

Newtoniaans kracht concept bij getalenteerde natuurkunde leerlingen

Paul Alstein

Onderzoeksverslag

MSc Science Education and Communication

13 juli 2012

Newtoniaans kracht concept bij getalenteerde natuurkunde leerlingen

Paul Alstein

13 juli 2012

Samenvatting

In dit onderzoek stellen we de vraag of getalenteerde natuurkunde leerlingen een correcter begrip van het Newtoniaans kracht concept hanteren dan reguliere leerlingen. Om dit te onderzoeken nemen we een gemodificeerde variant van de Force Concept Inventory af bij een steekproef van getalenteerde leerlingen, afkomstig van het Junior College Utrecht, en bij een steekproef van leerlingen uit het reguliere onderwijs. We concluderen dat getalenteerde leerlingen significant minder misconcepties van het Newtoniaans kracht concept hanteren dan reguliere leerlingen. Om onze ondervindingen te verklaren worden aanbevelingen gemaakt voor vervolgonderzoek.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
1.1	Bèta-talent in het natuurkunde onderwijs	2
1.2	Onderzoekscontext: Junior College Utrecht	3
1.3	Probleem- en doelstelling	3
2	Theoretisch kader	5
2.1	Misconcepties in het natuurkunde onderwijs	5
2.2	Dimensies van het Newtoniaans kracht concept	6
2.3	Misconcepties bij bèta-talent	8
3	Methode	10
3.1	Onderzoeksontwerp en onderzoeksgroep	10
3.2	Meetinstrument	11
3.3	Analysemethoden	11
4	Resultaten	13
5	Conclusies en discussie	15
5.1	Conclusies	15
5.2	Discussie en aanbevelingen	16
	Bibliografie	16
A	Gemodificeerde FCI test	19
B	Onderzoeksdata	30

Hoofdstuk 1

Inleiding

In het laatste decennium heeft het Nederlandse natuurkunde onderwijs een groei meegeemaakt op het gebied van de ontwikkeling en ondersteuning van bèta-talent; jongens en meisjes die meer willen leren dan wat hen wordt aangeboden in het reguliere onderwijs. Vanuit alle lagen van het onderwijs zijn glansrijke initiatieven opgezet om deze leerlingen meer uitdaging te bieden, bijvoorbeeld door hen te voorzien van verdiepende en verrijkende lesmodules of hen te betrekken bij hedendaags wetenschappelijk onderzoek. Gezien de toenemende belangstelling voor bèta-talent, is het wenselijk dat er gericht onderzoek wordt verricht naar de werking en de effectiviteit van deze programma's. Met het huidige onderzoek proberen we een bijdrage te leveren aan deze discussie.

In dit hoofdstuk wordt een oriëntatie op het onderzoeksonderwerp gegeven. Hierbij plaatsen we de probleem- en doelstelling in de onderzoekscontext en werken deze uit tot concrete onderzoeksvragen.

1.1 Bèta-talent in het natuurkunde onderwijs

Met de actieplannen 'Beter Presteren' en 'Leraar 2020' presenteert het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (OCW) haar ambities over periode 2012-2015 [1,2]. Hierbij maakt de minister duidelijk te willen inzetten op het bevorderen van excellentie en ambitie bij de 20% best presterende vwo leerlingen. Dit houdt in dat scholen worden gestimuleerd om maatwerkprogramma's te leveren en samenwerking aan te gaan in een landelijk netwerk van 'schools of excellence'. Daarnaast zijn er door verschillende universiteiten speciale scholierenprogramma's ¹ opgezet, veelal in samenwerking met middelbare scholen in de regio, met als doel om het gat tussen het vwo en de universiteit te verkleinen. Ondersteuning en facilitatie van samenwerking tussen de verschillende onderwijsinstellingen wordt geleverd door het landelijke steunpunt 'Bèta Excellent' [4].

¹De meeste van deze programma's zijn georganiseerd vanuit behoeftes van de onderwijsinstellingen zelf, bijvoorbeeld om gebruik te maken van universitaire laboratoria, en zijn niet noodzakelijkerwijs gericht op getalenteerde leerlingen [3].

1.2 Onderzoekscontext: Junior College Utrecht

Eén van de vooraanstaande instellingen op het gebied van bèta-talent is het Junior College Utrecht (JCU) in Utrecht. Op het JCU, een samenwerkingsverband tussen de faculteit Bètawetenschappen van de Universiteit Utrecht (UU) en 29 partner scholen uit regio Midden Nederland, wordt een versneld, verdiepend en verrijkt bètaprogramma aangeboden aan geselecteerde leerlingen uit 5 en 6 vwo [5]. Leerlingen die op het JCU worden aangenomen volgen op twee dagen in de week de vakken natuurkunde, wiskunde, scheikunde, biologie en NLT op de campus van de UU. Deze locatie maakt het mogelijk om gebruik te maken van de laboratoria en bibliotheek van faculteit Bètawetenschappen, bijvoorbeeld bij practica of profielwerkstukken. Naast het reguliere examenprogramma worden er modules, excursies en practica in een universitaire context aangeboden door docenten van de UU.

Het onderwijs op het JCU kan worden gekarakteriseerd met behulp van de kenmerken van de zogenaamde Talent Aangepaste LeerOmgeving (TALO) [6]. Zo vormen leerlingen, leraren en schoolleiding een *culture of excellence*, die gericht is op optimale talent ontwikkeling van de individuele leerling in een informele sfeer. De vwo-examenstof wordt op compacte wijze en in versneld tempo behandeld, zodat 30% van de tijd kan worden besteed aan herhalende, verdiepende en verrijkende opdrachten. De docenten stemmen hun lesmateriaal af op de specifieke interesses en capaciteiten van de leerlingen, waarbij onderwerpen worden behandeld die verder gaan dan de vwo-examenstof, en waarbij een relatie gelegd wordt met wetenschappelijk onderzoek door middel van verschillende onderzoeksopdrachten.

Het onderzoek dat is verricht naar de effecten van de excellente leeromgeving op het JCU heeft zich vooralsnog hoofdzakelijk gericht op de intrinsieke motivatie, ofwel ‘empowerment’, van de leerlingen [6]. Hieruit is naar voren gekomen dat elk van de TALO kenmerken bijdragen aan een verhoogde motivatie van de leerlingen, waarbij de excellente sfeer wordt aangeduid als de belangrijkste factor.

1.3 Probleem- en doelstelling

In het actieplan ‘Beter Presteren’ pleit de minister voor een onderzoeksagenda gericht op de effectiviteit van arrangementen voor (hoog)begaafden. Hierbij moet worden onderzocht wat de effecten zijn van de verschillende aanpakken en moet worden nagegaan of prestatieverbeteringen inderdaad optreden. De afwezigheid van concrete onderzoeksresultaten en de vraag naar nieuwe inzichten op dit gebied vormen respectievelijk de probleem- en doelstelling van dit onderzoek.

We richten ons hierbij op één van de meest essentiële aspecten van het natuurkunde onderwijs, namelijk het vermogen tot het vormen van complete en coherente conceptuele begrippen. In het natuurkunde onderwijs is de aandacht voor conceptuele begripvorming sterk toegenomen nadat uit onderzoek is gebleken dat leerlingen vaak zogenaamde ‘misconcepties’ hanteren. Hierbij lijkt er geen verband te bestaan tussen de wiskundige achtergrond van de leerlingen en het aantal gehanteerde misconcepties. Ook is er geen ver-

band te vinden met de sociaal-economische achtergrond van de leerlingen; misconcepties lijken bij vrijwel alle leerlingen aanwezig te zijn.

In het huidige onderzoek stellen we de vraag of leerlingen in een excellente leeromgeving minder misconcepties hanteren dan leerlingen in het reguliere onderwijs. Om hierop antwoord te vinden toetsen we een steekproef van getalenteerde leerlingen op hun begrip van het concept ‘kracht’ en vergelijken de resultaten met resultaten van een steekproef van leerlingen uit het reguliere onderwijs. De centrale vraag in dit onderzoek is: “hanteren getalenteerde leerlingen een correcter begrip van het Newtoniaanse concept ‘kracht’ dan reguliere leerlingen”?

In het hieropvolgende hoofdstuk wordt het theoretisch kader gepresenteerd op basis waarvan we onze deelvragen en nulhypotheses formuleren. In hoofdstuk 3 worden de relevante concepten uitgewerkt tot meetbare indicatoren en wordt een beschrijving gegeven van de toegepaste meetinstrumenten en analysemethodes. De resultaten worden gepresenteerd in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de conclusies getrokken en worden de resultaten gediscussieerd.

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van de MSc Science Education and Communication aan de TU Delft, onder begeleiding van Martin Jacobs. De dataverzameling is tot stand gekomen in samenwerking met JCU curriculumcoördinator Ton van der Valk en natuurkunde docenten Jeroen van Velden en Vincent van Dijk op het JCU en Mario Laheij en Margot Peters op Scholengemeenschap De Amersfoortse Berg. Dit werk is opgedragen, zoals altijd, aan Ilse.

Hoofdstuk 2

Theoretisch kader

Het hedendaagse natuurkunde onderwijs is steeds sterker gericht op het opsporen en corrigeren van misconcepties bij leerlingen. In dit hoofdstuk wordt een aantal relevante concepten en inzichten uit de literatuur op dit gebied besproken. We passen deze concepten toe op onze onderzoekscontext en formuleren op basis hiervan onze deelvragen en nulhypotheses.

2.1 Misconcepties in het natuurkunde onderwijs

Onderzoek van Halloun en Hestenes heeft uitgewezen dat kinderen door middel van alledaagse ervaringen een hele verzameling conceptuele opvattingen construeren van natuurkundige verschijnselen [7]. Deze zogenaamde ‘preconcepten’ worden opgesteld op basis van gezond verstand en zijn veelal tegenstrijdig met de concepten zoals ze worden gehanteerd door natuurkundigen. Wanneer een leerling op school kennis neemt van de correcte beschrijving van een bepaald fenomeen, is het mogelijk dat de leerling deze beschrijving, op basis van een eerder geconstrueerde misconceptie, als onwaar beschouwd. Dit kan als gevolg hebben dat deze leerling de aangeboden stof systematisch misinterpreteert. Een compleet en coherent begrip kan pas tot stand komen wanneer de leerling zijn misconcepties tegen het licht houdt en inziet dat deze onjuist zijn. Een aanzienlijk positief effect op het conceptuele begrip van de leerlingen kan worden behaald wanneer de instructie hierop wordt aangepast [8].

De oorspronkelijke bevindingen van Halloun en Hestenes kunnen kwantitatief worden onderzocht met behulp van de ‘Force Concept Inventory’ (FCI) [9]. Deze multiple-choice test laat leerlingen een gedwongen keuze maken tussen een correct natuurkundig concept en een misconceptie. De misconcepties waarop de foutieve antwoorden zijn gebaseerd zijn naar voren gekomen in een reeks interviews met leerlingen. De auteurs argumenteren dat een score van meer dan 60% impliceert dat het kracht concept wordt beheerst op ‘basisniveau’, terwijl een score van minstens 85% impliceert dat het kracht concept wordt beheerst op ‘meesterniveau’ [10]. Het verschijnen van de FCI heeft een golf van resultaten veroorzaakt, die als volgt kunnen worden samengevat [11]:

- Misconcepties zijn in het algemeen onverenigbaar met (correcte) natuurkundige con-

cepten.

- Conventioneel natuurkunde onderwijs slaagt er nauwelijks in om misconcepties te corrigeren.
- Dit resultaat is onafhankelijk van de kwalificatie en ervaringsgraad van de docent.

Om het principe van misconcepties verder toe te lichten beschouwen we het Newtoniaanse concept ‘kracht’. Het is nuttig om op te merken dat enkele misconcepties over dit onderwerp al voorkwamen in de klassieke oudheid. Aristoteles beargumenteerde bijvoorbeeld dat beweging noodzakelijkerwijs een oorzaak heeft en dat alle bewegende voorwerpen de neiging hebben om tot stilstand te komen. Ook in het werk van Galilei en Newton komen vele misconcepties voor [12]. Het is daarom beter om misconcepties te beschouwen als alternatieve, doch foutieve, interpretaties van alledaagse verschijnselen.

2.2 Dimensies van het Newtoniaans kracht concept

In Tabel 2.1 (links) is een decompositie weergegeven van het Newtoniaans kracht concept in zes ‘conceptuele dimensies’ [9]. Deze dimensies, zoals opgesteld door Hestenes, Wells en Swackhamer, behelzen achtereenvolgens: kinematica, de eerste wet, de tweede wet, de derde wet, het superpositiebeginsel en verschillende soorten krachten. Hestenes et al. argumenteren dat er pas een compleet en coherent kracht concept kan worden gerealiseerd wanneer elk van deze conceptuele dimensies is beheerst. In Tabel 2.1 (rechts) is een taxonomie weergegeven van 31 veelvoorkomende misconcepties, gecategoriseerd overeenkomstig met de zes conceptuele dimensies.

Onder de conceptuele dimensie van de eerste wet vinden we bijvoorbeeld de misconceptie van intrinsieke kracht, ofwel ‘impetus’, die ervoor zou zorgen dat voorwerpen blijven bewegen (I1). Sommige leerlingen geloven bovendien dat impetus kan worden overgedragen of kwijtgeraakt door middel van interacties met andere voorwerpen (I2). Andere leerlingen geloven dat een voorwerp in een cirkelbeweging zogenaamde circulaire impetus bevat; een intrinsieke neiging om in rondjes te blijven bewegen (I5). Hantering van deze misconcepties impliceert dat de leerling geen correct conceptueel begrip beheerst van de eerste wet.

Bij de tweede wet wordt de misconceptie genoemd dat een kracht alleen kan worden overdragen door een ‘vertegenwoordiger’ (AF1). Deze vertegenwoordiger kan een voorwerp enkel in beweging brengen door middel van fysiek contact. Deze misconceptie betekent dat kracht geïmpliceerd wordt door beweging en, omgekeerd, dat stilstand impliceert dat er geen kracht aanwezig is (AF2 en AF3). Van deze misconceptie wordt verwacht dat hij vooral voorkomt bij leerlingen die geen consequent onderscheid maken tussen snelheid en versnelling.

Bij actie-reactiekoppels wordt genoemd dat leerlingen geloven in een ‘strijd’ tussen twee tegengestelde krachten die wordt overwonnen door de grootste of ‘sterkste’ kracht (AR1 en AR2). Vanwege de sterke metaforische basis is deze misconceptie één van de meest hardnekkige om te corrigeren.

Tabel 2.1: Decompositie van Newtoniaans kracht concept (links) en taxonomie van veelvoorkomende misconcepties (rechts) [9]

0. Kinematics	0. Kinematics
Velocity discriminated from position	K1. Position-velocity indiscriminated
Acceleration discriminated from velocity	K2. Velocity-acceleration indiscriminated
Constant acceleration entails	K3. Nonvectorial velocity composition
parabolic orbit	K4. Ego-centered reference frame
changing speed	1. Impetus
Vector addition of velocities	I1. Impetus supplied by "hit"
1. First Law	I2. Loss/recovery of original impetus
with no force	I3. Impetus dissipation
velocity direction constant	I4. Gradual/delayed impetus build-up
speed constant	I5. Circular impetus
with cancelling forces	2. Active Forces
2. Second Law	AF1. Only active agents exert forces
Impulsive force	AF2. Motion implies active force
Constant force implies constant acceleration	AF3. No motion implies no force
3. Third Law	AF4. Velocity proportional to applied force
for impulsive forces	AF5. Acceleration implies increasing force
for continuous forces	AF6. Force causes acceleration to terminal velocity
4. Superposition Principle	AF7. Active force wears out
Vector sum	3. Action/Reaction Pairs
Canceling forces	AR1. Greater mass implies greater force
5. Kinds of force	AR2. Most active agent produces greatest force
5S. Solid contact	4. Concatenation of Influences
passive	CI1. Largest force determines motion
impulsive	CI2. Force compromise determines motion
friction opposes motion	CI3. Last force to act determines motion
5F. Fluid contact	5. Other Influences on Motion
air resistance	CF. Centrifugal force
buoyant (air pressure)	Ob. Obstacles exert no force
5G. Gravitation	Resistance
acceleration independent of weight	R1. Mass makes things stop
parabolic trajectory	R2. Motion when force overcomes resistance
	R3. Resistance opposes force/impetus
	Gravity
	G1. Air pressure-assisted gravity
	G2. Gravity intrinsic to mass
	G3. Heavier objects fall faster
	G4. Gravity increases as objects fall
	G5. Gravity acts after impetus wears down

Merk op dat enkele misconcepties door elkaar worden geïmpliceerd. Zo wordt bijvoorbeeld de misconceptie ‘zware voorwerpen vallen sneller’ (G3) geïmpliceerd door de misconceptie ‘versnelling impliceert toenemende kracht’ (AF5).

2.3 Misconcepties bij bèta-talent

In het huidige onderzoek richten we ons op de vraag of getalenteerde natuurkunde leerlingen een correcter begrip hanteren van het concept ‘kracht’ dan reguliere leerlingen. Om hierop antwoord te vinden verdelen we onze hoofdvraag in drie verschillende deelvragen.

Deelvraag 1 De eerste deelvraag luidt: “worden door getalenteerde leerlingen minder misconcepties van het Newtoniaans kracht concept gehanteerd dan reguliere leerlingen”? Vóór het verschijnen van de FCI test is onderzoek uitgevoerd naar de relatie tussen misconcepties en intelligentie [13, 14]. Hierbij werd een toets afgenomen met meer abstracte vraagstukken en meer wiskundige vraagstukken bij een groep leerlingen met gemiddelde intelligentie en een groep leerlingen met verhoogde intelligentie. Hieruit bleek dat er een kwantitatief en kwalitatief verschil bestaat tussen de resultaten van de twee onderzoeksgroepen; de groep intelligentere leerlingen haalde een hogere score op de toets en presteerde daarnaast beter op de meer abstracte vraagstukken dan op de meer wiskundige vraagstukken. De auteurs concluderen hieruit dat er een verband bestaat tussen het aantal gehanteerde misconcepties en intelligentie, alhoewel misconcepties niet direct zijn gemeten.

In meer recentelijk onderzoek werd de FCI test afgenomen bij leerlingen met verschillende wiskundige achtergronden [15]. Hieruit bleek dat leerlingen met veel kennis en vaardigheden op het gebied van wiskunde niet significant beter scoren op de FCI test dan anderen. Dit resultaat suggereert dat het vermogen tot conceptuele begripsvorming onafhankelijk is van het wiskundig redeneervermogen. Daarnaast is gebleken dat er geen verband bestaat tussen de sociaal-economische achtergrond en de score op de FCI test [9].

Uit de bovengenoemde onderzoeksresultaten kan worden opgemaakt dat intelligentie de belangrijkste factor is bij het vermogen tot conceptuele begripsvorming. Alhoewel hier nog geen onderzoek naar gedaan is, verwachten we dus dat leerlingen met een hogere intelligentie minder misconcepties hanteren. Op basis van onze literatuurstudie formuleren we dus de nulhypothese dat getalenteerde leerlingen significant minder misconcepties hanteren van het Newtoniaans kracht concept dan reguliere leerlingen.

Deelvraag 2 De tweede deelvraag luidt: “bestaat er een significant verschil tussen het soort misconcepties dat door getalenteerde leerlingen wordt gehanteerd in vergelijking met reguliere leerlingen”? Uit analyse van de resultaten van de FCI test is gebleken dat foutieve antwoorden vaak voorkomen in clusters, die niet noodzakelijk overeenkomen met de conceptuele dimensies van het kracht concept [16]. Dit resultaat impliceert dat de FCI test strikt genomen niet gebruikt mag worden om losse misconcepties te toetsen, zoals ook wordt aangegeven in een reactie van de auteurs [10]. In de veronderstelling dat er bij een excellente leeromgeving geen voorkeur wordt gegeven aan één van de zes conceptuele

dimensies, formuleren we de nulhypothese dat er geen significant verschil is tussen het soort misconcepties dat wordt gehanteerd door getalenteerde leerlingen in vergelijking met reguliere leerlingen.

Deelvraag 3 Onze laatste deelvraag luidt: “zijn getalenteerde leerlingen significant beter in staat hun prestaties op het gebied van conceptuele begripsvorming in te schatten dan reguliere leerlingen”? Uit onderzoek is naar voren gekomen dat getalenteerde leerlingen meer verantwoordelijkheid nemen over hun eigen leerproces en beter in staat zijn hun eigen prestaties in te schatten [17]. Op basis hiervan formuleren we onze nulhypothese dat getalenteerde leerlingen significant beter in staat zijn om hun prestaties op het gebied van conceptuele begripsvorming in te schatten dan reguliere leerlingen.

Hoofdstuk 3

Methode

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de door ons toegepaste onderzoeksmethoden. Door middel van het meetinstrument worden de concepten uit het theoretisch kader uitgewerkt tot meetbare indicatoren.

3.1 Onderzoeksontwerp en onderzoeksgroep

Zoals is besproken in hoofdstuk 1 hebben we gekozen voor een vergelijkend onderzoek, waarbij een steekproef van getalenteerde leerlingen wordt vergeleken met een steekproef van reguliere leerlingen. Hierbij hebben we als onderzoekscontext gekozen voor het JCU. Door middel van de strenge selectieprocedure en het verdiepend en verrijkend curriculum op het JCU rechtvaardigen we de aanname dat JCU-leerlingen beschouwd mogen worden als getalenteerde leerlingen. We benadrukken echter dat de aanname dat de populatie JCU-leerlingen representatief is voor de gehele populatie getalenteerde leerlingen aanvechtbaar is. Strikt genomen zou men eerst tot een definitie moeten komen van een getalenteerde leerling en zou men vervolgens moeten toetsen of hieraan op het JCU wordt voldaan. Voor de steekproef van reguliere leerlingen is gekozen voor JCU-partnerschool Scholengemeenschap De Amersfoortse Berg (SAB) in Amersfoort. Deze school biedt weliswaar een excellent vwo profiel in de onderbouwklassen, maar daarmee is onze onderzoeksgroep niet in aanraking geweest. We rechtvaardigen dus zonder meer de aanname dat een steekproef bestaande uit SAB-leerlingen representatief is voor de gehele populatie reguliere leerlingen.

Op beide scholen is een schriftelijke variant van de FCI test afgelegd in twee 5 vwo klassen. Hierbij was de populatie op het JCU gelijk aan $n = 43$ en de steekproefgrootte van reguliere leerlingen gelijk aan $n = 41$. De test is op beide scholen afgenomen door tijdens een reguliere natuurkunde les door de betreffende docent. Afname van de test heeft gemiddeld 20 tot 25 minuten in beslag genomen. Om autonome resultaten te garanderen werd de leerlingen gevraagd zelfstandig aan de test te werken; overleg werd niet toegestaan. Ook werd tijdens de toets geen gebruik van boeken toegestaan.

3.2 Meetinstrument

Operationalisatie van de voor ons relevante concepten wordt gerealiseerd door middel van afname de FCI test. Aangezien de FCI test weergeeft hoeveel misconcepties worden gehanteerd en voor welke misconcepties is gekozen, kunnen, na statistische analyse van de resultaten, deelvragen 1 en 2 worden beantwoord.

Voor dit onderzoek is de FCI test, met toestemming, gemodificeerd naar de wensen van ons onderzoek. Er zijn drie aanpassingen toegebracht aan de oorspronkelijke test. Ten eerste is gebruik gemaakt van de Nederlandstalige bewerking om uit te sluiten dat de resultaten worden beïnvloed door eventuele verschillen in de beheersing van de Engelse taal. Deze versie, gemaakt door onderzoekers van de Universiteit Gent, is reeds gevalideerd en toegepast in onderzoek [18]. Ten tweede is de keuze gemaakt om misconcepties AR1, AR2, R2 en R3 te schrappen uit de door ons afgenomen versie, zodat slechts 27 van de oorspronkelijke 31 misconcepties uit tabel 2.1 (rechts) zijn inbegrepen. De aanleiding voor deze keuze is dat de betreffende stof nog niet was behandeld in de SAB klassen. We merken op dat hier een zwak punt ligt in ons onderzoeksontwerp; critici van de FCI test hebben ondervonden dat de test zijn coherentie en betrouwbaarheid verliest wanneer deze onvolledig wordt afgenomen [10, 16, 19, 20]. Ten derde zijn aan het einde van de test drie algemene open vragen toegevoegd. De gestelde vragen waren:

1. Vond je deze toets moeilijk? Waarom vond je deze toets (niet) moeilijk?
2. Hoeveel vragen (van de 23) denk je correct te hebben beantwoord?
3. Heb je bij natuurkunde veel geoefend met dit soort vragen? Zou je hier vaker mee willen oefenen?

Vraag 2 is gesteld om een antwoord te kunnen vinden op deelvraag 3. Vragen 1 en 3 zijn gesteld om extra inzicht te verschaffen in de interpretatie van de behaalde resultaten. De door ons gemodificeerde variant van de FCI test is opgenomen in Bijlage A.

3.3 Analysemethoden

Om tot overtuigende antwoorden van de deelvragen te komen, worden de resultaten verwerkt met behulp van softwarepakket Statistical Package for Social Sciences (SPSS). Hieronder wordt per deelvraag uiteengezet welke analysemethode wordt toegepast.

Deelvraag 1 Om een antwoord te vinden op de vraag of getalenteerde leerlingen significant minder misconcepties hanteren dan reguliere leerlingen, wordt het aantal correct beantwoorde vragen geanalyseerd. Laat $X_1, X_2, \dots, X_{43}$ en $Y_1, Y_2, \dots, Y_{41}$ de twee onafhankelijke steekproeven zijn van het aantal correct beantwoorde vragen van respectievelijk de JCU en SAB klassen. We nemen aan dat beide steekproeven afkomstig zijn uit normale verdelingen met gelijke varianties en verwachtingswaarden respectievelijk μ_X en μ_Y .

Om deze aannames te verifiëren wordt Levene's toets voor gelijke varianties uitgevoerd. Vervolgens toetsen we de nulhypothese

$$H_0 : \mu_X > \mu_Y \quad (3.1)$$

tegen

$$H_1 : \mu_X = \mu_Y \quad (3.2)$$

met behulp van een eenzijdige t-toets voor onafhankelijke steekproeven met een significantieniveau van 5%. De alternatieve hypothese $H_1 : \mu_X < \mu_Y$ wordt op basis van onredelijkheid niet in overweging genomen.

Deelvraag 2 Om een antwoord te vinden op de vraag of getalenteerde leerlingen een significant ander soort misconcepties hanteren dan reguliere leerlingen, wordt een vergelijking gemaakt van de frequenties van de verschillende misconcepties. Zij $X_1, X_2, \dots, X_{27}$ en $Y_1, Y_2, \dots, Y_{27}$ de frequenties van de gekozen misconcepties in respectievelijk de JCU en SAB klassen. Uit deze gepaarde verdeling wordt de Pearsons correlatiecoëfficiënt $\rho_{X,Y}$ bepaald. Vervolgens toetsen we de nulhypothese

$$H_0 : \rho_{X,Y} = 1 \quad (3.3)$$

tegen

$$H_1 : \rho_{X,Y} < 1 \quad (3.4)$$

met een significantieniveau van 5%.

Deelvraag 3 Om een antwoord te vinden op de vraag of getalenteerde leerlingen significant beter in staat zijn om hun eigen prestaties op het gebied van conceptuele begripvorming in te schatten dan reguliere leerlingen, wordt een vergelijking gemaakt van de verwachte score op de gemodificeerde FCI test, gevraagd bij open vraag 2, en de daadwerkelijke score. Zij $X_{1,1}, X_{1,2}, \dots, X_{1,39}$ en $Y_{1,1}, Y_{1,2}, \dots, Y_{1,39}$ respectievelijk het verwachte en het daadwerkelijke aantal correct beantwoorde vragen bij de JCU klassen en $X_{2,1}, X_{2,2}, \dots, X_{2,13}$ en $Y_{2,1}, Y_{2,2}, \dots, Y_{2,13}$ respectievelijk het verwachte en het daadwerkelijke aantal correct beantwoorde vragen bij de SAB klassen². Uit deze twee gepaarde verdelingen worden de Pearsons correlatiecoëfficiënten ρ_1 en ρ_2 bepaald van respectievelijk de JCU klassen en de SAB klassen. Vervolgens toetsen we de nulhypothese

$$H_0 : \rho_1 > \rho_2 \quad (3.5)$$

tegen

$$H_1 : \rho_1 = \rho_2 \quad (3.6)$$

met een significantieniveau van 5%.

²Het verschil in steekproefgrootte is een gevolg van het feit dat veel leerlingen op de SAB geen kwantitatieve verwachting van de score hebben opgegeven.

Hoofdstuk 4

Resultaten

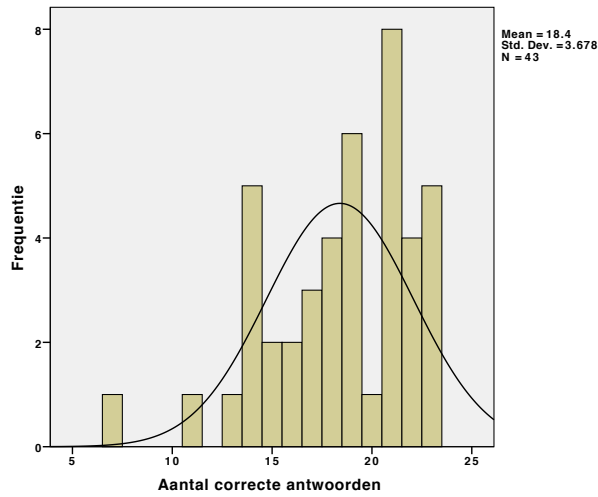
In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten van ons onderzoek gepresenteerd, onderverdeeld in de drie deelvragen. Uitgebreidere tabellen met data kunt u vinden in Bijlage B.

Deelvraag 1 In Figuur 4.1 is een histogram weergegeven van het aantal correct beantwoorde vragen op de gemodificeerde FCI test bij de JCU klassen (4.1a) en de SAB klassen (4.1b). In deze figuur wordt ook een aantal relevante statistische eigenschappen van deze verdelingen vermeld.

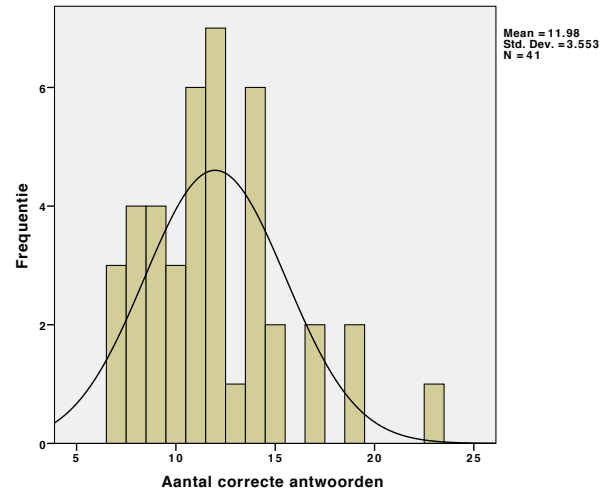
Deelvraag 2 In Figuur 4.2 is een diagram weergegeven van de frequenties van de 27 misconcepties bij de JCU klassen en de SAB klassen. Merk hierbij op dat misconcepties AF3 en AF7 door beide klassen niet gekozen zijn. De Pearson's correlatiecoëfficiënt van deze gepaarde verdeling is gelijk aan $\rho_{X,Y} = 0,945$.

Deelvraag 3 De Pearson's correlatiecoëfficiënt bij de gepaarde verdeling van de verwachte score en de daadwerkelijke score op de gemodificeerde FCI test bij de JCU klassen is gelijk aan $\rho_1 = 0,586$, terwijl de Pearson's correlatiecoëfficiënt van de gepaarde verdeling van de verwachte score en de daadwerkelijke score bij de SAB klassen gelijk is aan $\rho_2 = 0,368$.

Overige resultaten Uit de drie algemene open vragen zijn resultaten voortgekomen die niet specifiek onder te brengen zijn bij één van de drie deelvragen. De vraag 'Vond je deze toets moeilijk?' is door 28% van de JCU leerlingen beantwoord met 'ja', terwijl deze vraag op de SAB door 47% van de leerlingen is beantwoord met 'ja'. Op de vraag 'Heb je bij natuurkunde veel geoefend met dit soort vragen?' antwoordde 48% van de JCU leerlingen met 'ja', tegen 6% van de SAB leerlingen. Tot slot is de vraag 'Zou je hier vaker mee willen oefenen?' met 'ja' beantwoord door 58% van de JCU leerlingen tegen 76% van de SAB leerlingen. Aangezien niet elke leerling een eenduidig antwoord heeft gegeven op de open vragen, zijn de percentages van de SAB gebaseerd op een steekproefgrootte van $n = 17$.

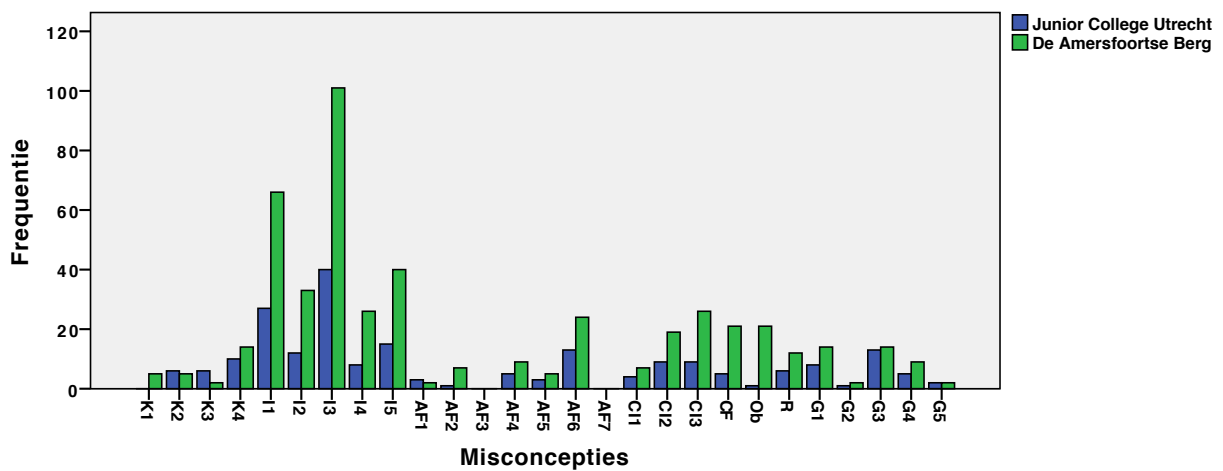


(a) Junior College Utrecht



(b) De Amersfoortse Berg

Figuur 4.1: Histogram van het aantal aantal correct beantwoorde vragen op de gemodificeerde FCI test (max. 23) met statistische karakteristieken.



Figuur 4.2: Geclusterd staafdiagram van de frequenties van de 27 misconcepties.

Hoofdstuk 5

Conclusies en discussie

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies van het onderzoek uiteengezet, onderverdeeld in de drie onderzoeksvragen. Vervolgens wordt de interpretatie van de resultaten gediscussieerd en worden een aantal aanbevelingen voor vervolgonderzoek gedaan.

5.1 Conclusies

Deelvraag 1 Door middel van een eenzijdige t-toets voor onafhankelijke steekproeven is het verschil tussen de verdelingen in Figuur 4.1 getoetst met een significantieniveau van 5%. Het resultaat van deze toets is $t(82) = -8,129$, $p = 0,001 < 0,05$. We kunnen de nulhypothese dus niet verwerpen en concluderen dat getalenteerde leerlingen significant minder misconcepties hanteren dan reguliere leerlingen. We concluderen bovendien op basis van de procentuele score dat reguliere leerlingen het kracht concept niet beheersen op basisniveau van 60%, terwijl JCU-leerlingen het kracht concept wel op basisniveau beheersen.

Deelvraag 2 De correlatiecoëfficiënt van de gepaarde verdeling in Figuur 4.2 is gelijk aan $\rho_{X,Y} = 0,945$. Bij 25 vrijheidsgraden en een significantieniveau van 5% is de kritische waarde van de Pearson's correlatiecoëfficiënt gelijk aan $\rho_c = 0,381$, waaruit volgt dat $\rho_{X,Y} > \rho_c$. We kunnen de nulhypothese dus niet verwerpen en concluderen dat er geen significant verschil bestaat tussen het soort gehanteerde misconcepties bij getalenteerde leerlingen en reguliere leerlingen.

Deelvraag 3 De Pearson's correlatiecoëfficiënt van de verwachte en daadwerkelijke score op de gemodificeerde FCI test bij de JCU klassen is gelijk aan $\rho_1 = 0,586$, terwijl de Pearson's correlatiecoëfficiënt van de verwachte en daadwerkelijke score op de gemodificeerde FCI test bij de SAB klassen is gelijk aan $\rho_2 = 0,368$. Uit vergelijking van deze correlatiecoëfficiënten met behulp van een Fisher z -transformatie volgt een tweezijdige p -waarde van 0,425, op basis waarvan we de nulhypothese moeten verwerpen. We concluderen dus

dat getalenteerde leerlingen niet significant beter in staat zijn hun prestaties op het gebied van conceptuele begripsvorming in te schatten dan reguliere leerlingen.

5.2 Discussie en aanbevelingen

Uit de bovenstaande conclusies komt het algemene beeld naar boven dat JCU-leerlingen een correcter begrip hanteren van ‘kracht’ dan reguliere leerlingen. Hiermee hebben we dan ook het antwoord op de centrale vraagstelling gevonden. Deze wordt met name ondersteund door de conclusies op deelvragen 1 en 2.

Echter rijst hieruit de vraag: waarom hanteren JCU-leerlingen een beter begrip van ‘kracht’? De mogelijke verklaringen voor onze ondervindingen zijn onder te verdelen in twee groepen:

- JCU-leerlingen beschikken al bij aanvang van het programma over een verhoogd vermogen tot conceptuele begripsvorming.
- De verhoogde score is het gevolg van de verdiepende en verrijkende leeromgeving op het JCU.

Om deze twee verklaringen te verifiëren is aanvullend vervolgonderzoek noodzakelijk. Hierbij zou bijvoorbeeld de FCI test afgenomen kunnen worden bij aanvang (pretest) en na afloop (posttest) van het JCU programma. De resultaten van de pretest zouden dan uitsluitend geven over de eerste verklaring terwijl vergelijking van de resultaten van de pretest en posttest uitsluitend zou geven over de tweede verklaring. Ten behoeve van de betrouwbaarheid van het onderzoek kan de oorspronkelijke FCI test dan bovendien in zijn geheel afgenomen worden.

Het is opmerkelijk dat getalenteerde leerlingen niet beter in staat zijn om hun prestaties op het gebied van conceptuele begripsvorming in te schatten, alhoewel het van getalenteerde leerlingen bekend is dat zij hier in het algemeen wel toe in staat zijn. Meer onderzoek is nodig om een verklaring voor deze conclusie te vinden.

Tot slot is het noemenswaardig is dat slechts 6% van de SAB-leerlingen aangeeft vaker te hebben geoefend met vragen waarbij misconcepties aan bod komen, terwijl 78% van de SAB-leerlingen aangeeft hier vaker mee te willen oefenen. Dit opmerkelijke en nuttige resultaat illustreert het belang van conceptueel natuurkunde onderwijs; zonder aanzienlijke aandacht voor de achterliggende concepten tast het merendeel van de leerlingen in het donker.

Bibliografie

- [1] M. van OCW, *Actieplan vo ‘Beter Presteren’: opbrengstgericht en ambitieus. Het beste uit leerlingen halen.* Ministerie van OCW Den Haag, 2011.
- [2] M. van OCW, *Actieplan Leraar 2020. Een krachtig beroep!* Ministerie van OCW Den Haag, 2011.
- [3] T. Mooij and D. Fettelaar, *Naar excellente scholen, leraren, leerlingen en studenten.* ITS, Radboud Universiteit Nijmegen, 2010.
- [4] L. Blom, R. Bilderbeek, J. Bos, C. Jager, and V. van Cooten, *Bèta Excellent uit de startblokken: resultaten van startgesprekken.* Platform Bèta Techniek, 2012.
- [5] T. van der Valk, E. van den Berg, and H. Eijkelhof, “Junior college utrecht: Challenging talented secondary school students to study science,” *School Science Review*, vol. 88, no. 325, 2007.
- [6] A. E. van der Valk, H. Grunefeld, and A. Pilot, “Empowerment en leerresultaten bij getalenteerde bètaleerlingen in een verrijkte onderwijsleeromgeving,” *Pedagogische Studiën*, vol. 88, pp. 73 – 89, 2010.
- [7] I. A. Halloun and D. Hestenes, “Common sense concepts about motion,” *Am. J. Phys.*, vol. 53, no. 11, 1985.
- [8] R. R. Hake, “Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses,” *American Association of Physics Teachers*, vol. 66, no. 1, 1998.
- [9] D. Hestenes, M. Wells, and G. Swackhamer, “Force concept inventory,” *The Physics Teacher*, vol. 30, no. 11, pp. 141 – 158, 1992.
- [10] D. Hestenes and I. Halloun, “Interpreting the force concept inventory: A response to huffman and heller,” *The Physics Teacher*, vol. 33, pp. 502–506, 1995.
- [11] I. A. Halloun and D. Hestenes, “The initial knowledge state of college physics students,” *Am. J. Phys.*, vol. 53, no. 11, pp. 1043 – 1048, 1985.

- [12] M. S. Steinberg, D. E. Brown, and J. Clement, “Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impending isaac newton and contemporary physics students,” *INT J. SCI. EDUC.*, vol. 12, no. 3, pp. 265–273, 1990.
- [13] C. T. Chee, *Misconceptions concerning laws of motion, frictional force and work done among students of different abilities at Upper Secondary Level*. ERIC Clearinghouse, Washington D.C., 1989.
- [14] E. A. Hany and B. Kommissari, “Subjective misconceptions in physics in relation to intelligence, sex and instruction,” *European Journal of High Ability*, vol. 3, pp. 218–235, 1992.
- [15] L. McCullough, “Gender, math, and the fci,” in *Proceedings of the 2002 Physics Education Research Conference*, 2002.
- [16] D. Huffman and P. Heller, “What does the force concept inventory actually measure?,” *The Physics Teacher*, vol. 33, pp. 138–143, 1995.
- [17] B. J. Zimmerman and M. Martinez-Pons, “Student differences in self-regulated learning: relating grade, sex and giftedness to self-efficacy and strategy use,” *Journal of Educational Psychology*, vol. 82, no. 1, pp. 51–59, 1990.
- [18] A. van Deynse, *From fortune-telling to engineering: how to implement physical concepts*. European Society for Engineering Education, 2010.
- [19] P. Heller and D. Huffman, “Interpreting the force concept inventory: A reply to hestenes and halloun,” *The Physics Teacher*, vol. 33, 1995.
- [20] N. Larsy, S. Rosenfield, H. Dedic, A. Dahan, and O. Reshef, “The puzzling reliability of force concept inventory,” *Am. J. of Phys.*, vol. 79, no. 9, pp. 909–912, 2011.

Bijlage A

Gemodificeerde FCI test

Kracht en beweging, een conceptuele toets

(Halloun en Hestenes test)

- Deze toets bevat 23 multiple choice vragen over kracht en beweging. Er hoeft echter niet gerekend te worden; deze vragen gaan alleen over de achterliggende concepten. De antwoorden kun je noteren in het onderstaande tabel.
- Op de laatste bladzijde staan 3 algemene open vragen. Hier is ook ruimte overgelaten om de antwoorden in te vullen.
- Je krijgt geen cijfer voor deze toets, dus je hoeft je naam niet in te vullen. Als je wel graag een cijfer wilt ontvangen, noteer je naam dan hieronder.

Naam:

Antwoorden:

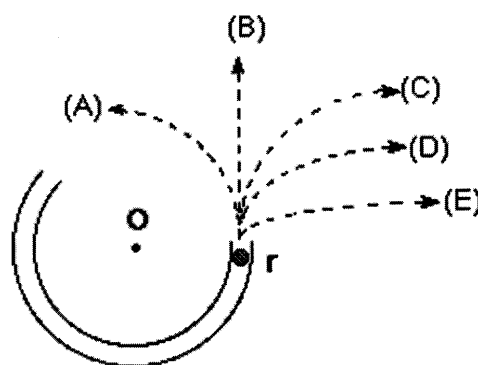
Vraag	A	B	C	D	E
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					

- 1) Twee metalen ballen hebben dezelfde grootte, maar de één weegt tweemaal zoveel als de ander. De ballen laten we vallen van een gebouw van één verdieping hoog op hetzelfde tijdstip. De tijd die nodig is om de grond te bereiken zal:
 - a) Ongeveer half zolang zijn voor de zware bal als voor de lichte.
 - b) Ongeveer half zolang zijn voor de lichte bal als voor de zware.
 - c) Ongeveer hetzelfde zijn voor beide ballen.
 - d) Aanzienlijk minder zijn voor de zware bal, maar niet noodzakelijk half zolang.
 - e) Aanzienlijk minder zijn voor de lichte bal, maar niet noodzakelijk half zolang.

- 2) Twee zware loden knikkers hebben dezelfde grootte, maar één weegt tweemaal zoveel als de ander. Ze rollen over een tafel en bereiken met dezelfde snelheid de rand van het tafelblad. Welke van de volgende uitspraken is geldig?
 - a) Beide ballen raken de grond op ongeveer dezelfde horizontale afstand van de rand van de tafel.
 - b) De zwaardere bal raakt de grond na een twee keer zo korte horizontale afstand van de rand van de tafel dan de lichtere bal.
 - c) De lichtere bal raakt de grond na een twee keer zo korte horizontale afstand van de rand van de tafel dan de zwaardere bal.
 - d) De zwaardere bal raakt de grond na een aanzienlijk kortere horizontale afstand van de rand van de tafel dan de lichtere bal, maar niet noodzakelijk op de helft van de horizontale afstand.
 - e) De lichtere bal raakt de grond na een aanzienlijk kortere horizontale afstand van de rand van de tafel dan de zwaardere bal, maar niet noodzakelijk op de helft van de horizontale afstand.

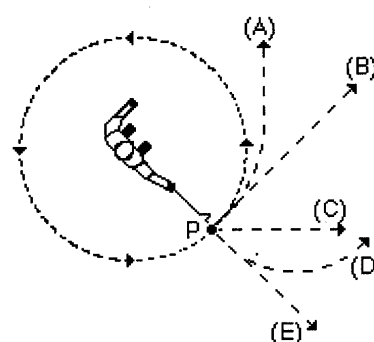
- 3) Een steen, die valt van het dak van een gebouw van één verdieping, naar het oppervlak van de aarde:
 - a) Bereikt vrij snel na het loslaten een maximumsnelheid en valt dan verder met een constante snelheid.
 - b) Versnelt terwijl hij valt, omdat de aantrekkingskracht van de aarde aanzienlijk sterker wordt als de steen dichterbij de aarde komt.
 - c) Versnelt, door de werking van een bijna constante zwaartekracht op de steen.
 - d) Valt vanwege de natuurlijke neiging van alle voorwerpen om op het oppervlak van de aarde te rusten.
 - e) Valt vanwege het gecombineerde effect van de zwaartekracht, die de steen naar beneden drukt, en de kracht van de lucht die de steen naar beneden drukt.

- 4) De bijgaande figuur toont een wrijvingsloze goot in de vorm van een segment van een cirkel met middelpunt O . De goot ligt vast op een wrijvingsloos horizontaal tafelblad. Je kijkt van bovenaf op de tafel. De krachten uitgeoefend door de lucht worden verwaarloosd. Een bal wordt met hoge snelheid in de goot geschoten en verlaat de goot bij r .



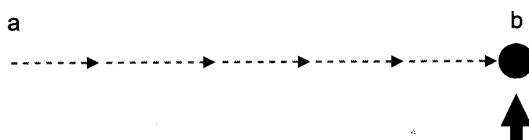
Welke baan uit de figuur zal de bal volgen nadat het de goot bij r heeft verlaten en verder beweegt over het wrijvingsloze tafelblad?

- 5) Een stalen bal is vastgemaakt aan een touw en wordt rondgeslingerd in een cirkelvormige baan in een horizontaal vlak zoals te zien is in de bijgaande figuur. Op het punt P aangegeven in de figuur, breekt plotseling het touw vlakbij de bal. Als deze gebeurtenissen worden geobserveerd van bovenaf zoals in de figuur, welke van de aangegeven banen zal de bal volgen na het breken van het touw?

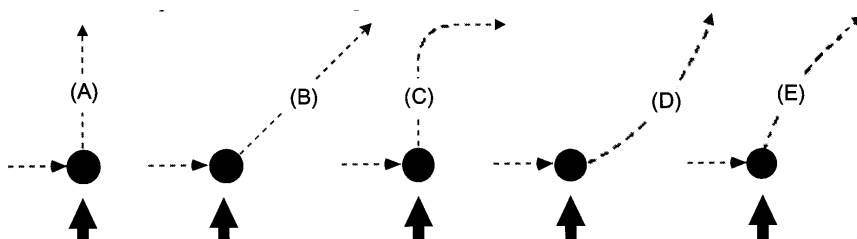


Gebruik de onderstaande uitleg en figuur om de vragen 6 t/m 9 te beantwoorden.

In de figuur is een hockey puck afgebeeld die met constante snelheid v_0 in een rechte lijn van punt **a** naar punt **b** over een wrijvingsloos horizontaal oppervlak glijdt. De krachten uitgeoefend door de lucht zijn verwaarloosbaar. Je kijkt van bovenaf op de puck. Als de puck punt **b** bereikt, krijgt het een snelle horizontale slag in de richting van de vetgedrukte pijl. Als de puck in rust was geweest in punt **b**, dan zou de slag ervoor hebben gezorgd dat de puck een horizontale beweging uitgevoerd zou hebben met een snelheid v_k in de richting van de slag.

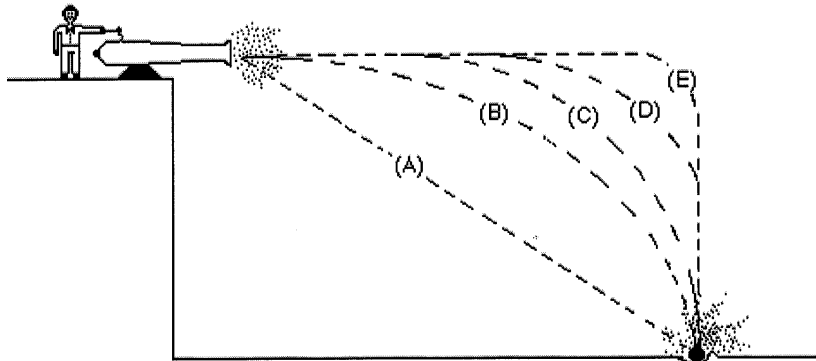


- 6) Welke van de banen hieronder zal de puck volgen nadat het de klap gekregen heeft?



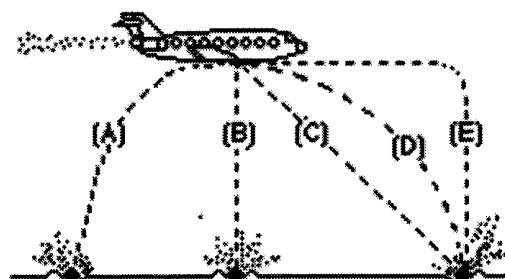
- 7) De snelheid van de puck direct na het krijgen van de slag is:
- a. Gelijk aan de snelheid v_0 die het had voordat het de slag kreeg.
 - b. Gelijk aan de snelheid v_k , als gevolg van de slag en onafhankelijk van de snelheid v_0 .
 - c. Gelijk aan de som van de snelheden v_0 en v_k .
 - d. Kleiner dan beide snelheden v_0 en v_k .
 - e. Groter dan de beide snelheden v_0 en v_k , maar minder dan de som van deze twee snelheden.
- 8) Langs de wrijvingsloze baan die je in vraag 6 hebt gekozen, geldt voor de snelheid van de puck na het krijgen van de klap:
- a. Dat die constant is.
 - b. Dat die constant toeneemt.
 - c. Dat die constant afneemt.
 - d. Dat die eerst een tijdje toeneemt en daarna afneemt.
 - e. Dat die eerst een tijdje constant is en daarna afneemt.
- 9) Langs het wrijvingsloze pad dat je gekozen hebt bij vraag 6, is(zijn) de hoofdkracht(en) die werken op de puck na de slag:
- a. Een omlaag gerichte zwaartekracht.
 - b. Een omlaag gerichte zwaartekracht en een horizontale kracht in de richting van de beweging.
 - c. Een omlaag gerichte zwaartekracht, een omhoog gerichte kracht uitgeoefend door het oppervlak, en een horizontale kracht in de richting van de beweging.
 - d. Een omlaag gerichte zwaartekracht en een omhoog gerichte kracht uitgeoefend door het oppervlak.
 - e. Geen (er werken geen krachten op de puck).

- 10) Een kogel wordt afgeschoten door een kanon vanaf de top van een klif, zoals te zien is in de figuur op de volgende bladzijde. Welke van de paden geeft het beste de baan van de kanonskogel weer?



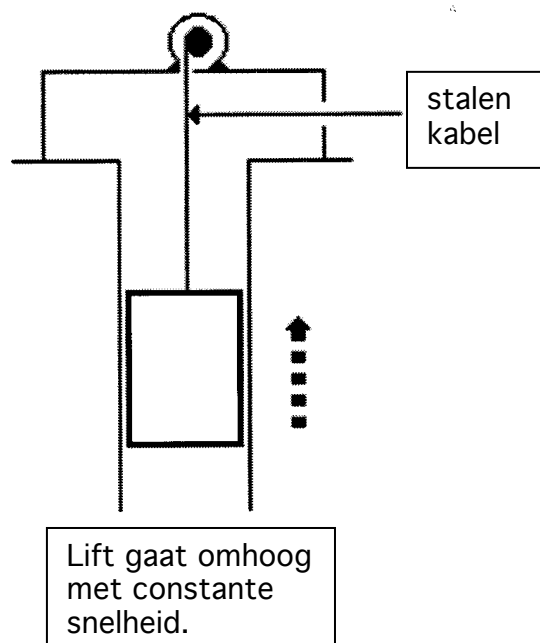
- 11) Een jongen gooit een stalen balletje recht omhoog. Beschouw de beweging van het balletje pas vanaf het moment dat hij los komt van de hand van de jongen totdat hij de grond raakt, en neem aan dat de krachten uitgeoefend door de lucht verwaarloosbaar zijn. Onder deze omstandigheden is(zijn) de kracht(en) op het balletje:
- Een omlaag gerichte zwaartekracht samen met een geleidelijk afnemende omhoog gerichte kracht.
 - Een geleidelijk afnemende omhoog gerichte kracht vanaf het moment dat de bal de hand van de jongen verlaat tot het moment dat hij het hoogste punt bereikt; op de weg naar beneden werkt er een geleidelijk toenemende zwaartekracht terwijl de bal dichterbij de aarde komt.
 - Een bijna constante omlaag gerichte zwaartekracht samen met een omhoog gerichte kracht die geleidelijk afneemt tot de bal zijn hoogste punt bereikt; op de weg naar beneden is er alleen een constante omlaag gerichte zwaartekracht.
 - Alleen een bijna constante omlaag gerichte zwaartekracht.
 - Geen van het bovenstaande. De bal valt terug naar de aarde vanwege zijn natuurlijke neiging om te rusten op het oppervlak van de aarde.

- 12) Een bowling bal valt per ongeluk uit het vrachtruim van een vliegtuig dat in horizontale richting vliegt. Als je de beweging van de bowling bal vanuit de grond waarneemt, zoals in de figuur, welk pad is dan de beste weergave van de baan die de bal volgt nadat hij het vliegtuig verlaat?



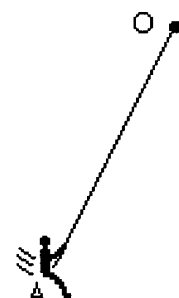
13) Een liftcabine wordt in een liftkoker met een constante snelheid omhoog getrokken door een stalen kabel zoals weergegeven in de figuur op de volgende bladzijde. Alle wrijvingseffecten zijn verwaarloosbaar. In deze situatie zijn de krachten op de lift precies zo dat:

- de omhoog gerichte kracht uitgeoefend door de kabel groter is dan de omlaag gerichte zwaartekracht.
- De omhoog gerichte kracht uitgeoefend door de kabel gelijk is aan de omlaag gerichte zwaartekracht.
- De omhoog gerichte kracht uitgeoefend door de kabel kleiner is dan de omlaag gerichte zwaartekracht.
- De omhoog gerichte kracht uitgeoefend door de kabel groter is dan de som van de omlaag gerichte zwaartekracht en de omlaag gerichte kracht als gevolg van de lucht.
- Geen van het bovenstaande (de lift gaat naar boven omdat de kabel korter wordt, niet omdat er een omhoog gerichte kracht is van de kabel op de lift).



14) De figuur hieronder laat een jongen zien die schommelt aan een touw. Het schommelen begint op een punt hoger dan A. Beschouw de volgende krachten:

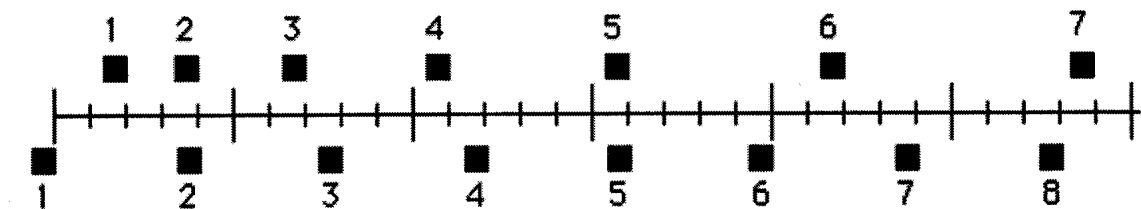
- Een omlaag gerichte zwaartekracht.
- Een kracht uitgeoefend door het touw, gericht van A naar O.
- Een kracht in de bewegingsrichting van de jongen.
- Een kracht gericht van O naar A.



Welke van de bovenstaande krachten werkt (werken) er op de jongen als hij zich bevindt op positie A?

- a. Alleen 1.
- b. 1 en 2.
- c. 1 en 3.
- d. 1,2 en 3.
- e. 1, 3 en 4.

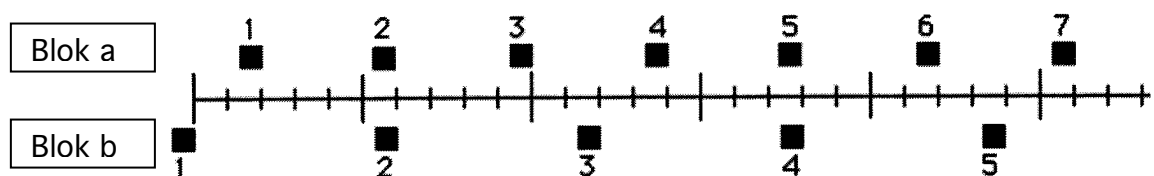
15) Iedere 0,20 seconden wordt de positie van twee blokjes weergegeven. Zie de figuur hieronder. De blokjes bewegen naar rechts.



Is er een moment waarop de blokjes een gelijke snelheid hebben?

- a. Nee.
- b. Ja, op tijdstip 2.
- c. Ja, op tijdstip 5.
- d. Ja, op de tijdstippen 2 en 5.
- e. Ja, ergens in het interval tussen 3 en 4.

16) De posities van twee blokjes op opeenvolgende 0.20-seconden tijdsintervallen zijn weergegeven door de genummerde vierkantjes in de figuur hieronder. De blokjes bewegen naar rechts.



Voor de versnelling van de blokjes geldt:

- a. De versnelling van "a" is groter dan de versnelling van "b".
- b. De versnelling van "a" is gelijk aan de versnelling van "b". Beide versnellingen zijn groter dan 0.

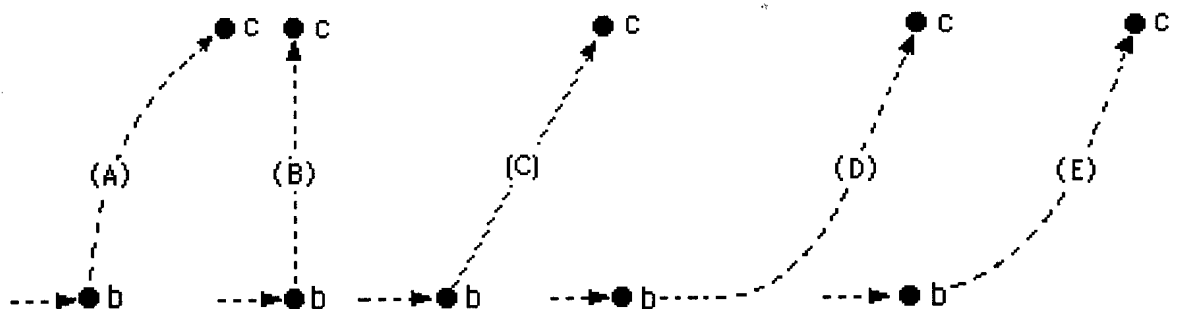
- c. De versnelling van "b" is groter dan de versnelling van "a".
- d. De versnelling van "a" is gelijk aan de versnelling van "b". Beide versnellingen zijn 0.
- e. Er is niet genoeg informatie om de vraag te beantwoorden.

Gebruik de tekst en de figuur hieronder om vragen 17 t/m 20 te beantwoorden.

Een raket beweegt met constante snelheid van "a" naar "b" in de tekening hieronder. Er werken geen uitwendige krachten op de raket. Aangekomen bij punt "b" wordt de raketmotor aangezet. Deze veroorzaakt een constante kracht loodrecht op de lijn "ab". De constante kracht blijft actief totdat de raket punt "c" bereikt.



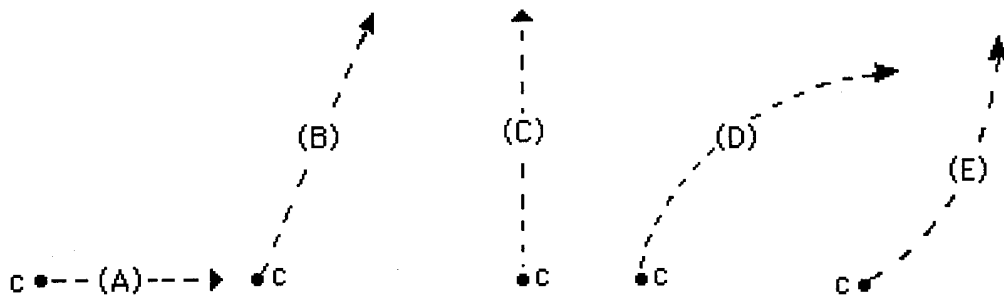
17) Welke schets past het beste bij de baan van de raket tussen punten "b" en "c"?



18) Terwijl de raket van "b" naar "c" beweegt is de snelheid van de raket:

- a. Constant.
- b. Constant aan het toenemen.
- c. Constant aan het afnemen.
- d. Eerst aan het toenemen, daarna constant.
- e. Eerst constant, daarna aan het afnemen.

- 19) Bij punt "c" wordt de motor afgezet en de kracht valt onmiddellijk weg. Welke baan volgt de raket vanaf punt "c"?



- 20) Vanaf punt "c" is de snelheid van de raket:

- Constant.
 - Constant aan het toenemen.
 - Constant aan het afnemen.
 - Eerst aan het toenemen, daarna constant.
 - Eerst constant, daarna aan het afnemen.
- 21) Een vrouw oefent een constante horizontale kracht uit op een grote doos. De doos beweegt over een horizontale vlakke ondergrond met een constante snelheid gelijk aan v_0 . Als de vrouw plotseling ophoudt met het uitoefenen van de kracht, dan zal de kist:
- Direct stilstaan.
 - Nog even voortbewegen met constante snelheid en daarna tot stilstand komen.
 - Direct tot stilstand te komen.
 - Voortgaan met constante snelheid.
 - Nog even versnellen en daarna tot stilstand komen.
- 22) Een lege bureaustoel staat op de vloer. Beschouw de volgende krachten:
1. Een omlaag gerichte zwaartekracht.
 2. Een omhoog gerichte kracht uitgeoefend door de vloer.
 3. Een netto omlaag gerichte kracht uitgeoefend door de lucht.
- Welke van deze krachten werken op de bureaustoel?

- Alleen 1.
- 1 en 2.
- 2 en 3.
- 1, 2 en 3.
- Geen van deze krachten (omdat de stoel in rust is werken er geen krachten op.)

23) Ondanks een sterke wind slaagt een tennisspeelster erin om de tennisbal zo te raken dat de bal over het net gaat en aan de overkant binnen de lijnen terecht komt. Beschouw de volgende krachten:

1. Een omlaag gerichte zwaartekracht.
2. Een kracht uitgeoefend door de slag.
3. Een kracht uitgeoefend door de lucht.

Welke van deze krachten werkt op de tennisbal terwijl deze in de lucht is (nadat de bal het racket heeft verlaten en voordat de bal de grond raakt)?

- a. Alleen 1.
- b. 1 en 2.
- c. 1 en 3.
- d. 2 en 3.
- e. 1, 2 en 3.

Open vragen:

1) Vond je deze toets moeilijk? Waarom vond je deze toets (niet) moeilijk?

2) Hoeveel vragen (van de 23) denk je correct te hebben beantwoord?

3) Heb je bij natuurkunde veel geoefend met dit soort vragen? Zou je hier vaker mee willen oefenen?

Einde

Bijlage B

Onderzoeksdata

Tabel B.1: Losse scores (max. 23) van de gemodificeerde FCI test.

	JCU	SAB
1	14	8
2	11	14
3	18	14
4	17	11
5	17	9
6	19	11
7	15	17
8	21	8
9	16	14
10	14	10
11	14	19
12	7	12
13	14	15
14	21	7
15	17	9
16	19	11
17	23	12
18	19	7
19	20	12
20	21	10
21	23	12
22	13	12
23	18	13
24	15	23
25	18	12
26	23	11
27	21	9
28	18	7
29	23	15
30	19	12
31	22	19
32	16	10
33	22	14
34	21	8
35	21	17
36	14	11
37	19	9
38	21	11
39	21	14
40	23	14
41	19	8
42	22	.
43	22	.
Total N	43	41

Tabel B.2: Levene's toets voor gelijke varianties (boven) en t-toets voor onafhankelijke steekproeven (onder) bij deelvraag 1.

		Levene's Test for Equality of Variances	
		F	Sig.
Total	Equal variances assumed	.367	.546
	Equal variances not assumed		

Independent Samples Test

		t-test for Equality of Means				
		t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Total	Equal variances assumed	-8.129	82	.000	-6.420	.790
	Equal variances not assumed	-8.136	81.985	.000	-6.420	.789

Tabel B.3: Frequentie van gekozen misconcepties (bij deelvraag 2).

Misconceptie	JCU	SAB
K1	0	5
K2	6	5
K3	6	2
K4	10	14
I1	27	66
I2	12	33
I3	40	101
I4	8	26
I5	15	40
AF1	3	2
AF2	1	7
AF3	0	0
AF4	5	9
AF5	3	5
AF6	13	24
AF7	0	0
CI1	4	7
CI2	9	19
CI3	9	26
CF	5	21
Ob	1	21
R	6	12
G1	8	14
G2	1	2
G3	13	14
G4	5	9
G5	2	2

Tabel B.4: Verwachte en daadwerkelijke scores van de gemodificeerde FCI test (bij deelvraag 3).

	JCU_score	JCU_verwacht	SAB_score	SAB_verwacht
1	22	21	12	16
2	19	17	10	18
3	14	13	14	17
4	14	15	15	15
5	14	8	12	18
6	7	11	9	16
7	16	15	7	6
8	21	10	9	12
9	15	15	14	18
10	17	20	14	15
11	17	20	19	15
12	18	20	8	19
13	13	20	17	19
14	23	21	.	.
15	21	21	.	.
16	20	21	.	.
17	19	20	.	.
18	23	22	.	.
19	19	19	.	.
20	17	22	.	.
21	22	21	.	.
22	16	22	.	.
23	19	19	.	.
24	23	20	.	.
25	18	15	.	.
26	18	17	.	.
27	23	20	.	.
28	21	21	.	.
29	21	23	.	.
30	15	15	.	.
31	22	18	.	.
32	22	22	.	.
33	19	17	.	.
34	23	18	.	.
35	21	20	.	.
36	21	18	.	.
37	19	15	.	.
38	14	12	.	.
39	21	22	.	.
Total N	39	39	13	13

