

重力波検出器

(東京工業大学理学院物理学系^a) 宗宮健太郎^a

Gravitational wave detector

(Tokyo Institute of Technology^a) Okentaro Somiya^a

A gravitational wave is a spacetime ripple caused by a massive astronomical event like a blackhole merger or a supernova explosion. The existence of the wave was predicted by Albert Einstein based on his famous General Relativity in 1916 and was observed for the first time in 2015 using two large scale laser-interferometric telescope LIGO in the US. Japanese and European detectors (KAGRA and Virgo, respectively) are to join the observation in the next 2-3 years to establish the global gravitational-wave network that enables more frequent observation and more accurate localization of the sources.

The sensitivity of each detector is at last determined by three fundamental noise sources, which are seismic motion of the ground, Brownian motion of the mirrors and suspensions, and quantum fluctuation of photons. Each detector employs different techniques to suppress the influence of those noise sources, and the strain sensitivity is as good as 10^{-24} (1/rtHz). While the other two detectors use somewhat conventional techniques, the Japanese KAGRA employs more advanced techniques, namely (i) underground facility, (ii) cryogenics operation, and (iii) quantum non-demolition. With those advanced techniques, the sensitivity of KAGRA will be even better than that of LIGO at around 100Hz where the detectors are most sensitive to the compact binary star inspirals.

In the lecture, I will explain what kind of techniques are used to achieve such a high sensitivity. I will also show the audience the current status of the Japanese detector KAGRA that is currently under development.

重力波は1916年にアインシュタインが予言した時空のさざ波である。予言からおおよそ100年経過した2015年には、米国のLIGO検出器により、ブラックホール連星からの重力波が観測され、いよいよこれから重力波天文学の扉が開かれようとしている。日本のKAGRAと欧州のVirgoも2、3年以内には観測に加わるはずで、そうなるとより多くの重力波が観測されるだけでなく、3-4台の同時観測による波源の位置の推定も可能となる。

重力波検出器は、高出力レーザーを用いた基線長3-4kmのマイケルソン干渉計となっており、その感度は、地面振動、熱雑音、量子雑音、という3つの原理的な雑音によって制限される。各国の検出器は異なる手法により雑音の軽減を行っており、検出器の歪みスペクトル感度は最もよい周波数帯で10のマイナス24乗台が実現されている。日本のKAGRAは、干渉計全体を地下に設置することで地面振動を軽減、干渉計の光学素子を20Kの極低温に冷却することで熱雑音を軽減、光の輻射圧を利用した量子制御により一部の帯域で量子雑音を軽減する予定である。これらの技術は欧米の検出器でも導入されていない最先端の技術であり、100Hz付近ではLIGOを上回る感度が期待できる。

本講演では、10のマイナス24乗という極限的な感度を実現するために開発されたさまざまな技術について説明し、現在建設中のKAGRAの状況について紹介する。

