

# Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě  
Univerzity Karlovy

- posudek vedoucího  posudek oponenta  
 bakalářské práce  diplomové práce

Autor: Marek Milička  
Název práce: Black hole thermodynamics  
Studijní program a obor: Fyzika  
Rok odevzdání: 2024

Jméno a tituly vedoucího/opponenta: doc. Mgr. David Kubizňák, PhD  
Pracoviště: Institute of Theoretical Physics, MFF, UK  
Kontaktní e-mail: david.kubiznak@matfyz.cuni.cz

## Odborná úroveň práce:

- vynikající  velmi dobrá  průměrná  podprůměrná  nevyhovující

## Věcné chyby:

- téměř žádné  vzhledem k rozsahu přiměřený počet  méně podstatné četné  závažné

## Výsledky:

- originální  původní i převzaté  netriviální kompilace  citované z literatury  opsané

## Rozsah práce:

- veliký  standardní  dostatečný  nedostatečný

## Grafická, jazyková a formální úroveň:

- vynikající  velmi dobrá  průměrná  podprůměrná  nevyhovující

## Tiskové chyby:

- téměř žádné  vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet  četné

## Celková úroveň práce:

- vynikající  velmi dobrá  průměrná  podprůměrná  nevyhovující

## **Slovní vyjádření, komentáře a připomínky vedoucího/oponenta:**

In his bachelor Thesis, Mr. Milička beautifully summarizes mathematical and physical foundations of black hole thermodynamics. Namely, after introducing the basic concepts, such as surface gravity, Hawking's temperature, and Bekenstein's entropy, some more advanced techniques, such as the Euclidean path integral are discussed and used to re-derive the basic thermodynamic properties of various black hole spacetimes. The last chapter is devoted to recent developments in the subject, and deals with the extended black hole thermodynamics, and black hole phase transitions. It is in this part where novel results are presented regarding the virial expansion of the black hole equation of state.

The work has a very good balance between rigorous mathematical treatment and physical intuition – the focus is on explaining the basic concepts while more complicated derivations are gathered in the appendices. I believe that the author succeeded very well in his goal to i) provide a “self-contained reference” and ii) “present the subject at the level accessible to readers familiar only with basic general relativity”. I believe the Thesis may serve as a very good introduction into the subject for future students. Moreover, the obtained results, when slightly extended, may serve as a basis for a future research publication.

To summarize, I believe this is an *excellent Thesis*, that not only may serve as a well written introduction into the foundations and recent developments of black hole thermodynamics, but also contains some novel yet unpublished results. I am very happy to recommend it to be recognized as bachelor thesis.

## **Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:**

- 1) The black hole thermodynamics is closely related to the Einstein field equations. This is especially apparent from Jacobson's derivation of these equations. Can you please outline the basic idea behind this derivation?
- 2) Can you estimate the mass of a primordial black hole that was created in the Early Universe that would just now completely evaporate via Hawking radiation?
- 3) What is the striking difference between the black hole entropy and the entropy of „normal thermodynamic systems“?

## **Práci**

doporučuji  
 nedoporučuji  
uznat jako bakalářskou.

## **Navrhuji hodnocení stupněm:**

výborně  velmi dobře  dobře  neprospěl/a

V praze, 7. června, 2024



David Kubiznak