

磁気ソリトン制御型超伝導量子回路を用いた擬似的ブラックホールの理論

Theory of analogue black holes

in magnetic soliton controlled superconducting quantum circuits

広大院先進理工¹, 旭川医大物理² ○(D) 片山 春菜¹, 石坂 智¹, 畠中 憲之¹, 藤井 敏之²

Hiroshima Univ.¹, Asahikawa Medical Univ.²

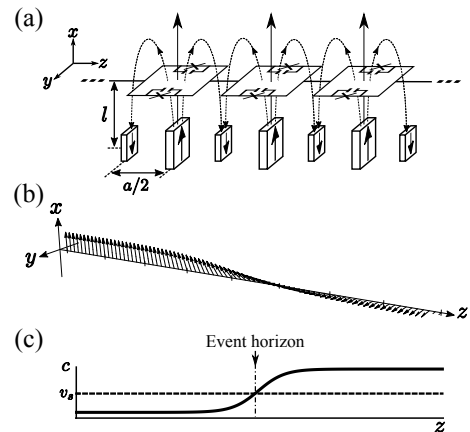
○(D) Haruna Katayama¹, Satoshi Ishizaka¹, Noriyuki Hatakenaka¹, Toshiyuki Fujii²

E-mail: halna496@gmail.com

【研究の背景】 ホーキング輻射は、ブラックホールの事象の地平線付近で、量子的に対生成された仮想粒子が実粒子として輻射される現象で、一般相対性理論と量子力学の統一に向けてその観測が鍵となる。しかし、ホーキング輻射は宇宙背景輻射に比べ極めて弱く、観測することは困難である。そこで、実験室系で擬似的ブラックホールを創生し、それを用いてホーキング輻射の検証を行うという提案がなされている。これまでに我々は、ジョセフソン伝送線路において形成される電流ソリトンがブラックホールとして振舞い、そこでのホーキング温度は観測可能であることを明らかにした (2020 年春 14a-B408-5, 2020 年秋 8p-Z27-8) [1, 2, 3]。しかし、そこで形成される擬似的ブラックホールは、システムのパラメータに依存してその領域が決められてしまうため、自由にデザインすることができない。また、回路中の非線形波動であるソリトンを利用するため、線形波動のみを扱う回路では実現することができない。

【研究の目的・概要】 今回、図 (a) に示すような単磁区磁性体一次元鎖 (外部制御システム) と超伝導量子回路のハイブリッドシステムを例に、システムのパラメータに依らず外部制御できる擬似的ブラックホールの新たな創生法を提案する [4]。この時、直流型超伝導量子干渉計 (dc SQUID) のインダクタンスは、外部磁場に依存するため、単磁区磁性体一次元鎖において生成される外部磁束によって、擬似的ブラックホール創生に必須の空間依存性が回路インダクタンスに導入される。

【結論】 フェリ磁性を持つ単磁区磁性体一次元鎖の運動は、double sine Gordon 方程式に従い、図 (b) に示すように磁束ソリトンが生成されることを明らかにした。このソリトンは、空間的に変化する外部磁場として dc SQUID 回路に印加され、非線形インダクタンスを通して図 (c) のように、空間的に電磁波速度を変化させる。これにより、外部磁場によって自由にデザインできる擬似的なブラックホールが創生されることを明らかにした。また、この擬似的なブラックホールにおいて、ホーキング輻射が観測可能であることを示した。以上より、この外部制御型擬似的ブラックホールは、超伝導量子回路の回路パラメータを変えることなく、擬似的ブラックホールの領域を制御できることがわかった。



(a) A one-dimensional chain of single-domain nanomagnets placed just below the dc SQUID transmission line. (b) Magnetic flux soliton. (c) The electromagnetic waves propagating in the transmission line.

- [1] H. Katayama, N. Hatakenaka, and T. Fujii, Phys. Rev. D **102**, 086018 (2020).
- [2] H. Katayama, IEEE Transactions on Applied Superconductivity **31**, 1 (2021).
- [3] H. Katayama, Sci Rep, **11**, 19137 (2021).
- [4] H. Katayama, S. Ishizaka, N. Hatakenaka, and T. Fujii, Phys. Rev. D **103**, 066025 (2021).