

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA EXPERIMENTÁLNÍ FYZIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Výzkum znalostí ze speciální teorie relativity
na gymnáziu



| | |
|--------------------------------|--|
| Autor: | Bc. Patricie Kočišová |
| Studijní program: | N1701 Fyzika |
| Studijní obor: | 7504T055 Učitelství fyziky pro střední školy |
| Forma studia: | Prezenční |
| Vedoucí práce: | Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D. |
| Termín odevzdání práce: | Květen 2022 |

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Lukáše Richterka, Ph.D. a že jsem použila zdrojů, které cituji a uvádím v seznamu použitých pramenů.

V Olomouci dne 17. května 2022

.....

Patricie Kočíšová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala mému vedoucímu diplomové práce Mgr. Lukášovi Richterovi, Ph.D. za odborné vedení práce, trpělivost, cenné rady a podporu při jejím vytváření.

Bibliografická identifikace

| | |
|--------------------------------|---|
| Jméno a příjmení autora | Bc. Patricie Kočišová |
| Název práce | Výzkum znalostí ze speciální teorie relativity na gymnáziu |
| Typ práce | Diplomová |
| Pracoviště | Katedra experimentální fyziky |
| Vedoucí práce | Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D. |
| Rok obhajoby práce | 2022 |
| Abstrakt | Cílem diplomové práce je zopakovat výzkum, který byl proveden na Přírodovědecké fakultě v 70. letech 20. století, výsledky statisticky zpracovat a porovnat výsledky tehdejších a dnešních žáků. Dalším cílem bylo na základě získaných výsledků vytyčit některé oblasti tohoto tématu, které činí žákům problémy. Srovnávány jsou rozdíly ve výsledcích mezi pohlavími a rozdíly ve formě výuky (zda výuku STR absolvovala celá třída, nebo si žáci zapsali volitelný seminář z fyziky). V teoretické části je také uveden podobný výzkum z Austrálie. |
| Klíčová slova | Speciální teorie relativity, výzkum |
| Počet stran | 98 |
| Počet příloh | 0 |
| Jazyk | český |

Bibliographical identification

| | |
|---------------------------------------|--|
| Autor's first name and surname | Bc. Patricie Kočíšová |
| Title | Research of knowledge from the special theory of relativity at grammar schools |
| Type of thesis | Master |
| Department | Department of Experimental Physics |
| Supervisor | Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D. |
| The year of presentation | 2022 |
| Abstract | The aim of my thesis is to repeat a research, which was conducted at the Faculty of Science in the 70s of the 20th century, to statistically process obtained data and compare the results of past generation pupils to contemporary students. A further aim is to outline areas which are difficult for the students to deal with. Variations of test results based on gender and the form of teaching (i.e. whether special theory of relativity was a mandatory or optional subject) are also presented. Furthermore, a research from Australia is included in the theoretical part of my thesis. |
| Keywords | Theory of special relativity, research |
| Number of pages | 98 |
| Number of appendices | 0 |
| Language | czech |

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Úvod | 8 |
| 1 Zavedení speciální teorie relativity do výuky fyziky na SŠ | 10 |
| 1.1 Důvody zavedení speciální teorie relativity do výuky fyziky na SŠ | 10 |
| 1.2 Přístupy k výuce STR na SŠ | 11 |
| 1.2.1 Další přístup k výuce STR | 14 |
| 1.3 Dnešní situace výuky STR na SŠ | 15 |
| 2 Výzkum v 70. letech 20. století | 17 |
| 2.1 Základní myšlenky nového metodického přístupu k výkladu STR | 17 |
| 2.1.1 Rozdíly mezi starým a novým metodickým přístupem | 18 |
| 2.2 Metodika výzkumu | 18 |
| 2.3 Struktura testu | 19 |
| 2.4 Výsledky výstupního testu | 20 |
| 2.4.1 Porovnání kontrolního a experimentálního souboru | 21 |
| 2.4.2 Porovnání výsledků chlapců a dívek | 21 |
| 3 Dnešní výzkum | 23 |
| 3.1 Motivace opakování výzkumu | 23 |
| 3.2 Struktura testu | 24 |
| 4 Výzkumy ve světě | 29 |
| 4.1 Výzkum z Australské národní univerzity | 29 |
| 4.1.1 Základní parametry testu | 30 |
| 4.1.2 Korelace mezi otázkami | 30 |
| 4.1.3 Miskoncepty | 30 |
| 4.1.4 Rozdíly mezi pohlavími | 31 |
| 5 Vyhodnocení otázek testu | 32 |
| 5.1 Otázka č. 1 | 32 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.2 | Otázka č. 2 | 34 |
| 5.3 | Otázka č. 3 | 36 |
| 5.4 | Otázka č. 4 | 38 |
| 5.5 | Otázka č. 5 | 40 |
| 5.6 | Otázka č. 6 | 42 |
| 5.7 | Otázka č. 7 | 44 |
| 5.8 | Otázka č. 8 | 46 |
| 5.9 | Otázka č. 9 | 48 |
| 5.10 | Otázka č. 10 | 48 |
| 5.11 | Otázka č. 11 | 50 |
| 5.12 | Otázka č. 12 | 51 |
| 5.13 | Otázka č. 13 | 52 |
| 5.14 | Otázka č. 14 | 53 |
| 5.15 | Otázka č. 15 | 54 |
| 5.16 | Otázka č. 16 | 55 |
| 5.17 | Otázka č. 17 | 56 |
| 5.18 | Otázka č. 18 | 57 |
| 5.19 | Otázka č. 19 | 58 |
| 5.20 | Otázka č. 20 | 59 |
| 5.21 | Otázka č. 21 | 60 |
| 5.22 | Otázka č. 22 | 61 |
| 5.23 | Otázka č. 23 | 62 |
| 5.24 | Otázka č. 24 | 63 |
| 6 | Výsledky testu | 81 |
| 6.1 | Základní charakteristiky testu | 82 |
| 6.2 | Rozdíly mezi pohlavími | 84 |
| 6.3 | Rozdíl mezi formou výuky | 85 |
| 6.4 | Porovnání s předešlým výzkumem | 86 |
| 7 | Problémové oblasti | 88 |
| | Závěr | 90 |
| | Literatura | 92 |
| | Seznam obrázků | 97 |
| | Seznam tabulek | 100 |

Úvod

Speciální teorie relativity je nesporně zajímavé, avšak poměrně složité téma, které je na gymnáziích probíráno zpravidla v posledním studijním ročníku. V dřívějších dobách byly učební osnovy určeny pro všechny školy daného typu totožně. Oproti tomu v současnosti je tematický obsah učiva dán rámcovými vzdělávacími programy a školy mají větší volnost při zařazování jednotlivých částí učiva do svých školních vzdělávacích programů. Na některých školách se tomuto tématu nevěnuje příliš velká pozornost a toto téma se buď nevyučuje vůbec, nebo jen v několika málo vyučovacích hodinách.

Toto téma jsem si zvolila, protože moderní fyzika, a tedy i speciální teorie relativity mě baví a velmi zajímá. Myslím si, že tato práce mi také může pomoci v přípravě na budoucí profesi vyučující na střední škole. Zároveň jsem v této práci využila základy statistiky, které jsem se naučila v rámci předmětu *Pravděpodobnost a statistika* v rámci mého druhého aprobačního předmětu matematika.

Hlavním cílem této práce je zopakovat výzkum, kterým byl proveden na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci před necelými 50 lety. Výsledky soudobého výzkumu se následně statisticky zpracují a pomohou srovnat úroveň vědomostí tehdejších a dnešních žáků. Dále jsem se na základě zpracovaných výsledků pokusila najít oblasti z tohoto učiva, které žákům dělají největší problémy.

Práce je rozdělena do sedmi hlavních kapitol. V první kapitole se zabývám zavedením speciální teorie relativity do výuky na gymnáziích a dále také metodickým přístupem k výuce tohoto tématu. Ve druhé kapitole je popsán předešlý výzkum ze 70. let 20. století. Jsou zde shrnuty výsledky, kterých dosáhli tehdejší žáci středních škol. Další kapitola je věnována provedení vlastního výzkumu včetně ukázky testu, který byl žákům zadán. Obsahem čtvrté kapitoly je výzkum provedený v Austrálii a jeho výsledky. Následující dvě kapitoly se pak věnují výsledkům z výzkumu prováděného v rámci této diplomové práce. V první ze dvou kapitol je jednotlivě rozebrána každá otázka a ve druhé je vyhodnocen test jako celek. V závěrečné kapitole jsou stručně uvedeny některé oblasti, které žákům činí ve speciální teorii relativity potíže.

Na tomto místě bych chtěla poděkovat všem učitelům gymnázií, kteří se na testování podíleli. Jmenovitě děkuji Mgr. Jaroslavu Machačíkovi z Gymnázia Zlín – Lesní čtvrť, RNDr. Josefu Jírů z Gymnázia a obchodní akademie Pelhřimov, RNDr. Věře Koudelkové, Ph.D. z Gymnázia Českolipská Praha 9 – Prosek, RNDr. Čeňkovi Kodejškovi, Ph.D. z Gymnázia, Střední odborné školy a Vyšší odborné školy, Nový Bydžov, Mgr. Čestmírovi Krejčímu z Gymnázia a Jazykové školy s právem státní jazykové zkoušky Břeclav, RNDr. Alešovi Trojánkovi, Ph.D. z Gymnázia Velké Meziříčí, Mgr. Šárce Richterkové z Gymnázia Olomouc-Hejčín, Mgr. Tomášovi Nečasovi, Ph.D. z Gymnázia Brno, třída Kapitána Jaroše, Mgr. Pavle Valentové z Arcibiskupského gymnázia v Kroměříži, Mgr. Jiřině Drábové z Gymnázia Nový Jičín, Mgr. Petru Smilkovi z Gymnázia Jaroslava Seiferta Praha a Gymnázia Cheb a Mgr. Šárce Bártové z Gymnázia Šumperk. Poděkování patří také samotným žákům, kteří se testování zúčastnili.

Kapitola 1

Zavedení speciální teorie relativity do výuky fyziky na SŠ

Již v 60. letech 20. století se nejenom v Československu, ale i v dalších kulturně a technicky vyspělých zemích, uvažovalo o modernizaci výuky fyziky, aby se dosáhlo určitého pokroku ve vzdělávání a výuka fyziky odpovídala vědeckému poznání té doby. Součástí tohoto vývoje bylo také zavedení tématu Základy speciální teorie relativity do výuky 4. ročníku přírodovědné větve gymnázia. Látka se dle učebních osnov fyziky pro gymnázia z roku 1969 vyučovala v rozsahu 12 vyučovacích hodin [1, 2].

1.1 Důvody zavedení speciální teorie relativity do výuky fyziky na SŠ

Nutno podotknout, že speciální teorie relativity (STR) nebyla jedinou částí fyziky zaváděnou v tomto období do výuky na SŠ. Podobné pozornosti se dostalo i kvantové fyzice. Hlavním důvodem zavádění moderní fyziky do výuky byl fakt, že klasická fyzika zkoumá tzv. makrosvět, tedy pouze jevy, se kterými se setkáváme v běžném životě. Makrosvět ale tvoří pouze malou část přírodních jevů. Moderní fyzika zahrnuje jevy v mikrosvětě i megasvětě, což dohromady utváří ucelený pohled na svět [1].

Zavést STR do středoškolské fyziky nebylo jednoduché. Bylo potřeba promyslet obsah a rozsah učiva, metodické zpracování a uspořádání. Dále bylo nutné zamyslet se nad důvody pro zahrnutí STR na gymnáziích. Stručně můžeme důvody popsat v následujících bodech¹ [1]:

¹Dříve se ještě uváděl bod o filozofickém pojetí STR a vytváření vědeckého světového názoru, který je ovšem z dnešního pohledu překonaný.

1. Speciální teorie relativity je jakýmsi rozšířením klasické fyziky. Může žákům poskytnout hlubší a úplnější pohled na okolní svět. Zatím neznáme žádný fyzikální jev, který by byl v rozporu s relativistickou fyzikou, což v klasické fyzice neplatí. Žáci by měli pochopit, že klasická fyzika není chybná, ale je určitou aproximací teorie relativity, která představuje dokonalejší model při popisování fyzikálních zákonů. S klasickou fyzikou je důležité žáky seznámit, aby pochopili základní poznatky moderní fyziky. Žáci na středních školách získají hlubší poznatky o fyzikálním obrazu světa. Zároveň se zavedením STR zvýší vědecká úroveň fyziky na SŠ.
2. Zavedení speciální teorie relativity dává prostor pro diskuzi s žáky o mezích použitelnosti klasické fyziky. Lépe se jim ukáže souvislost mezi zákony klasické a moderní fyziky. Můžeme žákům ukázat a uvažovat s nimi, že zákony klasické fyziky jsou limitním případem obecnějších zákonů, tudíž i teorie relativity.
3. Při výkladu STR je možné více uplatňovat používání myšlenkových experimentů, které mohou rozvíjet fyzikální myšlení žáků.
4. Znalosti získané studiem základů speciální teorie relativity se uplatní také při výuce základů kvantové fyziky, fyziky atomového obalu a atomového jádra. Bez znalostí STR nelze tyto části fyziky pochopit.
5. Učivo teorie relativity žákům umožní lépe pochopit základní fyzikální pojmy (energie, hmotnost, čas, současnost atd.).
6. Důležité je také žákům představit osobnost tvůrce teorie relativity Alberta Einsteina, který je významnou postavou v dějinách fyziky.

1.2 Přístupy k výuce STR na SŠ

Učivo STR bylo třeba při zavádění do školních osnov středních škol správně uspořádat a náležitě zařadit do výuky. Uvažovalo se o dvou možných řešeních:

1. O poznatcích této teorie je možné se zmiňovat po částech ve vhodných oblastech fyziky po celé 4 roky. Např. v mechanice poukázat na omezenou platnost druhého pohybového Newtonova zákona v případě velkých rychlostí, závislosti hmotnosti na rychlosti. Dále je možné zavést pojem klidové hmotnosti. Při probírání kmitání a vlnění je možné se zaměřit i na relativistický Dopplerův jev nebo na Michelsonův pokus při výuce rychlosti světla v optice.

V případě tohoto podání základů speciální teorie relativity by nicméně bylo nutné na konci studia poznatky shrnout v ucelenou teorii [1].

Tento přístup je uplatněn ve starším vydání vysokoškolské učebnice fyziky z překladu roku 2000 [3]. Některé poznatky STR jsou rozprostřeny do jednotlivých kapitol a poté je relativitě věnována samostatná kapitola.

2. Druhou možností je podat žákům toto téma souhrnně na určitém místě středoškolské fyziky. Možností, kam speciální teorii relativity zařadit, bylo více, avšak nakonec se jako nejvhodnější ukázalo umístit speciální teorii relativity po probrání základů vlnové optiky. Zároveň by bylo vhodné kvantovou optiku vyučovat až po probrání poznatků o dualismu vlna-částice [1].

Toto pojetí uplatňuje nové vydání vysokoškolské učebnice fyziky z roku 2013 [4]. Zde je relativita zařazena pouze v samostatné kapitole.

Kromě otázky, kam STR zařadit, byla důležitá také otázka, do jaké hloubky STR probírat a jak učivo pojmout a metodicky zpracovat. Učivo bylo nutné přizpůsobit mentálnímu vývoji žáků. Zároveň bylo nutné učivo zpracovat tak, aby co nejvíce rozvíjelo fyzikální myšlení žáků. Z pozdějších výzkumů jednoznačně vyplynulo, že je třeba zdůrazňovat fyzikální podstatu teorie na úkor matematického rozměru a při výkladu co nejvíce využívat jednoduchých myšlenkových experimentů [5].

V průběhu času se přístupy k výkladu měnily, aby žáci co nejlépe pochopili fyzikální podstatu STR. Uvedme zde několik postupů pro výklad této látky.

Níže uvedená struktura kopíruje osnovy pro gymnázium z roku 1969 a jejich druhou přepracovanou verzi z roku 1972 [5].

1. Úvod
 - (a) Relativnost polohy a pohybu
 - (b) Mechanický princip relativity
 - (c) Galileiho transformace
 - (d) Cvičení
2. Einsteinův princip relativity
 - (a) Michelsonův pokus
 - (b) Einsteinovy postuláty
3. Lorentzova transformace

4. Relativnost současnosti
 - (a) Cvičení
5. Relativistická kinematika
 - (a) Relativnost délky
 - (b) Relativnost časových intervalů
 - (c) Skládání relativistických rychlostí
 - (d) Cvičení
6. Relativistická dynamika
 - (a) Závislost hmotnosti na rychlosti
 - (b) Vztah mezi hmotností a energií
 - (c) Cvičení
7. Vznik magnetické síly
8. Albert Einstein

Z výzkumů vyplynulo, že Lorentzova transformace je obtížně pochopitelná hlavně pro žáky, kteří nemají dostatečné matematické znalosti a dobře rozvinuté abstraktní myšlení. Tito žáci příliš spoléhali na matematické vztahy a nedokázali tolik o problémech přemýšlet. Také se ukázalo, že na učivo nebylo dostatečné množství času, a proto učitelé sklouzávali k matematickému formalismu [5].

Na základě tohoto výzkumu bylo učivo přepracováno a učební text byl vydán v *Doplňku k učivu fyziky pro IV. ročník gymnázia* [6]. Struktura učiva byla velmi podobná struktuře uvedené výše, dále však byla přidána také problematika Dopplerova jevu a dualismu vlna-částice [5].

Ve školním roce 1974/75 se zkoumaly výsledky vyučování podle výše uvedené struktury. Všichni žáci se učili podle *Doplňku k učivu fyziky pro IV. ročník gymnázia*. Žáci nicméně učivo nezvládali tak, jak by bylo pro tuto problematiku potřebné. Problémy jim dělaly hlavně důsledky Lorentzovy transformace. Z výzkumu vyplynulo, že tento metodický postup je pro některé žáky složitý a rozsah učiva příliš velký. Prof. Fukou byl proto vypracován nový metodický přístup, který je založený na myšlenkových experimentech. Zároveň zde není potřeba složitých matematických operací [7].

Učivo se rozdělilo do devíti kapitol a za každou následovalo cvičení [5]:

1. Mechanický princip relativity
2. Michelsonův pokus
3. Základní principy speciální teorie relativity
4. Relativnost současnosti
5. Dilatace času
6. Kontrakce délky
7. Skládání rovnoběžných rychlostí
8. Relativistická hmotnost
9. Souvislost hmotnosti a energie

Nová verze je tedy mnohem stručnější. Zkrátil se i počet vyučovacích hodin ze dvanácti na devět. Lorentzova transformace byla úplně vypuštěna, a tím pádem se vztah pro relativistické skládání rychlostí neodvozoval. Při výuce bylo použito také myšlenkových experimentů, jak už bylo zmíněno výše [5].

1.2.1 Další přístup k výuce STR

Zákony speciální teorie relativity jsou zobecněním zákonů klasické mechaniky. Tradičně se k zákonům přidává princip stálé rychlosti světla. Nejprve se tedy probírá relativistická kinematika a až poté dynamika. Tento přístup není jediným možným [9].

V jiném přístupu se na začátku výuky místo postulátu stálé rychlosti světla zavádí princip ekvivalence hmoty a energie. Touto volbou se rychleji dostaneme k relativistické dynamice. Autoři příspěvku [9] Friedrich Herrmann a Michael Pohlig vidí problém klasického přístupu v tom, že se začíná nejobtížnější částí teorie - vztahem mezi časem a prostorem. Často se také problémy řeší z různých vztažných soustav. Pokud je to tedy možné, nový přístup se snaží vyhýbat změnám vztažných soustav v průběhu řešení problému. Diskuzi problému popsanych z různých vztažných soustav známe například z řešení paradoxu dvojčat [9].

Výše uvedené pojetí STR se staví odlišně ke vztahu mezi hmotností a energií. Říká, že hmotnost a energie jsou stejné fyzikální veličiny. Pokud veličinu měříme v kilogramech, nazýváme ji hmotnost, pokud v joulech, nazveme ji energie. Přístup nevychází ze známé rovnice $E = mc^2$, ale uvádí vztah $E = km$, kde k je konstanta, která říká, jakým způsobem můžeme převádět jouly na kilogramy a naopak [9].

V České republice se ale tento přístup na středních školách obvykle neuplatňuje a je tradičně vyučována nejdříve relativistická kinematika a poté dynamika.

1.3 Dnešní situace výuky STR na SŠ

V současnosti se při vytváření školních vzdělávacích programů (ŠVP) uplatňují rámcové vzdělávací programy (RVP). RVP jsou závazné dokumenty, podle kterých jednotlivé školy tvoří ŠVP [10].

V rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia (RVP G) není učivo speciální teorie relativity zahrnuto jako samostatné téma, ale formou problémových úloh s pomocí učitele je možné odvodit některé základní pojmy a zákony, ze kterých plynou relativistické důsledky jako např. relativnost současnosti, dilatace času a kontrakce délek [11].

Tradičně se při výuce STR vychází ze dvou postulátů [12]:

1. **Princip relativity:** Ve všech inerciálních vztažných soustavách platí stejné fyzikální zákony.
2. **Princip stálé rychlosti světla:** Ve všech inerciálních vztažných soustavách má rychlost světla ve vakuu stejnou velikost, a to nezávisle na pohybu světelného zdroje. Rychlost světla v libovolné inerciální vztažné soustavě je ve všech směrech stejná.

První postulát přímo v RVP G zmíněný není. Je do něj nicméně zařazen pojem vztažná soustava a inerciální soustava. V těchto soustavách je vzájemná rychlost stálá a platí v nich první Newtonův pohybový zákon, který součástí RVP G je. Z toho vyplývá, že první postulát můžeme i na základě RVP G formulovat, aniž by bylo potřebné definovat nové pojmy nebo zákony [11].

Druhý postulát je obsažen v tematickém celku *Elektromagnetické jevy, světlo*. Konkrétně je zde zařazeno učivo *vlňové vlastnosti světla*, kde se má mimo jiné žák dozvědět o zákonitosti stálosti rychlosti světla v inerciálních soustavách a poznat některé důsledky této zákonitosti. Důsledky jako dilatace času, kontrakce délek nebo relativnost současnosti lze odvodit na základě myšlenkových experimentů. Tyto způsoby odvození velmi kvalitně popisují středoškolské učebnice fyziky (např. [12]). Které z důsledků se žák naučí, je už v kompetenci dané školy [10, 11].

Relativistickou dynamiku neodvodíme pomocí výše uvedených postulátů. S nástupem RVP G byly poznatky jako je relativistický vztah pro hmotnost tělesa a Einsteinův vztah mezi hmotností tělesa a jeho energií vypuštěny. Při vytváření

ŠVP je nicméně možné, aby škola vzdělávací obsah rozšířila a zařadila i problematiku relativistické dynamiky [11].

Speciální teorie relativity je na gymnáziích zpravidla vyučována v posledních ročnících studia. Na některých gymnáziích fyzika ve čtvrtém ročníku již není povinná pro všechny žáky. V rámci seminářů tak často absolvují výuku STR žáci s větším zájmem o fyziku.

Uvedeme zde několik příkladů výuky STR na gymnáziích. Na gymnáziu v Břeclavi se STR probírá v rámci seminářů. Podle ŠVP [13] se žáci učí jak relativistickou kinematiku, tak také i dynamiku a její důsledky (relativnost současnosti, dilatace času, kontrakce délek, relativistická hmotnost, vztah mezi energií a hmotností). Gymnázium Nový Bydžov má STR zařazené ve 4. ročníku v povinném předmětu fyzika. Gymnázium Šumperk má toto téma zařazeno již ve 3. ročníku (případně 7. ročník osmiletého studia), a poté v rámci opakování a rozšíření učiva i v semináři z fyziky. Podle jednotlivých ŠVP [14, 15] rozsah učiva na těchto gymnáziích odpovídá rozsahu učiva z gymnázia v Břeclavi. Oproti tomu gymnázium Jana Keplera v Praze speciální teorii relativity zařazenou do výuky fyziky nemá [16]. Důvodem pro vynechání této části učiva je argument, že poznatky z této teorie se nedají podpořit experimentem a výuka by tak byla pouze formální. Na ostatních gymnáziích je koncept výuky obdobný.

Kapitola 2

Výzkum v 70. letech 20. století

Výzkum zabývající se problematikou metodického přístupu a výkladu učiva speciální teorie relativity na gymnáziích probíhal na katedře fyziky a didaktiky fyziky přírodovědecké fakulty UP pod vedením prof. dr. Josefa Fuky už od roku 1966. Výzkumy vedly ke zpracování *Doplňku k učivu fyziky pro IV. ročník gymnasia* [6, 7].

Nicméně výzkum provedený ve školním roce 1974/75 nepřinesl uspokojivé výsledky. V tomto školním roce se už všichni žáci učili podle Doplnku [6]. Výzkum však ukázal, že žáci učivu STR neporozuměli dostatečně. Žákům dělaly problémy zejména důsledky Lorentzovy transformace, a to hlavně relativnost současnosti. Žáci také nebyli schopni v dostatečné míře správně řešit úlohy, což značí, že jejich znalosti byly pouze povrchní. Z tohoto bylo zřejmé, že metodický postup učiva uvedeného v Doplnku [6] byl pro některé žáky příliš obtížný a rozsah učiva velký. Jelikož efektivita vyučování tohoto tématu nebyla příliš velká, byl prof. Fukou vypracován nový učební text založený na vybraných myšlenkových experimentech [7].

2.1 Základní myšlenky nového metodického přístupu k výkladu STR

Výuce STR bylo na gymnáziích vyhrazeno poměrně málo vyučovacích hodin, z tohoto se upustilo od výkladu relativistického Dopplerova jevu a od Lorentzovy transformace. Jak již bylo zmíněno, Lorentzova transformace byla pro žáky složitá, časově náročná a u slabších žáků vedla k matematickému formalismu na úkor fyzikálního porozumění problematice. Absence Lorentzovy transformace je na škodu pouze při odvozování relativistického skládání rychlostí. Vztahy pro tuto problematiku musíme uvést bez odvození [7].

2.1.1 Rozdíly mezi starým a novým metodickým přístupem

Nový učební text [8] byl nejdříve vypracován k potřebám výzkumu a nebyl běžně k dostání. Začátek výkladu STR je pojatý stejně v Doplnku [6] i v novém učebním textu. V první kapitole je popsán mechanický princip relativity a Galileiho transformace souřadnic. Na konci první kapitoly je odvozena invariantnost zrychlení a síly vzhledem ke Galileiho transformaci. Ve druhé kapitole se začíná s výkladem STR vysvětlením Michelsonova pokusu a ve třetí kapitole jsou formulovány Einsteinovy postuláty.

V tomto momentě nastává mezi výkladem v Doplnku a novém učebním textu rozdíl. Obsahem čtvrté kapitoly je vysvětlení relativnosti současnosti dvou bodových událostí pomocí myšlenkového pokusu. V další kapitole následuje odvození vztahu pro dilataci času pomocí známého myšlenkového experimentu se světelnými hodinami. Odvození vztahu pro dilataci času pomocí tohoto experimentu není složité, žáci musí znát pouze princip stálé rychlosti světla a jednoduchých vztahů z mechaniky a matematiky. V šesté kapitole je za použití vztahu pro dilataci času odvozen vztah pro kontrakci délek. V Doplnku jsou tyto vztahy odvozeny pomocí Lorentzovy transformace. V tomto učebním textu není Lorentzova transformace odvozena, proto je relativistické skládání rychlostí uvedeno v sedmé kapitole bez odvození. Na ilustrativních příkladech je poté ukázáno, že složení dvou rychlostí (i blízkých rychlosti světla) nikdy rychlost světla nepřekročí, a tak tento vztah souhlasí s principem stálé rychlosti světla. Osmá a devátá kapitola se zabývá relativistickou dynamikou. Osmá relativistickou hmotností a devátá vztahem mezi hmotností a energií. Metodický postup použitý v novém textu není výrazně jiný než postup použitý v Doplnku, ale učivo je zjednodušené a zkrácené [7].

V tomto učebním textu o pouhých 35 stranách strojopisu najdeme také plno názorných ilustrací a problémových úloh i příkladů k řešení [7].

2.2 Metodika výzkumu

Výzkum, který byl proveden ve školním roce 1976/77 měl za cíl srovnat výsledky vyučování STR podle Doplnku a nového textu, zjistit rozdíly ve znalostech mezi chlapci a dívkami a mezi základní přírodovědnou větví a žáky se zaměřením na matematiku a fyziku. Výzkum také sledoval úroveň znalostí o vztažných soustavách a setrvačných silách [7].

Výzkumu se zúčastnilo 30 tříd 4. ročníku z 18 gymnázií Severomoravského kraje (dnešní Moravskoslezský kraj a část kraje Olomouckého a Zlínského). Šest tříd bylo zaměřeno na matematiku a fyziku a 24 tříd patřilo do základní přírodovědné větve.

Podle nového metodického přístupu se učilo 10 tříd základní přírodovědné větve. Kontrolní soubor tvořilo 14 tříd přírodovědné větve, které měly k dispozici Doplněk [6]. Šest tříd se zaměřením na matematiku a fyziku se také učilo podle Doplnku, ale nebyly zahrnuty do kontrolního souboru [7].

V rámci výzkumu byli žáci testováni pomocí dvou didaktických testů. V prvním pololetí žáci vypracovávali vstupní test, který zahrnoval učivo o vztažných soustavách a setrvačných silách. Výstupní test byl zadán týden až dva po probrání tématu STR [7].

Učivo bylo v kontrolním i experimentálním souboru rozděleno do 9 vyučovacích hodin (podle starých osnov se látka STR učila 12 hodin, matematicko-fyzikální třídy dokonce 16 hodin) [7].

Z výsledků vstupního testu vyplynulo, že mezi experimentálním a kontrolním souborem nebyl statisticky významný rozdíl, proto se rozdíly ve výstupním testu přičítaly odlišným metodickým postupům použitým při výkladu STR [7]. Dále se budeme zabývat pouze výsledky výstupního testu.

2.3 Struktura testu

V testu bylo obsaženo učivo z Doplnku a z nového učebního textu. Zároveň se vycházelo z testu, který byl provedený dříve [17], protože tento test se vyznačoval vysokou mírou spolehlivosti a citlivosti. Zvýšil se ale počet otázek z 12 na 24 [7].

Test byl zadáván žákům jeden až dva týdny po probrání STR. Časový limit k vypracování byl 30 minut. Otázky byly rozdělené do 8 skupin a u každé skupiny otázek byly uvedeny úvodní informace, které se vztahovaly ke všem otázkám skupiny. Žáci vybírali ze čtyř odpovědí, kdy právě jedna odpověď byla správná. U otázek 13-24 bylo kromě označení odpovědi nutné uvést i výpočet, případně zdůvodnění odpovědi, v opačném případě se odpověď neuznala [7].

První dvě otázky byly zaměřené na klasickou mechaniku a meze její použitelnosti. Druhá skupina otázek (otázky 3 a 4) zkoumala pochopení stálé rychlosti světla, stejnou oblastí se zabývaly i otázky ze třetí skupiny (5 a 6), které byly podstatně složitější. Další skupina otázek (7 a 8) se zabývala kvantitativní povahou kontrakce délek, dilatací času a relativností současnosti. Pátá skupina otázek (9 až 12) měla za cíl prošetřit znalosti grafů závislosti hmotnosti a hybnosti částice v klasické a relativistické fyzice na její rychlosti. Otázky 13 až 16 byly zaměřené na výpočet kontrakce délek, dilatace času a relativistické hmotnosti. Žáci museli u těchto otázek uvádět i výpočet nebo zdůvodnění odpovědi. V otázce č. 14 měli žáci za úkol určit, jakou délku tyče naměří pozorovatel v soustavě S , jestliže je tyč

umístěna v soustavě S' rovnoběžně s osou y' a soustava S' se vzhledem k soustavě S pohybuje vysokou rychlostí ve směru osy x . Tato otázka prověřovala, zda žáci nedosazují pouze mechanicky do vztahů, ale zda problematice skutečně rozumí. V sedmé skupině otázek (17 až 20) byla zkoumána problematika skládání rovnoběžných rychlostí souhlasného i opačného směru podle klasické a relativistické fyziky. Poslední skupina otázek (21 až 24) byla zaměřena na relativistickou dynamiku, zejména na výpočet celkové, kinetické i klidové energie a hybnosti částice [7].

2.4 Výsledky výstupního testu

Žáci měli na vypracování testu 30 minut. Výstupní test vyplnilo celkem 397 žáků. Za každou správnou odpověď získal žák 1 bod, maximální bodový zisk byl tedy 24 bodů. Bodové zisky žáků měly velký rozptyl a pohybovaly se v rozmezí 0 bodů (jeden žák) až 24 bodů (pět žáků) [7].

Žáci dosáhli průměrného počtu bodů $\bar{x} = 12,997$, se standardní odchylkou $s = 5,501$ bodů. Pro ověření hypotézy o normálním rozdělení výsledků testu byl použit χ^2 test¹. Koeficient reliability (spolehlivosti) byl spočítaný jak podle Kuderova-Richardsonova vztahu

$$r_{kr} = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum pq}{s^2} \right), \quad (2.1)$$

kde k je počet úloh v testu, p je podíl žáků ve vzorku, kteří danou úlohu řešili správně, $q = 1 - p$ a s je směrodatná odchylka, tak i metodou půlení intervalu pomocí Spearmanova-Brownova vzorce

$$r_{sb} = \frac{2 \cdot r_p}{1 + r_p}, \quad (2.2)$$

kde r_p je Pearsonův koeficient korelace mezi výsledky žáků u lichých a sudých otázek [18]. Koeficient reliability vypočítaný pomocí Kuderova-Richardsonova vztahu vyšel $R = 0,870$, v případě metody půlení byla jeho hodnota $R' = 0,900$, z čehož vyplývá, že použitý test byl velice spolehlivý. K výpočtu diskriminace (citlivosti) byl použit bodově-biseriální koeficient korelace mezi úspěšností žáků v dané otázce a celkovými výsledky v testu

$$r_{bb} = \frac{\bar{x}_p - \bar{x}_q}{s} \cdot \sqrt{p \cdot q}, \quad (2.3)$$

¹Test dobré shody chí-kvadrát se používá při ověřování, zda se reálné četnosti odlišují od teoretických četností [18]. Tímto můžeme ověřit, jestli rozložení počtu bodů v testu odpovídá na dané hladině významnosti normálnímu rozdělení.

kde význam p , q a s je stejný jako u Kuderova-Richardsonova vztahu, \bar{x}_p je průměrný bodový zisk žáků, kteří otázku řešili správně \bar{x}_q průměrný bodový zisk žáků, kteří otázku řešili nesprávně [27]. Průměrná hodnota bodově-biseriálního koeficientu korelace byla $r_{bb} = 0,500$. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 0,258 do 0,642. Z toho je patrné, že citlivost testu byla dostatečná [7].

Z výsledků výzkumu nakonec vyplynulo, že nový metodický přístup vyhovuje hlavně dívkám, jejich výsledky byly lepší a učivo STR lépe zvládly. Celkově se ukázalo, že výklad učiva STR podle nového učebního textu je přístupnější než původní postup [7].

2.4.1 Porovnání kontrolního a experimentálního souboru

Ve většině otázek úspěšněji odpovídali žáci experimentálního souboru, pouze u několika otázek byli žáci kontrolního souboru úspěšnější. Žáci experimentálního souboru získali průměrně $\bar{x}_E = 12,935$ bodů, standardní odchylka byla $s_E = 5,139$ bodů. U kontrolního souboru byl průměrný počet získaných bodů $\bar{x}_K = 11,794$ a standardní odchylka $s_K = 5,573$ bodů. Pomocí Kolmogova-Smirnova testu² bylo ověřeno, že oba dva srovnávané soubory vykazují parametry normálního rozdělení. F-testem³ bylo zjištěno, že rozptyly souborů můžeme pokládat za stejné. Rozdíl průměrů experimentálního a kontrolního souboru je $\bar{x}_E - \bar{x}_K = 1,141$. Statistická významnost rozdílů průměrů se ověřovala pomocí t-testu⁴. Hodnota testovacího kritéria byla $t = 1,88$, kritická hodnota na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ je 1,96. Na této hladině významnosti není statisticky významný rozdíl mezi kontrolním a experimentálním souborem. Statisticky významný rozdíl v průměrech by mohl nastat až na hladině významnosti $\alpha = 0,1$ [7].

2.4.2 Porovnání výsledků chlapců a dívek

V testu byli celkově úspěšnější chlapci než dívky, což mohlo být způsobené tím, že tehdejší dívky měly o fyziku v průměru menší zájem než chlapci. Mezi chlapci kontrolního a experimentálního souboru nebyl statisticky významný rozdíl, ale dívky

²Tímto testem se srovnává rozložení dvou výběrů na základě srovnání distribučních funkcí [18]. Pomocí tohoto testu je možné také ověřit, zda se na určité hladině významnosti jedná o výběr s normálním rozdělením.

³Fisherův-Snedecorův test (zkráceně F-test) se používá při zjišťování, zda mají dva soubory přibližně stejně velký rozptyl [18]. To je důležité zejména pro vhodné použití dalších testů ověřujících různé hypotézy.

⁴Pomocí Studentova t-testu zjišťujeme, zda dva soubory dat dosahují stejného aritmetického průměru. Tento test lze použít za podmínky, že základní soubory splňují požadavek normálního rozdělení a v obou skupinách byl přibližně stejný rozptyl [18].

experimentálního souboru byly mnohem úspěšnější než dívky kontrolního souboru. V případě kontrolního souboru byli u všech otázek úspěšnější chlapci, u experimentálního souboru na některé otázky odpovídaly dívky stejně úspěšně nebo dokonce ještě úspěšněji než chlapci [7].

Podle Kolmogorova-Smirkova testu lze považovat dívčí i chlapecké výběrové soubory za soubory s normálním rozdělením. F-test ukázal, že rozptyly jsou homogenní. Rozdíl experimentálního souborů chlapců a dívek je $\bar{x}_{Ec} - \bar{x}_{Ed} = 1,815$, čemuž odpovídá hodnota testovacího kritéria $t = 2,103$. Tato hodnota je větší než kritická hodnota na pětiprocentní hladině významnosti, rozdíl je statisticky významný. U kontrolního souboru je hodnota rozdílu $\bar{x}_{Kc} - \bar{x}_{Kd} = 3,200$ bodů a hodnota testovacího kritéria vychází na $t = 4,020$. Kritická hodnota na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ je 3,36, z čehož vyplývá, že tento rozdíl je statisticky významný i na této hladině významnosti [7].

Při studiu výsledků chlapců experimentálního a kontrolního souboru bylo zjištěno, že rozdíl průměrů byl pouze $\bar{x}_{Ec} - \bar{x}_{Kc} = 0,425$ bodů. Rozdíl není statisticky významný. Chlapci, kteří se učili podle nového učebního textu dosáhli srovnatelně stejné výsledky jako chlapci, kteří se učili podle Doplnku. U dívek byl ale rozdíl podstatně větší, $\bar{x}_{Ed} - \bar{x}_{Kd} = 1,810$ bodů, hodnota testovacího kritéria byla $t = 2,191$, rozdíl byl tedy statisticky významný na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ [7].

Kapitola 3

Dnešní výzkum

V této diplomové práci je zopakován výzkum, který probíhal ve školním roce 1976/77 na katedře fyziky a didaktiky fyziky přírodovědecké fakulty UP. Žákům byl zadán test, který je založen na výstupní variantě testu z předešlého výzkumu. Test byl zadán ve školním roce 2021/22 na 13 školách a vyplnilo ho 316 žáků gymnázia, z toho bylo 155 mužů a 158 žen.

Metodický přístup k výkladu STR, který byl použitý při předešlém výzkumu se příliš neliší od dnešního přístupu uvedeném ve středoškolské učebnici pro gymnázia [12]. Výklad je založen na myšlenkových experimentech, pomocí kterých jsou odvozovány vztahy pro dilataci času nebo kontrakci délek. Pomocí myšlenkového experimentu je vysvětlena také relativnost současnosti. Lorentzova transformace není ani v jednom z přístupů odvozována nebo uváděna, což zamezuje pouze odvození vztahu pro relativistické skládání rychlostí.

3.1 Motivace opakování výzkumu

Metodický přístup k výuce STR a osnovy učiva se v průběhu 50 let postupně měnily. V období posledních 15 let je závazný obsah učiva vymezen RVP, jak bylo popsáno v předcházejících kapitolách. Metodický přístup, kterým se učili žáci experimentálního souboru v 70. letech, se příliš neliší od soudobého metodického přístupu. Z tohoto důvodu je možné porovnat úroveň vědomostí a znalostí STR žáků středních škol současnosti s předcházející generací. Vliv na výsledky výzkumu však může mít celá řada faktorů. Na některých gymnáziích fyziku neabsolvuje celý ročník, ale pouze žáci, kteří si zapíšou volitelný předmět nazvaný např. seminář z fyziky. Lze předpokládat odlišnou míru motivace žáků k dobrovolně zvolenému tématu, nežli by tomu bylo u běžného povinného předmětu. Dále se může lišit ta-

ké hloubka do které problematiku STR jednotliví vyučující žákům vysvětlují nad rámec požadavků RVP.

Nicméně základní motivací opakování výzkumu je zjistit vědomosti dnešních žáků v oblasti STR, úroveň jejich fyzikálního myšlení a porovnat je s předešlým výzkumem. Opakování výzkumu nám mohou přinést velmi zajímavé výsledky. Stejně jako v předchozím výzkumu jsme zkoumali, zdali existují statisticky významné rozdíly mezi výsledky chlapců a dívek i v dnešní době. Zároveň jsme ověřovali, zda existují statisticky významné rozdíly mezi školami, kde se s STR žáci setkávají pouze v rámci seminářů z fyziky a těmi kde toto téma probírá povinně každý žák. STR je bezesporu atraktivní, ale i složité téma a zjištěné mezery ve znalostech žáků mohou poukázat na určité nedostatky v pedagogickém přístupu k výuce této problematiky. Pomocí tohoto výzkumu bylo možné nalézt některé problémové oblasti, na které by bylo možné se při výuce STR zaměřit a snažit se zlepšit jejich výklad.

3.2 Struktura testu

Test pro tento výzkum vycházel z výstupní varianty testu použitého při výzkumu ve školním roce 1976/77. Otázky jsou však více či méně obměněné. Test byl zpracován pouze v jedné variantě. Na začátku jsou popsány pokyny k vypracování. Časový limit je stejný jako u předchozího testu, a to 30 minut. Stejně tak je zachován jak počet otázek (24), tak i celkový maximální počet bodů (24). Otázky jsou rozloženy do osmi skupin, ke každé skupině otázek jsou popsány úvodní informace. Žáci mají na výběr ze 4 možností, právě jedna možnost je správná. Žáci mají povolené používat kalkulačky. Na začátku testu žáci vyplňovali pohlaví a název školy.

Otázky jsou pro zpracování výsledků rozděleny do 4 kategorií. První kategorií je *kinematika* a jsou do ní zařazeny otázky číslo 5-8 a 11-16. Otázky číslo 3, 4 a 17-20 se týkají *skládání rychlostí* v klasické i relativistické fyzice. Do *dynamiky* jsou zařazeny otázky číslo 2, 9, 10 a 21-24. Do poslední kategorie spadá otázka číslo 1, která je zaměřena obecně na principy speciální teorie relativity a meze použitelnosti klasické mechaniky. Tato kategorie je nazvána *ostatní*.

Znění testu ze speciální teorie relativity:

I. Pro přechod od jedné inerciální vztažné soustavy ke druhé v relativistické mechanice používáme Lorentzovy transformace souřadnic.

1. Vyber z možností správné tvrzení:

a) Objekty A a B se pohybují rychlostmi blízkými c . Jejich relativní rychlost je dána součtem jednotlivých rychlostí.

- b) Klasickou mechaniku bychom měli nahradit mechanikou relativistickou, jestliže se tělesa pohybují vzhledem k Zemi se zrychlením.
- c) Klasická mechanika platí pouze v případě malých relativních rychlostí těles vzhledem k c .
- d) V případě rychlostí blízkých c se kinetická energie počítá podle vztahu $E_k = \frac{1}{2}mv^2$.

2. Která z následujících fyzikálních veličin se při velmi vysoké relativní rychlosti vztažných soustav nezmění?

- a) celková energie
- b) kinetická energie
- c) klidová energie
- d) hybnost

II. Kosmická raketa se pohybuje rychlostí $0,5c$ směrem od Slunce, poté se otočí a pohybuje se stejnou rychlostí ke Slunci.

3. Jakou rychlostí dopadá na raketu světlo ze Slunce při pohybu od něj?

- a) $0,5c$
- b) $0,75c$
- c) $0,3c$
- d) c

4. Jakou rychlostí dopadá na raketu světlo ze Slunce při pohybu k němu?

- a) $0,5c$
- b) $0,75c$
- c) $0,3c$
- d) c

III. Šebestová letí v raketě rychlostí blízkou c směrem k Machovi stojícímu na asteroidu.

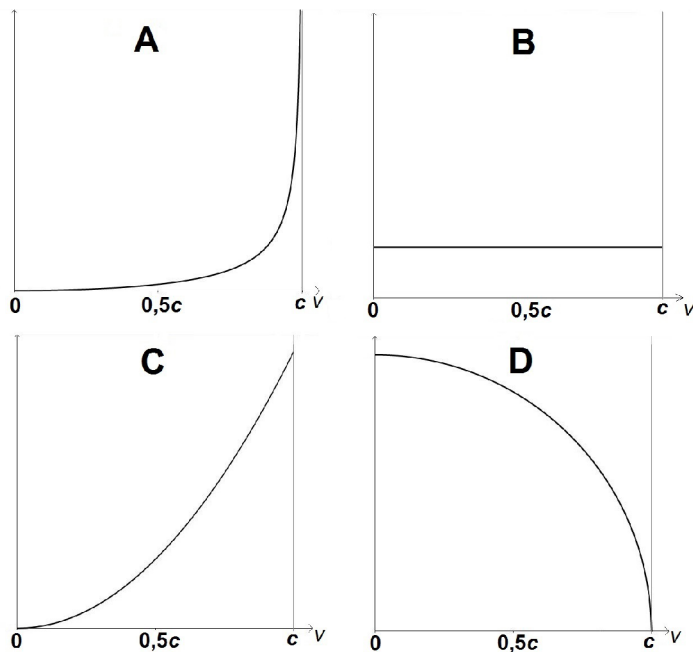
5. V okamžiku, kdy Šebestová prolétá kolem Macha vyšle k němu dva světelné záblesky podle jejích hodin v rozmezí 1 nanosekundy. Jaký je interval mezi záblesky podle Macha?

- a) méně než 1 nanosekunda
- b) přesně 1 nanosekunda
- c) více než 1 nanosekunda
- d) nelze rozhodnout

6. Když Šebestová znovu prolétá kolem Macha, vyšle Mach směrem k Šebestové dva světelné záblesky podle jeho hodin v rozmezí 1 nanosekundy. Jaký interval mezi záblesky naměří Šebestová?

- a) méně než 1 nanosekunda
- b) přesně 1 nanosekunda
- c) více než 1 nanosekunda
- d) nelze rozhodnout

IV. Písmeny A, B, C, D jsou označeny grafy, které znázorňují závislost délky tyče pohybující se kolem nás na její rychlosti nebo závislost kinetické energie na rychlosti pohybující se částice. Na vodorovné ose je vždy vynesena rychlost tělesa v , svislá osa znázorňuje buď délku nebo kinetickou energii tyče.



7. Který z grafů znázorňuje délku pohybující se tyče v klasické fyzice?
8. Který z grafů znázorňuje délku pohybující se tyče v relativistické fyzice?
9. Který z grafů znázorňuje kinetickou energii pohybující se částice v klasické fyzice?
10. Který z grafů znázorňuje kinetickou energii pohybující se částice v relativistické fyzice?

V. Mějme dvě inerciální vztažné soustavy S a S' pohybující se vůči sobě rovnoměrně přímočaře rychlostí blízkou c . Do obou soustav jsme ve směru relativní rychlosti soustav umístili stejná délková měřítka a stejné hodiny.

11. Co může říct pozorovatel v soustavě S o měřítku a hodinách v soustavě S' ?
 - a) měřítko se zkrátilo a hodiny jdou rychleji
 - b) měřítko se zkrátilo a hodiny jdou pomaleji
 - c) měřítko se prodloužilo a hodiny jdou rychleji
 - d) měřítko se prodloužilo a hodiny jdou pomaleji

12. Pro pozorovatele v soustavě S' nastaly dvě soumísné události. Jsou tyto události soumísné i pro pozorovatele v soustavě S ?
- ne, události soumísné v soustavě S nikdy nebudou
 - ano, v každém případě
 - pouze při malé relativní rychlosti soustav
 - pouze v případě, že události proběhly současně

VI. Mějme dvě inerciální soustavy S a S' , jejichž osy jsou rovnoběžné. Soustava S' se pohybuje vzhledem k soustavě S rychlostí $v = 0,750c$ ve směru osy x .

13. V soustavě S' je rovnoběžně s osou x' umístěna tyč o délce 12,0 m. Jaká bude délka tyče v soustavě S ?
- 12,0 m
 - 10,4 m
 - 7,94 m
 - 18,1 m
14. V soustavě S' je rovnoběžně s osou y' umístěna tyč o délce 12,0 m. Jaká bude délka tyče v soustavě S ?
- 12,0 m
 - 10,4 m
 - 7,94 m
 - 18,1 m
15. V daném bodě soustavy S' nastal děj, který pro pozorovatele v soustavě S trval 10,0 s. Jakou dobu trval děj pro pozorovatele v soustavě S' ?
- 15,1 s
 - 6,61 s
 - 10,0 s
 - 8,66 s
16. V soustavě S' je umístěno těleso o klidové hmotnosti 10,0 kg. Jakou relativistickou hmotnost má těleso v soustavě S ?
- 15,1 kg
 - 6,61 kg
 - 10,0 kg
 - 8,66 kg

VII. Inerciální soustava S' se pohybuje vzhledem k soustavě S rychlostí $v = \frac{1}{5}c$. V soustavě S' se pohybuje částice rychlostí $u' = \frac{1}{3}c$. Vektory \vec{v} a \vec{u}' jsou rovnoběžné.

17. Jestliže je směr rychlostí \vec{v} a \vec{u}' opačný, jaká bude velikost rychlosti částice vzhledem k soustavě S podle klasické fyziky?
- $\frac{1}{7}c$
 - $\frac{2}{15}c$
 - $\frac{2}{3}c$
 - $\frac{8}{15}c$
18. Jestliže je směr rychlostí \vec{v} a \vec{u}' souhlasný, jaká bude velikost rychlosti částice vzhledem k soustavě S podle klasické fyziky?

- a) $\frac{1}{2}c$ b) $\frac{2}{15}c$ c) $\frac{8}{15}c$ d) $\frac{1}{7}c$

19. Jestliže je směr rychlostí \vec{v} a \vec{u}' opačný, jaká bude velikost rychlosti částice vzhledem k soustavě S podle relativistické fyziky?

- a) $\frac{1}{7}c$ b) $\frac{2}{15}c$ c) $\frac{1}{2}c$ d) $\frac{1}{5}c$

20. Jestliže je směr rychlostí \vec{v} a \vec{u}' souhlasný, jaká bude velikost rychlosti částice vzhledem k soustavě S podle relativistické fyziky?

- a) $\frac{1}{7}c$ b) $\frac{2}{3}c$ c) $\frac{8}{15}c$ d) $\frac{1}{2}c$

VIII. Vzhledem k soustavě S se rovnoměrně přímočaře pohybuje částice s klidovou hmotností m_0 rychlostí $v = 0,600c$.

21. Jaká je celková energie částice vzhledem k soustavě S ?

- a) $0,8m_0c^2$ b) m_0c^2 c) $1,25m_0c^2$ d) $0,25m_0c^2$

22. Jaká je kinetická energie částice vzhledem k soustavě S ?

- a) $0,8m_0c^2$ b) m_0c^2 c) $1,25m_0c^2$ d) $0,25m_0c^2$

23. Jaká je klidová energie částice?

- a) rovna nule b) m_0c^2 c) $0,5m_0c^2$ d) $0,25m_0c^2$

24. Jaká je hybnost částice vzhledem k soustavě S ?

- a) $0,6m_0c$ b) $0,75m_0c$ c) $0,48m_0c$ d) $0,8m_0c$

Správné odpovědi: 1C, 2C, 3D, 4D, 5C, 6C, 7B, 8D, 9C, 10A, 11B, 12D, 13C, 14A, 15B, 16A, 17B, 18C, 19A, 20D, 21C, 22D, 23B, 24B.

Kapitola 4

Výzkumy ve světě

V poslední době výzkumů věnovaných zavádění speciální teorie relativity do škol v zahraničí přibývá. Výzkumy se prováděly například v Austrálii, Norsku, Německu, Itálii, Nizozemsku a v Korei [19]. Níže je popsán výzkum, kterého se zúčastnili studenti prvního ročníku z Australské národní univerzity¹.

4.1 Výzkum z Australské národní univerzity

Výzkum byl proveden v roce 2012 na Australské národní univerzitě. Studenti byli ve druhém semestru prvního ročníku. Výuka STR probíhala v rámci třítýdenního bloku devíti přednášek [20].

Před absolvováním výuky studenti nejprve vyplňovali vstupní test a po výuce výstupní test. Cílem bylo určit zda a o kolik se zlepšilo porozumění studentů STR. To bylo určeno pomocí normalizovaného přírůstku, který je definován jako změna obtížnosti položky vydělená hodnotou maximální možné změny obtížnosti položky. Zároveň u každé otázky měl student ohodnotit, nakolik si je jistý svou odpovědí. Bylo možné vybrat jednu z pěti možností: tipuji, nejistý, neutrální, přesvědčený, jistý. Toto pomohlo posoudit úroveň porozumění studentů. Vezměme si například otázku, na kterou většina studentů odpoví správně. Pokud by zároveň vyjádřili důvěru ve své odpovědi, naznačovalo by to, že studenti učivo chápou správně. Obráceně u otázky s vysokým podílem nesprávných odpovědí, ale vysokou mírou jistoty odpovědi, se může jednat o různé miskoncepty ve výuce. Dále se zkoumaly korelace mezi otázkami a byla také použita simulace Monte Carlo k určení míry nahodilosti průměrného skóre a korelací mezi otázkami [20].

¹Relativity concept inventory: Development, analysis, and results [20]

4.1.1 Základní parametry testu

Vstupní test absolvovalo 70 studentů, výstupní test 63 a oba dva testy psalo 53 studentů. Test obsahoval 24 otázek, na které bylo vyhrazeno 30 minut. Na výběr bylo ze dvou až pěti možností a jak již bylo zmíněno, u každé otázky studenti na pětihodnotové stupnici ohodnotili svoji jistotu volby odpovědi [20].

Průměrné skóre ve vstupním testu bylo 56 % a ve výstupním testu 71 %, z čehož vyplývá, že test byl poměrně snadný. Na druhou stranu testovaná třída vykazovala nadprůměrné studijní výsledky. Pomocí simulace Monte Carlo bylo zjištěno, že při náhodném výběru odpovědí byl průměrný výsledek 36 %. Jelikož je průměrná hodnota vstupního testu vzdálená o 20 procentních bodů, můžeme usuzovat, že studenti své odpovědi neodhadovali [20].

Průměrná citlivost testu je 0,24, některé otázky měly dokonce zápornou citlivost položky. Citlivost je relativně nízká, což může být částečně způsobeno snadností testu. Dalším parametrem, který byl zkoumaný, je hodnota Pearsonova korelačního koeficientu, který zkoumá korelaci mezi počtem bodů dané otázky a celkovým počtem bodů z testu. Průměrná hodnota koeficientu vyšla 0,36, což je vyhovující. Spolehlivost testu vyšla 0,74. Měřil se také normalizovaný zisk mezi vstupním a výstupním testem. U všech otázek kromě otázek 18, 19 a 21 bylo zaznamenáno zvýšení indexu obtížnosti [20].

4.1.2 Korelace mezi otázkami

Zkoumané byly také korelace mezi jednotlivými otázkami. Někdy jsou korelace žádoucí, pokud otázky testují stejnou znalost. V některých případech korelace mezi souvisejícími otázkami chybí. To je příklad otázek testujících porozumění dilataci času. V otázkách je řešena stejná situace ze dvou různých vztažných soustav, přičemž každý pozorovatel měří svými ideálními hodinami čas naměřený druhým pozorovatelem a zjišťuje, že oproti jeho hodinám jdou hodiny druhého pozorovatele pomaleji. Korelace mezi těmito otázkami vyšla záporně, což naznačuje chybnou představu o relativním pohybu [20].

4.1.3 Miskoncepty

Výzkum také odhalil některé mylné představy ve výuce STR. Jak již bylo zmíněno, žáci měli u každé otázky za úkol zaškrtnout, jak moc si jsou jistí svou odpovědí. Každá možnost byla pro potřeby výzkumu ohodnocena: tipuji (0), nejistý (0,25), neutrální (0,5), přesvědčený (0,75), jistý (1). Ve vstupním testu byla průměrná hodnota důvěry 0,5 (neutrální), po absolvování výstupního testu se hodnota zvýšila na

0,68 (neutrální až přesvědčený). Po výuce tedy došlo ke zvýšení důvěry. Průměrný Pearsonův koeficient mezi důvěrou studenta a jejich celkovému počtu bodů vzrostl z 0,11 pro vstupní test na 0,19 pro výstupní test. Z toho vyplývá, že studenti po absolvování výuky odpovídali častěji správně s větší jistotou [20].

U většiny otázek byla zjištěna pozitivní korelace mezi jistotou a celkovým počtem bodů, což značí určité zvládnutí daného učiva. Dvě otázky ale mají zápornou korelaci. Jedna otázka se týkala dilatace času, druhá principu kauzality. Většina studentů, kteří na druhou otázku odpověděli správně, hodnotila svou odpověď jako tip nebo nejistotu. Toto svědčí o slabém porozumění pojmu [20].

4.1.4 Rozdíly mezi pohlavími

Zkoumány byly také rozdíly mezi pohlavími. Úspěšnější ve vstupním a výstupním testu, jak v normovaném zisku tak i v sebedůvěře, byli muži. Studenti ale měli hodnocené i domácí úkoly, kde rozdíly mezi pohlavími nebyly zjištěny. Pro 4 otázky byl rozdíl v obtížnosti otázek 0,27, u více než poloviny otázek byl tento rozdíl 0,1, což nebylo statisticky významné [20].

Kapitola 5

Vyhodnocení otázek testu

Test vyplnilo celkem 316 žáků, z toho 158 žen, 155 mužů a 3 žáci pohlaví neuvedli. Do výzkumu se zapojilo celkem 13 gymnázií. 129 žáků z 9 škol absolvovalo výzkum STR v rámci volitelného semináře, 159 žákům z 5 škol byly základy STR předávány v rámci povinného předmětu fyzika (na některých gymnáziích byl test zadán jak v celé třídě, tak i v semináři, žádný žák ho ale nepsal 2x). Test vyplnilo i 28 žáků z matematické třídy.

5.1 Otázka č. 1

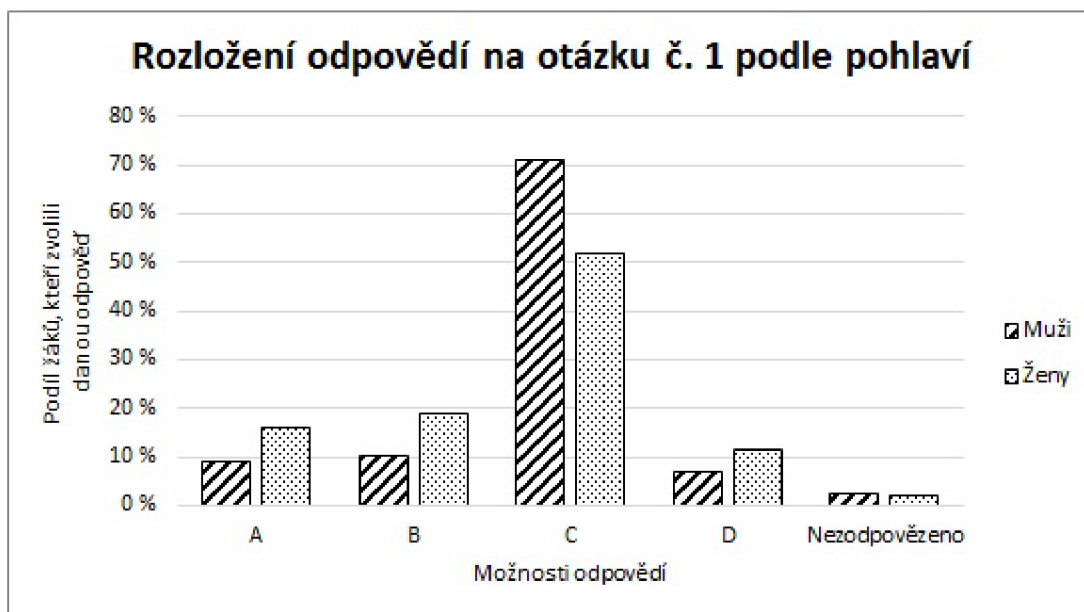
V první otázce mají žáci za úkol vybrat správné tvrzení ze čtyř nabízených. Všechna uvedená tvrzení se týkají obecnými principy relativity a mezí použitelnosti klasické mechaniky. Správná odpověď byla varianta C.

Z 316 žáků na otázku odpovědělo 308. Odpověď A vybralo celkem 39 žáků (12,34 %) z toho 25 žen (15,82 %) a 14 mužů (9,03 %). Odpověď B zvolilo 46 žáků (14,56 %) včetně 30 žen (18,99 %) a 16 mužů (10,32 %). Správně na tuto otázku odpovědělo 193 žáků (61,08 %) a z toho 82 žen (51,90 %) a 110 mužů (70,97 %), 1 žák neuvedl pohlaví. Možnost D označilo 30 žáků (9,49 %) z toho 18 žen (11,39 %) a 11 mužů (7,10 %). Osm žáků odpověď neuvedlo. Nesprávně odpovědělo 45 mužů (29,03 %) a 76 žen (48,10 %). Úspěšněji na tuto otázku odpovídali muži téměř o 20 procentních bodů.

Ze 159 žáků, kteří absolvovali výuku STR povinně, zodpovědělo na první otázku správně 80 (50,31 %) a nesprávně 79 žáků (49,69 %) (mezi žáky s nesprávnou odpovědí jsou zařazeni i žáci, kteří odpověď vynechali). STR se v rámci semináře z fyziky učilo 129 žáků, z toho 91 žáků (70,54 %) označilo správnou odpověď a 38 (29,46 %) nesprávnou. Z tabulky 6.1 i grafu 5.2 lze vidět, že žáci, kteří fyziku mají volitelně, byli úspěšnější.

Tabulka 5.1: Rozdělení odpovědí na otázku č. 1.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|---------------|----------------------|---------------------|-----------|----------------------|
| A | 14 (9,03 %) | 25 (15,82 %) | 0 | 39 (12,34 %) |
| B | 16 (10,32 %) | 30 (18,99 %) | 0 | 46 (14,56 %) |
| C | 110 (70,97 %) | 82 (51,90 %) | 1 | 193 (61,08 %) |
| D | 11 (7,10 %) | 18 (11,39 %) | 1 | 30 (9,49 %) |
| Nezodpovězeno | 4 (2,58 %) | 3 (1,90 %) | 1 | 8 (2,53 %) |

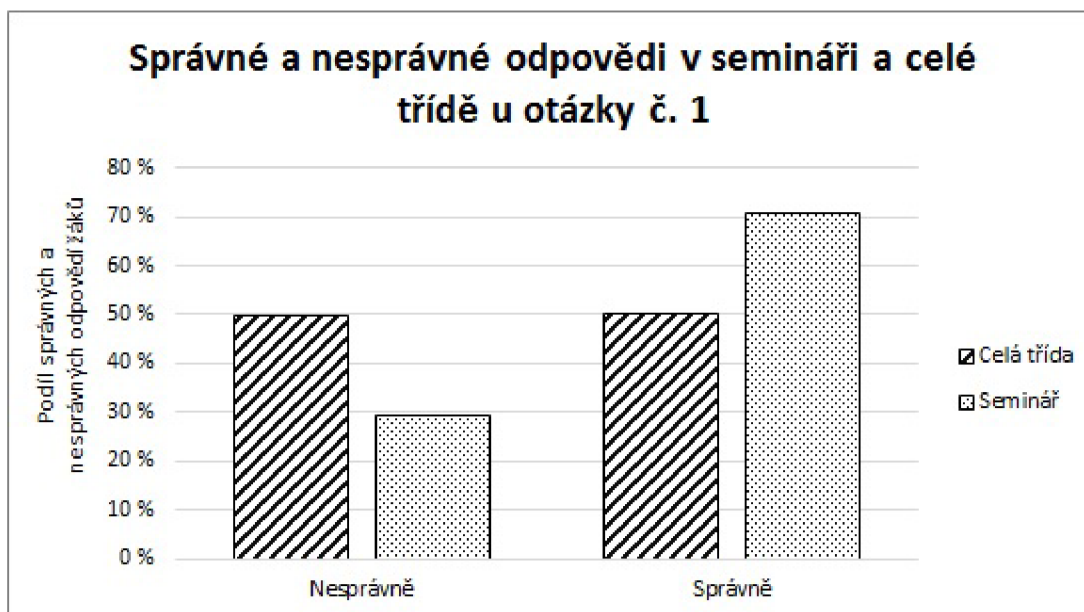


Obrázek 5.1: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 1.

Tabulka 5.2: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 1.

| | Celá třída | Seminář |
|------------------|--------------|--------------|
| Nesprávně | 79 (49,69 %) | 38 (29,46 %) |
| Správně | 80 (50,31 %) | 91 (70,54 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

Index obtížnosti položky, tedy procento žáků, kteří při řešení otázky zvolili správnou odpověď, je $P_1 = 61,08\%$ [18]. Průměrný bodový zisk žáků, kteří na otázku odpověděli správně, je 14,67 bodů. Žáci, kteří na otázku odpověděli nesprávně, mají průměrné skóre 10,50 bodů. Koefficient citlivosti položky spočítaný pomocí bodově-biseriálního koeficientu (2.3) vyšel $r_{bb1} = 0,49$. Podle [27] položka



Obrázek 5.2: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 1.

vykazuje dostatečnou citlivost, pokud je hodnota bodově-biseriálního koeficientu alespoň 0,20. Tato otázka rozlišuje dobře mezi lepšími a horšími žáky.

5.2 Otázka č. 2

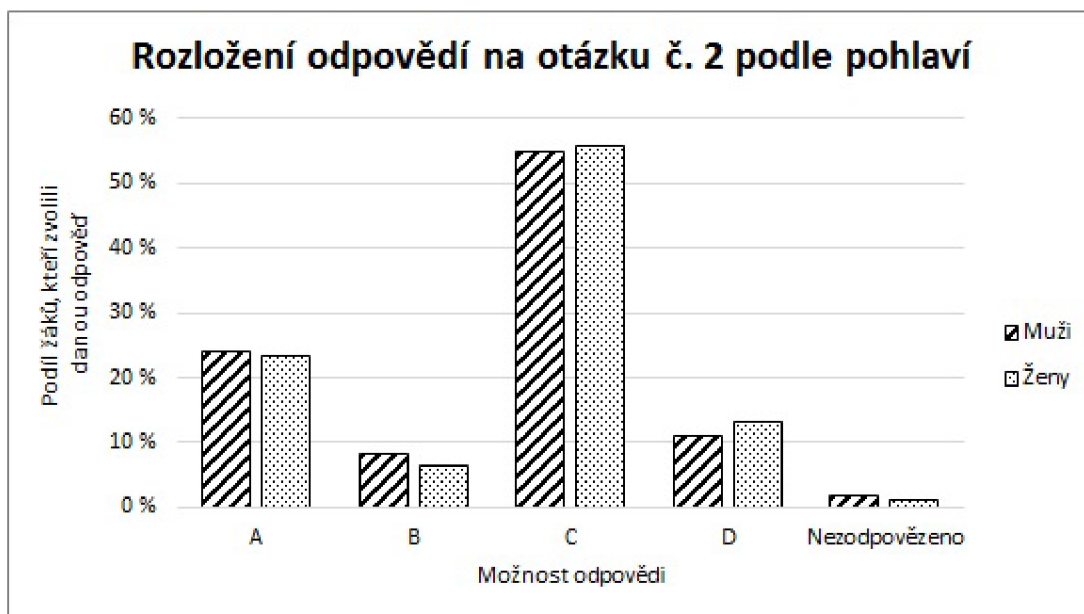
Ve druhé otázce žáci určovali, která z nabízených fyzikálních veličin se při velmi vysoké relativní rychlosti vztažných soustav nezmění. Touto fyzikální veličinou byla klidová energie, což je odpověď C.

Na tuto otázku neodpovědělo pět žáků, zbytek testovaných označilo některou z možných odpovědí. 75 žáků (23,73 %) si myslelo, že se s vysokou relativní rychlostí soustav nezmění celková energie. Tuto variantu označilo 37 žen (23,42 %), 37 mužů (23,87 %) a jeden žák nevyplnil pohlaví. Deset žen (6,33 %) a třináct mužů (8,39 %) mělo za to, že stejná zůstane kinetická energie. Možnost C zvolilo 88 žen (55,70 %) a 85 mužů (54,84 %), dva žáci neuvedli pohlaví. Celkově správnou odpověď označilo 175 žáků (55,38 %). Variantu D, tedy že zůstane stejná hybnost, vybralo 38 žáků (12,03 %) a z toho 21 žen (13,29 %) a 17 mužů (10,97 %). Nesprávnou nebo žádnou odpověď zvolilo celkem 141 žáků (44,62 %) z toho 70 žen (44,30 %) a 70 mužů (45,16 %).

Z žáků, kteří výuku STR absolvovali povinně, jich správně odpovědělo celkem 88 (55,35 %) a nesprávně 71 (44,65 %). Seminaristů odpovědělo nesprávně 55 (42,64 %) a správně 74 (57,36 %).

Tabulka 5.3: Rozdělení odpovědí na otázku č. 2.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|---------------|---------------------|---------------------|-----------|----------------------|
| A | 37 (23,87 %) | 37 (23,42 %) | 1 | 75 (23,73 %) |
| B | 13 (8,39 %) | 10 (6,33 %) | 0 | 23 (7,28 %) |
| C | 85 (54,84 %) | 88 (55,70 %) | 2 | 175 (55,38 %) |
| D | 17 (10,97 %) | 21 (13,29 %) | 0 | 38 (12,03 %) |
| Nezodpovězeno | 3 (1,94 %) | 2 (1,27 %) | 0 | 5 (1,58 %) |

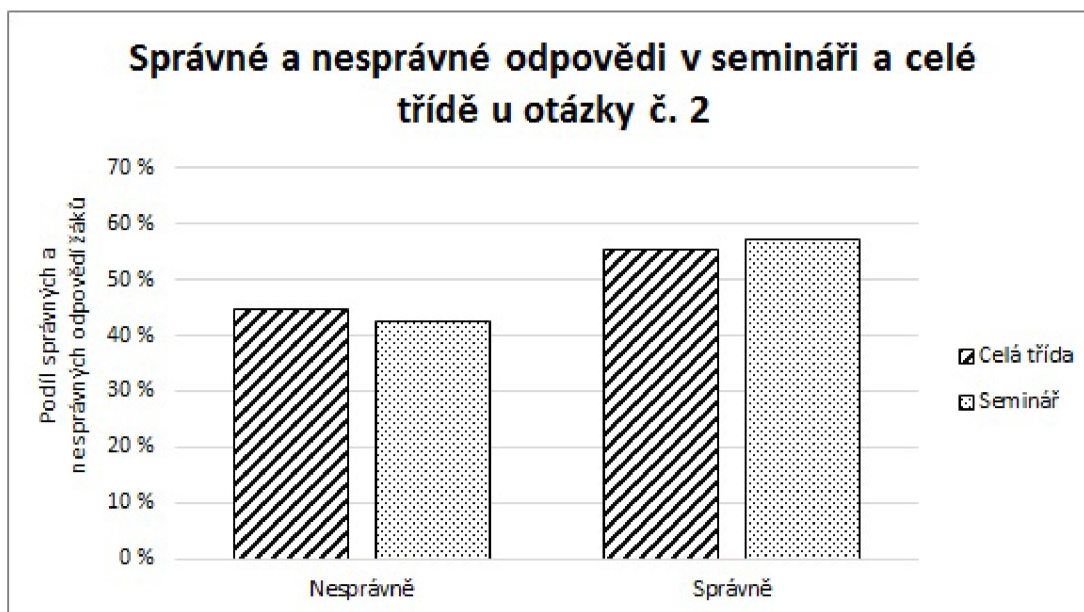


Obrázek 5.3: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 2.

Tabulka 5.4: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 2.

| | Celá třída | Seminář |
|------------------|--------------|--------------|
| Nesprávně | 71 (44,65 %) | 55 (42,64 %) |
| Správně | 88 (55,35 %) | 74 (57,36 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

Index obtížnosti otázky je $P_2 = 55,38\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 13,41 bodů. Průměrný počet bodů žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 12,60 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky je $r_{bb2} = 0,10$. Tato otázka rozlišuje málo mezi lepšími a horšími žáky.



Obrázek 5.4: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázce č. 2.

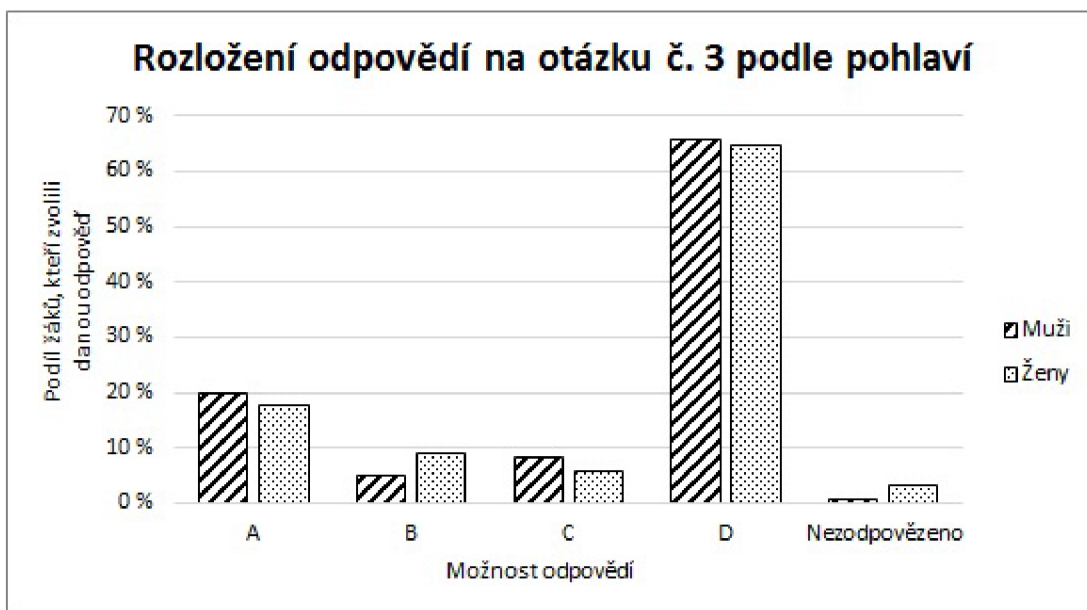
5.3 Otázka č. 3

Třetí otázka se týká rychlosti, kterou dopadá světlo ze Slunce na raketu, která se pohybuje od něj. Správná odpověď je D, světlo na raketu dopadá rychlostí c .

Některou z odpovědí označilo 310 žáků z 316. Nejčastěji zvoleným distraktorem byla možnost A, tedy že rychlost je $0,5c$, tuto odpověď zvolilo 59 žáků (18,67%) z toho 28 žen (17,72%) a 31 mužů (20,00%). Možnost, že rychlost dopadu světla bude $0,75c$, zvolilo 22 žáků (6,96%) z toho 14 žen (8,86%) a 8 mužů (5,16%). Možnost C (rychlost $0,3c$) za správnou považovalo 23 žáků (7,28%) z toho 9 žen (5,70%), 13 mužů (8,39%) a jeden žák nevedl pohlaví. Správnou odpověď D zvolilo 206 žáků (65,19%) z toho 102 žen (64,56%), 102 mužů (65,81%) a dva žáci nevedli pohlaví. Jednu z nesprávných odpovědí zvolilo 110 žáků (34,81%) včetně 56 žen (35,44%), 53 mužů (34,19%) a jednoho žáka, který nevedl pohlaví.

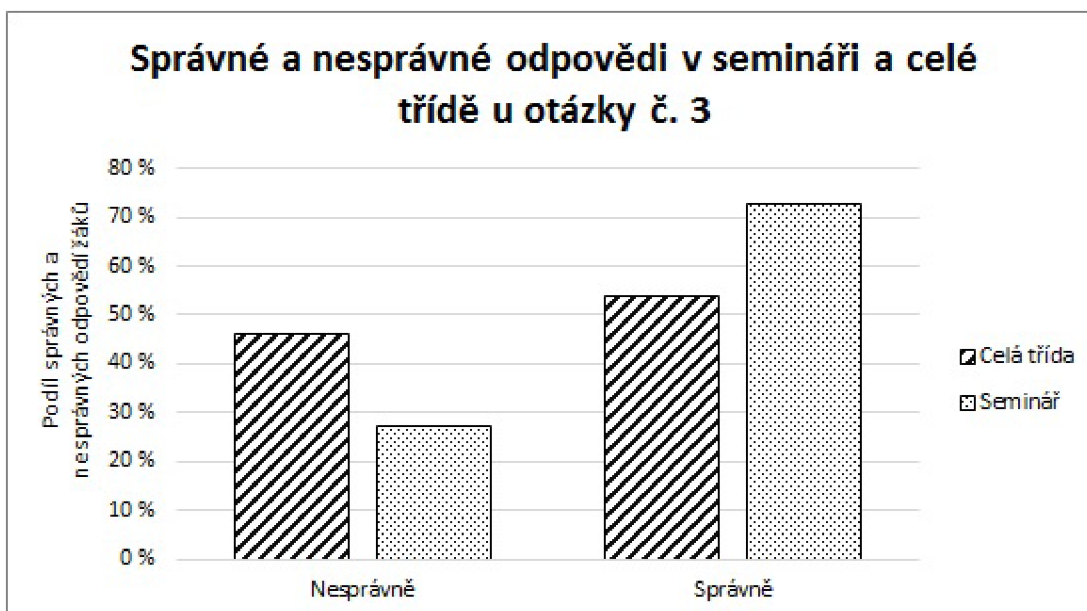
Tabulka 5.5: Rozdělení odpovědí na otázku č. 3.

| Možnost | Muž | Žena | Nevedeno | Celkem |
|---------------|---------------|---------------|----------|---------------|
| A | 31 (20,00 %) | 28 (17,72 %) | 0 | 59 (18,67 %) |
| B | 8 (5,16 %) | 14 (8,86 %) | 0 | 22 (6,96 %) |
| C | 13 (8,39 %) | 9 (5,70 %) | 1 | 23 (7,28 %) |
| D | 102 (65,81 %) | 102 (64,56 %) | 2 | 206 (65,19 %) |
| Nezodpovězeno | 1 (0,65 %) | 5 (3,16 %) | 0 | 6 (1,90 %) |



Obrázek 5.5: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 3.

Ze škol, kde STR probírá celá třída, uvedlo správnou odpověď 86 žáků (54,09 %) a nesprávnou 73 žáků (45,91 %). Žáci ze semináře označili správnou odpověď v 94 případech (72,87 %) a nesprávnou ve 35 případech (27,13 %).



Obrázek 5.6: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázce č. 3.

Index obtížnosti třetí otázky je $P_3 = 65,19\%$. Průměrný počet bodů u žáků, kteří zvolili správnou odpověď, je 14,40 bodů. Průměrný počet bodů u žáků, kteří

Tabulka 5.6: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 3.

| | Celá třída | Seminář |
|------------------|-------------------|----------------|
| Nesprávně | 73 (45,91 %) | 35 (27,13 %) |
| Správně | 86 (54,09 %) | 94 (72,87 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

odpověděli nesprávně, je 10,52 bodů. Koefficient citlivosti vyšel $r_{bb3} = 0,45$, což znamená, že otázka rozlišuje uspokojivě mezi slabšími a silnějšími žáky.

5.4 Otázka č. 4

Tato otázka je podobná předešlé. Rozdíl mezi otázkami je, že v tomto případě se raketa pohybuje směrem ke Slunci. Správná odpověď je opět D, světlo dopadá na raketu rychlostí c .

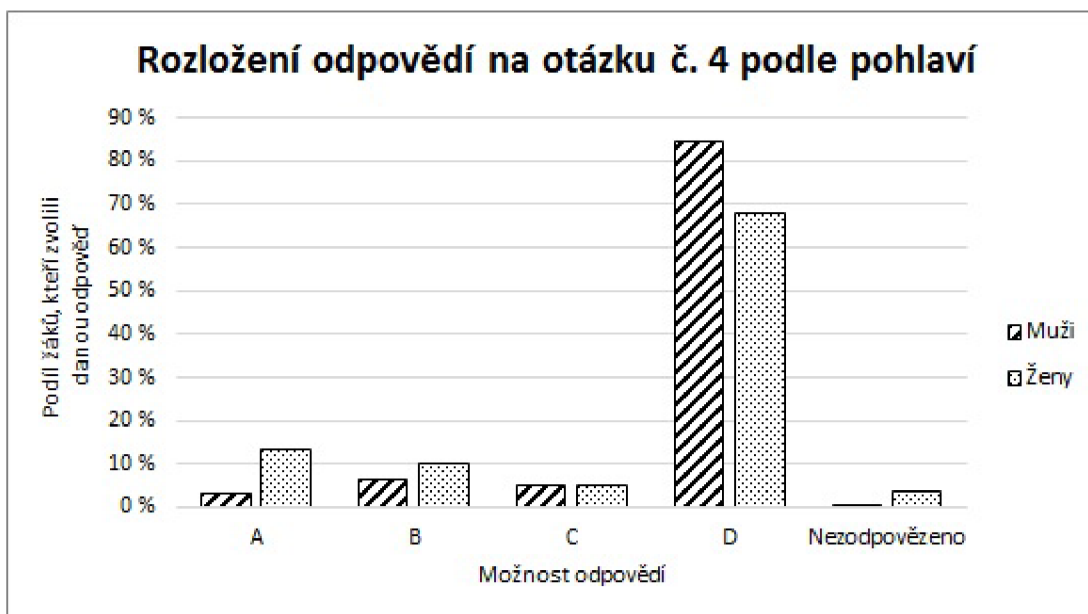
Na otázku neodpovědělo sedm žáků. Rychlost $0,5c$ zvolilo 21 žen (13,29 %), 5 mužů (3,23 %) a jeden žák, který neuvedl pohlaví, celkově tedy 27 žáků (8,54 %). Rychlost $0,75c$ považovalo za správnou 26 žáků (8,23 %) z toho 16 žen (10,13 %) a 10 mužů (6,45 %). Možnost C, tedy rychlost $0,3c$, vybralo 8 žen (5,06 %) a 8 mužů (5,16 %). Na otázku správně odpovědělo celkem 240 žáků (75,95 %) z toho 107 žen (67,72 %), 131 mužů (84,52 %) a 2 žáci neuvedli své pohlaví. Nesprávnou odpověď zvolilo 76 žáků (24,05 %) z toho 24 mužů (15,48 %) a 51 žen (32,28 %).

Tabulka 5.7: Rozdělení odpovědí na otázku č. 4.

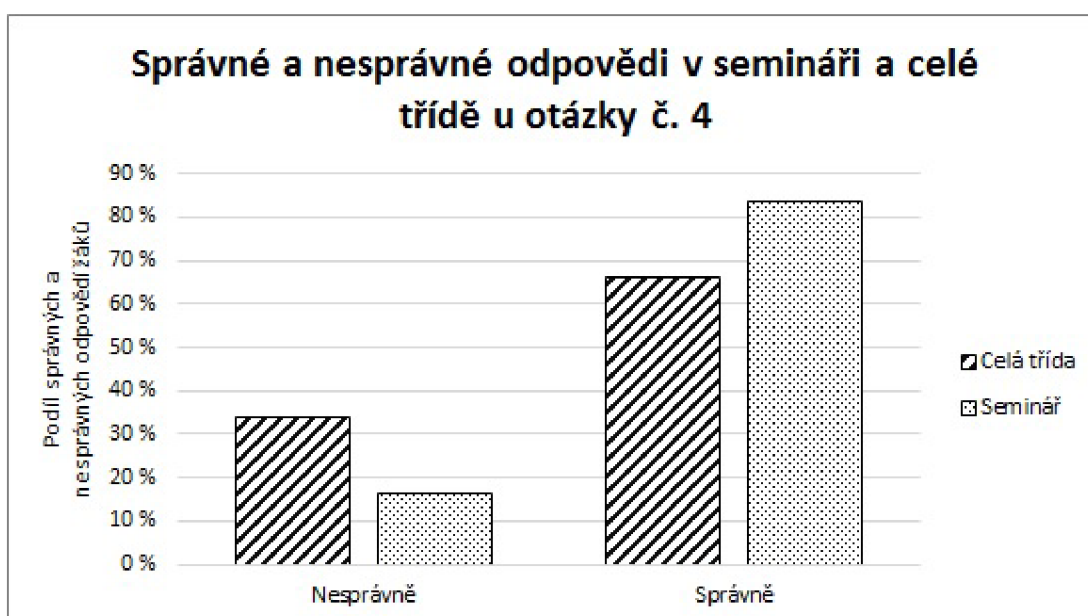
| Možnost odpovědi | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|-------------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|
| A | 5 (3,23 %) | 21 (13,29 %) | 1 | 27 (8,54 %) |
| B | 10 (6,45 %) | 16 (10,13 %) | 0 | 26 (8,23 %) |
| C | 8 (5,16 %) | 8 (5,06 %) | 0 | 16 (5,06 %) |
| D | 131 (84,52 %) | 107 (67,72 %) | 2 | 240 (75,95 %) |
| Nezodpovězeno | 1 (0,65 %) | 6 (3,80 %) | 0 | 7 (2,22 %) |

Žáci, kteří výuku absolvovali v povinné fyzice, měli správnou odpověď ve 105 případech (66,04 %) a nesprávnou v 54 (33,96 %) případech. Ze semináře odpovědělo správně 108 žáků (83,72 %) a nesprávně 21 žáků (16,28 %).

Index obtížnosti otázky je $P_4 = 75,95$ %. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně,



Obrázek 5.7: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 4.



Obrázek 5.8: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 4.

ně, dosáhli průměrného bodového zisku 14,09 bodů. Průměrný počet bodů žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 9,76 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb4} = 0,45$. Otázka rozlišuje uspokojivě mezi horšími a lepšími žáky.

Tabulka 5.8: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 4.

| | Celá třída | Seminář |
|------------------|-------------------|----------------|
| Nesprávně | 54 (33,96 %) | 21 (16,28 %) |
| Správně | 105 (66,04 %) | 108 (83,72 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

5.5 Otázka č. 5

Otázka č. 5 zkoumá pochopení dilatace času. Mach a Šebestová se vůči sobě pohybují rychlostí blízkou c . Mach měří interval mezi záblesky, které k němu vyslala Šebestová podle jejich hodin v rozmezí 1 nanosekundy. Žáci mají určit, jaký je interval mezi záblesky podle Macha. Správná možnost je C.

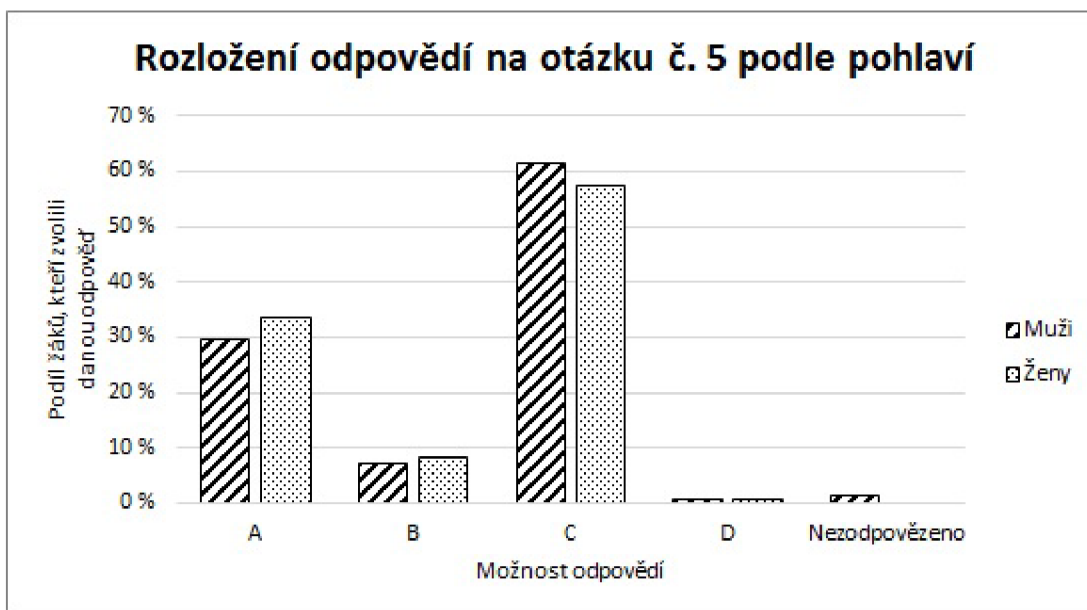
Na tuto otázku odpověděli všichni až na dva žáky. 101 žáků (31,96 %) si myslí, že Mach naměří intervaly kratší než 1 nanosekunda. Z toho má toto přesvědčení 53 žen (33,54 %), 46 mužů (29,68 %) a dva žáci neuvedli pohlaví. 24 žáků (7,59 %) z toho 13 žen (8,23 %) a 11 mužů (7,10 %) má za to, že interval bude přesně 1 nanosekunda, a 1 žena (0,63 %) a 1 muž (0,65 %) uvedli, že o tom nelze rozhodnout. Správná odpověď je, že interval mezi záblesky bude trvat více jak 1 nanosekundu, a tuto možnost zvolilo 95 mužů (61,29 %), 91 žen (57,59 %) a 1 žák neuvedl pohlaví. Celkem zvolilo správnou odpověď 187 žáků (59,18 %). Nesprávnou odpověď zvolilo 67 žen (42,41 %) a 60 mužů (38,71 %).

Tabulka 5.9: Rozdělení odpovědí na otázku č. 5.

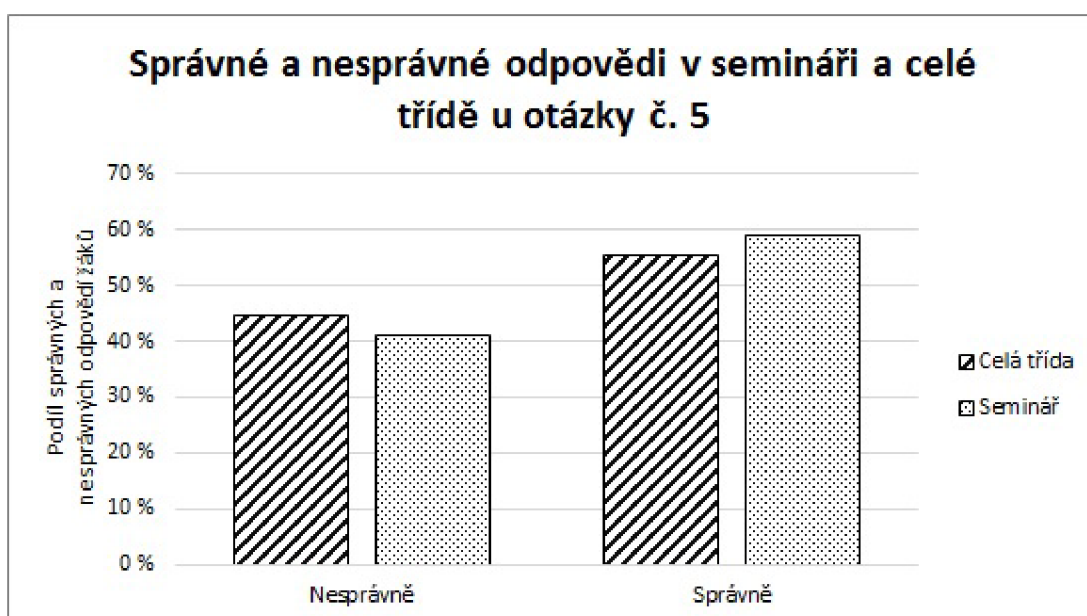
| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|----------------------|--------------|--------------|------------------|---------------|
| A | 46 (29,68 %) | 53 (33,54 %) | 2 | 101 (31,96 %) |
| B | 11 (7,10 %) | 13 (8,23 %) | 0 | 24 (7,59 %) |
| C | 95 (61,29 %) | 91 (57,59 %) | 1 | 187 (59,18 %) |
| D | 1 (0,65 %) | 1 (0,63 %) | 0 | 2 (0,63 %) |
| Nezodpovězeno | 2 (1,29 %) | 0 | 0 | 2 (0,63 %) |

Žáci, kteří se STR učili v rámci povinné fyziky, zvolili správnou možnost v 88 případech (55,35 %) a chybnou v 71 případech (44,65 %). Žáci v rámci seminářů odpovídali správně v 76 případech (58,91 %) a nesprávně v 53 případech (41,09 %). V této otázce častěji odpovídali správně žáci, kteří mají fyziku povinnou.

Index obtížnosti otázky je $P_5 = 59,18 \%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně



Obrázek 5.9: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 5.



Obrázek 5.10: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 5.

ně, dosáhli průměrného bodového zisku 13,91 bodů. Průměrný počet bodů žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 11,80 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb5} = 0,25$.

Tabulka 5.10: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 5.

| | Celá třída | Seminář |
|------------------|-------------------|----------------|
| Nesprávně | 71 (44,65 %) | 53 (41,09 %) |
| Správně | 88 (55,35 %) | 76 (58,91 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

5.6 Otázka č. 6

Tato otázka je podobná jako předchozí a žáci určují interval záblesků. Rozdíl je v tom, že záblesky posílá Mach podle jeho hodin v rozmezí 1 nanosekundy a úkolem je určit, jaký interval mezi záblesky naměří Šebestová. Opět je správná odpověď možnost C, tedy že interval mezi záblesky bude větší než 1 nanosekunda.

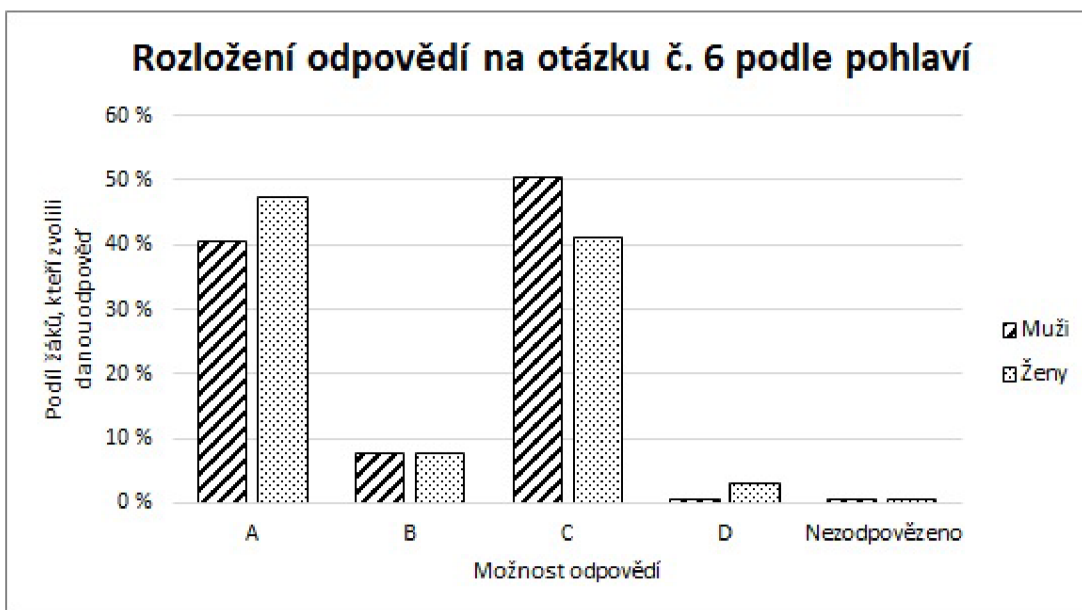
Tuto otázku vynechali dva žáci. 139 žáků (43,99 %) si myslí, že interval bude kratší než 1 nanosekunda z toho 75 žen (47,47 %) a 63 mužů (40,65 %). Možnost, že interval mezi záblesky bude přesně 1 nanosekunda, zvolilo 24 žáků (7,59 %) včetně 12 žen (7,59 %) a 12 mužů (7,74 %). Správnou odpověď označilo 65 žen (41,14 %) a 78 mužů (50,32 %), 1 žák neuvedl pohlaví. Dohromady označilo správnou odpověď 144 žáků (45,57 %). Pět žen (3,16 %) a jeden muž (0,65 %) si mysleli, že o délce intervalu nelze rozhodnout. Nesprávnou odpověď zvolilo 77 mužů (49,68 %) a 93 žen (58,86 %).

Tabulka 5.11: Rozdělení odpovědí na otázku č. 6.

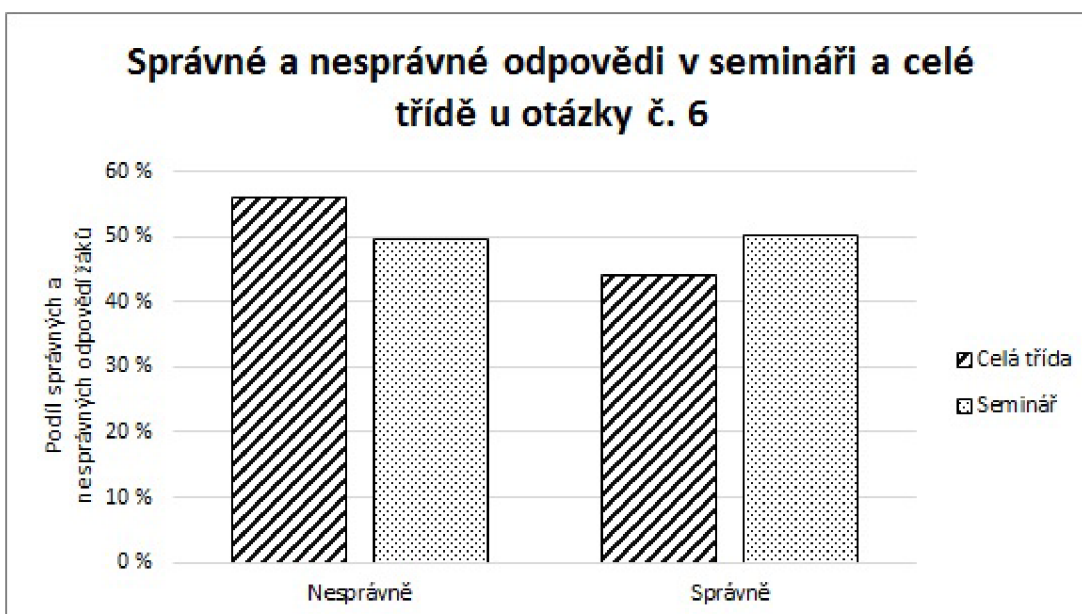
| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|----------------------|--------------|--------------|------------------|---------------|
| A | 63 (40,65 %) | 75 (47,47 %) | 1 | 139 (44,99 %) |
| B | 12 (7,74 %) | 12 (7,59 %) | 0 | 24 (7,59 %) |
| C | 78 (50,32 %) | 65 (41,14 %) | 1 | 144 (45,57 %) |
| D | 1 (0,65 %) | 5 (3,16 %) | 1 | 7 (2,22 %) |
| Nezodpovězeno | 1 (0,65 %) | 1 (0,63 %) | 0 | 2 (0,63 %) |

Z žáků, kteří výuku STR absolvovali povinně, jich správně odpovědělo celkem 70 (44,03 %) a nesprávně 89 (55,97 %). Seminaristů odpovědělo nesprávně 64 (50,39 %) a správně 65 (49,61 %).

Index obtížnosti třetí otázky je $P_6 = 45,57\%$. Průměrný počet bodů u žáků, kteří zvolili správnou odpověď, je 12,94 bodů. Průměrný počet bodů u žáků, kteří odpověděli nesprávně, je 13,14 bodů. Koeficient citlivosti vyšel $r_{bb6} = -0,02$, což



Obrázek 5.11: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 6.



Obrázek 5.12: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 6.

znamená, že na otázku o trochu lépe žáci, kteří měli celkový počet bodů z testu nižší.

Tabulka 5.12: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 6.

| | Celá třída | Seminář |
|------------------|-------------------|----------------|
| Nesprávně | 89 (55,97 %) | 64 (49,61 %) |
| Správně | 70 (44,03 %) | 65 (50,39 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

5.7 Otázka č. 7

V sedmé otázce žáci vybírali, který z grafů znázorňuje délku pohybující se tyče v závislosti na rychlosti v klasické fyzice. Správná odpověď byla B.

Na otázku odpověděli všichni až na dva žáky. Možnost A zvolilo 8 žen (5,06 %) a jeden žák, který neuvedl pohlaví, celkově tedy 9 žáků (2,85 %). Správně odpovědělo celkem 275 žáků (87,03 %) z toho 132 žen (83,54 %) a 141 mužů (90,97 %), 2 žáci neuvedli pohlaví. Možnost C vybralo 13 žen (8,23 %) a 7 mužů (4,52 %). Možnost D považovalo za správnou odpověď 10 žáků (3,16 %) z toho 5 žen (3,16 %) a 5 mužů (3,23 %). Nesprávnou odpověď zvolilo 14 mužů (9,03 %) a 26 žen (16,46 %).

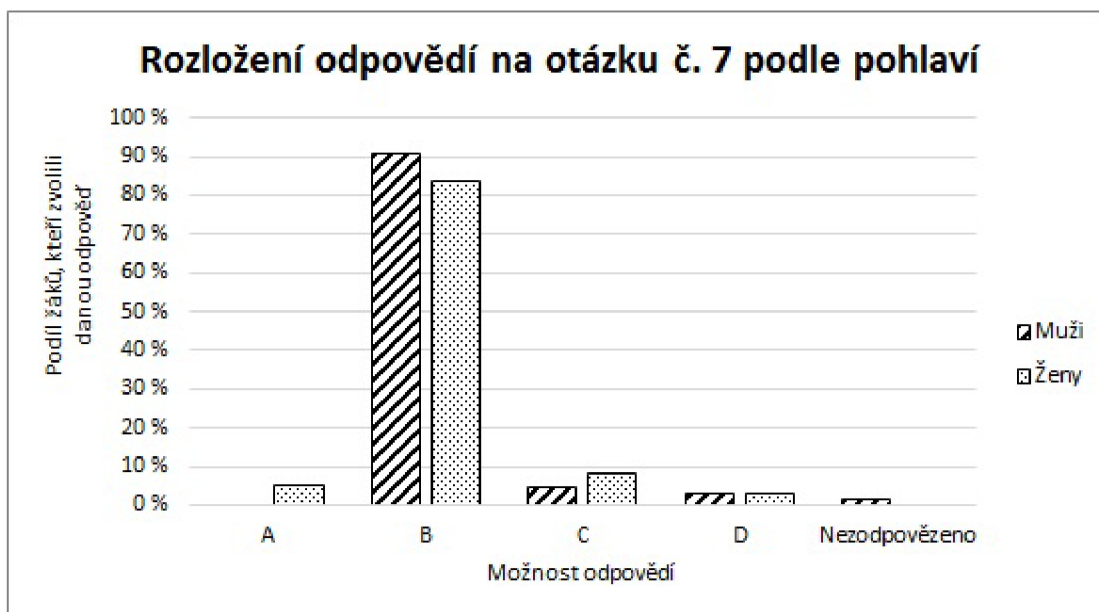
Tabulka 5.13: Rozdělení odpovědí na otázku č. 7.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|----------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|
| A | 0 | 8 (5,06 %) | 1 | 9 (2,85 %) |
| B | 141 (90,97 %) | 132 (83,54 %) | 2 | 275 (87,03 %) |
| C | 7 (4,52 %) | 13 (8,23 %) | 0 | 20 (6,33 %) |
| D | 5 (3,23 %) | 5 (3,16 %) | 0 | 10 (3,16 %) |
| Nezodpovězeno | 2 (1,29 %) | 0 | 0 | 2 (0,63 %) |

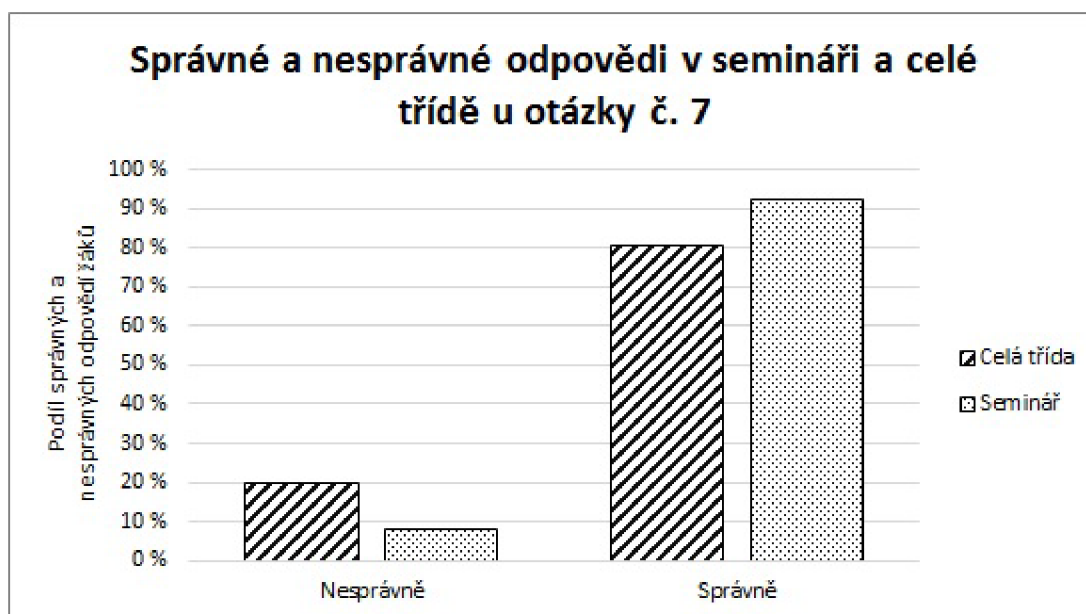
Tabulka 5.14: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 7.

| | Celá třída | Seminář |
|------------------|-------------------|----------------|
| Nesprávně | 31 (19,50 %) | 10 (7,75 %) |
| Správně | 128 (80,50 %) | 119 (92,25 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

Žáci, kteří výuku absolvovali v povinné fyzice, vybrali správnou odpověď ve 128



Obrázek 5.13: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 7.



Obrázek 5.14: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 7.

případech (80,50 %) a nesprávnou ve 31 (19,50 %) případech. Ze semináře odpovědělo správně 119 žáků (92,25 %) a nesprávně 10 žáků (7,75 %).

Index obtížnosti otázky je $P_7 = 87,03\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 13,71 bodů. Průměrný počet bodů žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 8,61 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb7} = 0,41$.

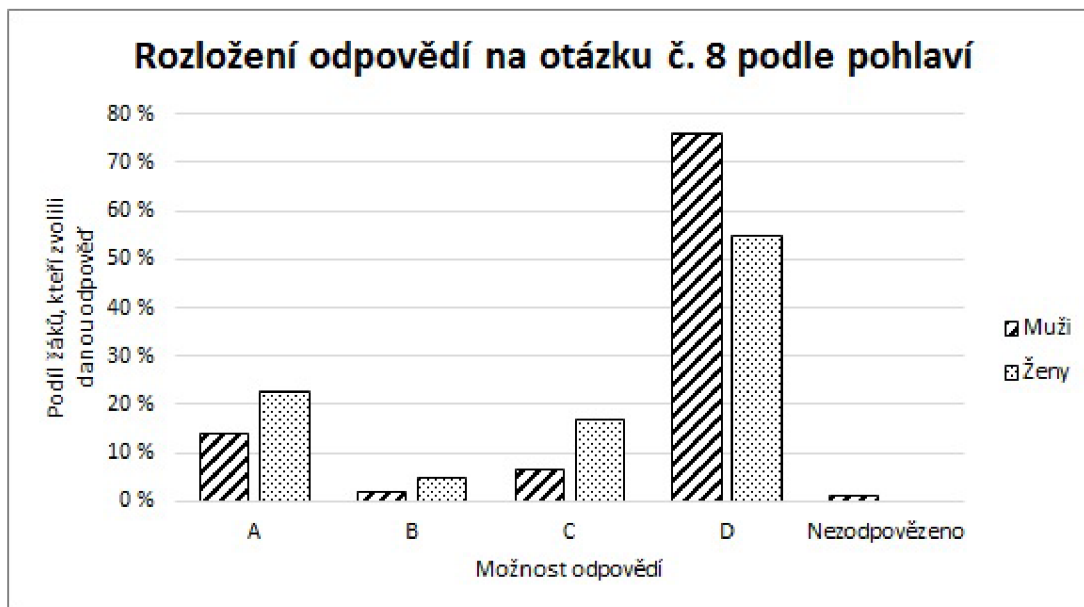
5.8 Otázka č. 8

V této otázce žáci přiřazovali graf, který znázorňuje závislost délky pohybující se tyče na její rychlosti v relativistické fyzice. Správná odpověď byla D.

Na otázku odpovědělo 314 žáků z 316. Možnost A zvolilo 36 žen (22,78 %) a 22 mužů (14,19 %), celkově tedy 58 žáků (18,35 %). Možnost B považovalo za správnou odpověď 12 žáků (3,80 %) z toho 8 žen (5,06 %), 3 muži (1,94 %) a jeden žák, který nevyplnil své pohlaví. Možnost C vybralo celkem 38 žáků (12,03 %) z toho 27 žen (17,09 %) a 10 mužů (6,45 %). Správně odpovědělo celkem 206 žáků (65,19 %) z toho 87 žen (55,06 %) a 118 mužů (76,13 %), 1 žák neuvedl své pohlaví. Nesprávnou odpověď zvolilo 37 mužů (23,87 %) a 71 žen (44,94 %). Výrazně úspěšnější byli v této otázce muži.

Tabulka 5.15: Rozdělení odpovědí na otázku č. 8.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|---------------|---------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 22 (14,19 %) | 36 (22,78 %) | 0 | 58 (18,35 %) |
| B | 3 (1,94 %) | 8 (5,06 %) | 1 | 12 (3,80 %) |
| C | 10 (6,45 %) | 27 (17,09 %) | 1 | 38 (12,03 %) |
| D | 118 (76,13 %) | 87 (55,06 %) | 1 | 206 (65,19 %) |
| Nezodpovězeno | 2 (1,29 %) | 0 | 0 | 2 (0,63 %) |



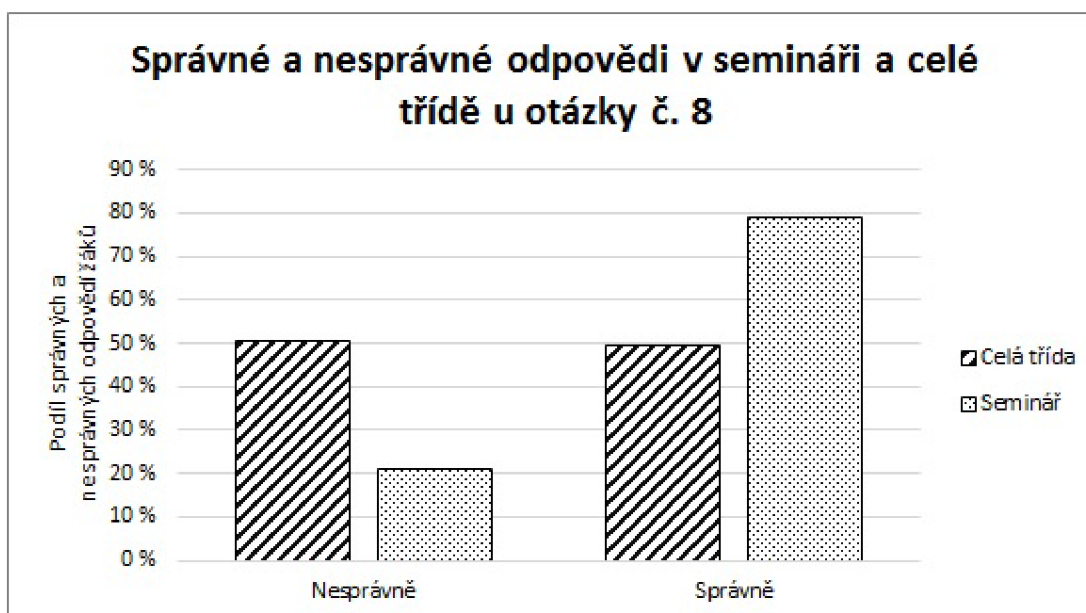
Obrázek 5.15: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 8.

Z žáků, kteří absolvovali výuku STR povinně, zodpovědělo na první otázku

správně 79 (55,42 %) a nesprávně 80 žáků (50,31 %). STR se v rámci semináře z fyziky učilo 129 žáků, z toho 102 žáků (79,07 %) označilo správnou odpověď a 27 (20,93 %) nesprávnou.

Tabulka 5.16: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 8.

| | Celá třída | Seminář |
|-----------|--------------|---------------|
| Nesprávně | 80 (55,42 %) | 27 (20,93 %) |
| Správně | 79 (49,69 %) | 102 (79,07 %) |
| Celkem | 159 | 129 |



Obrázek 5.16: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 8.

Index obtížnosti otázky je $P_8 = 65,19\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 14,64 bodů. Průměrný počet bodů žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 10,06 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb8} = 0,53$. Otázka rozlišuje dobře mezi horšími a lepšími žáky.

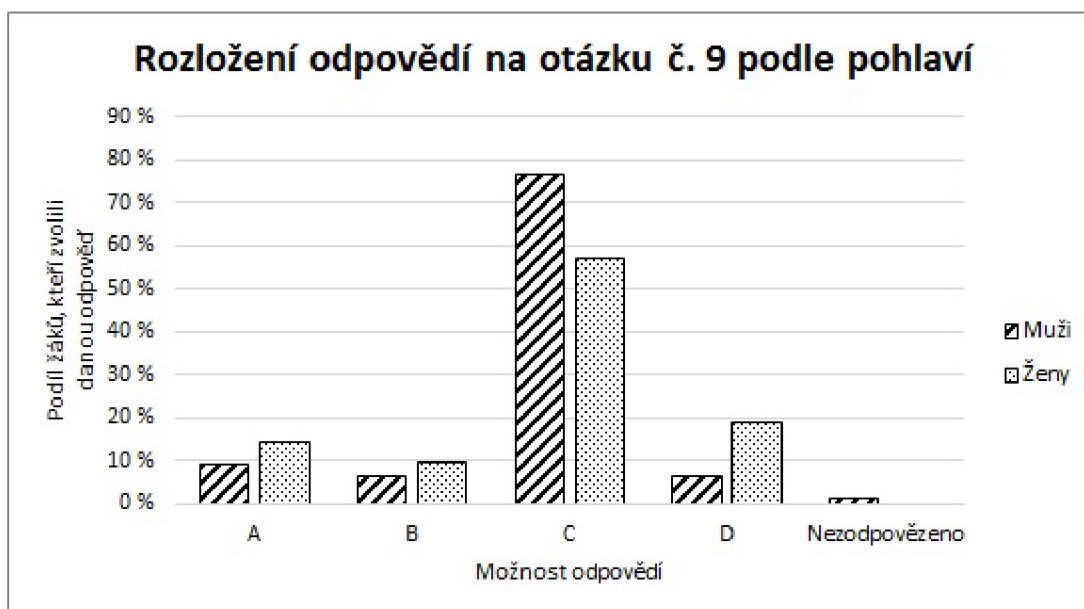
5.9 Otázka č. 9

Úkolem této otázky bylo vybrat graf, který znázorňuje závislost kinetické energie částice na rychlosti v relativistické fyzice. Správný graf je označen písmenem C.

Na otázku odpovědělo 314 žáků z 316. Možnost A zvolilo 23 žen (14,56 %) a 14 mužů (9,03 %), jeden žák neuvedl pohlaví, celkově tedy 38 žáků (12,03 %). Možnost B považovalo za správnou odpověď 25 žáků (7,91 %) z toho 15 žen (9,49 %) a 10 mužů (6,45 %). Správnou možnost C vybralo celkem 209 žáků (66,14 %) z toho 90 žen (56,96 %) a 119 mužů (76,77 %). 42 žáků (13,29 %) označilo jako odpověď D z toho 30 žen (18,99 %) a 10 mužů (6,45 %), 2 žáci neuvedli své pohlaví. Nesprávnou odpověď zvolilo 36 mužů (23,23 %) a 68 žen (43,04 %).

Tabulka 5.17: Rozdělení odpovědí na otázku č. 9.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|---------------|---------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 14 (9,03 %) | 23 (14,56 %) | 1 | 38 (12,03 %) |
| B | 10 (6,45 %) | 15 (9,49 %) | 0 | 25 (7,91 %) |
| C | 119 (76,77 %) | 90 (56,96 %) | 0 | 209 (66,14 %) |
| D | 10 (6,45 %) | 30 (18,99 %) | 2 | 42 (13,29 %) |
| Nezodpovězeno | 2 (1,29 %) | 0 | 0 | 2 (0,63 %) |



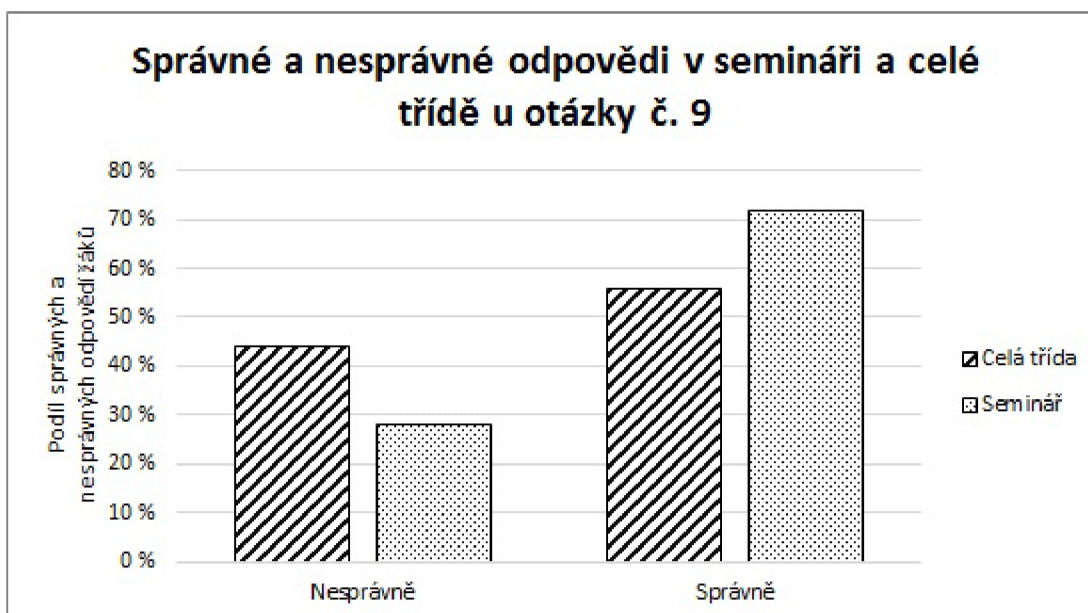
Obrázek 5.17: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 9.

Ze škol, kde STR probírá celá třída, uvedlo správnou odpověď 89 žáků (55,97 %)

a nesprávnou 70 žáků (44,03 %). Žáci ze semináře označili správnou odpověď v 93 případech (72,09 %) a nesprávnou ve 36 případech (27,91 %).

Tabulka 5.18: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 9.

| | Celá třída | Seminář |
|---------------|--------------|--------------|
| Nesprávně | 70 (44,03 %) | 36 (27,91 %) |
| Správně | 89 (55,97 %) | 93 (72,09 %) |
| Celkem | 159 | 129 |



Obrázek 5.18: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 9.

Index obtížnosti otázky je $P_9 = 66,14\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 14,57 bodů. Průměrný počet bodů žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 10,07 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb9} = 0,52$. Otázka rozlišuje dobře mezi horšími a lepšími žáky.

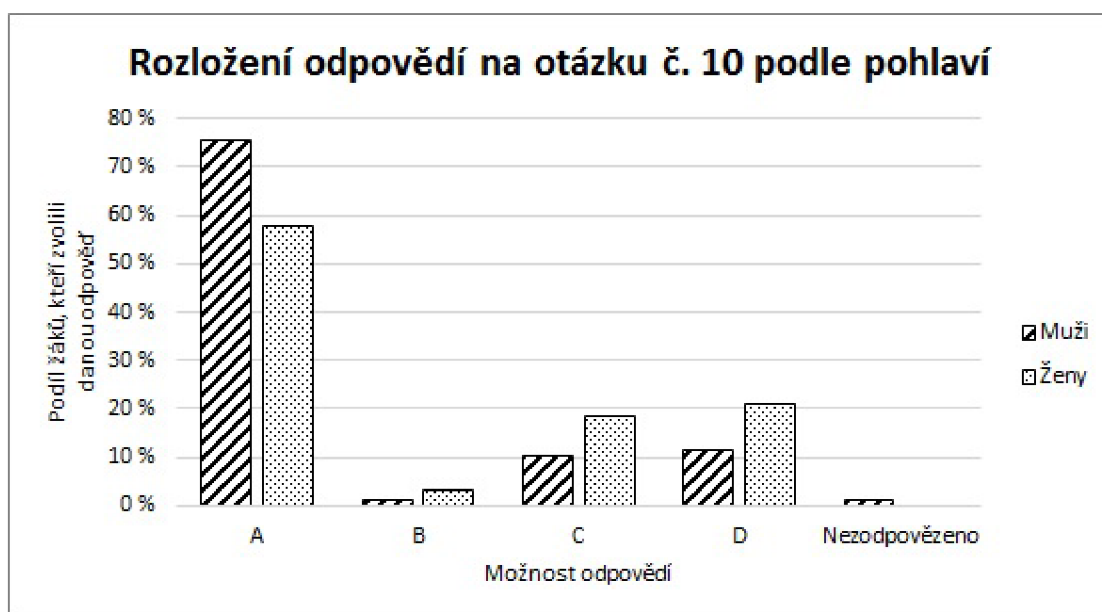
5.10 Otázka č. 10

V desáté otázce žáci vybírali, který z grafů znázorňuje závislost kinetické energie pohybující se částice na rychlosti v relativistické fyzice. Správná odpověď byla A.

Některou z odpovědí označilo 314 žáků z 316. Správnou odpověď A zvolilo 209 žáků (66,14 %) z toho 91 žen (57,59 %), 117 mužů (75,48 %) a jeden žák neuvádějící pohlaví. Možnost B vybralo pouze 7 žáků (2,22 %) včetně 5 žen (3,16 %) a 2 mužů (1,29 %). Možnost C za správnou považovalo 47 žáků (14,87 %) z toho 29 žen (18,35 %) a 16 mužů (10,32 %), dva žáci neoznačili pohlaví. Nejčastěji zvoleným distraktorem byla možnost D, tuto odpověď zvolilo 51 žáků (16,14 %) z toho 33 žen (20,89 %) a 18 mužů (11,61 %). Jednu z nesprávných odpovědí zvolilo 107 žáků (33,86 %) včetně 67 žen (42,41 %), 38 mužů (24,52 %) a dvou žáků, kteří neuvedli pohlaví.

Tabulka 5.19: Rozdělení odpovědí na otázku č. 10.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|----------------------|---------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 117 (75,48 %) | 91 (57,59 %) | 1 | 209 (66,14 %) |
| B | 2 (1,29 %) | 5 (3,16 %) | 0 | 7 (2,22 %) |
| C | 16 (10,32 %) | 29 (18,35 %) | 2 | 47 (14,87 %) |
| D | 18 (11,61 %) | 33 (20,89 %) | 0 | 51 (16,14 %) |
| Nezodpovězeno | 2 (1,29 %) | 0 | 0 | 2 (0,63 %) |

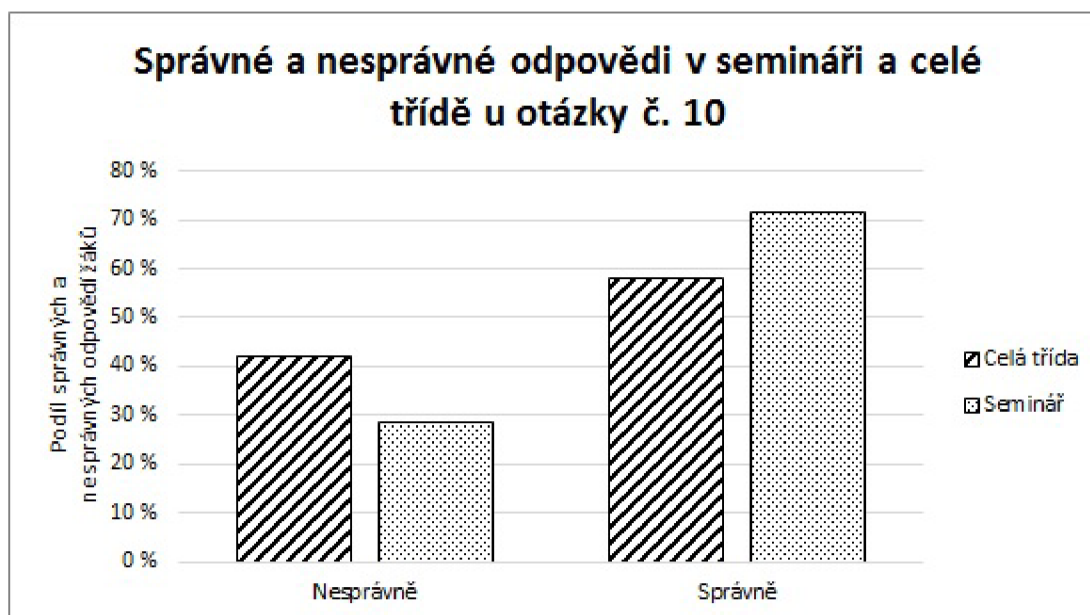


Obrázek 5.19: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 10.

Ze škol, kde STR probírá celá třída, uvedlo správnou odpověď 92 žáků (57,86 %) a nesprávnou 67 žáků (42,14 %). Žáci ze semináře označili správnou odpověď v 92 případech (71,32 %) a nesprávnou ve 37 případech (28,68 %).

Tabulka 5.20: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 10.

| | Celá třída | Seminář |
|---------------|--------------|--------------|
| Nesprávně | 67 (42,14 %) | 37 (28,68 %) |
| Správně | 92 (57,86 %) | 92 (71,32 %) |
| Celkem | 159 | 129 |



Obrázek 5.20: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 10.

Index obtížnosti otázky je $P_{10} = 66,14\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 14,47 bodů. Průměrný počet bodů žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 10,26 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb10} = 0,48$.

5.11 Otázka č. 11

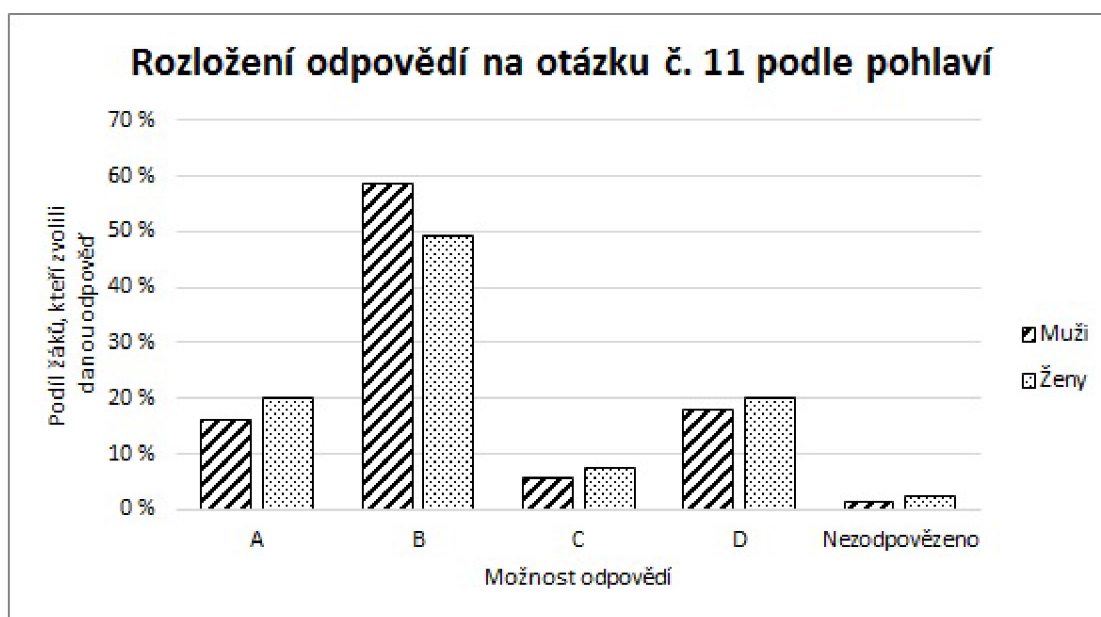
V další otázce žáci rozhodují, jak se pro pozorovatele v soustavě s změní měřítko a chod hodin v soustavě S' , která se vůči soustavě S pohybuje rychlostí blízkou rychlosti světla. Správná odpověď je, že měřítko se zkrátilo a hodiny jdou pomaleji, což je možnost B.

Na otázku odpovědělo 310 žáků. 58 (20,63 %) žáků si myslí, že měřítko se zkrá-

tilo a hodiny jdou rychleji. Z toho má toto přesvědčení 32 žen (20,25 %) a 25 mužů (16,13 %). Správnou odpověď zvolilo 91 mužů (58,71 %), 78 žen (49,37 %) a 1 žák neuvedl pohlaví. 22 žáků (6,96 %) a z toho 12 žen (7,59 %) a 9 mužů (5,81 %) má za to, že měřítko se prodloužilo a hodiny jdou rychleji. 32 žen (20,25 %) a 28 mužů (18,06 %) uvedlo, že měřítko se prodloužilo a hodiny jdou pomaleji. Nesprávnou odpověď zvolilo 80 žen (50,63 %), 64 mužů (41,29 %) a dva žáci, kteří neuvedli pohlaví.

Tabulka 5.21: Rozdělení odpovědí na otázku č. 11.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|---------------|--------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 25 (16,13 %) | 32 (20,25 %) | 1 | 58 (18,35 %) |
| B | 91 (58,71 %) | 78 (49,37 %) | 1 | 170 (53,80 %) |
| C | 9 (5,81 %) | 12 (7,59 %) | 1 | 22 (6,96 %) |
| D | 28 (18,06 %) | 32 (20,25 %) | 0 | 60 (18,99 %) |
| Nezodpovězeno | 2 (1,29 %) | 4 (2,53 %) | 0 | 6 (1,90 %) |



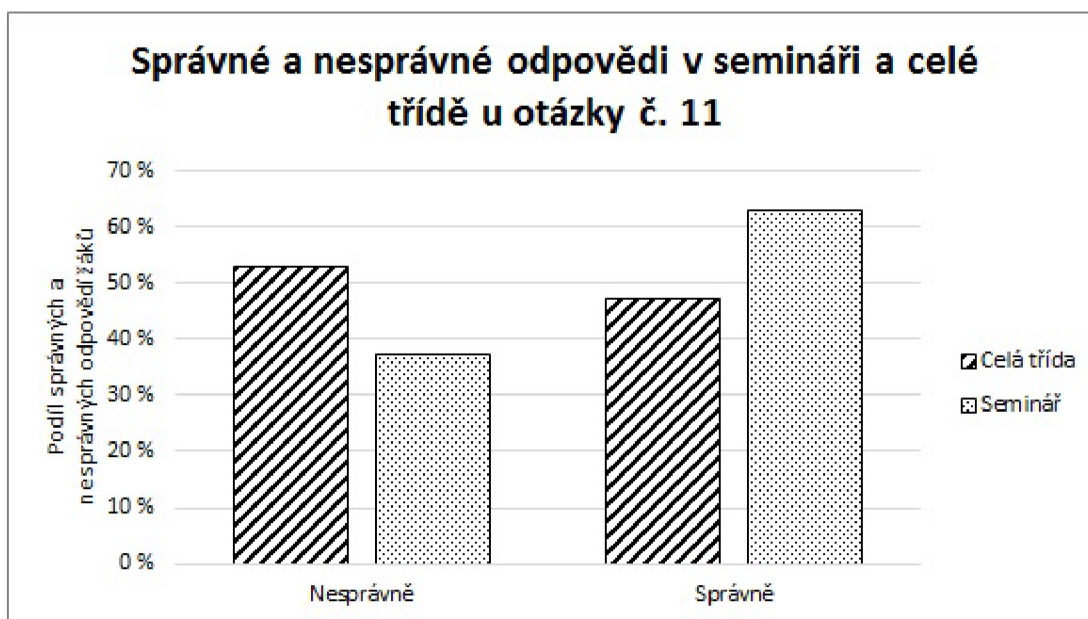
Obrázek 5.21: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 11.

Z žáků, kteří absolvovali výuku STR povinně, zodpovědělo na tuto otázku správně 75 (47,17 %) a nesprávně 84 žáků (52,83 %). STR se v rámci semináře z fyziky učilo 129 žáků, z toho 81 žáků (62,79 %) označilo správnou odpověď a 48 (37,21 %) nesprávnou.

Index obtížnosti otázky je $P_{11} = 53,80\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 13,38 bodů. Průměrný počet bodů

Tabulka 5.22: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 11.

| | Celá třída | Seminář |
|---------------|--------------|--------------|
| Nesprávně | 84 (52,83 %) | 48 (37,21 %) |
| Správně | 75 (47,17 %) | 81 (62,79 %) |
| Celkem | 159 | 129 |



Obrázek 5.22: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 11.

žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 11,49 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb11} = 0,35$.

5.12 Otázka č. 12

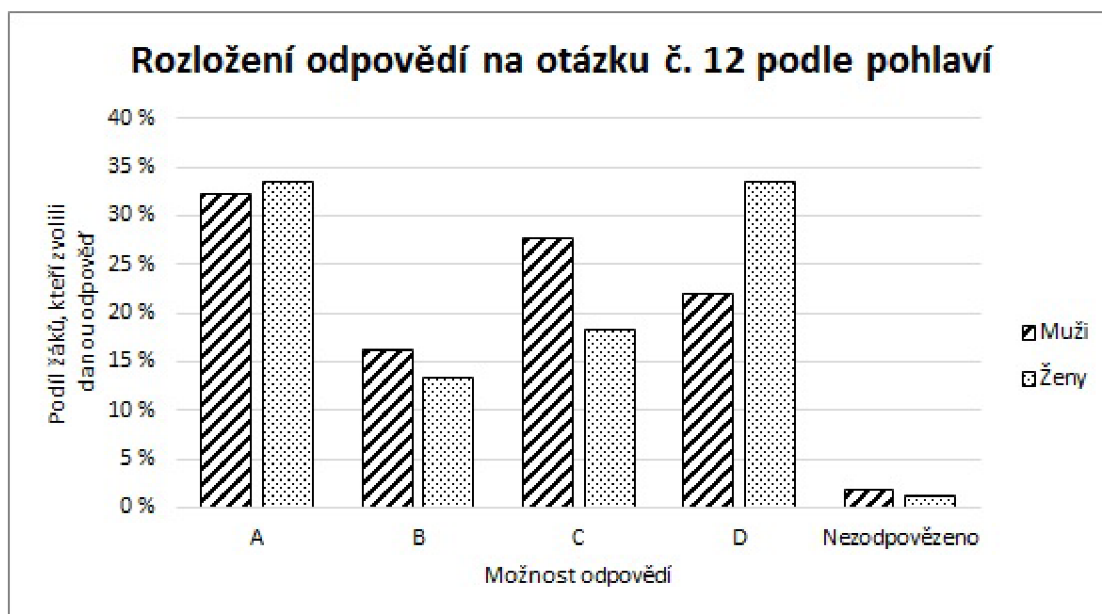
V této otázce mají žáci určit, za jakých okolností dvě události, které jsou souměstné v soustavě S' , budou souměstné i pro pozorovatele v soustavě S . Události budou souměstné pouze v případě, že události proběhly současně. Správná odpověď je D.

Tuto otázku vynechalo pět žáků. 104 žáků (32,91 %) si myslí, že události souměstné v soustavě S nikdy nebudou z toho 53 žen (33,54 %) a 50 mužů (32,26 %), jeden žák neuvedl pohlaví. Možnost B, tedy že události budou souměstné v každém případě, zvolilo 47 žáků (14,87 %) včetně 21 žen (13,29 %) a 25 mužů (16,13 %)

a jednoho žáka neuvádějícího své pohlaví. 29 žen (18,35 %) a 43 mužů (27,74 %), celkem tedy 72 žáků (22,78 %), zvolilo, že události budou souměrné pouze při malé relativní rychlosti soustav. Správnou odpověď označilo 53 žen (33,54 %) a 34 mužů (21,94 %), 1 žák neuvadl pohlaví. Dohromady označilo správnou odpověď 88 žáků (27,85 %). Nesprávnou odpověď zvolilo 121 mužů (78,06 %) a 105 žen (66,46 %). V této otázce byly úspěšnější ženy. Z rozložení jednotlivých odpovědí lze ale usuzovat, že žáci odpověď spíše tipovali.

Tabulka 5.23: Rozdělení odpovědí na otázku č. 12.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|---------------|--------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 50 (32,26 %) | 53 (33,54 %) | 1 | 104 (32,91 %) |
| B | 25 (16,13 %) | 21 (13,29 %) | 1 | 47 (14,87 %) |
| C | 43 (27,74 %) | 29 (18,35 %) | 0 | 72 (22,78 %) |
| D | 34 (21,94 %) | 53 (33,54 %) | 1 | 88 (27,85 %) |
| Nezodpovězeno | 3 (1,94 %) | 2 (1,27 %) | 0 | 5 (1,58 %) |



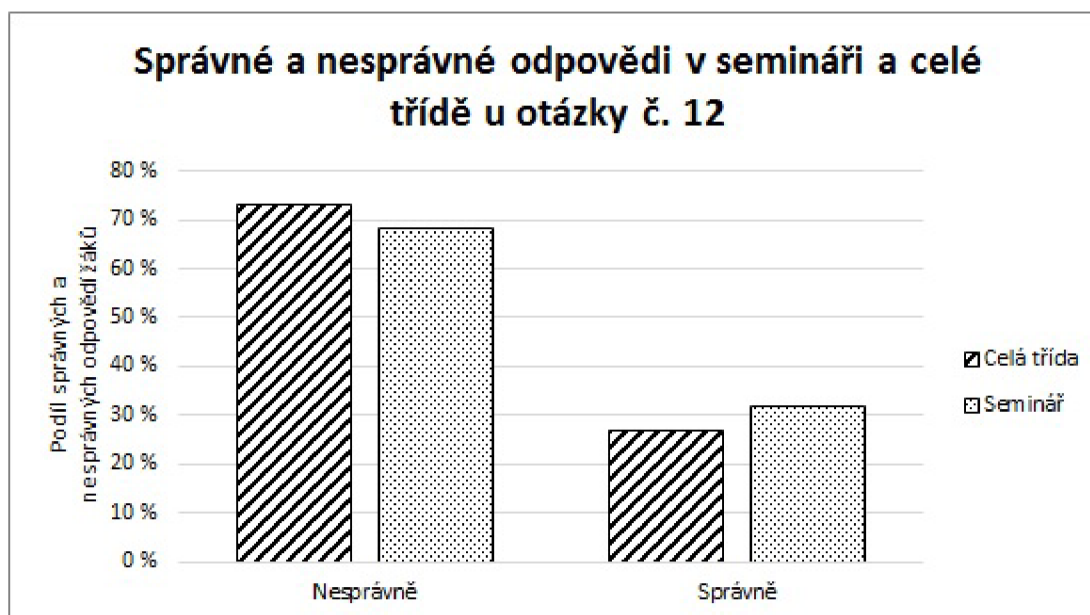
Obrázek 5.23: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 12.

Žáci, kteří se STR učili v rámci povinné fyziky, zvolili správnou možnost ve 43 případech (27,04 %) a chybnou ve 116 případech (72,96 %). Žáci v rámci seminářů odpovídali správně ve 41 případech (31,78 %) a nesprávně v 88 případech (68,22 %).

Index obtížnosti otázky je $P_{12} = 27,85\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 13,45 bodů. Průměrný počet bodů

Tabulka 5.24: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 12.

| | Celá třída | Seminář |
|-----------|---------------|--------------|
| Nesprávně | 116 (72,96 %) | 88 (68,22 %) |
| Správně | 43 (27,04 %) | 41 (31,78 %) |
| Celkem | 159 | 129 |



Obrázek 5.24: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 12.

žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 12,89 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb12} = 0,06$, což znamená, že žáci s lepšími i horšími výsledky odpovídali na otázku stejně dobře. Tato otázka nerozlišuje mezi lepšími a horšími žáky.

5.13 Otázka č. 13

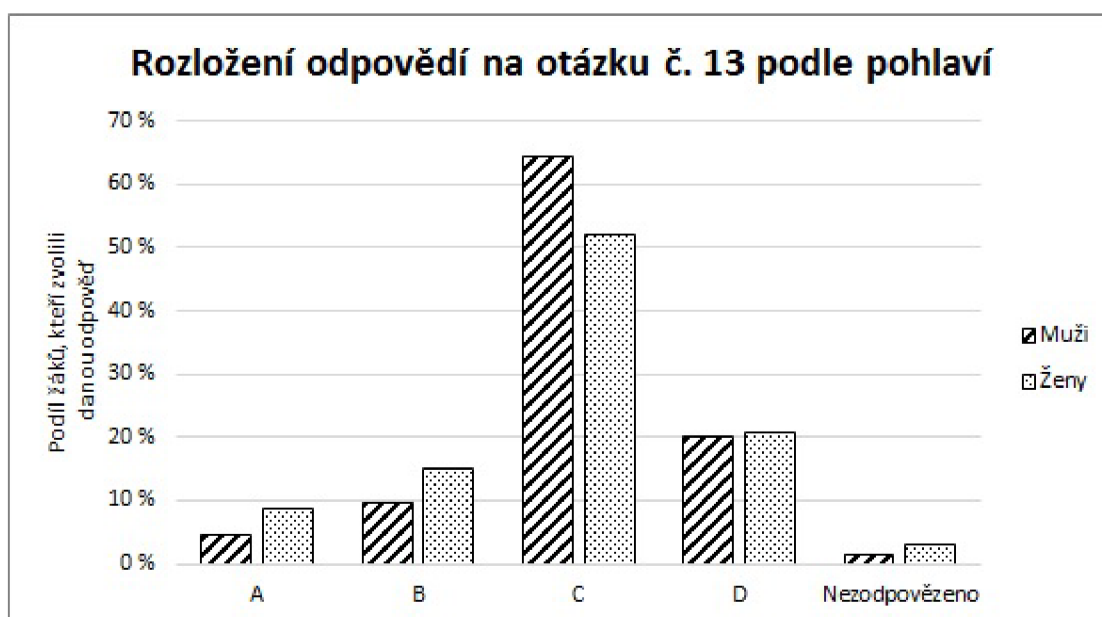
V této otázce měli žáci za úkol určit v soustavě S délku tyče, která je v soustavě S' umístěna rovnoběžně s osou x' a má zde délku 12,0 m. Soustava S' se vzhledem k soustavě S pohybuje rychlostí $v = 0,750c$ ve směru osy x . Správná odpověď byla C, délka tyče v soustavě S bude 7,94 m.

Na otázku odpovědělo 309 žáků. 21 (6,65 %) žáků si myslí, že se délka tyče

neměnila. Z toho má toto přesvědčení 14 žen (8,86 %) a 7 mužů (4,52 %). 40 žáků (12,66 %) včetně 24 žen (15,19 %), 15 mužů (9,68 %) a jednoho žáka, který neuvedl pohlaví, mají za to, že délka tyče je 10,4 m. Správnou odpověď zvolilo 100 mužů (57,91 %), 82 žen (51,90 %) a 1 žák neuvádějící pohlaví. 33 žen (20,89 %) a 31 mužů (20,00 %) uvedlo, že délka tyče bude 18,1 m. Nesprávnou odpověď zvolilo 76 žen (48,10 %), 55 mužů (35,48 %) a dva žáci, kteří neuvedli pohlaví.

Tabulka 5.25: Rozdělení odpovědí na otázku č. 13.

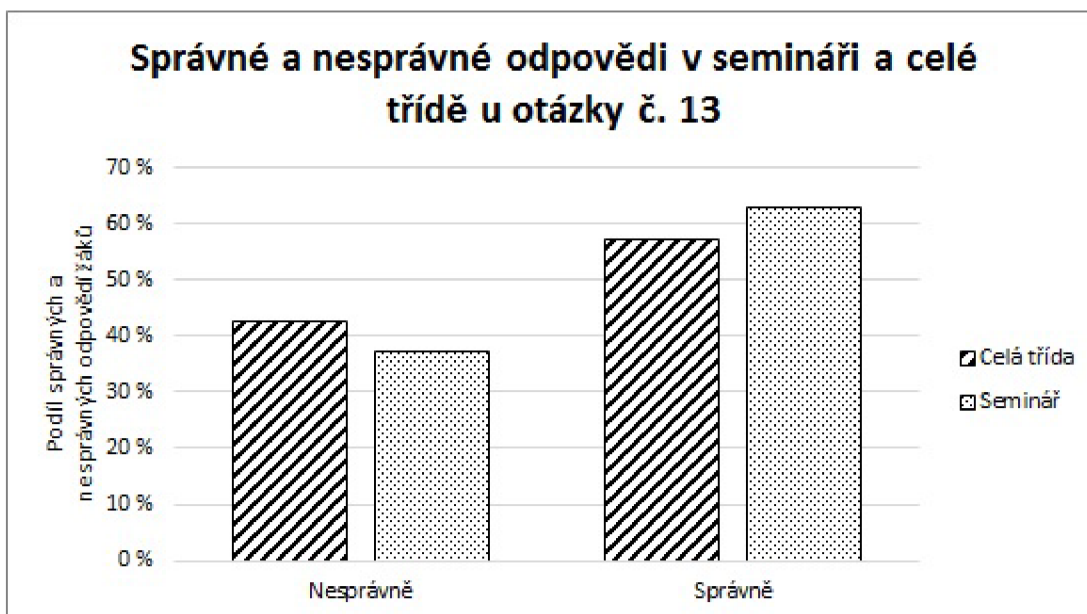
| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|---------------|---------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 7 (4,52 %) | 14 (8,86 %) | 0 | 21 (6,65 %) |
| B | 15 (9,68 %) | 24 (15,19 %) | 1 | 40 (12,66 %) |
| C | 100 (64,52 %) | 82 (51,90 %) | 1 | 183 (57,91 %) |
| D | 31 (20,00 %) | 33 (20,89 %) | 1 | 65 (20,57 %) |
| Nezodpovězeno | 2 (1,29 %) | 5 (3,16 %) | 0 | 7 (2,22 %) |



Obrázek 5.25: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 13.

Ze škol, kde STR probírá celá třída, uvedlo správnou odpověď 91 žáků (57,23 %) a nesprávnou 68 žáků (42,77 %). Žáci ze semináře označili správnou odpověď v 81 případech (62,79 %) a nesprávnou ve 48 případech (37,21 %).

Index obtížnosti otázky je $P_{13} = 57,91\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 14,27 bodů. Průměrný počet bodů žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 11,36 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb13} = 0,35$.



Obrázek 5.26: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 13.

Tabulka 5.26: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 13.

| | Celá třída | Seminář |
|-----------|--------------|--------------|
| Nesprávně | 68 (42,77 %) | 48 (37,21 %) |
| Správně | 91 (57,23 %) | 81 (62,79 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

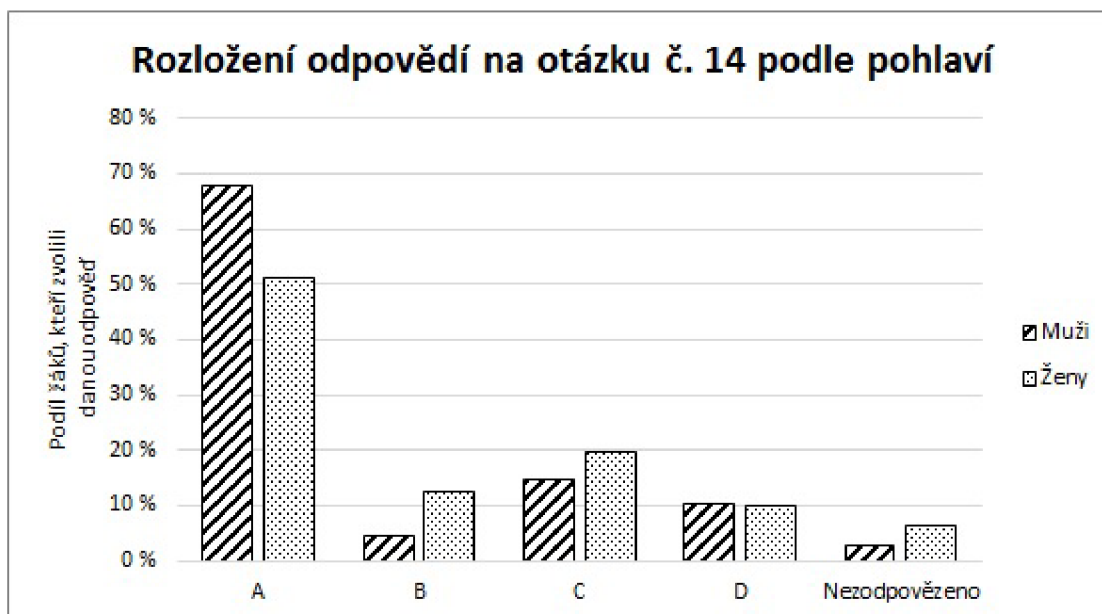
5.14 Otázka č. 14

Stejně jako minulá otázka, i tato se zabývá délkou tyče v soustavě S . Tentokrát je tyč umístěna rovnoběžně s osou y' . Správná odpověď je A, délka tyče je ve směru osy y' stejná.

Některou z odpovědí označilo 302 žáků z 316. Správnou odpověď A zvolilo 189 žáků (59,81 %) z toho 81 žen (51,27 %), 105 mužů (67,74 %) a tři žáci neuvodili pohlaví. Možnost B, tedy že délka je 10,4 m, vybralo 27 žáků (8,54 %) včetně 20 žen (12,66 %) a 7 mužů (4,52 %). Délku tyče 7,94 m za správnou považovalo 54 žáků (17,09 %) z toho 31 žen (19,62 %) a 23 mužů (14,84 %). Možnost, že tyč bude měřit 18,1 m, zvolilo 32 žáků (10,13 %) včetně 16 žen (10,13 %) a 16 mužů (10,32 %). Jednu z nesprávných odpovědí zvolilo 127 žáků (40,19 %) z toho 77 žen (48,73 %) a 50 mužů (32,26 %).

Tabulka 5.27: Rozdělení odpovědí na otázku č. 14.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|---------------|---------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 105 (67,74 %) | 81 (51,27 %) | 3 | 189 (59,81 %) |
| B | 7 (4,52 %) | 20 (12,66 %) | 0 | 27 (8,54 %) |
| C | 23 (14,84 %) | 31 (19,62 %) | 0 | 54 (17,09 %) |
| D | 16 (10,32 %) | 16 (10,13 %) | 0 | 32 (10,13 %) |
| Nezodpovězeno | 4 (2,58 %) | 10 (6,33 %) | 0 | 14 (4,43 %) |



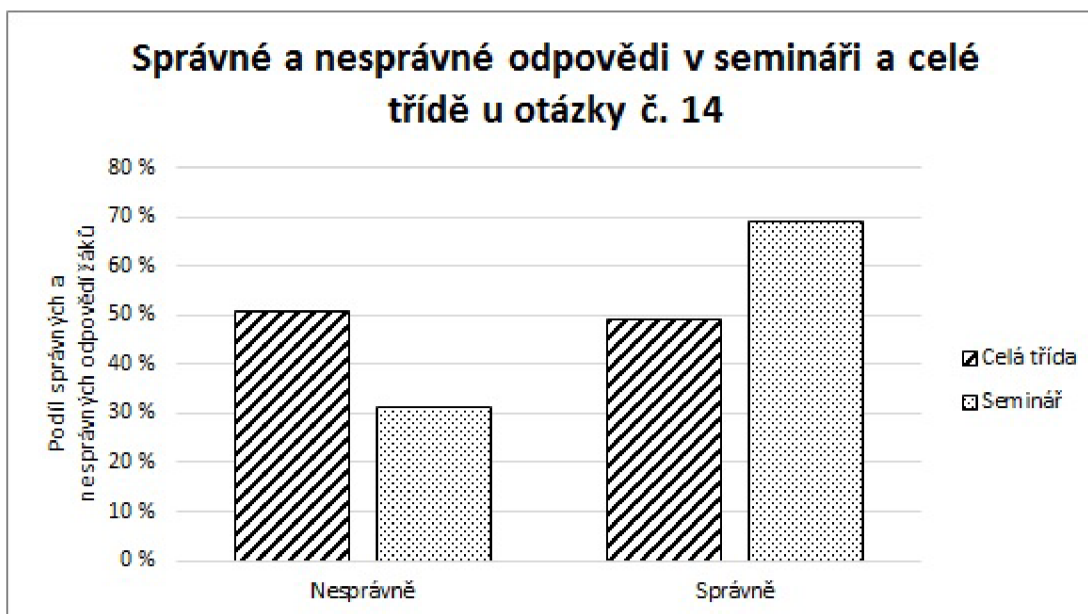
Obrázek 5.27: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 14.

Z žáků, kteří výuku STR absolvovali povinně, jich správně odpovědělo celkem 78 (49,06 %) a nesprávně 81 (50,94 %). Seminaristů odpovědělo nesprávně 40 (31,01 %) a správně 89 (68,99 %).

Tabulka 5.28: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 14.

| | Celá třída | Seminář |
|---------------|--------------|--------------|
| Nesprávně | 81 (50,94 %) | 40 (31,01 %) |
| Správně | 78 (49,06 %) | 89 (68,99 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

Index obtížnosti třetí otázky je $P_{14} = 59,81\%$. Průměrný počet bodů u žáků,



Obrázek 5.28: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 14.

kteří zvolili správnou odpověď, je 14,32 bodů. Průměrný počet bodů u žáků, kteří odpověděli nesprávně, je 11,16 bodů. Koeficient citlivosti vyšel $r_{bb14} = 0,38$.

5.15 Otázka č. 15

Otázka č. 15 je zaměřena na dilataci času. V soustavě S' nastal děj, který pro pozorovatele v soustavě S trval 10 s. Žáci měli spočítat, jakou dobu trval děj pro pozorovatele v soustavě S' . Soustavy S a S' se vůči sobě pohybují rychlostí $v = 0,750c$. Děj pro pozorovatele v soustavě S' trval 6,61 s, což je možnost B.

Na otázku odpovědělo 306 žáků. 129 (40,82 %) žáků si myslí, že děj bude trvat 15,1 s. Z toho má toto přesvědčení 56 žen (35,44 %), 71 mužů (45,81 %) a dva žáci, kteří neuvedli pohlaví. Správnou odpověď zvolilo 57 mužů (36,77 %) a 61 žen (38,61 %). 21 žáků (6,65 %) a z toho 13 žen (8,23 %) a 7 mužů (4,52 %) má za to, že se doba nezmění a 23 žen (14,56 %) a 15 mužů (9,68 %) uvedlo, že děj trval 8,66 s. Nesprávnou odpověď zvolilo 97 žen (61,39 %), 98 mužů (63,23 %) a tři žáci, kteří neuvedli pohlaví.

Žáci, kteří se STR učili v rámci povinné fyziky, zvolili správnou možnost v 63 případech (39,62 %) a chybnou v 96 případech (60,62 %). Žáci v rámci seminářů odpovídali správně ve 42 případech (32,56 %) a nesprávně v 87 případech (67,44 %). V této otázce byli žáci z celé třídy úspěšnější než žáci ze seminářů.

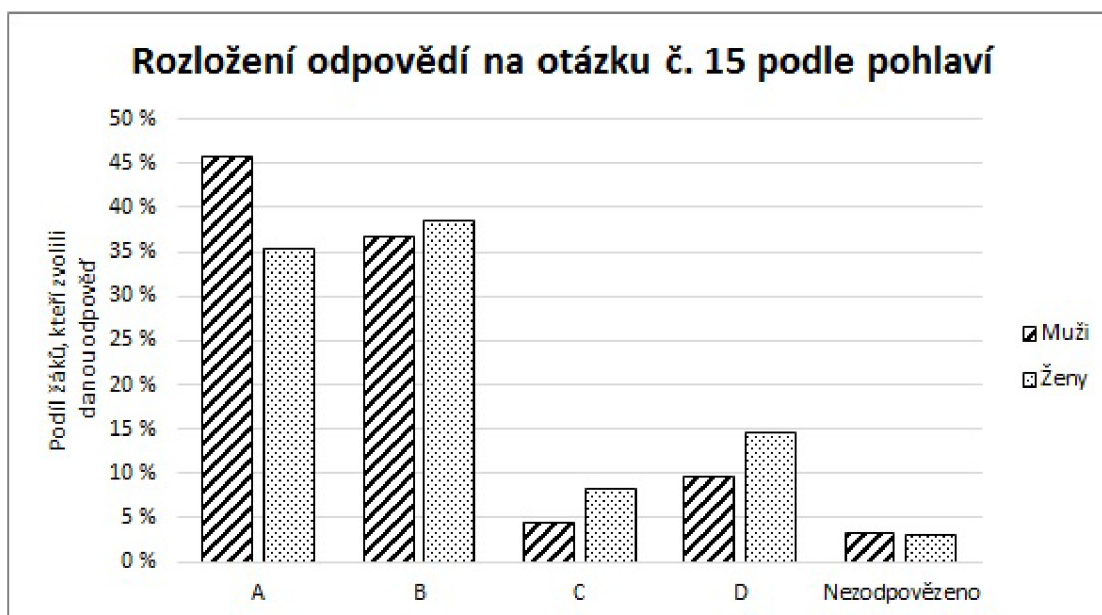
Index obtížnosti otázky je $P_{15} = 37,34\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli

Tabulka 5.29: Rozdělení odpovědí na otázku č. 15.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|---------------|--------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 71 (45,81 %) | 56 (35,44 %) | 2 | 129 (40,82 %) |
| B | 57 (36,77 %) | 61 (38,61 %) | 0 | 118 (37,34 %) |
| C | 7 (4,52 %) | 13 (8,23 %) | 1 | 21 (6,65 %) |
| D | 15 (9,68 %) | 23 (14,56 %) | 0 | 38 (12,03 %) |
| Nezodpovězeno | 5 (3,23 %) | 5 (3,16 %) | 0 | 10 (3,16 %) |

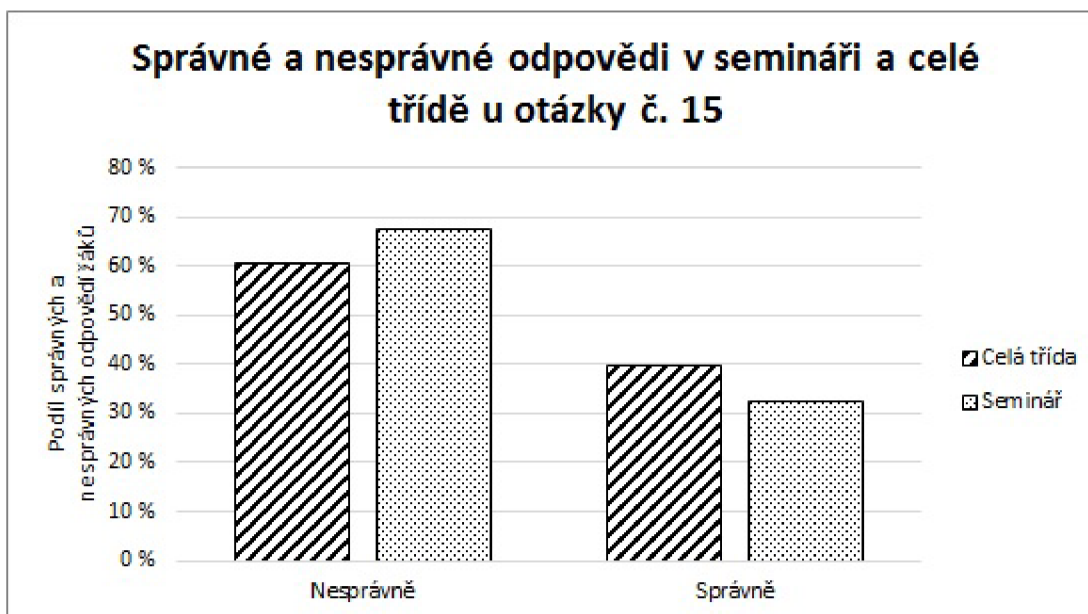
Tabulka 5.30: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 15.

| | Celá třída | Seminář |
|-----------|--------------|--------------|
| Nesprávně | 96 (60,38 %) | 87 (67,44 %) |
| Správně | 63 (39,62 %) | 42 (32,56 %) |
| Celkem | 159 | 129 |



Obrázek 5.29: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 15.

správně, dosáhli průměrného bodového zisku 14,74 bodů. Průměrný počet bodů žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 12,04 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb15} = 0,32$.



Obrázek 5.30: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 15.

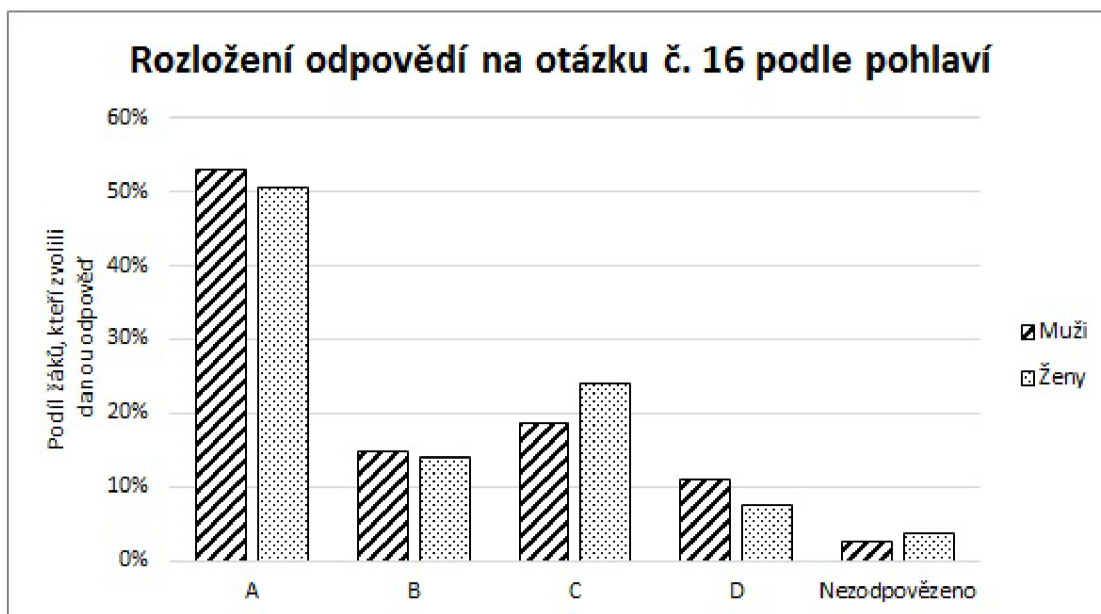
5.16 Otázka č. 16

Úkolem následující otázky je určit relativistickou hmotnost částice, jestliže její klidová hmotnost je 10,0 kg. Stejně jako v předchozích případech, i tady se soustavy vůči sobě pohybují rychlostí $v = 0,750c$. Relativistická hmotnost je 15,1 kg, tedy možnost A.

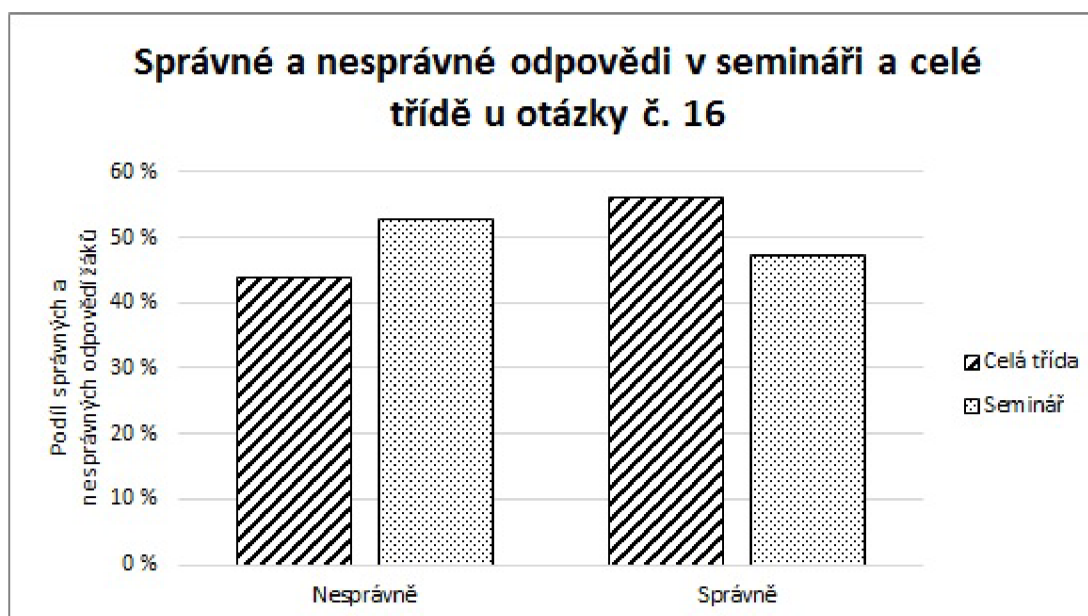
Některou z odpovědí označilo 306 žáků. Správnou odpověď A uvedlo celkem 163 žáků (51,58 %) včetně 80 žen (50,63 %), 82 mužů (52,90 %) a jednoho žáka, který neuvedl pohlaví. Relativistickou hmotnost 6,61 kg považovalo za správnou 46 žáků (14,56 %) z toho 22 žen (13,92 %) a 23 mužů (14,84 %). 68 žáků (21,52 %) z toho 38 žen (24,05 %) a 29 mužů (18,71 %) mělo za to, že se hmotnost nezmění. Variantu s 8,66 kg zvolilo 12 žen (7,59 %) a 17 mužů (10,97 %), celkově 29 žáků (9,18 %). Nesprávně na tuto otázku odpovědělo 73 mužů (47,10 %) a 78 žen (49,37 %).

Tabulka 5.31: Rozdělení odpovědí na otázku č. 16.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|----------------------|--------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 82 (52,90 %) | 80 (50,63 %) | 1 | 163 (51,58 %) |
| B | 23 (14,84 %) | 22 (13,92 %) | 1 | 46 (14,56 %) |
| C | 29 (18,71 %) | 38 (24,05 %) | 1 | 68 (21,52 %) |
| D | 17 (10,97 %) | 12 (7,59 %) | 0 | 29 (9,18 %) |
| Nezodpovězeno | 4 (2,58 %) | 6 (3,80 %) | 0 | 10 (3,16 %) |



Obrázek 5.31: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 16.



Obrázek 5.32: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 16.

Ze škol, kde STR probírá celá třída, uvedlo správnou odpověď 89 žáků (55,97 %) a nesprávnou 70 žáků (44,03 %). Žáci ze semináře označili správnou odpověď ve 61 případech (47,29 %) a nesprávnou ve 68 případech (52,71 %). V této otázce byli žáci ze semináře úspěšnější než žáci z celé třídy.

Index obtížnosti otázky je $P_{16} = 51,58\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 14,67 bodů. Průměrný počet bodů

Tabulka 5.32: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 16.

| | Celá třída | Seminář |
|------------------|-------------------|----------------|
| Nesprávně | 70 (44,03 %) | 68 (52,71 %) |
| Správně | 89 (55,97 %) | 61 (47,29 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 11,31 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb16} = 0,32$.

5.17 Otázka č. 17

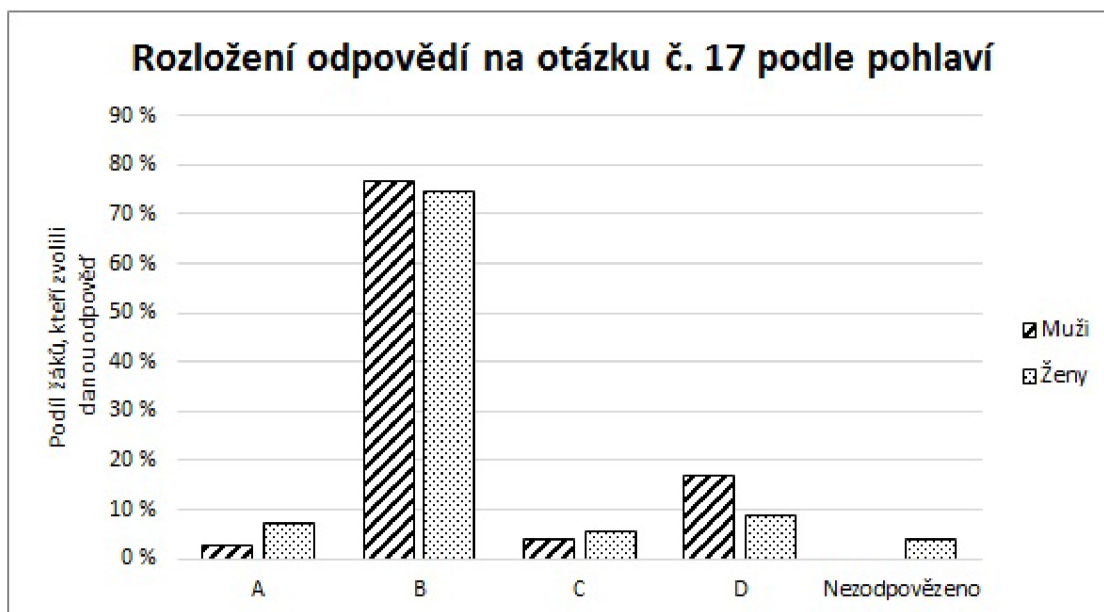
Tato otázka se týká skládání rychlostí v klasické fyzice. Soustava S' se vůči soustavě S pohybuje rychlostí $v = \frac{1}{5}c$ a v soustavě S' se pohybuje částice rychlostí $u' = \frac{1}{3}$. Směr rychlostí je opačný, úkolem je určit velikost rychlosti částice vzhledem k soustavě S podle klasické fyziky. Správná odpověď je za B, velikost rychlosti je $\frac{2}{15}c$.

Na otázku odpovědělo 310 žáků. 15 (4,75 %) žáků má za to, že výsledná velikost rychlosti bude $\frac{1}{7}c$. Z toho má toto přesvědčení 11 žen (6,96 %) a 4 muži (2,58 %). Správnou odpověď zvolilo 119 mužů (76,77 %) a 118 žen (74,68 %) a tři žáci, kteří neuvedli pohlaví. Celkem správnou odpověď zvolilo 240 žáků (75,95 %). 15 žáků (4,75 %) a z toho 9 žen (5,70 %) a 6 mužů (3,87 %) je přesvědčeno, že velikost rychlosti bude $\frac{2}{3}c$, a 14 žen (8,86 %) a 26 mužů (16,77 %) uvedlo, že velikost rychlosti je $\frac{8}{15}c$. Nesprávnou odpověď zvolilo 40 žen (25,32 %) a 36 mužů (23,23 %).

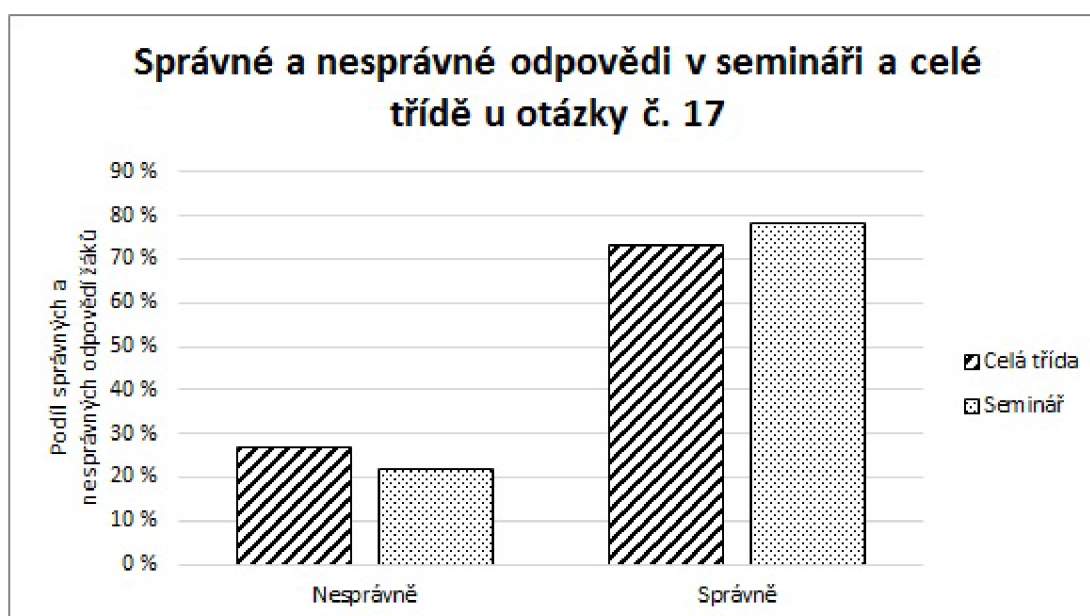
Tabulka 5.33: Rozdělení odpovědí na otázku č. 17.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|----------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|
| A | 4 (2,58 %) | 11 (6,96 %) | 0 | 15 (4,75 %) |
| B | 119 (76,77 %) | 118 (74,68 %) | 3 | 240 (75,95 %) |
| C | 6 (3,87 %) | 9 (5,70 %) | 0 | 15 (4,75 %) |
| D | 26 (16,77 %) | 14 (8,86 %) | 0 | 40 (12,66 %) |
| Nezodpovězeno | 0 | 6 (3,80 %) | 0 | 6 (1,90 %) |

Z žáků, kteří výuku STR absolvovali povinně, jich správně odpovědělo cel-



Obrázek 5.33: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 17.



Obrázek 5.34: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 17.

kem 116 (72,96 %) a nesprávně 43 (27,04 %). Seminaristů odpovědělo nesprávně 28 (21,71 %) a správně 101 (78,29 %). Výrazně úspěšnější jsou žáci ze seminářů.

Index obtížnosti otázky je $P_{17} = 75,95\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 14,03 bodů. Průměrný počet bodů žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 9,96 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb17} = 0,42$.

Tabulka 5.34: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 17.

| | Celá třída | Seminář |
|---------------|---------------|---------------|
| Nesprávně | 43 (27,04 %) | 28 (21,71 %) |
| Správně | 116 (72,96 %) | 101 (78,29 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

5.18 Otázka č. 18

Rozdíl mezi touto a předchozí otázkou je, že tentokrát je směr rychlostí souhlasný. Velikost rychlosti je tedy $\frac{8}{15}c$, což je možnost C.

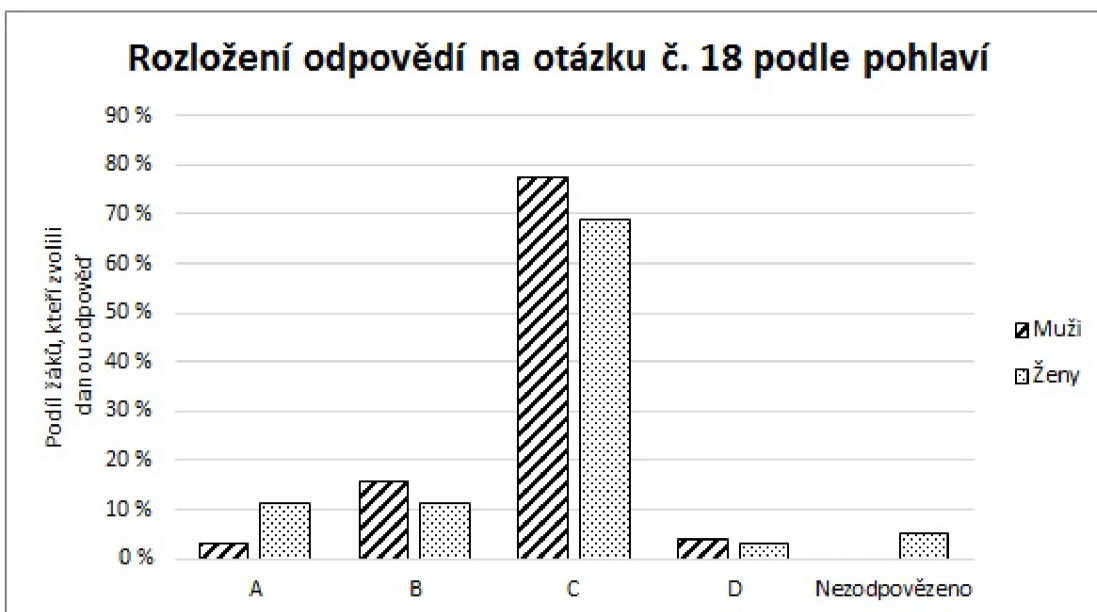
Na otázku odpovědělo 308 žáků. 23 (7,28 %) žáků zvolilo, že velikost rychlosti bude $\frac{1}{2}c$. Z toho má toto přesvědčení 18 žen (11,39 %) a 5 mužů (3,23 %). 42 žáků (13,29 %) a z toho 18 žen (11,39 %) a 24 mužů (15,48 %) má za to, že velikost rychlosti je $\frac{2}{15}c$. Správnou odpověď zvolilo 120 mužů (77,42 %), 109 žen (68,99 %) a tři žáci, kteří neuvedli pohlaví. Pět žen (3,16 %) a šest mužů (3,87 %) uvedlo, že velikost rychlosti bude $\frac{1}{7}c$. Nesprávnou odpověď zvolilo 49 žen (31,01 %) a 35 mužů (22,58 %).

Tabulka 5.35: Rozdělení odpovědí na otázku č. 18.

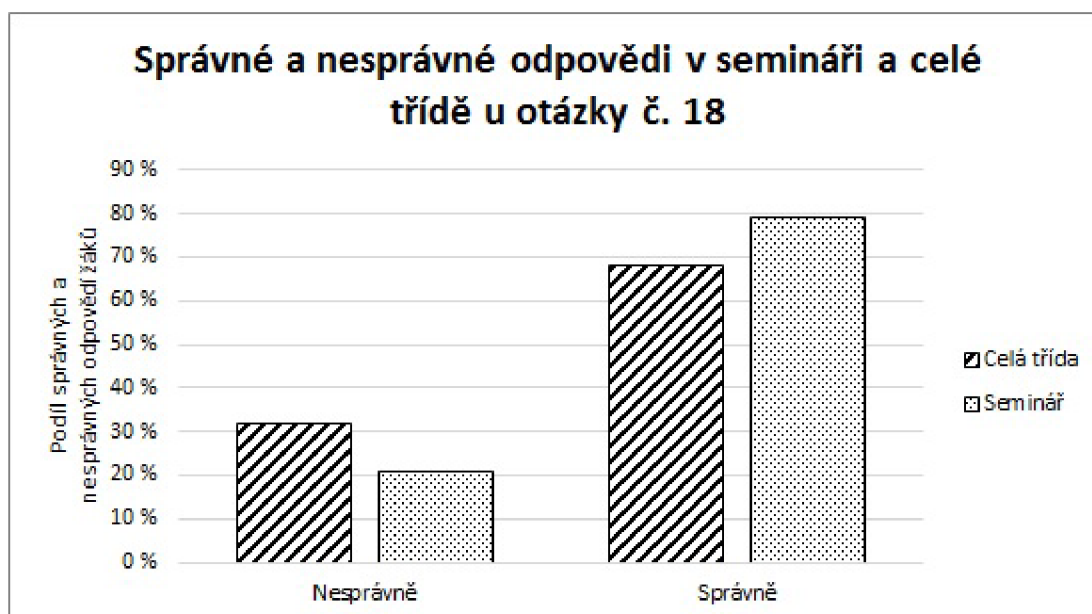
| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|----------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|
| A | 5 (3,23 %) | 18 (11,39 %) | 0 | 23 (7,28 %) |
| B | 24 (15,48 %) | 18 (11,39 %) | 0 | 42 (13,29 %) |
| C | 120 (77,42 %) | 109 (68,99 %) | 3 | 232 (73,42 %) |
| D | 6 (3,87 %) | 5 (3,16 %) | 0 | 11 (3,48 %) |
| Nezodpovězeno | 0 | 8 (5,06 %) | 0 | 8 (2,53 %) |

Tabulka 5.36: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 18.

| | Celá třída | Seminář |
|---------------|---------------|---------------|
| Nesprávně | 51 (27,04 %) | 27 (21,71 %) |
| Správně | 108 (72,96 %) | 102 (78,29 %) |
| Celkem | 159 | 129 |



Obrázek 5.35: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 18.



Obrázek 5.36: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 18.

Žáci, kteří se STR učili v rámci povinné fyziky, zvolili správnou možnost ve 108 případech (67,92 %) a chybnou v 51 případech (32,08 %). Žáci v rámci seminářů odpovídali správně ve 102 případech (79,07 %) a nesprávně ve 27 případech (21,71 %). Žáci ze semináře odpovídali výrazněji lépe než žáci z celé třídy.

Index obtížnosti otázky je $P_{18} = 73,42\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 14,27 bodů. Průměrný počet bodů

žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 9,68 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb18} = 0,49$, lépe na tuto otázku odpovídali žáci s vyšší celkovým počtem bodů.

5.19 Otázka č. 19

V otázce č. 19 žáci určují velikost rychlosti částice podle relativistické fyziky, jestliže jsou vektory v a u' opačné (viz. otázka č. 17). Správná odpověď je A, velikost rychlosti je $\frac{1}{7}c$.

Na otázku odpovědělo 271 žáků z 316. Správnou variantu zvolilo 122 žáků (38,61 %) z toho 50 žen (31,65 %), 69 mužů (44,52 %) a tři žáci neuvedli pohlaví. Možnost s rychlostí $\frac{2}{15}c$ zvolilo 53 žáků (16,77 %) z toho 29 žen (18,35 %) a 24 mužů (15,48 %). Velikost rychlosti $\frac{1}{2}c$ označilo 56 žáků (17,72 %) z toho 29 žen (18,35 %) a 27 mužů (17,42 %). 20 žen (12,66 %) a 20 mužů (12,90 %) uvedlo, že velikost rychlosti bude $\frac{1}{5}c$. Na otázku odpovědělo nesprávně 108 žen (68,35 %) a 86 mužů (55,48 %).

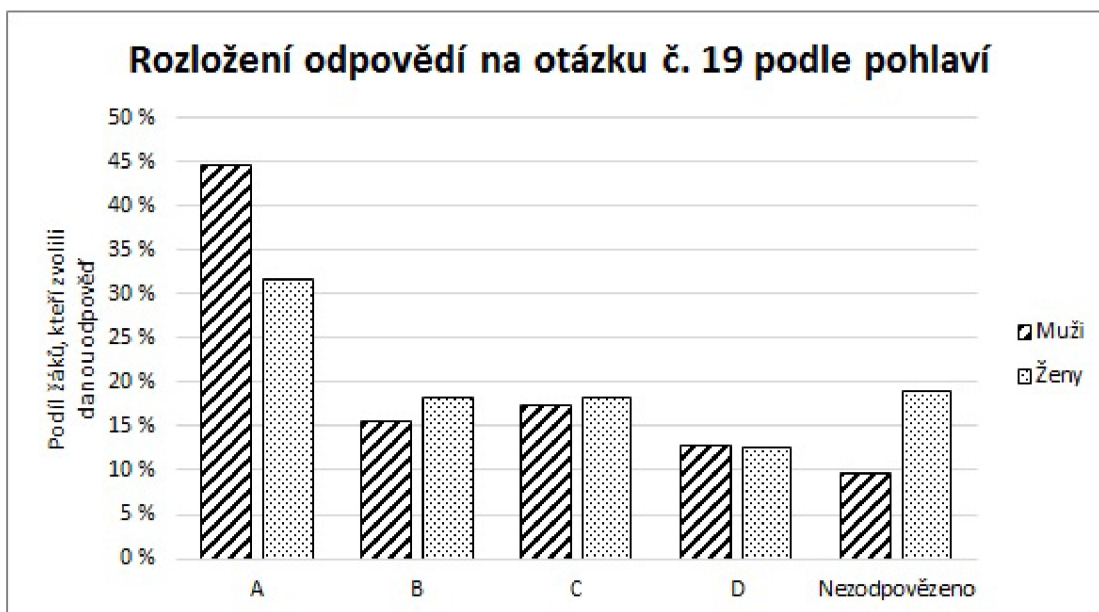
Tabulka 5.37: Rozdělení odpovědí na otázku č. 19.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|----------------------|--------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 69 (44,52 %) | 50 (31,65 %) | 3 | 122 (38,61 %) |
| B | 24 (15,48 %) | 29 (18,35 %) | 0 | 59 (16,77 %) |
| C | 27 (17,42 %) | 29 (18,35 %) | 0 | 56 (17,72 %) |
| D | 20 (12,90 %) | 20 (12,66 %) | 0 | 40 (12,66 %) |
| Nezodpovězeno | 15 (9,68 %) | 30 (18,99 %) | 0 | 45 (14,24 %) |

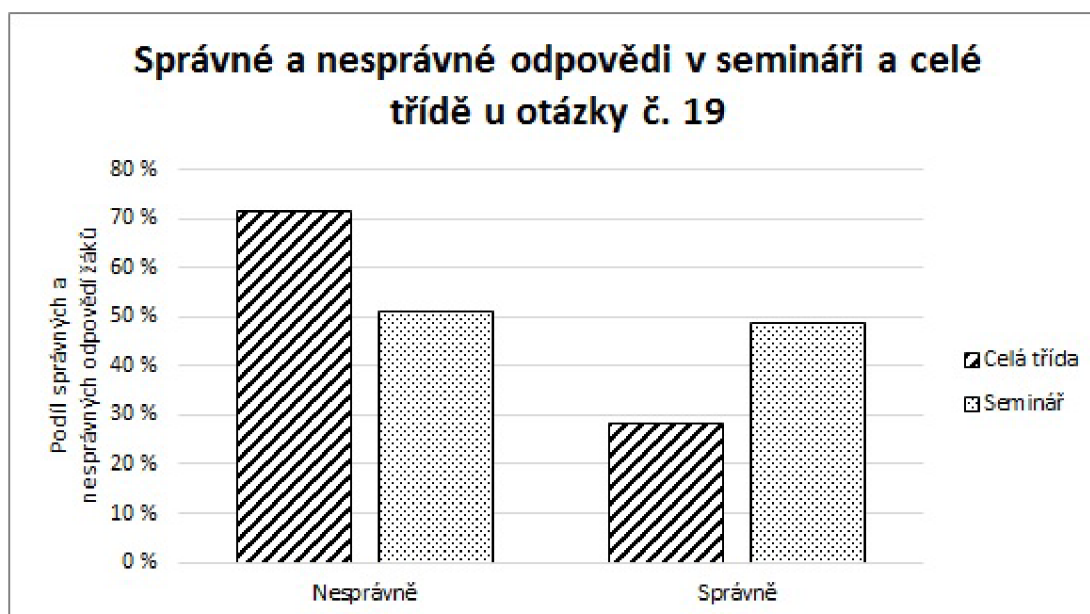
Z žáků, kteří výuku STR absolvovali povinně, jich správně odpovědělo celkem 45 (28,30 %) a nesprávně 114 (71,70 %). Seminaristů odpovědělo správně 63 (48,84 %) a nesprávně 66 (51,16 %). Výrazně úspěšnější jsou žáci ze seminářů.

Tabulka 5.38: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 19.

| | Celá třída | Seminář |
|------------------|---------------|--------------|
| Nesprávně | 114 (71,70 %) | 66 (51,16 %) |
| Správně | 45 (28,30 %) | 63 (48,84 %) |
| Celkem | 159 | 129 |



Obrázek 5.37: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 19.



Obrázek 5.38: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 19.

Index obtížnosti této otázky je $P_{19} = 38,61\%$. Průměrný počet bodů u žáků, kteří zvolili správnou odpověď, je 15,45 bodů. Průměrný počet bodů u žáků, kteří odpověděli nesprávně, je 11,54 bodů. Koeficient citlivosti vyšel $r_{bb19} = 0,46$.

5.20 Otázka č. 20

V následující otázce je situace obdobná. Žáci mají v této otázce určit velikost rychlosti částice vzhledem k soustavě S podle relativistické fyziky, jestliže je směr rychlosti souhlasný. Velikost rychlosti je $\frac{1}{2}c$, což je možnost D.

Tuto otázku vynechalo 44 žáků. 37 žáků (11,71 %) si myslí, že velikost rychlosti je $\frac{1}{7}c$, z toho 18 žen (11,39 %) a 19 mužů (12,26 %). Možnost B, tedy že velikost rychlosti se rovná $\frac{2}{3}c$, zvolilo 49 žáků (15,51 %) včetně 31 žen (19,62 %), 17 mužů (10,97 %) a jednoho žáka neuvádějícího své pohlaví. 24 žen (15,19 %), 35 mužů (22,58 %) a jeden žák, který neoznačil své pohlaví, celkem tedy 60 žáků (18,99 %) zvolilo, že velikost rychlosti bude $\frac{8}{15}c$. Správnou odpověď označilo 56 žen (35,44 %) a 69 mužů (44,52 %), 1 žák neuvedl pohlaví. Dohromady označilo správnou odpověď 126 žáků (39,87 %). Nesprávnou odpověď zvolilo 86 mužů (55,48 %) a 102 žen (64,56 %).

Tabulka 5.39: Rozdělení odpovědí na otázku č. 20.

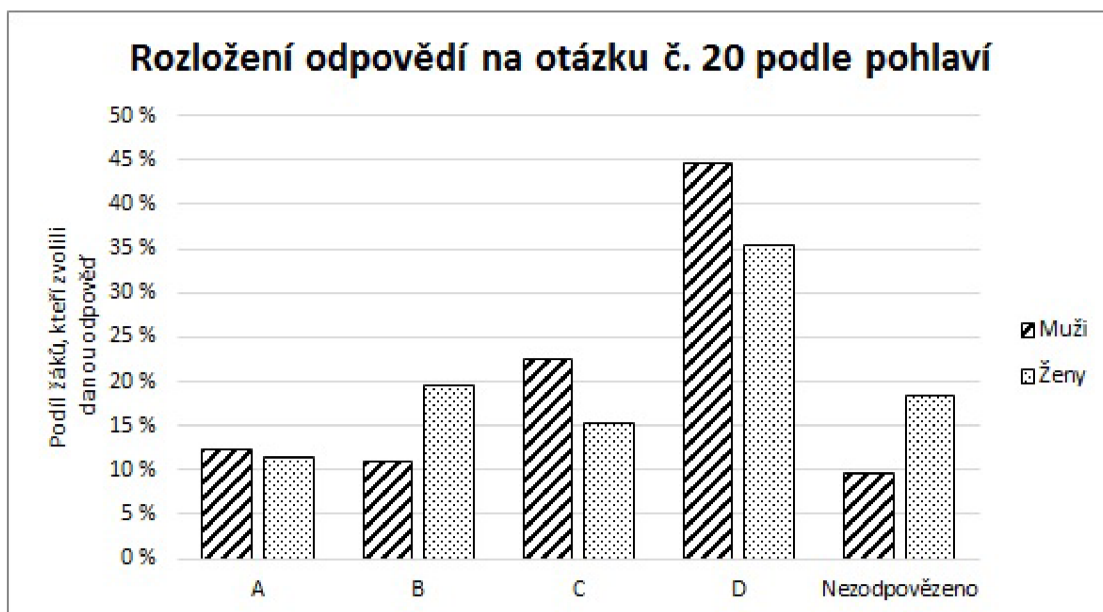
| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|----------------------|--------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 19 (12,26 %) | 18 (11,39 %) | 0 | 37 (11,71 %) |
| B | 17 (10,97 %) | 31 (19,62 %) | 1 | 49 (15,51 %) |
| C | 35 (22,58 %) | 24 (15,19 %) | 1 | 60 (18,99 %) |
| D | 69 (44,52 %) | 56 (35,44 %) | 1 | 126 (39,87 %) |
| Nezodpovězeno | 15 (9,68 %) | 29 (18,35 %) | 0 | 44 (13,92 %) |

Ze škol, kde STR probírá celá třída, uvedlo správnou odpověď 48 žáků (30,19 %) a nesprávnou 111 žáků (69,81 %). Žáci ze semináře označili správnou odpověď v 65 případech (50,39 %) a nesprávnou ve 64 případech (49,61 %).

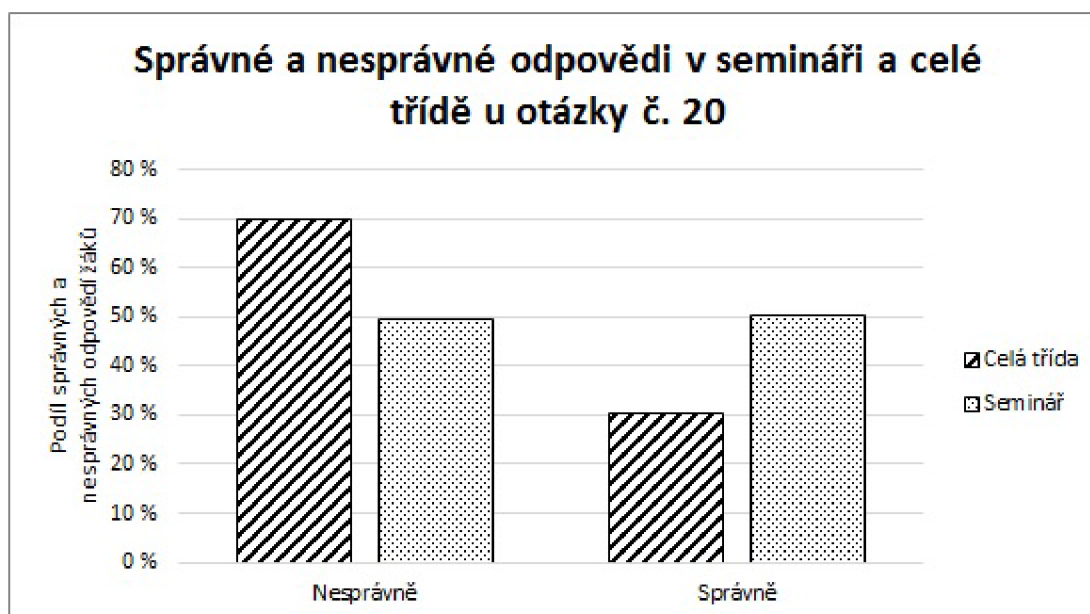
Tabulka 5.40: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 20.

| | Celá třída | Seminář |
|------------------|---------------|--------------|
| Nesprávně | 111 (69,81 %) | 64 (49,61 %) |
| Správně | 48 (30,19 %) | 65 (50,39 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

Index obtížnosti otázky je $P_{20} = 39,87\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 14,97 bodů. Průměrný počet bodů



Obrázek 5.39: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 20.



Obrázek 5.40: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 20.

žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 11,77 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb20} = 0,38$.

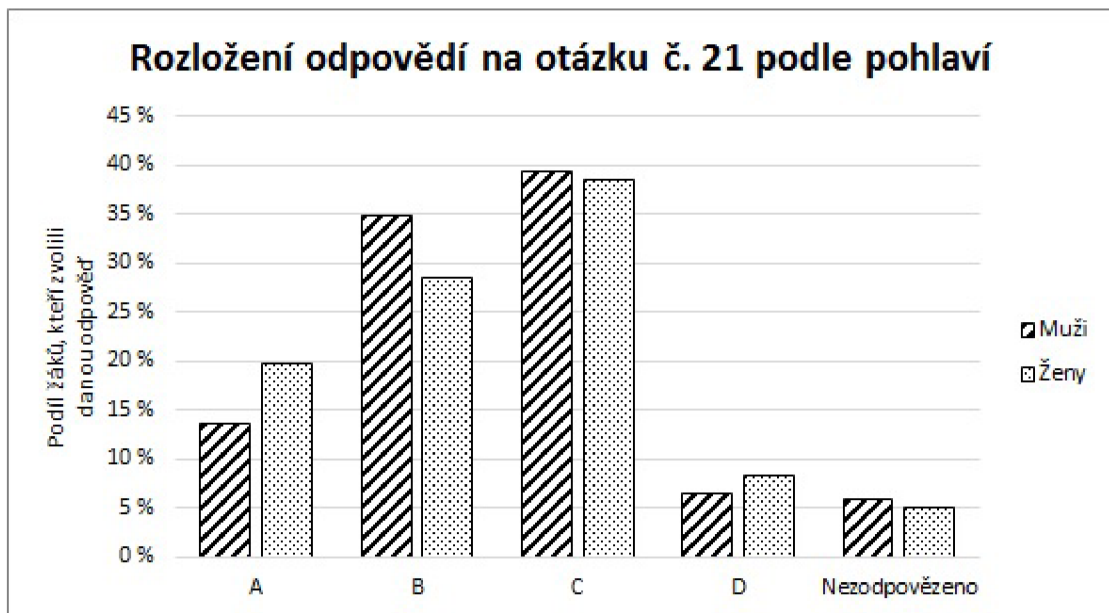
5.21 Otázka č. 21

Částice s klidovou hmotností m_0 se vůči soustavě S pohybuje rychlostí $v = 0,600c$. Tato otázka se ptá na celkovou energii částice vzhledem k soustavě S . Celková energie je $1,25m_0c^2$, což je možnost C.

Na otázku odpovědělo 299 žáků. 52 (16,46 %) žáků zvolilo, že celková energie bude $0,8m_0c^2$. Z toho má toto přesvědčení 31 žen (19,62 %) a 21 mužů (13,55 %). 100 žáků (31,65 %) z toho 45 žen (28,48 %), 54 mužů (34,84 %) a jeden žák neuvádějící pohlaví má za to, že celková energie se rovná m_0c^2 . Správnou odpověď zvolilo 61 mužů (39,35 %), 61 žen (38,61 %) a dva žáci, kteří nevedli pohlaví, celkem tuto odpověď zvolilo 124 žáků (39,24 %). 13 žen (8,23 %) a 10 mužů (6,45 %) uvedlo, že celková energie je $0,25m_0c^2$. Nesprávnou odpověď zvolilo 97 žen (61,39 %) a 94 mužů (60,65 %).

Tabulka 5.41: Rozdělení odpovědí na otázku č. 21.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|---------------|--------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 21 (13,55 %) | 31 (19,62 %) | 0 | 52 (16,46 %) |
| B | 54 (34,84 %) | 45 (28,48 %) | 1 | 100 (31,65 %) |
| C | 61 (39,35 %) | 61 (38,61 %) | 2 | 124 (39,24 %) |
| D | 10 (6,45 %) | 13 (8,23 %) | 0 | 23 (7,28 %) |
| Nezodpovězeno | 9 (5,81 %) | 8 (5,06 %) | 0 | 17 (5,38 %) |

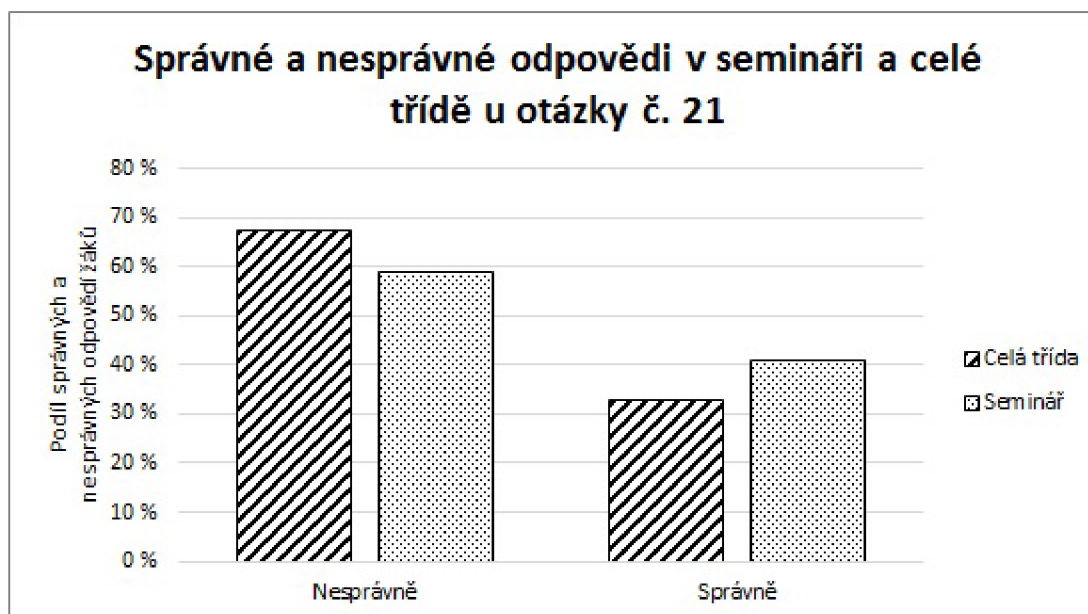


Obrázek 5.41: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 21.

Žáci, kteří se STR učili v rámci povinné fyziky, zvolili správnou možnost pouze v 52 případech (32,70 %) a chybnou ve 107 případech (67,30 %). Žáci v rámci seminářů odpovídali správně v 53 případech (41,09 %) a nesprávně v 76 případech (58,91 %).

Tabulka 5.42: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 21.

| | Celá třída | Seminář |
|-----------|---------------|--------------|
| Nesprávně | 107 (67,30 %) | 76 (58,91 %) |
| Správně | 52 (32,70 %) | 53 (41,09 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

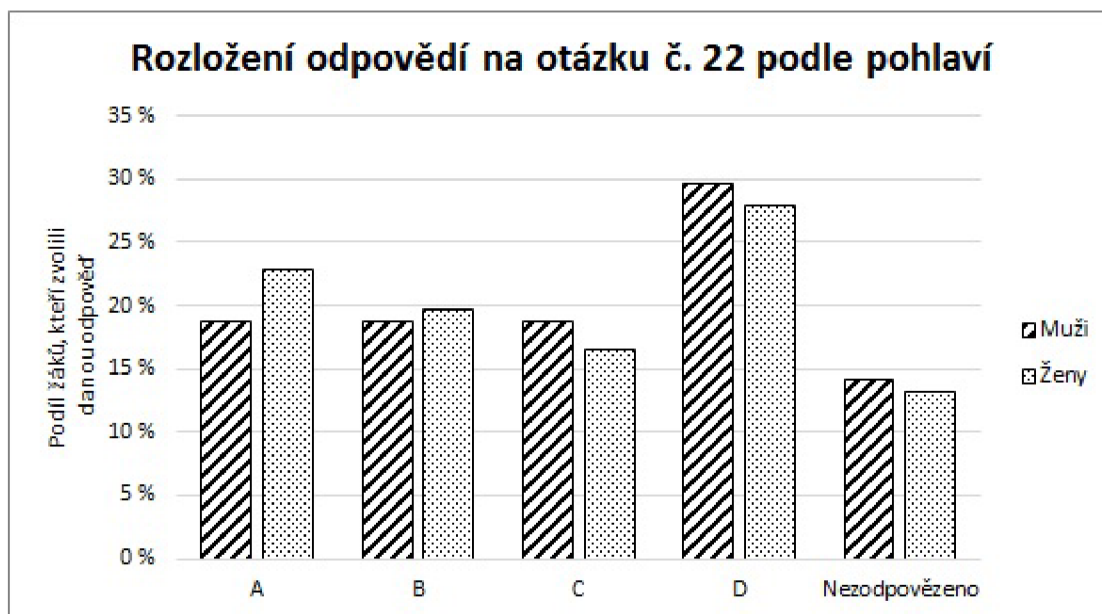


Obrázek 5.42: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 21.

Index obtížnosti otázky je $P_{21} = 39,24\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 15,08 bodů. Průměrný počet bodů žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 10,96 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb21} = 0,49$, lépe na tuto otázku odpovídali žáci s vyšší celkovým počtem bodů.

5.22 Otázka č. 22

V této otázce je za úkol spočítat kinetickou energii pohybující se částice. Rychlost částice vzhledem k soustavě S je stejná jako v předchozí otázce. Správná odpověď je D, kinetická rychlost částice je $0,25m_0c^2$.



Obrázek 5.43: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 22.

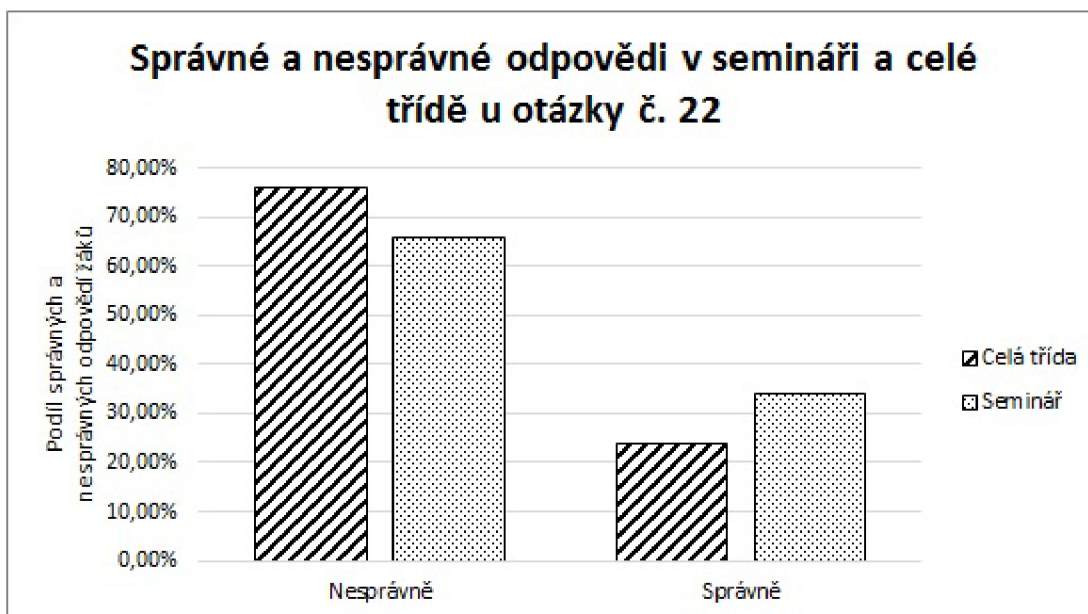
Na otázku neodpovědělo 43 žáků. Kinetickou energii $0,8m_0c^2$ zvolilo 36 žen (22,78 %), 29 mužů (18,71 %) a jeden žák, který nevedl pohlaví, celkově tedy 66 žáků (20,89 %). Energii m_0c^2 považovalo za správnou 61 žáků (19,30 %) z toho 31 žen (19,62 %), 29 mužů (18,71 %) a jeden žák, který ne zvolil pohlaví. Možnost C, tedy kinetickou energii $1,25m_0c^2$, vybralo 26 žen (16,46 %) a 29 mužů (18,71 %). Na otázku správně odpovědělo celkem 91 žáků (28,80 %) z toho 44 žen (27,85 %), 46 mužů (29,68 %) a jeden žák nevedl své pohlaví. Nesprávnou odpověď zvolilo 225 žáků (71,20 %) z toho 109 mužů (70,32 %) a 114 žen (72,15 %). Žáci zřejmě z velké části odpověď tipovali.

Z žáků, kteří výuku STR absolvovali povinně, správně odpovědělo 38 (23,90 %) a nesprávně 121 (76,10 %). Seminaristů odpovědělo nesprávně 85 (34,11 %) a správně 44 (65,89 %).

Index obtížnosti třetí otázky je $P_{22} = 28,80\%$. Průměrný počet bodů u žáků, kteří zvolili správnou odpověď, je 15,78 bodů. Průměrný počet bodů u žáků, kteří odpověděli nesprávně, je 10,99 bodů. Koeficient citlivosti vyšel $r_{bb22} = 0,53$.

Tabulka 5.43: Rozdělení odpovědí na otázku č. 22.

| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|---------------|--------------|--------------|-----------|--------------|
| A | 29 (18,71 %) | 36 (22,78 %) | 1 | 66 (20,89 %) |
| B | 29 (18,71 %) | 31 (19,62 %) | 1 | 61 (19,30 %) |
| C | 29 (18,71 %) | 26 (16,46 %) | 0 | 55 (17,41 %) |
| D | 46 (29,68 %) | 44 (27,85 %) | 1 | 91 (28,80 %) |
| Nezodpovězeno | 22 (14,19 %) | 21 (13,29 %) | 0 | 43 (13,61 %) |



Obrázek 5.44: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 22.

Tabulka 5.44: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 22.

| | Celá třída | Seminář |
|-----------|---------------|--------------|
| Nesprávně | 121 (76,10 %) | 85 (65,89 %) |
| Správně | 38 (23,90 %) | 44 (34,11 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

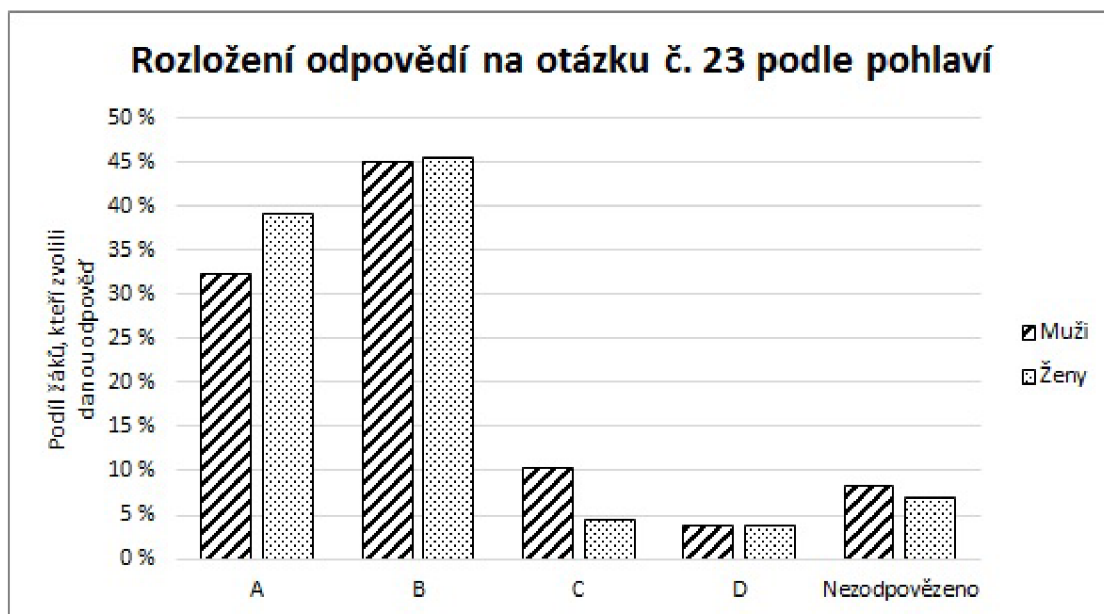
5.23 Otázka č. 23

Žáci měli v této otázce určit klidovou energii pohybující se částice rychlostí $v = 0,600c$. Klidová energie částice je vždy $E = m_0c^2$.

Na otázku odpovědělo 292 žáků. 112 (35,44 %) žáků je přesvědčeno, že klidová energie je nulová. Z toho má toto přesvědčení 62 žen (39,24 %) a 50 mužů (32,26 %). Správnou odpověď zvolilo 70 mužů (45,16 %), 72 žen (45,57 %) a tři žáci, kteří neuvedli pohlaví. Celkem správnou odpověď zvolilo 145 žáků (45,89 %). 23 žáků (7,28 %) z toho 7 žen (4,43 %) a 16 mužů (10,32 %) uvedlo, že klidová energie je $0,5m_0c^2$. Přitom 6 žen (3,80 %) a 6 mužů (3,87 %) vybralo, že se klidová energie rovná $0,25c^2$. Nesprávnou odpověď zvolilo 86 žen (54,43 %) a 85 mužů (54,84 %).

Tabulka 5.45: Rozdělení odpovědí na otázku č. 23.

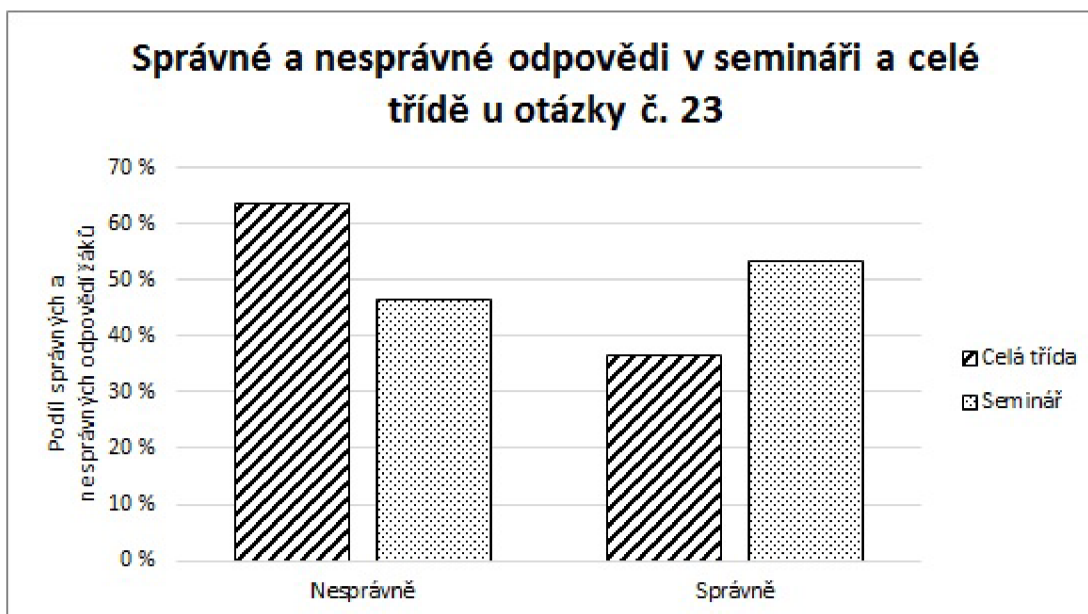
| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|---------------|--------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 50 (32,26 %) | 62 (39,24 %) | 0 | 112 (35,44 %) |
| B | 70 (45,16 %) | 72 (45,57 %) | 3 | 145 (45,89 %) |
| C | 16 (10,32 %) | 7 (4,43 %) | 0 | 23 (7,28 %) |
| D | 6 (3,87 %) | 6 (3,80 %) | 0 | 12 (3,80 %) |
| Nezodpovězeno | 13 (8,39 %) | 11 (6,96 %) | 0 | 24 (7,59 %) |



Obrázek 5.45: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 23.

Ze škol, kde STR probírá celá třída, uvedlo správnou odpověď 58 žáků (36,48 %) a nesprávnou 101 žáků (63,52 %). Žáci ze semináře označili správnou odpověď v 69 případech (53,49 %) a nesprávnou ve 60 případech (53,49 %).

Index obtížnosti otázky je $P_{23} = 45,89\%$. Žáci, kteří na otázku odpověděli správně, dosáhli průměrného bodového zisku 14,88 bodů. Průměrný počet bodů



Obrázek 5.46: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 23.

Tabulka 5.46: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 23.

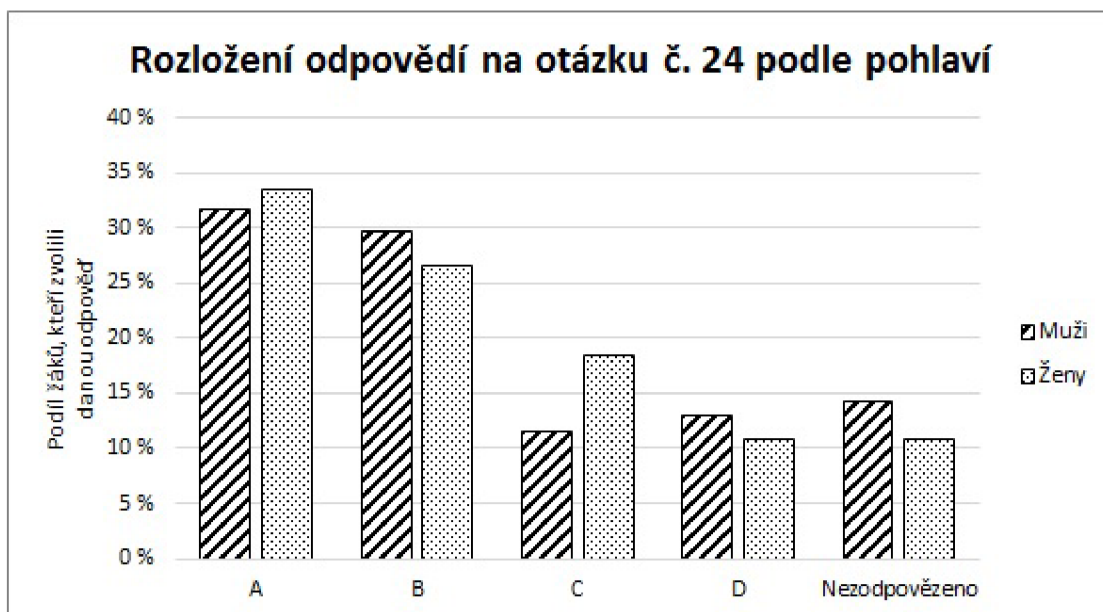
| | Celá třída | Seminář |
|-----------|---------------|--------------|
| Nesprávně | 101 (63,52 %) | 60 (46,51 %) |
| Správně | 58 (36,48 %) | 69 (53,49 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

žáků, kteří na otázku odpověděli nesprávně, je 10,80 bodů. Bodově-biseriální koeficient diskriminace položky vyšel $r_{bb23} = 0,49$.

5.24 Otázka č. 24

Poslední otázka se zaměřuje na výpočet hybnosti částice vzhledem k soustavě S . Hybnost částice je $0,75m_0c$.

Na otázku odpovědělo 277 žáků. Celkem 103 žáků (32,59 %) uvedlo, že hybnost částice je $0,6m_0c$. Tuto odpověď označilo 49 mužů (31,61 %), 53 žen (33,54 %) a jeden žák, který své pohlaví neuvedl. Správnou odpověď vybralo 46 mužů (29,68 %) a 42 žen (26,58 %), celkově 88 žáků (27,85 %). 49 žáků (15,51 %) mělo za to, že hybnost částice se rovná $0,48m_0c$. Hybnost částice $0,8m_0c$ považovalo za správnou



Obrázek 5.47: Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 24.

odpověď 22 mužů (12,90 %) a 17 žen (10,76 %), celkem tedy 37 žáků (11,71 %). Nesprávně na tuto otázku odpovědělo 116 žen (73,42 %) a 109 mužů (70,32 %).

Tabulka 5.47: Rozdělení odpovědí na otázku č. 24.

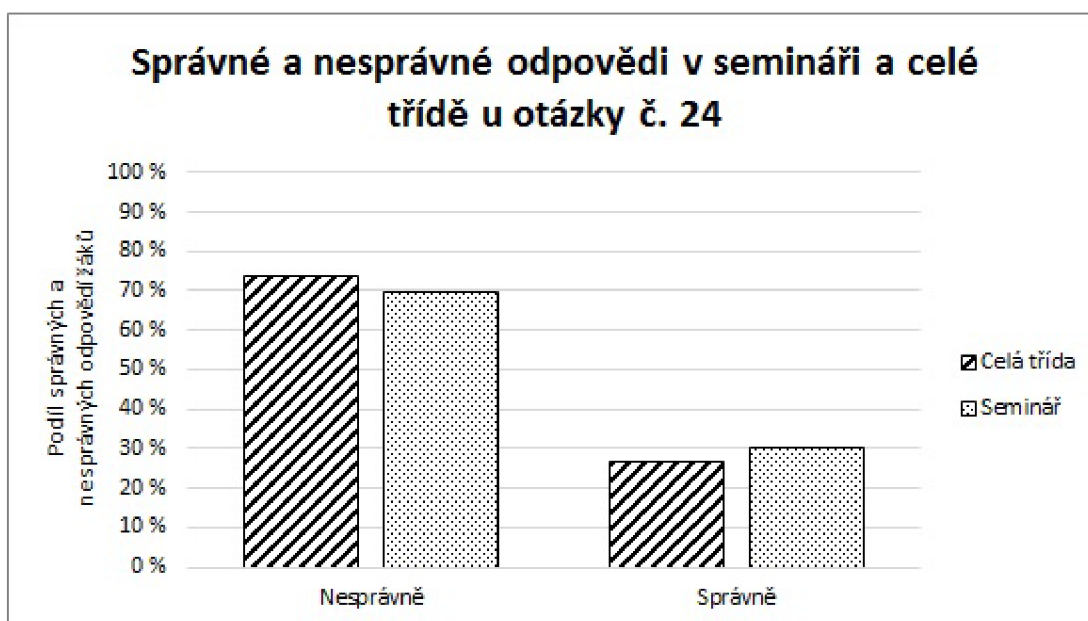
| Možnost | Muž | Žena | Neuvedeno | Celkem |
|----------------------|--------------|--------------|-----------|---------------|
| A | 49 (31,61 %) | 53 (33,54 %) | 1 | 103 (32,59 %) |
| B | 46 (29,68 %) | 42 (26,58 %) | 0 | 88 (27,85 %) |
| C | 18 (11,61 %) | 29 (18,35 %) | 2 | 49 (15,51 %) |
| D | 20 (12,90 %) | 17 (10,76 %) | 0 | 37 (11,71 %) |
| Nezodpovězeno | 22 (14,19 %) | 17 (10,76 %) | 0 | 39 (12,34 %) |

Z žáků, kteří výuku STR absolvovali povinně, správně odpovědělo 42 (26,42 %) a nesprávně 117 (73,58 %). Seminaristů odpovědělo nesprávně 90 (69,77 %) a správně 39 (30,23 %).

Index obtížnosti třetí otázky je $P_{24} = 27,85\%$. Průměrný počet bodů u žáků, kteří zvolili správnou odpověď, je 15,13 bodů. Průměrný počet bodů u žáků, kteří odpověděli nesprávně, je 11,71 bodů. Koeficient citlivosti vyšel $r_{bb24} = 0,37$.

Tabulka 5.48: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 24.

| | Celá třída | Seminář |
|---------------|---------------|--------------|
| Nesprávně | 117 (73,58 %) | 90 (69,77 %) |
| Správně | 42 (26,42 %) | 39 (30,23 %) |
| Celkem | 159 | 129 |

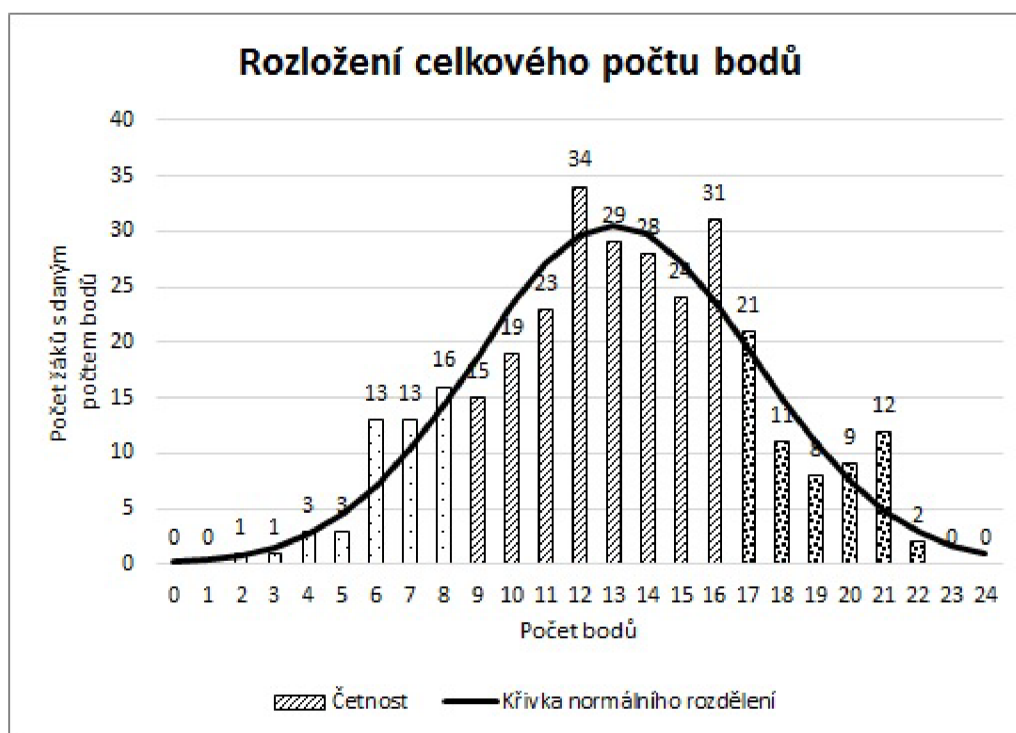


Obrázek 5.48: Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 24.

Kapitola 6

Výsledky testu

Průměrný počet dosažených bodů z testu je $\bar{x} = 13,05$, směrodatná odchylka je $s = 4,13$ bodu. Nulového ani plného počtu bodů nedosáhl žádný z žáků. Nejnižší bodový zisk byly 2 body (jeden žák) a nejvyšší 22 bodů (dva žáci). V horním tercilu (kde žáci dosáhli 17 až 24 bodů) se nachází 19,9% žáků. Procento žáků, kteří se nacházejí v prostředním tercilu (dosáhli 9 až 16 bodů), je 64,2%. 15,8% žáků získalo pouze 0 až 8 bodů a nachází se tak ve spodním tercilu.



Obrázek 6.1: Rozložení celkového počtu bodů.

Pomocí χ^2 testu byla testována hypotéza o normálním rozdělení. Hodnotu testovacího kritéria χ^2 spočítáme podle vztahu [18]

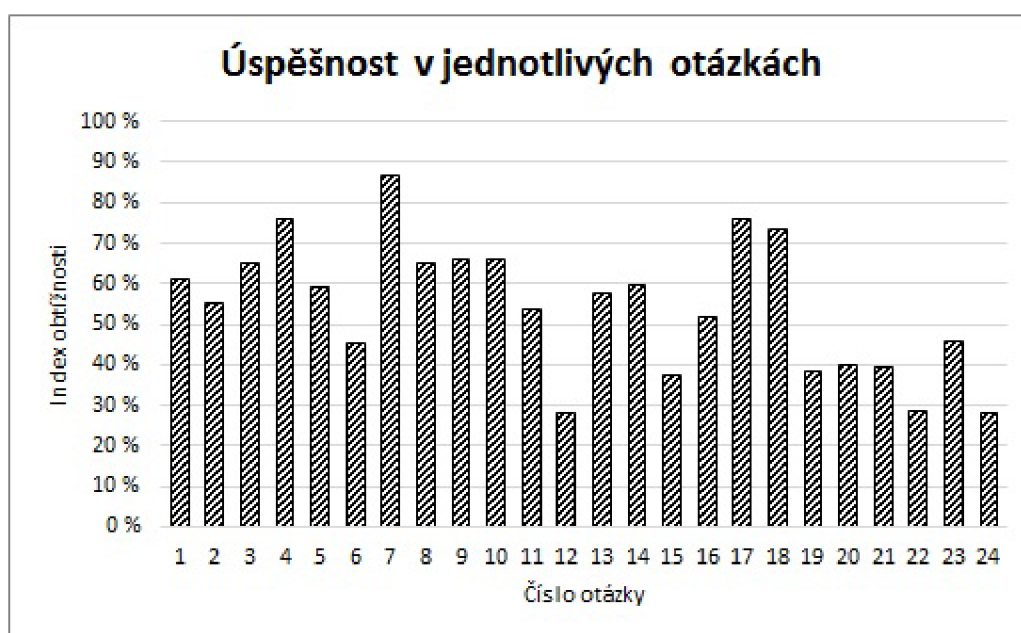
$$\chi^2 = \sum \frac{(P - O)^2}{O}, \quad (6.1)$$

kde P je skutečná četnost a O je teoretická (očekávaná) četnost. V tomto případě je očekávaná četnost dána četností normálního rozdělení. Hodnota testovacího kritéria je $\chi^2 = 28,802$. Kritická hodnota pro 23 stupňů volnosti a pro hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ je 35,172 [18]. Hodnota testovacího kritéria je menší než kritická hodnota, proto hypotézu o normálním rozdělení na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ nezamítáme. V grafu 6.1 můžeme vidět rozložení celkového počtu bodů s křivkou normálního rozdělení se stejnou střední hodnotou a rozptylem.

6.1 Základní charakteristiky testu

Index obtížnosti

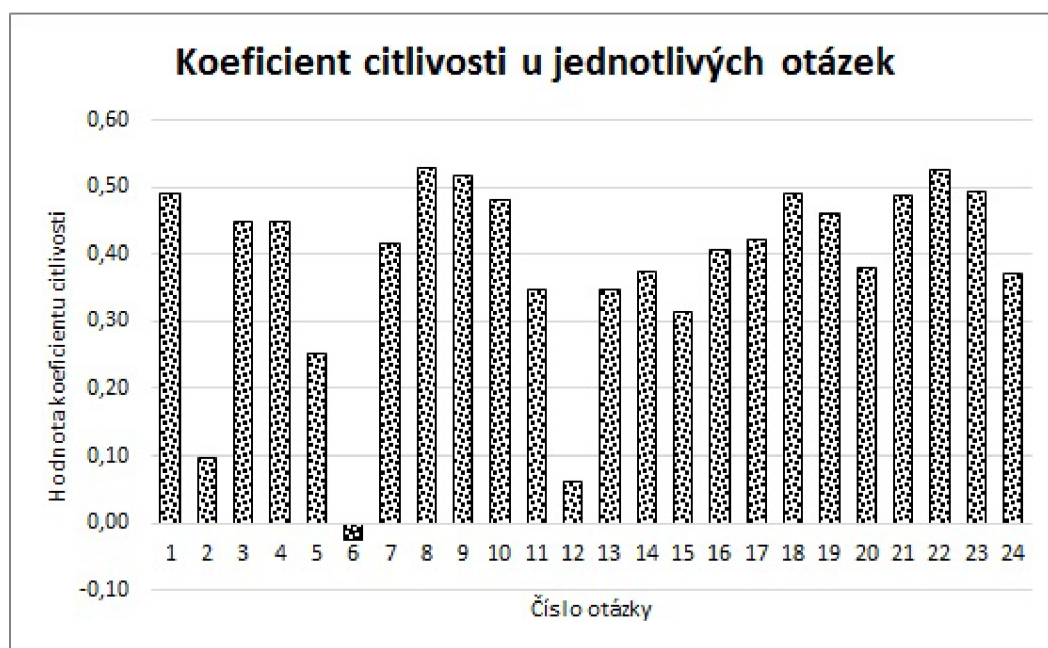
Indexy obtížnosti položek se pohybovaly od 27,85 % (shodně 12. a 24. otázka) do 87,03 % (7. otázka). Žádná z otázek neměla index obtížnosti menší než 20 % a pouze jedna otázka (7. otázka) měla index obtížnosti vyšší než 80 %, což značí, že otázka byla jednoduchá. Z tohoto pohledu můžeme test zhodnotit jako vyhovující. Mezi položky s nejnižším indexem obtížnosti patřily otázky týkající se energie, hybnosti a pojmu *soumísné události*. Průměrný index obtížnosti je $P = 54,36\%$. V grafu 6.2 jsou znázorněny indexy obtížnosti pro jednotlivé otázky.



Obrázek 6.2: Indexy obtížnosti u jednotlivých otázek.

Koeficient citlivosti

Koeficienty citlivosti u jednotlivých otázek byly počítány pomocí vztahu (2.3). U otázek číslo 2, 6 a 12 vyšly koeficienty citlivosti blízke nule (u otázky č. 6 byl koeficient citlivosti dokonce záporný), což značí, že dané otázky nerozlišovaly mezi slabšími a silnějšími žáky. Z tohoto pohledu nejsou tyto otázky příliš vhodné. Koeficient citlivosti se kromě hodnot u těchto otázek pohyboval v rozmezí od 0,25 do 0,53. Průměrná hodnota diskriminace pro všechny otázky je $\overline{r_{bb}} = 0,38$. Podle [27] by měla citlivost úloh vypočítaná pomocí bodově-biseriálního koeficientu dosahovat aspoň hodnoty 0,20. Tuto podmínku splňuje 21 úloh z 24 (87,5 % úloh).



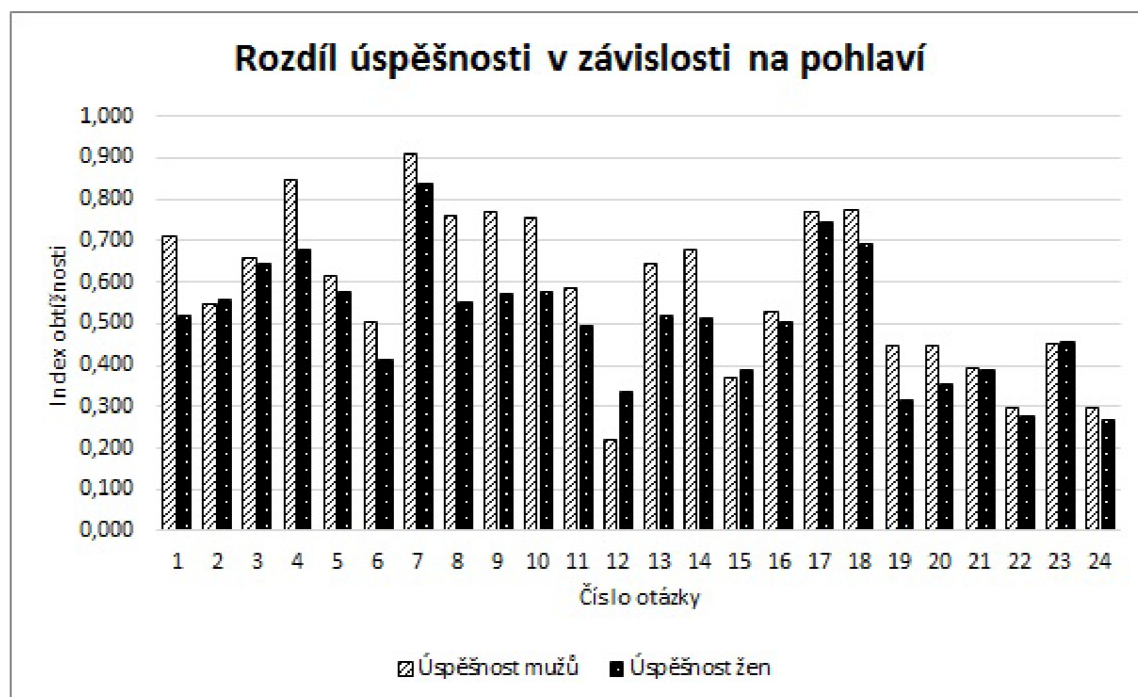
Obrázek 6.3: Koeficienty citlivosti u jednotlivých otázek.

Reliabilita testu

Koeficient reliability určený podle Kuderova-Richardsonova vztahu (2.1) vyšel $r_{kr} = 0,72$. Otázky jsme seřadili vzestupně podle jejich indexu obtížnosti. Rozdělili jsme je na otázky s lichým pořadovým číslem (otázky č. 3, 9, 11–14, 17–19, 20, 22 a 23) a se sudým pořadovým číslem (otázky č. 1, 2, 4–8, 10, 15, 16, 21 a 24). Pearsonův korelační koeficient mezi výsledky žáků v obou polovinách testu je $r_p = 0,89$. Koeficient spolehlivosti počítaný metodou půlení pomocí Spearmanova-Brownova vzorce (2.2) vyšel $r_{sb} = 0,94$. Spolehlivost testu by měla nabývat minimální hodnoty 0,80. Tuto hodnotu přesahuje reliabilita počítaná pomocí (2.2).

6.2 Rozdíly mezi pohlavími

Ženy dosáhly průměrného počtu $\bar{x}_z = 12,16$ bodů, u mužů byl průměrný bodový zisk $\bar{x}_m = 13,97$ bodů. Rozdíl v průměrném počtu bodů obou pohlaví je $\bar{x}_m - \bar{x}_z = 13,97 - 12,16 = 1,81$ bodu. Testem dobré shody χ^2 jsme určovali, zda výběry mužů a žen pocházejí z normálního rozdělení. Hodnota testovacího kritéria pro muže je $t_m = 31,207$ a pro ženy $t_z = 13,957$. Kritická hodnota na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ je 35,172 [18]. Kritická hodnota je v obou případech vyšší, oba výběry pocházejí z normálního rozdělení. F-testem jsme zjišťovali homogenitu rozptylů. Hodnota testovacího kritéria je $f = 1,07$, kritická hodnota pro stupně volnosti $m = 120$ a $n = 120$ (nejbližší tabulkové hodnoty pro stupně volnosti 154 a 157) je $f_{120,120} = 1,35$ na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ [18]. Rozptyly můžeme považovat za homogenní. Pomocí Studentova t-testu určujeme, zda je rozdíl v průměru bodů mužů a žen statisticky významný. Hodnota testovacího kritéria je 3,962. Kritická hodnota pro 400 stupňů volnosti (nejbližší tabulková hodnota počtu stupňů volnosti 311) je na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ $t = 1,966$ [18]. Hodnota testovacího kritéria je vyšší než kritická hodnota, proto na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ existuje statisticky významný rozdíl mezi výsledky mužů a žen. Muži dosahují lepších výsledků než ženy.

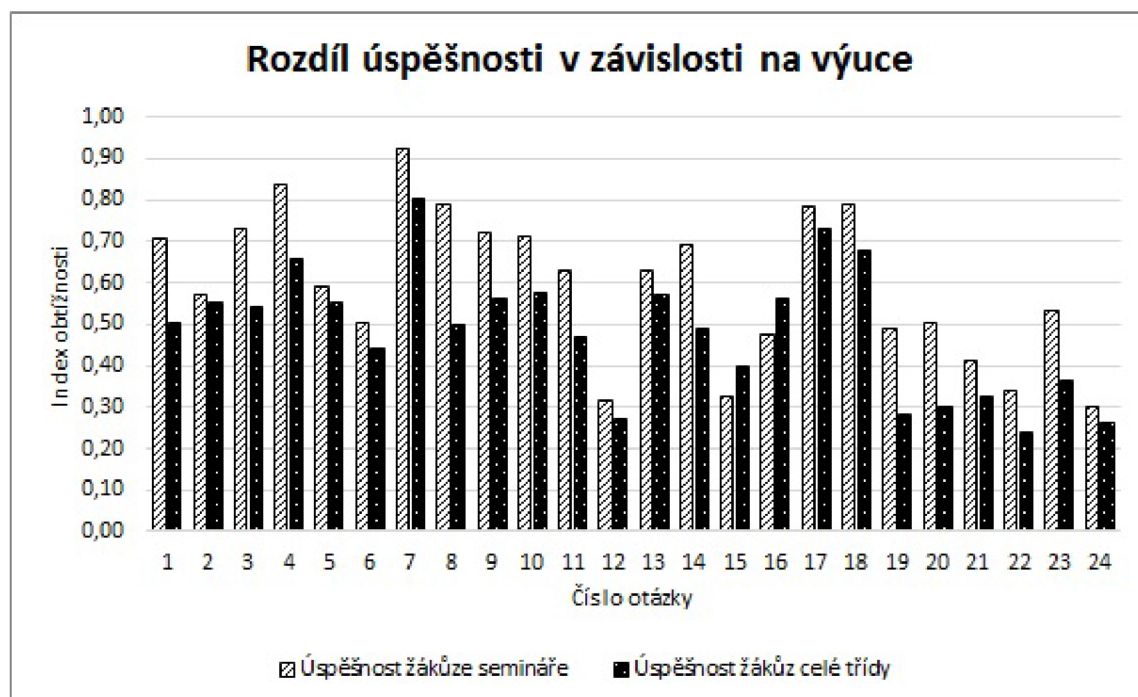


Obrázek 6.4: Rozdíl úspěšnosti u jednotlivých otázek v závislosti na pohlaví.

V grafu 6.4 vidíme úspěšnosti mužů a žen v jednotlivých otázkách. Muži byli

úspěšnější ve většině otázek. Ženy byly výrazně úspěšnější pouze v úloze č. 12, a to o necelých 12 procentních bodů. V otázkách 2, 21 a 23 byly úspěšnosti mužů a žen srovnatelné. Nejvýraznější rozdíly byly v otázkách číslo 1, 8 a 9, kde se rozdíly v úspěšnosti pohybovaly okolo 20 procentních bodů.

6.3 Rozdíl mezi formou výuky



Obrázek 6.5: Rozdíl úspěšnosti u jednotlivých otázek v závislosti na formě výuky.

U žáků, kteří si fyziku ve vyšších ročnících gymnázia vybírali volitelně, lze předpokládat vyšší zájem o učivo. Proto se dá očekávat, že tyto žáci budou dosahovat lepších výsledků. Žáci ze semináře dosáhli průměrného počtu bodů $\bar{x}_s = 14,30$. Žáci z celé třídy měli průměrný bodový zisk $\bar{x}_c = 11,64$ bodů. Rozdíl mezi oběma skupinami se rovná $\bar{x}_s - \bar{x}_c = 14,30 - 11,64 = 2,66$. Pomocí testu dobré shody χ^2 jsme zjistili, že výběr žáků z povinné fyziky i ze seminářů na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ odpovídá normálnímu rozdělení. Testovací hodnota pro žáky z celé třídy je 16,706 a ze seminářů 34,692. Kritická hodnota na dané hladině významnosti se rovná 35,172 [18]. Obě testovací hodnoty jsou nižší než kritická hodnota. Hypotézu o normálním rozdělení na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ nezamítáme. Pomocí F-testu jsme zjistili, že rozptyly můžeme považovat na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ za homogenní. Testovací hodnota Studentova t-testu se rovná 5,619. Tato hodnota je vyšší než kritická hodnota na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ pro 200 stupňů vol-

nosti (nejbližší tabulková hodnota skutečnému počtu stupňů volnosti 286), která činí 1,972 [18]. Žáci, kteří si vybrali volitelný seminář z fyziky, byli úspěšnější.

V grafu 6.5 můžeme vidět rozdíly v úspěšnosti mezi formou výuky u jednotlivých otázek. Žáci z celé třídy byli úspěšnější pouze u otázek číslo 15 a 16. U otázky 8 byli žáci ze semináře úspěšnější dokonce o téměř 30 procentních bodů.

6.4 Porovnání s předešlým výzkumem

Do pokynů testu byl také zahrnut požadavek, aby žáci u otázek 13–24 kromě označení možnosti uvedli výpočet nebo zdůvodnění odpovědi, jinak jim odpověď nebude uznána. Tato podmínka byla vyžadována i u předešlého výzkumu. Nicméně nyní se ukázalo, že žáci nejsou zvyklí zdůvodnění při testech s výběrem odpovědí uvádět. Většina žáků výpočet neuvedla a v horním tercilu bylo jen velmi malé procento žáků, zatímco se výrazné procento žáků nacházelo ve spodním tercilu. Někteří žáci měli v otázkách 1–12 pouze jednu nebo dvě chyby a druhou polovinu testu vyplnili také téměř bez chyby. Je velmi málo pravděpodobné, že takoví žáci většinu odpovědí pouze uhodli. Od některých škol jsme také vyplněné testy neobdrželi, znali jsme pouze jednotlivé odpovědi. Kvůli tomu nebylo možné zhodnotit, zda je odpověď zdůvodněná, nebo ne. Tím se snížil i celkový počet vyhodnocovaných testů. Proto při vyhodnocování odpovědí byly použity odpovědi bez ohledu na to, zda žák odpověď zdůvodnil nebo ne. V předešlém výzkumu ale byla tato podmínka požadována, proto při porovnání jednotlivých parametrů použijeme výsledky, kde jsme odpovědi bez zdůvodnění neuznávali.

V předešlém výzkumu dosáhli tehdejší žáci průměrného počtu bodů $\bar{x}_1 = 12,997$ bodu se standardní odchylkou $s_1 = 5,501$ bodu. Při důrazu na zdůvodnění odpovědi měli dnešní žáci průměrný bodový zisk $\bar{x}_2 = 10,471$ bodu, standardní odchylka je $s_2 = 4,460$. Rozdíl činí $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 12,997 - 10,471 = 2,526$. Žáci ze 70. let získali o 2,526 bodů více než dnešní žáci. Reliabilita testu podle Kuderova-Richardsonova vztahu byla $R_{kr1} = 0,870$. Podle dnešních výsledků vychází reliabilita testu podle tohoto vztahu na $R_{kr2} = 0,798$. Metodou půlení se reliability rovnají $R_{sb1} = 0,900$ a $R_{sb2} = 0,828$. Podle obou vztahů je reliabilita testu předešlého testu větší. Průměrná hodnota koeficientu citlivosti z předchozího výzkumu počítaná pomocí bodově-biseriálního koeficientu je $r_{bb1} = 0,500$. Pro dnešní výzkum je tato hodnota $r_{bb2} = 0,434$. Citlivost současného testu je nižší než citlivost předchozího testu.

Tehdejší žáci dosáhli lepších výsledků než dnešní žáci. Lepších vlastností (spolehlivost a citlivost) dosahoval také test ze 70. let 20. století.

Do minulého výzkumu se zapojilo také 6 tříd zaměřených na matematiku a fyzi-

Tabulka 6.1: Porovnání hodnot dnešního a předešlého výzkumu.

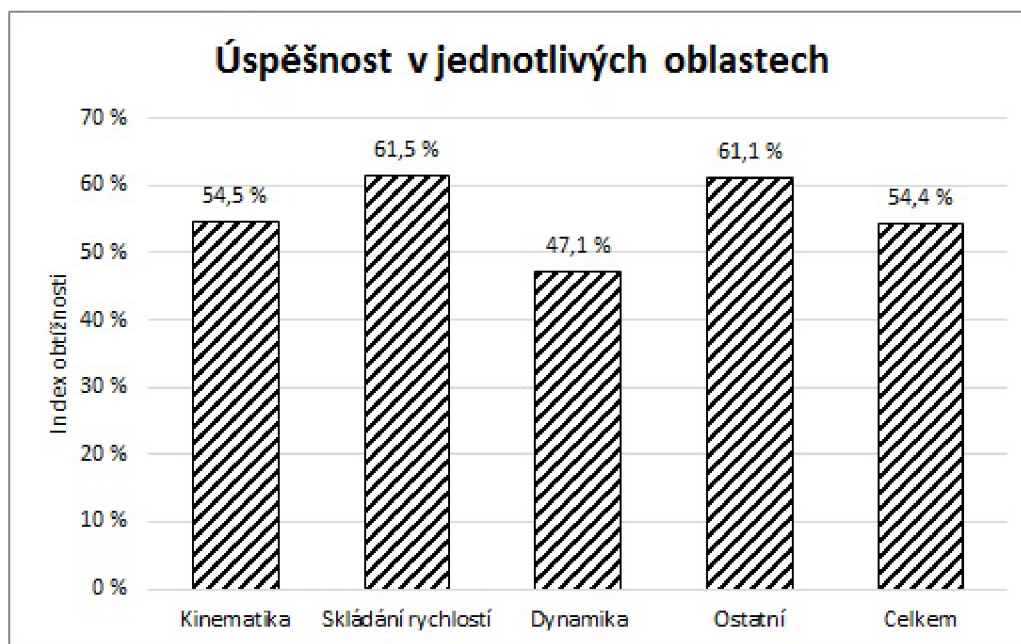
| | Výzkum ze 70. let | Dnešní výzkum |
|---|-------------------|---------------|
| Průměrný počet bodů | 12,997 | 10,471 |
| Směrodatná odchylka | 5,501 | 4,460 |
| Reliabilita (Kuder-Richardsonův vztah) | 0,870 | 0,798 |
| Reliabilita (metodou půlení) | 0,900 | 0,828 |
| Citlivost | 0,500 | 0,434 |

ku. Ty dosáhly průměrného počtu bodů $\overline{x_{MF}} = 15,885$. Dnešního výzkumu se účastnila jedna matematická třída. Ta dosáhla průměrného počtu bodů $\overline{x_{MT}} = 15,250$. Rozdíl je pouze $\overline{x_{MF}} - \overline{x_{MT}} = 15,885 - 15,250 = 0,635$ bodů. Dnešní a tehdejší žáci se zaměřením na matematiku dosahují podobných výsledků.

Kapitola 7

Problémové oblasti

V kapitole 3 byly popsány čtyři kategorie testu – kinematika, dynamika, skládání rychlostí a ostatní. Nejlepších výsledků dosáhli žáci v oblasti testu *skládání rychlostí*, kde byla úspěšnost 61,5 %. Téměř stejnou úspěšnost měla také oblast *ostatní*, která zahrnovala pouze první otázku a týkala se principů speciální teorie relativity a mezí použitelnosti klasické mechaniky. Nejhůře na tom byli žáci v oblasti *dynamiky*. Žáci zde dosáhli úspěšnosti pouze 47,1 %.



Obrázek 7.1: Úspěšnost žáků v jednotlivých oblastech testu.

U otázky č. 12, která se týkala souměstných událostí, žáci jednotlivé varianty vybírali přibližně stejně často, jeden distraktor dokonce vybírali častěji než správnou odpověď. Z tohoto lze usuzovat, že žáci odpovědi spíše hádali. Žákům tedy dělá problém pojem *souměstné události*. Někteří učitelé zapojených škol zmínili, že

tento pojem neprobírali. Dalo by se předpokládat, že tato neznalost může být do jisté míry způsobena absencí Lorentzovy transformace ve výuce.

Další problém nastal u otázky týkající se kvantitativního vyjádření dilatace času. Žáci měli spočítat, jak dlouho bude trvat děj pro pozorovatele v soustavě S' , který nastal v téže soustavě, jestliže pro pozorovatele v soustavě S trval 10,0 s. Zde neměli žáci problém s matematickým vyjádřením dilatace času, ale spíše s určením, o kterou vztažnou soustavu se jedná. Tento problém se ukázal i v otázkách 5 a 6, kde kolem sebe prolétají Mach a Šebestová vysokou rychlostí. Vysílají k sobě světelné záblesky. Obě otázky jsou koncipovány tak, že ten druhý naměří mezi záblesky delší časový interval. Žáci často označovali v jedné otázce odpověď s kratším intervalem a ve druhé otázce variantu s delším časovým intervalem. I toto naznačuje, že žáci mají s učivem o vztažných soustavách problém. Na toto učivo by bylo vhodné klást větší důraz.

Další problémovou oblastí je záležitost týkající se energie a hybnosti. Kinetickou energii z velké části žáci spočítat nedokázali a výsledek odhadovali. Mylná představa také je, že částice má nulovou klidovou energii, což je odpověď, která se u otázky číslo 23 vyskytovala často. Žáci si také nedokázali odvodit vztah pro relativistickou hybnost, a tak ve velké míře vybírali variantu, která odpovídala hybnosti podle klasické fyziky. Nízkou úspěšnost měly také otázky, které se zabývaly relativistickým skládáním rychlostí. V tomto případě může hrát roli i fakt, že STR se často probírá až na konci ročníku a nezbývá na ni dostatek vyučovacích hodin. A právě dynamiku učitelé můžou probírat pouze povrchně.

Závěr

V této diplomové práci jsem se zabývala úrovní znalostí žáků na gymnáziích ze speciální teorie relativity. Výzkum provedený v této práci navazuje na výzkum ze 70. let 20. století provedený na Přírodovědecké fakultě UPOL v 70. letech 20. století. Test použitý při tomto výzkumu vycházel z testu při provedení výše uvedeného výzkumu. Cílem bylo výzkum zopakovat, výsledky statisticky zpracovat, porovnat vědomosti tehdejších a dnešních žáků a vytyčit některé problémové oblasti učiva STR. Do výzkumu se zapojilo celkem 316 žáků ze 13 gymnázií, z toho bylo 155 mužů a 158 žen.

Práce je strukturována do sedmi hlavních kapitol. První čtyři kapitoly se týkají teoretického úvodu k problematice včetně ukázky testu, který měli žáci za úkol vyplnit. Další dvě kapitoly jsou věnovány statistickému zpracování testu a porovnání výsledků s předešlým výzkumem. V poslední kapitole jsou na základě výsledků testu popsány oblasti, které žákům v STR činily potíže.

Žáci dosáhli průměrného bodového zisku 13,05 bodů. Nejlépe si žáci vedli v otázce č. 7, ve které vybírali z nabídky možných odpovědí graf závislosti délky tyče na její rychlosti v klasické mechanice. Naopak nejnižší úspěšnost vykazovaly otázky 12 a 24. První ze zmíněných otázek se týkala relativnosti současnosti a souměrnosti a ve druhé měli žáci za úkol spočítat hybnost částice letící vysokou rychlostí. Ze získaných poznatků jsem vyvodila, že právě toto jsou oblasti, které žákům činí problémy a dosahují v nich nižších znalostí. Kromě již zmíněných témat jsem pozorovala, že žákům činí problémy přecházet z jedné vztažné soustavy do druhé a zřejmě je ve školách kladen menší důraz na relativistickou dynamiku.

Dále jsem zkoumala rozdíly ve výsledcích mezi muži a ženami. Muži dosáhli průměrně o 1,81 bodu více než ženy. Tento rozdíl byl statisticky významný. Můžeme tedy konstatovat, že muži byli úspěšnější než ženy a dosáhli v testu lepších výsledků. Porovnávala jsem také výsledky žáků v závislosti na tom, zdali výuku STR absolvovali v povinném předmětu pro všechny žáky ze třídy, nebo ve výběrovém semináři. Zde se projevil velký rozdíl. Žáci volitelných seminářů dosáhli průměrně

o 2,66 bodů více. Tento rozdíl je statisticky významný. Žáci, kteří si zvolili volitelný předmět byli pravděpodobně na fyziku nadanější nebo o ni měli větší zájem.

Při porovnávání s předešlým výzkumem jsem použila výsledky, kde se u otázek 13–24 hodnotilo zdůvodnění odpovědi nebo její výpočet. Od tohoto při statistickém zpracování bylo upuštěno, protože velká část žáků zdůvodnění neuváděla a výsledky poté neodpovídaly normálnímu rozdělení. Porovnála jsem jednotlivé průměrné bodové zisky, reliability a citlivosti. Žáci ze 70. let dosáhli o 2,526 bodů více než dnešní žáci a spolehlivost a citlivost soudobého testu byla o něco nižší než testu užitého v minulosti. Na závěr jsem porovnála průměrný počet bodů, který dosáhly matematicko-fyzikální třídy v minulosti s těmi současnými. Dnešní matematická třída dosáhla pouze o 0,635 bodů méně než třídy ze 70. let zaměřené na matematiku a fyziku.

V průběhu vypracování této diplomové práce jsem zjistila, co žákům při výuce STR činí největší problémy. Právě v tomto ohledu spatřuji největší osobní přínos své diplomové práce, jelikož v mé budoucí profesi se na problematice okruhy výuky tohoto tématu budu moci více zaměřit. Výsledky práce bude možné zohlednit i při přípravě budoucích učitelů fyziky na PŘF UP v rámci předmětu Teorie relativity (KEF/TR), např. věnovat zjištěným problémovým oblastem více pozornosti. Závěrem konstatuji, že je možné uvažovat o dalším pokračování výzkumu. Výsledky by bylo možné porovnat například v závislosti na počtu vyučovacích hodin věnovaných tomuto tématu nebo se nabízí možnost využití eye trackingu. Může to posloužit jako námět pro další diplomové práce.

Literatura

- [1] FUKA, J.: *Základní poznatky speciální teorie relativity ve vyučování fyzice na středních školách*. Acta UPOL, Fac. Rec. Nat., Mathematica-Physica-Chemica, 1972, 12(1), s. 91–111.
- [2] FUKA, J. a kol.: *Pokusné vyučování základům teorie relativity v 4. roč. gymnasia ve školním roce 1971/72*. Matematika a fyzika ve škole, 3, 1972/73, č. 8, s. 626–630.
- [3] HALLIDAY, D., RESNICK R. a J. WALKER: *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1868-0.
- [4] HALLIDAY, D., RESNICK, R. a J. WALKER, DUB, P., ed. *Fyzika. 2. 2., přeprac. vyd.* Přeložil M. ČERNÝ. Brno: VUTIUM, c2013, 1 sv. (různé stránkování). Překlady vysokoškolských učebnic, sv. 4. ISBN 978-80-214-4123-1.
- [5] FUKA, J.: *Speciální teorie relativity na střední škole*. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, 1979, 24(4), s. 217–223.
- [6] FUKA, J.: *Doplňk k učivu fyziky pro IV. ročník gymnasia*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1974. Učebnice pro stř. všeobec. vzdělávací školy.
- [7] FUKA, J. a M. ŠIROKÁ: *Výzkum efektivity nového metodického přístupu k výuce základních poznatků speciální teorie relativity na gymnáziu*. Acta UPOL, Fac. Rec. Nat., 1979, s. 319–344.
- [8] FUKA, J.: *Základní poznatky speciální teorie relativity*. Výzkumný text. Ediční středisko Univerzity Palackého v Olomouci, 1976. 37 s.
- [9] HERRMANN, F. a M. POHLIG: Dynamics first. A novel approach to relativity. In: *Teaching einsteinian physics in schools*. Routledge, 2022, s. 65–83.

- [10] *Rámcové vzdělávací programy* [online]. [cit. 17. května 2022]. Dostupné z: <http://www.nuv.cz/t/rvp>.
- [11] MARŠÁK, J.: *Výuka základních poznatků speciální teorie relativity na gymnáziu* [online]. [cit. 17. května 2022]. Dostupné z: <https://clanky.rvp.cz/clanek/c/G/1764/vyuka-zakladnich-poznatku-specialni-teorie-relativity-na-gymnaziu.html>.
- [12] BARTUŠKA, K.: *Fyzika pro gymnázia: speciální teorie relativity*. 3., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2001. ISBN 80-7196-209-0.
- [13] *ŠVP Osmileté všeobecné studium - vyšší stupeň, Čtyřleté všeobecné studium.*, Gymnázium a Jazyková škola s právem státní jazykové zkoušky Břeclav, 2020. http://gbv.cz/web/images/SVP/S%CC%8CVP_VG_2021.pdf.
- [14] *Školní vzdělávací program, gymnaziální vzdělávání*, Gymnázium, Střední odborná škola a Vyšší odborná škola, Nový Bydžov, 2019. https://www.gnb.cz/assets/File.ashx?id_org=400165&id_dokumenty=2054.
- [15] *Školní vzdělávací program, Vzdělaný člověk má stále bohatství s sebou_2019*, Gymnázium Šumperk, 2019.
- [16] *Školní vzdělávací program pro gymnaziální vzdělávání, Per aspera ad astra!*, osmiletý a čtyřletý vzdělávací program, Gymnázium Jana Keplera Praha 6, 2014. <https://sites.google.com/a/gjk.cz/svp/home>.
- [17] FUKA, J. a M. ŠIROKÁ: *Výzkum vědomostí ze základních poznatků speciální teorie relativity ve čtvrtém ročníku gymnázia*. Matematika a fyzika ve škole, 6, 1975/76, č. 8, s. 615–626.
- [18] CHRÁSKA, M.: *Metody pedagogického výzkumu: základy kvantitativního výzkumu*. 2., aktualizované vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5326-3.
- [19] TREAGUST, D. F.: Time for changing paradigms in science and education. In: *Teaching einsteinian physics in schools*. Routledge, 2022, s. 16–31.
- [20] ASLANIDES, J. S. a C. M. SAVAGE: *Relativity concept inventory: Development, analysis, and results* Physical Review Special Topics - Physics Education Research [online]. 2013, 9(1) [cit. 17. května 2022]. ISSN 1554-9178. Dostupné z: [doi:10.1103/PhysRevSTPER.9.010118](https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.9.010118).

- [21] BALADA, J.: *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia: RVP G*. Praha: Výzkumný ústav pedagogický v Praze, 2007. ISBN 978-80-87000-11-3.
- [22] FUKA, J. a M. ŠIROKÁ: *Výzkum vědomostí ze základních poznatků speciální teorie relativity ve čtvrtém ročníku gymnázia*. Matematika a fyzika ve škole, 6, 1975/76, č. 7, s. 540–551.
- [23] ASLANIDES, J. S. a C. M. SAVAGE: *Relativity Concept Inventory (RCI)* PhysPort cover sheet, 2013.
- [24] DING, L., CHABAY, R., SHERWOOD, B. a R. BEICHNER: *Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief electricity and magnetism assessment*. Physical Review Special Topics - Physics Education Research [online]. 2006, 2(1) [cit. 17. května 2022]. ISSN 1554-9178. Dostupné z: doi:10.1103/PhysRevSTPER.2.010105.
- [25] ALSTEIN, P., KRIJTENBURG-LEWERISSA, K. a W. R. VAN JOOLINGEN: *Teaching and learning special relativity theory in secondary and lower undergraduate education: A literature review*. Physical Review Physics Education Research [online]. 2021, 17(2) [cit. 17. května 2022]. ISSN 2469-9896. Dostupné z: doi:10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023101.
- [26] LEPIL, O.: *K vývoji učebnic fyziky pro střední školu gymnaziálního typu* Matematika-fyzika-informatika, 22, 2013.
- [27] JEŘÁBEK, O. a M. BÍLEK: *Teorie a praxe tvorby didaktických testů*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010. ISBN 978-80-244-2494-1.

Seznam obrázků

| | | |
|------|--|----|
| 5.1 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 1. | 33 |
| 5.2 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 1. | 34 |
| 5.3 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 2. | 35 |
| 5.4 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 2. | 36 |
| 5.5 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 3. | 37 |
| 5.6 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 3. | 37 |
| 5.7 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 4. | 39 |
| 5.8 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 4. | 39 |
| 5.9 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 5. | 41 |
| 5.10 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 5. | 41 |
| 5.11 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 6. | 43 |
| 5.12 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 6. | 43 |
| 5.13 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 7. | 45 |
| 5.14 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 7. | 45 |
| 5.15 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 8. | 46 |
| 5.16 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 8. | 47 |
| 5.17 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 9. | 65 |
| 5.18 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 9. | 65 |
| 5.19 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 10. | 66 |

| | | |
|------|--|----|
| 5.20 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 10. | 66 |
| 5.21 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 11. | 67 |
| 5.22 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 11. | 67 |
| 5.23 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 12. | 68 |
| 5.24 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 12. | 68 |
| 5.25 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 13. | 69 |
| 5.26 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 13. | 69 |
| 5.27 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 14. | 70 |
| 5.28 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 14. | 70 |
| 5.29 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 15. | 71 |
| 5.30 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 15. | 71 |
| 5.31 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 16. | 72 |
| 5.32 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 16. | 72 |
| 5.33 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 17. | 73 |
| 5.34 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 17. | 73 |
| 5.35 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 18. | 74 |
| 5.36 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 18. | 74 |
| 5.37 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 19. | 75 |
| 5.38 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 19. | 75 |
| 5.39 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 20. | 76 |
| 5.40 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 20. | 76 |
| 5.41 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 21. | 77 |
| 5.42 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 21. | 77 |
| 5.43 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 22. | 78 |

| | | |
|------|---|----|
| 5.44 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 22. | 78 |
| 5.45 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 23. | 79 |
| 5.46 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 23. | 79 |
| 5.47 | Rozdělení odpovědí mužů a žen na otázku č. 24. | 80 |
| 5.48 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 24. | 80 |
| 6.1 | Rozložení celkového počtu bodů. | 81 |
| 6.2 | Indexy obtížnosti u jednotlivých otázek. | 82 |
| 6.3 | Koeficienty citlivosti u jednotlivých otázek. | 83 |
| 6.4 | Rozdíl úspěšnosti u jednotlivých otázek v závislosti na pohlaví. . . . | 84 |
| 6.5 | Rozdíl úspěšnosti u jednotlivých otázek v závislosti na formě výuky. . . | 85 |
| 7.1 | Úspěšnost žáků v jednotlivých oblastech testu. | 88 |

Seznam tabulek

| | | |
|------|--|----|
| 5.1 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 1. | 33 |
| 5.2 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 1. | 33 |
| 5.3 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 2. | 35 |
| 5.4 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 2. | 35 |
| 5.5 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 3. | 36 |
| 5.6 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 3. | 38 |
| 5.7 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 4. | 38 |
| 5.8 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 4. | 40 |
| 5.9 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 5. | 40 |
| 5.10 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 5. | 42 |
| 5.11 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 6. | 42 |
| 5.12 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 6. | 44 |
| 5.13 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 7. | 44 |
| 5.14 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 7. | 44 |
| 5.15 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 8. | 46 |
| 5.16 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 8. | 47 |
| 5.17 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 9. | 48 |
| 5.18 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 9. | 49 |
| 5.19 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 10. | 49 |

| | | |
|------|--|----|
| 5.20 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 10. | 49 |
| 5.21 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 11. | 50 |
| 5.22 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 11. | 50 |
| 5.23 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 12. | 51 |
| 5.24 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 12. | 52 |
| 5.25 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 13. | 52 |
| 5.26 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 13. | 53 |
| 5.27 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 14. | 53 |
| 5.28 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 14. | 54 |
| 5.29 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 15. | 54 |
| 5.30 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 15. | 55 |
| 5.31 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 16. | 55 |
| 5.32 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 16. | 56 |
| 5.33 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 17. | 57 |
| 5.34 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 17. | 57 |
| 5.35 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 18. | 57 |
| 5.36 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 18. | 58 |
| 5.37 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 19. | 59 |
| 5.38 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 19. | 59 |
| 5.39 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 20. | 60 |
| 5.40 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 20. | 60 |
| 5.41 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 21. | 61 |
| 5.42 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 21. | 61 |
| 5.43 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 22. | 62 |

| | | |
|------|---|----|
| 5.44 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 22. | 62 |
| 5.45 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 23. | 63 |
| 5.46 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 23. | 63 |
| 5.47 | Rozdělení odpovědí na otázku č. 24. | 64 |
| 5.48 | Rozdělení správných a nesprávných odpovědí v semináři a celé třídě u otázky č. 24. | 64 |
| 6.1 | Porovnání hodnot dnešního a předešlého výzkumu. | 87 |