiem wskazanym przez Refsdala, soczewki grawitacyjne mogą być z powodzeniem stosowane jako tzw. statystyczne linijki standardowe pozwalające na pomiar odległości do odległych obiektów astrofizycznych. Dzięki temu możemy z dobrą dokładnością wyznaczyć wartość nie tylko stałej Hubble'a ale również innych parametrów kosmologicznych, m.in. związanych z równaniem stanu tej części materialnej zawartości Wszechświata, która jest odpowiedzialna za jego obecnie przyspieszającą ekspansję – tzw. ciemnej energii. W obliczu braku jakichkolwiek przesłanek teoretycznych i obserwacyjnych dotyczących natury ciemnej energii, każde narzędzie pozwalające badać jej własności komplementarnie do innych obserwacji jest na wagę złota i czyni soczewkowanie grawitacyjne niezwykle obiecującym narzędziem w kosmologii obserwacyjnej.

Okazuje się, że pierwotny pomysł Refsdala o którym wspomniano wyżej może znaleźć zastosowanie również w testowaniu teorii z obszaru tzw. kwantowej grawitacji, która powinna ujawnić się przy energiach rzędu energii Plancka ($\sim 10^{19}$ GeV) wielokrotnie przewyższających skalę energetyczne jakimi dysponujemy obecnie. Wobec braku jakichkolwiek wytycznych wskazujących która z dróg do kwantowej grawitacji jest poprawna, szczególnym przywilejem cieszą się podejścia fenomenologiczne, gdzie rozważa się małe poprawki do teorii standardowej pochodzące z fizyki skali Plancka i sprawdza, na ile obecne obserwacje pozwalają na obecność tychże poprawek. W ten sposób można zbadać między innymi konsekwencje łamania podstawowych symetrii w fizyce, jak np. łamanie symetrii Lorentza. Możliwość, że przy energiach rzędu energii Plancka symetria ta nie jest zachowana stanowi jedną z implikacji pewnych podejść do kwantowej grawitacji. W tym przypadku prędkość propagowania się sygnałów elektromagnetycznych i fal grawitacyjnych staje się funkcją energii. Pomiar opóźnień czasowych między soczewkowanymi sygnałami pochodzącymi z odległych źródeł astrofizycznych rejestrowanymi w różnych oknach energetycznych pozwala na zweryfikowanie tych teorii.

Moje wystąpienie będzie poświęcone dokładniejszej analizie tychże zagadnień.

In the era of massive galaxy surveys, strong gravitational lensing has emerged as a powerful tool for probing fundamental properties of nature. One notable application is based on S. Refsdal's 1964 proposal, which links the measurement of time delays between multiple images of a lensed distant source to the Hubble constant determination, which provides valuable insight into the present expansion rate of the Universe in a complementary way to other observational methods. This idea remained impractical for many years due to a lack of necessary tools, as the first confirmed detection of strong gravitational lensing did not occur until 1979. This discovery began an era of extensive searches for additional lensing systems. By the late 1990s, 11 such objects had been identified. Now, the search strategies have been improved by focusing on the spectrum of galaxies being lens candidates and looking for additional features related to the source lying on the higher redshifts. This has led to the discovery of hundreds of known strong gravitational lensing

systems with good-quality data. These growing datasets encourage the use of strong gravitational lensing phenomenon as a key instrument in studying fundamental questions in physics.

In particular, following Refsdal's approach, gravitational lenses can be effectively used as statistical standard rulers, enabling precise distance measurements to distant astrophysical objects. This, in turn, allows for an accurate determination of the Hubble constant and other cosmological parameters—including those occurring in the dark energy equation of state (i.e., the component of the Universe responsible for its observed present accelerating expansion).

Given the absence of a definitive theoretical or observational understanding of dark energy, any tool that provides insights into its nature is extremely valuable. In this regard, gravitational lensing is highly promising method in observational cosmology.

Refsdal's original idea may also be applicable in testing theories related to quantum gravity, which is expected to manifest at energy scales near the Planck energy ($\sim 10^{19}$ GeV), far beyond those currently accessible. Given the absence of clear theoretical or observational guidance pointing a correct way to quantum gravity, phenomenological approaches hold particular significance. These methods consider small Planck-scale effects as corrections to the standard, well-known physics and assess whether current observations permit the presence of such modifications.

Among the key aspects that can be investigated is the potential breaking of fundamental symmetries in physics, such as Lorentz symmetry violation. Specific approaches to quantum gravity suggest that Lorentz invariance may not be preserved at Planck-scale energies, leading to the energy-dependent propagation speed of electromagnetic and gravitational wave signals. By measuring time delays between lensed signals from distant astrophysical sources in different energy windows, we can empirically test these theories.

My talk will constitute a deeper discussion of these issues.