

ジョセフソン伝送線路におけるブラックホールソリトンの理論 II

Theory of black hole solitons in Josephson transmission lines II

広大院総科¹, 旭川医大物理² ○(M2) 片山 春菜^{1*}, 畠中 憲之¹, 藤井 敏之²

Hiroshima Univ.¹, 2. Asahikawa Medical Univ.²

○(M2) Haruna Katayama^{1*}, Noriyuki Hatakenaka¹, Toshiyuki Fujii²

*E-mail: halna496@gmail.com

【研究の背景】 ホーキング輻射は、光でさえ脱出できないブラックホールの事象の地平線付近で、量子力学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ある。そのため、一般相対性理論と量子力学が会う稀有な現象で、それらの統一に向けた理論構築において、このホーキング輻射の観測が試金石となる。しかし、ホーキング輻射は宇宙背景輻射よりも極めて小さいため、未だ観測されていない。そこで、実験室系で擬似的ブラックホールを人工的に創生し、それを利用してホーキング輻射の基本原理を確立することが必要とされている。擬似的ブラックホールの創生は、背景流速が空間的に変化するシステムにおいて、限界速度（事象の地平線）を設定することによってなされる [1].

前回 (14a-B408-5) 我々は、戸田格子 (電圧) ソリトンに双対な電気回路 (Fig. 1(A)) を用いて、それまで解析的に明らかにされていなかった回路に潜む波動 (電流ソリトン) を明らかにすることに成功した (Fig. 1(B)). また、このソリトンが伝送線路中を伝搬する電磁波に与える影響を考慮すると、ソリトンがブラックホールとして振舞うことも明らかにした (Fig. 1(C)).

【研究の目的・概要】 今回、このジョセフソン伝送線路で創生された擬似的ブラックホールにおいて、ホーキング輻射を考察し、その観測可能性を検討する。具体的には、古典ソリトンの周りの量子ゆらぎにより対生成した光子が、事象の地平線をトンネルするモデル [2] に基づいて、ブラックホールを特徴づけるホーキング温度を定式化する。

【結論】 ホーキング温度が、電磁波速度の空間微分に依存することを明らかにした (式 (1) 中央)。これは、ブラックホールの表面重力に基づいて導出された先行研究の結果 [3] と完全に一致している。

$$T_H = \frac{\hbar}{2\pi k_B} \left| \frac{\partial c}{\partial x} \right| = \frac{\hbar}{2\pi k_B} \frac{f(\bar{v}_s)}{\sqrt{LC}} \quad (1)$$

これに我々の導出したソリトン解を用いると、ホーキング温度は、回路の接合パラメータ (C, L) とソリトン速度 \bar{v}_s に依存していることがわかった (式 (1) 最右)。既存技術で達成可能な接合パラメータを用いると、ホーキング温度はサブケルビンのオーダーであることがわかった。これは、実験室系でホーキング輻射を観測することが可能であることを示している。さらに、ホーキング温度がソリトン速度に依存していることから (Fig. 2 参照)、その依存性を確認することによって、確かにホーキング輻射による輻射であることを確認することができる。これは、既存の理論にはない有利な特徴である。

[1] P. D. Nation, M. P. Blencowe, A. J. Rimberg, and E. Buks, Phys. Rev. Lett., **103**, 087004 (4)(2009).

[2] M. K. Parikh and F. Wilczek, Phys. Rev. Lett. **85**, 5042(2000).

[3] W. G. Unruh and R. Sützhold, Phys. Rev. D **68**, 024008(2003).

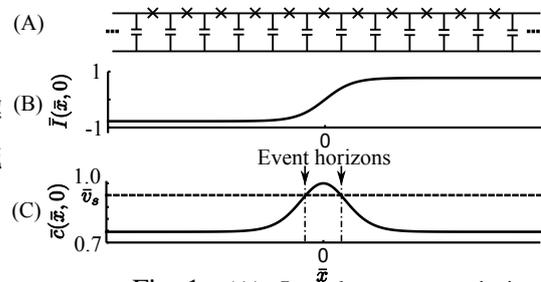


Fig. 1 (A) Josephson transmission line (B) Current soliton with $\bar{v}_s = 0.95$ (C) Normalized electromagnetic field velocity

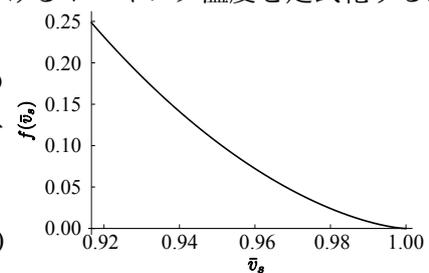


Fig. 2 Normalized soliton velocity \bar{v}_s dependence on Hawking temperature