

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Vývoj algoritmu pro rekonstrukci lineárních drah částic v SuperNEMO detektoru
<b>Jméno autora:</b>	Tomáš Křížák
<b>Typ práce:</b>	bakalářská práce
<b>Fakulta:</b>	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (FJFI)
<b>Katedra:</b>	Katedra matematiky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Dominika Mašlárová
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Katedra fyzikální elektroniky FJFI ČVUT v Praze

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
<p>Cieľom zadania bakalárskej práce, pozostávajúceho zo siedmich bodov, bolo zoznámiť sa s designom, cieľom a významom projektu SuperNEMO. Medzinárodný projekt SuperNEMO sa zameriava na štúdium neutrínovej fyziky, konkrétne na hľadanie dôkazu existencie bezneutrínového dvojitého beta rozpadu. Úlohou študenta bolo napísať skript na rekonštrukciu priamych dráh z dát z detektora a následne vytvoriť softvér schopný vizualizovať trojrozmerný zjednodušený model, ktorý umožní prehliadať dáta udalostí za udalosťou. Pri zostrojení dráh mala byť použitá Legendrova transformácia, ktorá sa mala otestovať na umelo vygenerovaných dátach a následne aplikovať na reálne dáta zo SuperNEMO detektoru. Zadanie zahŕňalo pochopenie neutrínovej fyziky a zároveň praktického algoritmu vyžadujúceho Legendrovu transformáciu. Pre úspešné splnenie zadania bolo nutné do detailov pochopiť matematický model, ale zároveň ho vedieť priamo aplikovať na konkrétny fyzikálny problém. Problematika je v rámci fyzikálnej komunity celosvetovo veľmi aktuálna a študent sa pri nej musí aktívne angažovať v medzinárodnej vedeckej spolupráci. Preto hodnotím toto zadanie ako náročnejšie.</p>	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno</b>
<i>Posudte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
<p>Práca je prehľadne a logicky členená do štyroch kapitol (mimo úvodu a záveru), v ktorých sú postupne analyzované jednotlivé kroky zadania. Prvá kapitola sa venuje všeobecne neutrínovej fyzike, zatiaľ čo v druhej kapitole sa už autor konkrétne zameriava na projekt SuperNEMO. V tretej kapitole sa zoznámil s použitím Legendrovej transformácie na rekonštrukciu dráh častíc a otestoval jej efektívnosť na umelo vygenerovaných dátach. Pre tento účel bol v rámci práce zostrojený vlastný softvér simulujúci zjednodušený model detektoru. V štvartej kapitole je opísaná aplikácia programu na reálne dáta. Autor podrobne rozoberá výzvy spojené s použitím surových experimentálnych dát a vhodne sa s nimi vysporiadava. Výsledky práce boli odprezentované v rámci viacerých kolaboračných stretnutí. Zadanie práce bolo z môjho pohľadu bez výhrad splnené.</p>	

**Zvolený postup řešení**

**vhodný**

*Posudte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.*

Vytvorenie softvéru, ktorý predstavuje hlavný výstup práce, autor realizoval pomocou programovacieho jazyka C++. Pre účely spracovania surových dát z experimentu bola v rámci práce taktiež zostrojená vlastná knižnica v danom jazyku. Na vizualizáciu dát autor navyše použil knižnicu ROOT z organizácie CERN, ktorá je pre podobné účely tradične využívaná. Tento prístup považujem za vhodne zvolený a nemám k nemu žiadne námietky.

**Odborná úroveň**

**výborná**

*Posudte úroveň odbornosti záverečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.*

Teoretické časti veľmi názorne a vhodne popisujú neutrínovú fyziku a matematický aparát. Tieto teoretické znalosti sú následne precízne aplikované na konkrétny problém na výbornej odbornej úrovni. Vывodzované závery sú dôkladne podložené výsledkami.

**Formální a jazyková úroveň**

**výborná**

*Posudte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posudte typografickou a jazykovou stránku.*

Práca má celkovo výbornú formálnu i jazykovú úroveň. Občas chýba správne umiestnenie vzorca vo vete, napr. za vzorcami 1.3, 1.5. a mnohými ďalšími chýba ukončenie vety bodkou. Zároveň umiestnenia odsekov za vzorcami spôsobujú grafickú nekompaktnosť textu. Referencia na obrázok 2.1. v texte nasledujúca až za referenciami na obrázky 2.2-2.5 pôsobí zmätočne. Tieto nedostatky však nerušia celkový dojem z formy práce. Práca je písaná v anglickom jazyku na výbornej úrovni a pôsobí veľmi profesionálne. Myšlienky sú jasné, stručné a koherentné, čo zabezpečuje logický tok textu a ľahkú čitateľnosť. Počet gramatických chýb a preklepov je minimálny.

**Výběr zdrojů, korektnost citací**

**průměrné**

*Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posudte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.*

Práca obsahuje celkovo 39 citácií, čo považujem v rámci bakalárskeho stupňa za dostačujúce. Veľká časť z nich sa odkazuje na renomované vedecké časopisy. Okrem tradičnejších zdrojov odkazujúcich sa na fyzikálne základy odboru je v bibliografii zahrnutých aj 5 aktuálnych zdrojov z rokov 2020-2022. Faktické informácie uvedené v práci študent cituje korektne a odlišuje prevzaté prvky od vlastných myšlienok, aby nedošlo k porušeniu citačnej etiky. Odkazy na webové stránky (napr. citácia [5]) sú neúplné, pretože nezahŕňajú mimo iné dátumy prístupu autora práce na daný odkaz. V citácii [17] je uvedený iba autor, názov článku a rok, nie je preto jasné, či sa jedná o webový odkaz (napr. výročnú správu z experimentu) alebo o publikáciu v odbornom časopise. Podobne to platí pre referenciu [37]. Z hľadiska výberu zdrojov a korektnosti citácií preto túto prácu hodnotím ako priemernú.

### **Další komentáře a hodnocení**

*Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.*

Hlavným výsledkem práce je softvér na rekonštrukciu trajektorií častíc z detektoru, ktorý bol osobne vyvinutý autorom práce. Vedecký prínos tohoto kódu považujem za markantný. Študent otestoval svoj kód na idealizovaných dátach a bezproblémovo zvládol prechod na spracovanie reálnych experimentálnych dát. Pri tom sa dokázal vysporiadať so vstupnými dátami so zanesenou chybou merania, na ktoré bol jeho kód pôvodne veľmi ťažko aplikovateľný, a to chytrou úpravou algoritmu. Tento program je priamo použiteľný pre ďalšie potreby kolaborácie SuperNEMO, čo v rámci bakalárskeho štúdia predstavuje vynikajúci výsledok nad rámec bežných očakávaní.

### **III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE**

*Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.*

Bakalársku prácu hodnotím veľmi pozitívne, a to predovšetkým po vysokej odbornej, jazykovej a formálnej úrovni. Prácu preto určite odporúčam na obhajobu. Drobné nedostatky spomenuté vyššie neznižujú moje finálne hodnotenie.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm A - výborně.

K práci mám nasledujúce doplňujúce otázky:

1. V podkapitole 3.6. autor práce vysvetľuje iteračný postup hľadania maxima v 2D histograme, ktoré reprezentuje hľadanú trajektóriu. V tomto prístupe sa postupne zužuje oblasť histogramu, v ktorej by sa malo maximum nachádzať, čo znižuje výpočetnú náročnosť algoritmu. V závere práce autor tiež spomína, že nevýhodou algoritmu založenom na Legendrovej transformácii je jeho výpočetná náročnosť. Ako dlho trval priemerne výpočet jednej simulácie (napr. prípad simulačných dát v 3 iteračných krokoch na obr. 3.9)? Ako narastá výpočetná náročnosť pri multi-časticových simulačných dátach a následne pri skutočných dátach? Bolo by možné program prípadne paralelizovať, napr. paralelne prehľadávať rôzne časti histogramu?

2. Ako bola určená prahová hodnota pre akceptovanú vzdialenosť medzi tzv. „tracker hit“ a „track candidate“ (t. j. vybraným zásahom a trajektóriou, ktorá potenciálne patrí vybranej častici) pre multi-časticový prípad (napr. na obr. 3.10)?

3. Bol by algoritmus s Legendrovou transformáciou použiteľný i po aplikovaní magnetického poľa v experimente, kedy by trajektória už nebola lineárna (resp. lineárna po častiach)?

4. V práci sa spomína algoritmus CAT, ktorý bol pôvodne využívaný na rekonštrukciu dráh. Existujú ďalšie možné prístupy ako zostrojiteľ rekonštrukciu trajektorií z detektora, okrem CAT

a Legendrovej transformácie? Aké by boli ich prípadné výhody a nevýhody oproti Legendrovej transformácii?

Datum: 21.8.2023

Podpis:

