

Pro gradu -tutkielma

Matematiikan, fysiikan ja kemian aineenopettajan maisteriohjelma

Generatiivinen tekoäly fysiikan opetuksessa

Sami Kanerva

27.5.2025

Ohjaajat:

Prof. Ismo Koponen

Dos. Maija Nousiainen

HELSINGIN YLIOPISTO

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)

00014 Helsingin yliopisto

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta — Fakultet — Faculty	Koulutusohjelma — Utbildningsprogram — Degree programme
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta	Matematiikan, fysiikan ja kemian aineenopettajan maisteriohjelma

Tekijä — Författare — Author

Sami Kanerva

Työn nimi — Arbetets titel — Title

Generatiivinen tekoäly fysiikan opetuksessa

Työn laji — Arbetets art — Level	Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidantal — Number of pages
Pro gradu -tutkielma	27.5.2025	94 sivua + 149 liitesivua

Tiivistelmä — Referat — Abstract

Tässä tutkielmassa perehdytään generatiivisen tekoälyn hyödyntämiseen fysiikan opetuksessa viimeaikaisen tutkimuskirjallisuuden sekä oman kokeellisen tutkimuksen avulla. Työssä selvitetään laajojen kielimallien suorituskykyä voimaa ja liikettä käsittelevien fysiikan ylioppilaskokeiden tehtävien ratkaisussa. Havaintojen perusteella esitetään johtopäätöksiä lukioon soveltuvista tavoista integroida generatiivisen tekoälyn käyttöä osaksi fysiikan opetusta.

Tutkimuskirjallisuudessa fysikaalinen päättely ja ongelmanratkaisu on todettu haastavaksi tehtäväksi laajoille kielimalleille, mutta uusien versioiden ilmestymisen myötä myös suorituskyvyn on havaittu kehittyvän nopeasti. Käyttäjän antamilla kehotteilla on suuri vaikutus kielimallien tuottamaan materiaaliin, joten generatiivisen tekoälyn tehokas hyödyntäminen edellyttää myös käyttäjältä onnistunutta kehotteen muotoilua, kuten viitekehyksen määrittämistä, päättelyketjujen kuvaamista tai johdattelevaa keskustelua.

Työn kokeellisessa osuudessa tutkittiin ChatGPT:n uusimpien kielimallien suorituskykyä voimaa ja liikettä käsittelevien fysiikan ylioppilaskokeiden tehtävien ratkaisussa. Havaintojen mukaan ChatGPT kykenee kielimallin GPT-4o avulla analysoimaan fysikaalisia käsitteitä ja ilmiöitä johdonmukaisesti sekä ratkaisemaan lukion fysiikan tehtäviä. Voimakuvioiden ja mittaustulosten analyysi osoittautui edelleen haastavaksi, mutta kehotetta muokkaamalla kielimalli pystyi oikeaoppiseen fysikaaliseen analyysiin.

Tulosten perusteella voi päätellä, että generatiivinen tekoäly soveltuu jo tämänhetkisillä kielimalleilla fysiikan opiskelun apuvälineeksi. Opiskelijalle tekoälystä on parhaiten hyötyä keskustelukumppanina tai tutor-opettajana, sillä nykyisten kielimallien tuottama materiaali vastaa oppikirjojen tasoa ja mukautuu opiskelijan tarpeisiin. Fysiikan opetuksessa tekoälyn voi integroida osaksi harjoitustehtäviä kasvattaen tehtävien vaativuustasoa suunnitelmallisesti. Kielimallien toimintaa ja kehotteen muotoilua kannattaa opiskella aluksi yksinkertaisten harjoitusten avulla, ja taitojen kehittyessä tehtävien painopistettä voidaan siirtää kohti vaativampia fysiikan sisältöjä ja korkeampia ajattelun tasoja.

Avainsanat — Nyckelord — Keywords

fysiikka, tekoäly, opetus, kielimalli, ChatGPT

Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited

eThesis

Muita tietoja — Övriga uppgifter — Additional information

Sisällys

1 Johdanto **1**

2 Teoreettinen viitekehys **3**

2.1 Tekoäly opetuksessa . . . 3

2.1.1 Tekoälyyn perustuvat sovellukset . . . 3

2.1.2 Kielimallit ja ChatGPT . . . 4

2.1.3 Opiskelijan näkökulma . . . 5

2.1.4 Opettajan työn kehittäminen . . . 7

2.1.5 Mahdollisuuksia ja haasteita . . . 7

2.2 Kehotteen muotoilu . . . 8

2.2.1 Aihepiirin rajaaminen . . . 9

2.2.2 Päättelyketju ja johdatteleva keskustelu . . . 10

2.2.3 Kehotteen muotoilu käytännössä . . . 10

2.3 Suorituskyky fysiikan tehtävissä . . . 11

2.3.1 Kielimallin päättelykyky . . . 11

2.3.2 Käsitteellinen hahmottaminen . . . 13

2.3.3 Kirjoitustehtävät ja ongelmanratkaisu . . . 14

2.4 Sovelluksia fysiikan opetuksessa . . . 15

2.4.1 Opiskelun apuväline . . . 15

2.4.2 Opiskelijan mallintaminen ja arvioinnissa avustaminen . . . 16

2.4.3 Tekoälyn integrointi opetukseen . . . 17

3 Menetelmät ja aineisto **19**

3.1 Tutkimuskysymykset . . . 19

3.1.1 Johtopäätöksiä tutkimuskirjallisuudesta . . . 19

3.1.2 Tutkimuskysymysten muotoilu . . . 20

3.2 Aiheen rajaus . . . 20

3.2.1 Generatiivinen tekoäly . . . 21

3.2.2 Fysiikan sisällöt . . . 21

3.3 Tutkimusmenetelmät . . . 22

3.3.1 Tehtävien ratkaisu . . . 22

3.3.2 Kielimallit . . . 22

3.3.3 Kehotteen muokkaus . . . 23

3.3.4 Analyysi ja tarkastelun näkökulma . . . 24

3.4 Tutkimusaineisto . . . 25

3.4.1 Opetussuunnitelman yleiset tavoitteet . . . 25
3.4.2 Voima ja liike lukion fysiikassa . . . 26
3.4.3 Osaamisvaatimukset . . . 27
3.4.4 Ylioppilaskokeiden tehtävät . . . 29
3.4.5 Tutkimusaineiston valinta . . . 30
3.4.6 Arviointikriteerit . . . 32

4 Tulokset **33**
4.1 Virheelliset käsitykset . . . 33
4.1.1 Tehtävänanto ja arviointiohjeet . . . 33
4.1.2 Oletuskielimalli: GPT-4o . . . 34
4.1.3 Uusin kielimalli: GPT-4.5 . . . 35
4.1.4 Vanha kielimalli: GPT-4 . . . 36
4.1.5 Päättelevä kielimalli: o1 . . . 37
4.1.6 Nopea päättelevä kielimalli: o3-mini . . . 38
4.1.7 Täsmennetty tehtävänanto . . . 38
4.1.8 Tulosten tulkinta . . . 40
4.2 Voimakuvioiden analyysi . . . 41
4.2.1 Tehtävänanto ja arviointiohjeet . . . 42
4.2.2 Oletuskielimalli: GPT-4o . . . 43
4.2.3 Uusin kielimalli: GPT-4.5 . . . 44
4.2.4 Vanha kielimalli: GPT-4 . . . 45
4.2.5 Päättelevä kielimalli: o1 . . . 46
4.2.6 Nopea päättelevä kielimalli: o3-mini . . . 47
4.2.7 Täsmennetty tehtävänanto . . . 48
4.2.8 Jatkokeskustelu . . . 49
4.2.9 Tulosten tulkinta . . . 50
4.3 Laskutehtävän ratkaiseminen . . . 51
4.3.1 Tehtävänanto ja arviointiohjeet . . . 51
4.3.2 Alkuperäisen tehtävänannon ratkaiseminen . . . 53
4.3.3 Täsmennetty tehtävänanto . . . 54
4.3.4 Voimakuvioiden piirtäminen . . . 55
4.3.5 ChatGPT:n tuottama malliratkaisu . . . 57
4.3.6 Malliratkaisun arviointi . . . 59
4.3.7 Tulosten tulkinta . . . 59
4.4 Mittaustulosten analyysi . . . 60

4.4.1 Tehtävänanto ja arviointiohjeet 60
4.4.2 Alkuperäisen tehtävänannon ratkaiseminen 61
4.4.3 Täsmennetty tehtävänanto 63
4.4.4 Lisäkysymykset virheiden korjaamiseksi 64
4.4.5 Tulosten tulkinta 65

5 Johtopäätökset ja pohdinta 67
5.1 Havaintoja tuloksista 67
5.1.1 Kielimallien kehittyminen 67
5.1.2 Fysikaaliset perustelut 68
5.1.3 Matemaattinen analyysi 69
5.1.4 Kuvaajat ja kaaviot 70
5.2 Sisältöjen hallinta 71
5.2.1 Fysiikan käsitteet 71
5.2.2 Perustelut 72
5.2.3 Johdonmukaisuus 72
5.2.4 Virheet 73
5.3 Oppimisen tukeminen 74
5.3.1 Luotettavuus 74
5.3.2 Hyödyllisyys 75
5.3.3 Käyttötavat 76
5.4 Vaadittava osaaminen 77
5.4.1 Taustatiedot ja sisällön arviointi 77
5.4.2 Kehotteen muotoilu 78
5.5 Ajatuksia tekoälyn hyödyntämisestä 79
5.5.1 Opetuksen suunnittelu 80
5.5.2 Tehtävien laatiminen 81
5.5.3 Vaikutukset oppimiseen 82
5.5.4 Itseohjautuvuus 83
5.5.5 Saavutettavuus ja yhdenvertaisuus 84
5.5.6 Tulevaisuuden osaaminen 85

6 Yhteenveto 87

Lähteet 90

Liitteet

1 Lisämateriaali: Virheelliset käsitykset

2 Lisämateriaali: Voimakuvioiden analyysi

3 Lisämateriaali: Laskutehtävän ratkaisu

4 Lisämateriaali: Mittaustulosten analyysi

1 Johdanto

Vuonna 2022 julkaistu ChatGPT oli ensimmäinen suurelle yleisölle avoin laajoja kielimalleja hyödyntävä sovellus, jota kutsutaan generatiiviseksi tekoälyksi. Laajat kielimallit pystyvät tuottamaan tehokkaasti suuria määriä tekstiä tai muuta materiaalia käyttäjän ohjeiden mukaisesti, eikä tuotoksia aina pysty erottamaan ihmisen tekemistä. Kielimallien suorituskyky on viime vuosina kehittynyt nopeasti, ja generatiivisesta tekoälystä on tullut ymmärrettävästi suosittu myös opiskelijoiden keskuudessa.

Opetuksen järjestäjien suhtautuminen generatiiviseen tekoälyyn vaihtelee ehdottoman kielteisestä avoimen kannustavaan (Salih ja muut, 2025). Suomessa Opetushallitus on julkaissut tekoälyä opetuksessa ja varhaiskasvatuksessa koskevan jatkuvasti päivittyvän aineiston, joka sisältää lainsäädännön pohjalta johdettavat velvoitteet, yleiset suositukset sekä niihin liittyvän taustamateriaalin (Opetushallitus, 2025). Opetushallituksen linjauksissa painotetaan lainsäädännöllisiä ja eettisiä näkökulmia, muttei pääsääntöisesti pyritä estämään tai tarpeettomasti rajoittamaan tekoälyn käyttöä opetuksessa. Lasten ja nuorten turvallisuudesta ja oikeuksista on huolehdittava ensisijaisesti, ja tekoälyn käytön on ehdottomasti oltava pedagogisesti perusteltua ja opetussuunnitelman mukaista. Taustamateriaali sisältää ajantasaista tietoa muun muassa tekoälyn toiminnasta ja sovellettavasta lainsäädännöstä.

Tässä työssä perehdytään generatiivisen tekoälyn hyödyntämiseen fysiikan opetuksessa tuoreen tutkimuskirjallisuuden sekä kokeellisen tutkimuksen avulla. Työssä painotetaan fysiikan opiskelulle ominaisia piirteitä ja pyritään selvittämään, miten hyvin generatiivinen tekoäly soveltuu lukion fysiikan oppimisen tueksi. Kokeellisessa osuudessa rajoitutaan voimaa ja liikettä käsittelevään sisältöön, ja tutkimusaineistona käytetään fysiikan ylioppilaskokeiden tehtäviä. Tutkittavana sovelluksena toimii ChatGPT, joka on nykyäänkin suosituin generatiivisen tekoälyn sovellus.

Kappale 2 esittää teoreettisen viitekehyksen kirjallisuusselvityksen muodossa. Tekoälyn hyödyntämistä opetuksessa käsitellään yleisellä tasolla edeten tekoälypohjaisista yhden käyttötarkoituksen sovelluksista kohti generatiivisen tekoälyn taustalla toimivia laajoja kielimalleja ja näiden soveltamisen erityispiirteitä. Generatiivisen tekoälyn soveltamista fysiikan opetuksessa lähestytään kielimallien suorituskyvyn kautta, kun analysoidaan niiden kykyä fysikaaliseen päättelyyn sekä käsitteelliseen analyysiin. Tämän jälkeen tarkastellaan erilaisia käyttötapoja generatiivisen tekoälyn hyödyntämiseksi fysiikan opetuksen sekä oppimisen tukena.

Kappaleessa 3 määritellään aluksi tärkeimmät tutkimuskysymykset teoreettisen viitekehyksen pohjalta. Työssä päädytään tarkastelemaan generatiivisen tekoälyn hyödyntämisen edellytyksiä ja keinoja lukion fysiikan opetuksessa. Työn kokeellisen osuuden aihe rajataan lukion fysiikan moduuliin ”FY4 Voima ja liike”, jonka sisältöjä annetaan kielimallien analysoitavaksi fysiikan ylioppilaskokeiden tehtävien muodossa. Kokeellisessa tutkimuksessa kielimalleja pyydetään suorittamaan ylioppilaskokeiden tehtäviä ja vastauksia pyritään parantelemaan kehotetta muokkaamalla, kunnes ne täyttävät ylioppilaslautakunnan määrittelemät hyvän vastauksen piirteet.

Kappale 4 esittää kokeelliset tulokset fysiikan ylioppilaskokeiden tehtävien ratkaisemisesta tekoälyn avulla. Ensimmäisessä tehtävässä tutkitaan kielimallien kykyä käsitteelliseen analyysiin ilman laskuvarjoa suoritettua hyppyä käsittelevän lehtiuutisen perusteella. Toisessa tehtävässä arvioidaan kielimallien kykyä graafiseen analyysiin pyöräilijää esittävien voimakuvioiden vertailun avulla. Kolmantena esimerkkinä kielimallin tulee ratkaista perinteinen fysiikan laskutehtävä ja muodostaa siitä mallivastaus. Neljännessä tehtävässä kielimallin on analysoitava mittaustuloksia putoavasta sulkapallosta ja tehtävä tämän perusteella johtopäätöksiä pallon liiketilasta.

Kappaleessa 5 tarkastellaan kokeellisen osuuden havaintoja ja tehdään niistä johtopäätöksiä teoreettiseen viitekehykseen nähden. Tutkimuskirjallisuudessa esitettyjä johtopäätöksiä tarkastellaan yhdessä tämän työn kokeellisen osuuden havaintojen kanssa, ja niiden pohjalta tehdyt johtopäätökset esitetään valittujen tutkimuskysymysten näkökulmasta. Tarkastelussa korostuvat fysiikan sisältöjen hallinta, tekoälyn hyödyt oppimisen tukemisessa sekä tekoälyn tehokkaan käyttämisen edellyttämä osaaminen.

Kappaleessa 6 esitetään yhteenveto työstä kokonaisuutena sekä tärkeimmät johtopäätökset.

Kokeellisen tutkimuksen lisäksi työn kirjoittamisessa on sovellettu kokeilumielessä generatiivista tekoälyä muutamassa kohdassa, jotka on merkitty alaviitteillä.[1] Muilta osin työssä ei ole hyödynnetty tekoälyä.

Työ on kirjoitettu Jaakko Hannikaisen julkaisemalle Helsingin yliopiston epäviralliselle LaTeX-pohjalle (Hannikainen, 2020).

[1] Alaviitteissä on kuvattu tekoälylle annettu kehote, kielimallin versio sekä suorituspäivämäärä.

2 Teoreettinen viitekehys

2.1 Tekoäly opetuksessa

Opetuksen viitekehyksessä tekoälyä on jo pitkän aikaa hyödynnetty rajatusti erilaisten sovellusten yhteydessä, mutta suuri muutos liittyy erityisesti ChatGPT:n ja muiden generatiivista tekoälyä hyödyntävien sovellusten ilmaantumisesta laajan yleisön saataville. Generatiivinen tekoäly on muuttanut opiskelijoiden työskentelyä ja vaikuttaa myös oppimiseen. Myös opettajat ovat alkaneet hyödyntää tekoälyä oman työnsä kehittämisessä, mutta varsinaisesti teköälyä hyödyntävien opetusmenetelmien kehitys on vielä lähes olematonta. Opetuksen järjestäjät sekä oppilaitokset ovat joutuneet reagoimaan tekoälyn laajamittaiseen käyttöön ja pohtimaan keinoja paitsi uhkatekijöiden hallintaan, myös uusien mahdollisuuksien hyödyntämiseen. Käytännön kokemuksia tekoälyn soveltamisesta opetuksessa ei kuitenkaan ole vielä laajasti julkaistu.

2.1.1 Tekoälyyn perustuvat sovellukset

Tekoälyn hyödyntäminen opetuksessa ja oppimisessa on alkanut jo ennen ChatGPT:n ja muiden generatiivisen tekoälyn sovellusten suosiota. Monet oppimista tai opetusta tukevat sovellukset sisältävät tekoälypohjaisia komponentteja, joita hyödynnetään esimerkiksi käyttäjäkokemuksen personointiin tai oppimateriaalin valikointiin. Salih ja muut (2025) esittävät laajahkon katsauksen tekoälypohjaisiin opetusta tai oppimista tukeviin digitaalisiin työkaluihin. Seuraavassa näistä työkaluista on koostettu yhteenveto ChatGPT:n avulla.[2]

Tekoälypohjaiset analytiikkatyökalut tukevat opetuksen suunnittelua ja auttavat opettajaa esimerkiksi kohdentamaan opetusta opiskelijoiden tarpeiden mukaan. Esimerkiksi *Qualtrics*, *RapidMiner* ja *IBM Watson* mahdollistavat laajan datan keräämisen ja analysoinnin (Qualtrics, 2025; RapidMiner, 2025; Watson, 2025). Datan avulla voidaan mm. tunnistaa oppimisen haasteita ja mukauttaa opetussisältöjä.

Adaptiiviset oppimisympäristöt tarjoavat tekoälyn avulla yksilöllistä tukea ja arviointia oppijoille. Esimerkiksi *Khan Academy*, *Quizlet*, *DreamBox* ja *Smart Sparrow* mukauttavat sisältöä käyttäjän osaamistason perusteella (Academy, 2025; DreamBox,

[2]Kehotteessa annettiin lyhyt kuvaus sovellusten käyttötarkoituksesta sekä lista sovelluksista. ChatGPT muodosti pohjan tekstiksi ja etsi sovellusten www-osoitteet lähdeluetteloon. Kielimallin tuottamaa tekstiä ei ole kopioitu suoraan, vaan sitä on hiukan muokattu ja täydennetty. Kielimalli oli GPT-4o ja suorituspäivämäärä 10.5.2025.

2025; Quizlet, 2025; Sparrow, 2025). Vuorovaikutteiset sovellukset, kuten *Nearpod*, *Socrative* ja *Kahoot!* (Kahoot!, 2025; Nearpod, 2025; Socrative, 2025), lisäävät oppilaiden osallisuutta ja tarjoavat opettajalle reaaliaikaisen näkymän oppimisen etenemiseen. Arvioinnin apuna käytettävät *Gradescope* ja *Edulastic* hyödyntävät tekoälyä palautteen antamiseen ja tehtävien tarkistamiseen (Edulastic, 2025; Gradescope, 2025).

Kielten oppimiseen on tarjolla useita tekoälypohjaisia sovelluksia, jotka tukevat käyttäjää sanaston, kieliopin ja ääntämisen harjoittelussa. *Duolingo*, *Babbel*, *Rosetta Stone* ja *Lingvist* hyödyntävät adaptiivista oppimista ja pelillisiä elementtejä motivoidakseen käyttäjää (Babbel, 2025; Duolingo, 2025; Lingvist, 2025; Stone, 2025). Myös laajasti käytetty käännösohjelmisto *Google Translate* soveltaa tekoälyä (Translate, 2025). Nämä työkalut tukevat erityisesti itseopiskelua ja voivat täydentää perinteistä kieltenopetusta.

Yliopistomaailmassa tekoälypohjaisia työkaluja hyödynnetään mm. rehellisyyden varmentamisessa. Esimerkiksi *Turnitin*, *Unicheck* ja *Copyscape* analysoivat tekstien samankaltaisuuksia ja paljastavat mahdollisia plagiointitapauksia (Copyscape, 2025; Turnitin, 2025; Unicheck, 2025). *Grammarly* tarjoaa lisäksi kieliasun korjauksia ja tunnistaa epäsuoraa kopiointia (Grammarly, 2025). Tenttitilanteiden valvontaan suunniteltu *Proctorio* ja *SafeAssign* mahdollistavat automaattisen huijaamisen eston ja valvonnan, jolloin opettajat voivat keskittyä arviointiin itse sisällön näkökulmasta (Proctorio, 2025; SafeAssign, 2025).

2.1.2 Kielimallit ja ChatGPT

Laajat kielimallit (large language models, LMM) ovat nykyään tunnetuin ja yleisimmin käytetty tekoälyn muoto. Laajat kielimallit kykenevät tulkitsemaan käyttäjän antamia vapaamuotoisia kehotteita ja tuottamaan valtavan tietomäärän pohjalta tekstiä useilla eri kielillä. Tunnetuin laajoja kielimalleja hyödyntävä sovellus on ChatGPT (ChatGPT, 2025), jonka ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 2022. Muita vastaavia sovelluksia ovat mm. Gemini, Copilot ja Perplexity (Copilot, 2025; Gemini, 2025; Perplexity, 2025).

Kielimallien toimintaperiaatetta on kuvattu lukuisissa lähteissä, mutta erityisesti Polverini ja Gregorcic (2024a) ovat perehtyneet laajojen kielimallien toimintaan fysiikan opetuksen ja oppimisen näkökulmasta. Seuraava tiivistelmä kielimallien toimintaperiaatteesta pohjautuu kyseiseen julkaisuun.

GPT on lyhenne sanoista ”generative pre-trained transformer”, eli vapaasti suomennettuna uutta luova ennakkoon koulutettu tietoa muuntava sovellus. Generatiivisesta tekoälystä puhuttaessa yleisesti tarkoitetaan juuri GPT-tyyppisiä sovelluksia. Tässä työssä käytetään yksinkertaisuuden vuoksi termiä ”kielimalli”. Kielimallit siis pystyvät tuottamaan uutta tekstiä, joka pohjautuu laajaan etukäteen koulutettuun neuroverkkoon. Kielimallit myös muuntavat syötteen tarvittavaan muotoon.

Tekstiä tuotetaan tilastollisilla menetelmillä. Kielimalli on muodostanut tilastoja koulutusmateriaalin sisältämistä teksteistä ja se muodostaa lauseita sanojen todennäköisen esiintymisen perusteella. Todennäköisyydet perustuvat kehotteen aihepiiriin eli kontekstiin, ja vastauksiin luodaan vaihtelua satunnaismuuttujan avulla. Kielimalli ei osaa laskea, mutta se silti pystyy suorittamaan laskutoimituksia imitoimalla koulutusmateriaalissa esitettyjä matemaattisia päätelmiä. Samoin kielimalli pystyy tuottamaan laskentaa varten ohjelmakoodia tai komentoja liitännäissovelluksille.

Kielimallin toimintaperiaatteen ymmärtäminen on olennaista sen tehokkaassa hyödyntämisessä. Kielimalli päättelee kontekstin käyttäjän antaman kehotteen perusteella, ja muotoilee vastauksensa tässä kontekstissa tulkittujen koulutusmateriaalien pohjalta. Esimerkiksi ”voima” tulkitaan eri tavalla fysiikassa ja juridiikassa, ja tämän myös kielimallit ottavat huomioon tuottaessaan tekstiä näissä konteksteissa (Polverini & Gregorcic, 2024a).

Tämän työn tekemisen ajankohtana ChatGPT:n uusin kielimalli on GPT-4.5 ja oletuskielimalli on GPT-4o, joka on kehitetty kielimallista GPT-4. Suurin osa julkaistusta kirjallisuudesta käsittelee kielimalleja GPT-3.5 ja GPT-4, joten niiden tulkinnat eivät enää sellaisenaan päde nykyään käytettäville kielimalleille. Tutkimusta on siksi tarpeellista jatkaa säännöllisesti uusien kielimallien julkaisemisen myötä.

2.1.3 Opiskelijan näkökulma

Opiskelijoille tekoälystä on monenlaista hyötyä, etenkin opiskelun tehostumisen ja monipuolistumisen myötä. Toisaalta tekoälyn lisääntyvä käyttö sisältää myös riskejä, jotka ehkä havaitaan vasta pidemmän ajan kuluessa.

Salih ja muut (2025) toteavat, että tekoälyn ansiosta opetusmenetelmiä on voitu mukauttaa oppijan tarpeiden mukaisesti ja erilaiset oppimissovellukset ovat laajentaneet opiskelumahdollisuuksia joustavasti myös luokkahuoneiden ja tavanomaisten työaikojen ulkopuolelle. Opettajan työtä tukevat automatisoidut rutiinit ja tehokas

data-analyysi hyödyttävät myös opiskelijoita, sillä opettajalta säästyvä resurssi on tavalla tai toisella myös opiskelijan käytettävissä. Toisaalta tekoälyn laajamittainen käyttö voi vähentää henkilökohtaista vuorovaikutusta ja rajoittaa opetusmenetelmien valikoimaa. Opiskelijan liiallinen tukeutuminen tekoälyyn voi myös heikentää kriittistä ajattelua ja vuorovaikutustaitoja. Tekoälyn ei pitäisi korvata opettajaa, ja opetuksessa tulisi pyrkiä yhdistämään tekoälyn ja henkilökohtaisen opetuksen parhaat puolet.

Valeri, Nilsson, ja Cederqvist (2025) ovat kartoittaneet laajasti opiskelijoiden tapoja hyödyntää tekoälyä käytännössä. Tyypillisiä käyttötapoja ovat käsitteiden ja konseptien opiskelu, tekstien tiivistelmät, kokeisiin harjoittelu sekä tekstin korjaus ja käännösapu projektitöissä tai kotitehtävissä. Tekoäly antaa opiskelijalle nopean vastauksen ja sallii tarkennettujen kysymysten tekemisen. Selvityksen mukaan opiskelijat kokevat tekoälysovellukset turvalliseksi ympäristöksi kysellä ilman leimautumista, minkä lisäksi opettajan huomiota ei tarvitse jakaa muiden kanssa. Lisäksi tekoälyn hyödyntäminen on lisännyt opiskelijoiden käsitteellistä ymmärrystä STEM-aineiden sisällöissä. Kuitenkin Valeri ja muut toteavat johtopäätöksinään, että opetuksessa tulisi varmistaa riittävä osaaminen opiskeltavan aineen perusteista ja sisällyttää myös generatiivisen tekoälyn tehokkaan hyödyntämisen harjoittelua.

Etenkin korkeammilla koulutusasteilla opiskelijat hyödyntävät tekoälyä kirjoittamisen apuna. Generatiiviset tekoälysovellukset, kuten ChatGPT on todettu hyödyllisiksi kirjoittamisen kaikissa eri vaiheissa, mutta niiden aiheuttama nopea muutos vaatii oppilaitoksilta perehtymistä ja reagointia mahdollisten haittavaikutusten hallitsemiseksi (Imran & Almusharraf, 2023). Toisaalta Lestari (2024) on havainnut tekoälyn käyttämisen parantaneen opiskelijoiden sitoutuneisuutta ja kirjoitustaitoja.

Tutkimuskirjallisuuden perusteella opiskelijat ottavat uusia apuvälineitä nopeasti käyttöönsä ja myös oppivat hyödyntämään niitä kohtalaisen tehokkaasti. Toistaiseksi tutkimus on kuitenkin melko yleisluontoista ja painottuu opiskelijoista tehtyihin havaintoihin sekä haastatteluihin. Tutkijat ovat silti tunnistaneet riskejä opiskelijoiden taipumuksissa omaksua tekoälyä hyödyntäviä apuvälineitä itsenäisesti ja korostaneet opetuksen järjestäjän vastuuta huolehtia tekoälyn suunnitelmallisesta hyödyntämisestä opetuksen osana. Kirjallisuusselvitysten mukaan tutkimusta kannattaa jatkossa laajentaa oppiaine- ja sisältökohtaiseen tarkasteluun sekä tekoälyä hyödyntävien konkreettisten opetusmenetelmien kehittämiseen.

2.1.4 Opettajan työn kehittäminen

Salih ja muut (2025) ovat selvittäneet myös opettajien tapoja hyödyntää tekoälyä omassa työssään. Suurin hyöty tekoälystä koetaan opetuksen sisältöjen suunnittelussa ja materiaalien valmistelussa. Tekoälyn avulla voidaan etsiä uusia opetusmenetelmiä ja koostaa omaan käyttöön vaihtelevien ja tehokkaiden opetusmenetelmien monipuolinen valikoima. Myös oppimista tukeva henkilökohtainen arviointi olisi mahdollista, mutta sitä ei vielä ole kovin laajasti sovellettu.

Kortemeyer ja Nöhl (2024) ovat selvittäneet, miten luotettavaa fysiikan kokeiden arviointi on tekoälyn avustuksella. Tutkimuksessa havaittiin, että huolellisesti asetetuilla parametreillä saavutetaan hyvä tarkkuus. Tekoälyllä on korkea potentiaali suurten koemäärien arvioinnissa avustamiseen, mutta ihmistä kuitenkin tarvitaan monimutkaisten tehtävien arvioinnin varmistamiseen.

Mok ja muut (2024) ovat myös tutkineet tekoälyn kykyä arvioida fysiikan kokeiden vastauksia. He vertailivat useita eri kielimalleja ja sovelsivat niitä klassisen mekaniikan, sähkömagnetiikan sekä kvanttimekaniikan kokeiden arviointiin. Erillisen arviointiohjeen antaminen parantaa merkittävästi tekoälyn suorittaman arvioinnin laatua, mutta olennaisesti arvioinnin laatu vaikutti korreloivan vahvasti kielimallin oman ongelmanratkaisukyvyn kanssa.

Tutkimusten havainnot tekoälyn hyödyntämisestä opettajien työn kehittämisessä osoittavat runsasta kiinnostusta oppimateriaalien valmistelun sekä arvioinnin vaatiman työmäärän keventämiseen sekä tuotosten laadun parantamiseen. Kuten edellä todettiin opiskelijoiden tavoista hyödyntää generatiivista tekoälyä, myös opettajat vaikuttavat soveltavan tekoälyä pääsääntöisesti omista lähtökohdistaan. Generatiivisen tekoälyn integroiminen opetukseen ei kirjallisuuden perusteella ole vielä erityisen suosittua, vaan opetus nähdään edelleen melko laajasti perinteisellä tavalla ja tämä ilmenee myös tekoälyn hyödyntämistavoissa. Jatkossa on siten ilmeinen tarve tutkia ja kehittää opetusmenetelmiä, joissa sekä opettajat että opiskelijat soveltavat kollektiivisesti ja suunnitelmallisesti generatiivista tekoälyä.

2.1.5 Mahdollisuuksia ja haasteita

Tekoälyn tarjoamia mahdollisuuksia ja haasteita opetuksessa ovat analysoineet esimerkiksi Kasneci ja muut (2023), Michel-Villarreal, Vilalta-Perdomo, Salinas-Navarro, Thierry-Aguilera, ja Gerardou (2023), Grassini (2023), Lo (2023), Meyer ja muut (2024), Salih ja muut (2025) ja Valeri ja muut (2025). Tekoälyn on pelätty muun

muassa heikentävän akateemisia käytäntöjä ja lisäävän tahatonta plagiointia, sillä tekoäly saattaa kerätä sisältöä vastauksiinsa eri lähteistä viittaamatta niihin. Lisäksi huolta on herättänyt kriittisen ajattelun, reflektoinnin, päättelyn ja luovuuden mahdollinen heikkeneminen. Esimerkiksi Pimbblet ja Morrell (2024) havaitsivat tutkimuksessaan, että tekoäly (kielimalli GPT-4) pystyy läpäisemään lähes kaikki fysiikan BSc-tutkintoon vaadittavat kirjalliset tehtävät hyvillä arvosanoilla.

Koululaisten ja opiskelijoiden perustaitoihin on alettu vaatia mm. tekoälylukutaitoa (*AI literacy*), johon ovat perehtyneet esimerkiksi Almatrafi, Johri, ja Lee (2024), Annapureddy, Fornaroli, ja Gatica-Perez (2025) ja Valeri ja muut (2025). Olennaisia tekoälyn käyttäjältä vaadittuja taitoja ovat mm. kriittinen arviointi, tehokas kommunikointi ja hyödyntäminen työkaluna. Käyttäjän täytyy pystyä tunnistamaan, ymmärtämään, soveltamaan ja arvioimaan tekoälyn tuottamaa sisältöä ja luomaan itse uutta tekoälyä hyödyntäen. On myös ymmärrettävä, miten tekoälyä käytetään eettisesti oikein. Osana tekoälylukutaitoon kuuluu myös kyky muotoilla kehotteita tarpeen mukaan sekä erottaa tekoälyn luoma sisältö ihmisen tuottamasta materiaalista.

Opetuksen järjestäjien ja oppilaitosten suhtautuminen tekoälyyn vaihtelee huomattavasti niin paikallisesti kuin kansainvälisestikin. Joissakin oppilaitoksissa oppilailta on kategorisesti kielletty tekoälyn hyödyntäminen rangaistuksen uhalla, ja kehittämisen resurssit keskitetään valvontaan ja estämiseen. Toisessa ääripäässä keskitytään mahdollisuuksiin, ja opiskelijoita rohkaistaan luovaan ja vastuulliseen tekoälyn käyttöön. Yleisimmin kuitenkin pyritään tasapainoon uhkien torjumisen ja mahdollisuuksien hyödyntämisen välillä. Myös integraation aste vaihtelee kansainvälisesti minimaalisesta integraatiosta tasolle, jossa tekoälyä hyödyntävät menetelmät ja työkalut on integroitu olennaiseksi osaksi opetusta. Lisäksi tekoälyn vaikutus on huomioitava myös muissa opetuksen haasteissa, kuten resurssien ja laadun vaihtelussa, sisältöjen ja opetusmenetelmien rajoituksissa, opiskelijoiden kuormituksessa tai arvioinnin vaikuttavuudessa. (Salih ja muut, 2025).

2.2 Kehotteen muotoilu

Generatiivisen tekoälyn käyttämää kielimallia ohjataan kehotteella (*prompt*), joka mm. määrittelee tehtävänannon ja kontekstin vastauksen luomisen pohjaksi. Kehotteen muotoilussa (*prompt engineering*) pyritään hallitsemaan kielimallin toimintaa erilaisin keinoin, mm. antamalla olennaisia taustatietoja ja vaatimuksia tai johdattelemalla toivottuun suuntaan. Tutkimuksissa on havaittu, että kehotteen muotoilulla

on merkittävä vaikutus kielimallin tuottaman vastauksen sisältöön. Siksi myös opetuksessa on välttämätöntä harjoitella erilaisia menetelmiä ja tehokkaita strategioita kehotteen muokkaamiseksi käytännön tehtävissä.

2.2.1 Aihepiirin rajaaminen

Tekoälyä hyödyntävissä työkaluissa voi olla erilaisia hallittuja ohjausmekanismeja, mutta erityisesti generatiivisen tekoälyn tapauksessa kielimallin ohjaus tapahtuu lähes yksinomaan kehotteen avulla. Kielimalli luo koulutusmateriaalinsa pohjalta vastauksen käyttäjän antamaan kehotteeseen, joka käytännössä määrittelee ja rajaa koulutusmateriaalista alueen, johon kielimalli keskittyy vastausta luodessaan.

Esimerkiksi Salih ja muut (2025) sekä Walter (2024) ovat kartoittaneet esimerkkejä kielimallien ohjaamisesta opetuksen viitekehyksessä. Yksinkertaisia ja tehokkaita keinoja ovat mm. tavoitehakuiset kehotteet, joissa kielimallille kuvataan selkeä tavoite tai käyttötarkoitus. Kehotteet voi myös jakaa progressiivisesti pieniin osiin, jotta kielimalli etenee vastauksessaan halutulla tavalla. Kielimallille voi myös määritellä erityisen roolin, jossa tämän tulisi toimia. Näitä taitoja kannattaa harjoitella osana opetusta, sillä kielimallien luomien vastausten uskottavuutta täytyy myös oppia itse arvioimaan. Yleisimpiä menetelmiä kehotteen tavoitteelliseen muotoiluun ovat esittäneet mm. Polverini ja Gregorcic (2024a). Näitä kuvataan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

Mikäli kielimallille annettu kehote on yleisluontoinen, myös saatu vastaus on tyypillisesti yleisluontoinen. Yleensä kielimalli kuitenkin päätyy käyttämään rajattua näkökulmaa kehotteen sisältämien sanojen perusteella. Siksi on tärkeää muotoilla kehote niin, että kielimalli päätyy muotoilemaan vastauksensa halutusta näkökulmasta.

Polverini ja Gregorcic (2024a) kuvaavat asteittain etenevien esimerkkien avulla, miten kielimallin voi ohjata kohti haluttua näkökulmaa. Ensimmäinen askel on täsmällisen viitekehyksen eli kontekstin määrittely. Kehotteessa on määriteltävä tarkasti, missä ympäristössä ja mistä näkökulmasta ongelmaa käsitellään. Tämän lisäksi vastaajan roolin määrittely auttaa suuntamaan näkökulmaa, esimerkiksi kehotteessa kielimallia voidaan pyytää vastaamaan kuten fysiikan professori. Kehotteessa ei kuitenkaan kannata antaa liikaa informaatiota, vaan sen tulisi sisältää ainoastaan vastauksen kannalta olennaista tietoa.

2.2.2 Päättelyketju ja johdatteleva keskustelu

Kielimallin voi ohjata etenemään vastaustensa muodostamisella halutulla tavalla (*chain-of-thought, CoT*), kun kehotteessa annetaan erityisiä ohjeita etenemisen suhteen. Menetelmää voi soveltaa erityisesti ongelmanratkaisun apuna, kun halutaan ratkaista useampia ongelmia annetun mallin mukaisesti tai tutkia vaihtoehtoisia malleja annetun ongelman ratkaisemiseksi.

Kehotteessa voidaan antaa esimerkki ratkaisumallista, jota kielimallin toivotaan noudattavan (*one-shot*), tai vastaavasti useampia esimerkkejä (*few-shot*). On myös mahdollista pyytää kielimallia etenemään vastauksensa muodostamisessa vaiheittain perustellen ilman täsmällistä esimerkkitapausta (*zero-shot*). Menetelmästä on olemassa variaatioita, esimerkiksi useamman vaihtoehtoisen perusteluketjun luominen (*tree-of-thoughts*) tai useamman samaan kehotteeseen luodun riippumattoman vastauksen tilastollinen vertailu (*self-consistency*). (Polverini & Gregorcic, 2024a).

Liang ja muut (2023) ovat tutkineet menetelmää, jossa hyödynnetään väittelyä ja kilpailevaa argumentaatiota. Kielimallin avulla voidaan luoda agentteja, jotka luovat ja perustelevat erilaisia etenemistapoja annettuihin tehtäviin. Agenttien välille luodaan väittelytilanne, jossa nämä perustelevat luomiaan ratkaisuja ja argumentoivat toisia kielimallin luomia ratkaisuja vastaan. Menetelmällä pyritään vähentämään ratkaisumallien urautumista (*degeneration-of-thoughts*).

Eräs opettajien yleisesti käyttämä menetelmä on johdatteleva keskustelu, jolla viitataan Sokrateksen tapaan opettaa johdattelevien kysymysten avulla. Samaa menetelmää voi soveltaa myös generatiivisen tekoälyn kanssa, mikäli vastaukset aikaisempiin kehotteisiin eivät ole toivotun kaltaisia.

Gregorcic ja Pendrill (2023) tutkivat johdattelevien kysymysten soveltamista fysikaalisten ongelmien ratkaisemisessa kielimallin GPT-3.5 avulla. Tulokset eivät osoittaneet kovin hyvää suorituskykyä, mutta myöhemmin Gregorcic, Polverini, ja Sarlah (2024) totesivat uudemman kielimallin GPT-4 suoriutuvan huomattavasti paremmin. Opettajalle ChatGPT voisi olla hyödyllinen väline keskustelevan opettamisen harjoitteluun, mutta menetelmää soveltuu myös oppilaille annettavaksi harjoitteeksi.

2.2.3 Kehotteen muotoilu käytännössä

Valeri ja muut (2025) ovat tutkineet menetelmiä miten STEM-aineiden opiskelijat hyödyntävät kehotteen muotoilua käytännössä. Heidän havaintojensa mukaan

opiskelijat osasivat käyttää varsin tehokkaita kehotteita, vaikkeivat ymmärtäneet tekoälyn toimintaperiaatteita eivätkä olleet saaneet opetusta kehotteiden muotoiluun. Kuitenkin Valeri ja muut suosittelevat kielimallien toiminnan ja kehotteen muotoilun sisällyttämistä opetukseen, jotta opiskelijat oppivat käytämään työvalineitä tehokkaasti sekä tulkitsemaan saamiaan vastauksia kriittisesti. Lisäksi oppiaineen perusteiden ymmärtäminen on tärkeää, jotta kielimallilta osataan kysyä järkeviä kysymyksiä ja tekoälyn käyttäminen on aidosti hyödyllistä oppimisen kannalta. Edistyneet opiskelijat voivat hyödyntää tekoälyä myös lisätehtävien antajana.

Cain (2024) on tutkinut kehotteen muotoilun harjoittelemisen vaikutuksia oppimisen tehostamiseen ja havainnut sen erinomaiseksi opetusmenetelmäksi. Aktiivinen toimiminen tekoälyn käyttäjänä parantaa erityisesti kriittisen ajattelun taitoja ja ohjaa opiskelijaa ottamaan enemmän vastuuta oppimisestaan. Walter (2024) esittää vastaavia havaintoja ja suosittelee kehotteen muotoilua sisältävien harjotteiden integroimista opiskeluun.

Tutkimuskirjallisuuden perusteella kehotteen muotoilu on olennaista tekoälylukutaitoon sisältyvää osaamista, jota kannattaa harjoitella myös osana opetusta. Kun generatiivista tekoälyä käytetään suunnitelmallisesti oppimisen apuvälineenä, kehotteen muotoilun harjoitteleminen parantaa ymmärrystä kielimallien toiminnasta sekä tehostaa myös oppisisältöjen syvällistä ymmärtämistä.

2.3 Suorituskyky fysiikan tehtävissä

Vaikka kielimallit kykenevät jäljittelemään ihmisen tuottamaa materiaalia, niiden toimintaperiaatteet eroavat ihmisen luontaisesta ajatusprosessista. Kielimallien suoriutuminen erityisesti päättelyä, käsitteellistä hahmotusta ja ongelmanratkaisukykyä edellyttävissä fysiikan tehtävissä on havaittu puutteelliseksi. Fysiikkaan liittyvät kirjoitustehtävät toisaalta sujuvat kielimalleilta hyvin, mutta graafisen materiaalin tulkitseminen on osoittautunut ongelmalliseksi. Kielimallien suorituskyky on kuitenkin kehittynyt nopeasti, ja tutkimusta on siksi tarpeen jatkaa uusien kielimallien julkaisemisen myötä.

2.3.1 Kielimallin päättelykyky

Generatiivinen tekoäly jäljittelee ihmisen tapaa tulkita ja tuottaa tekstiä. Niinpä käyttäjä helposti kuvittelee sen toimivan kuten ihminen, vaikka todellisuudessa kielimalli on vain sanoja prosessoiva tietotekninen sovellus. Fysiikan tehtävissä

looginen päättely on tärkeässä roolissa, ja myös kielimallit imitoivat ihmisen päättelyä fysiikan tehtäviä ratkaistessaan. On kuitenkin ymmärrettävä, että kyseessä ei ole todellinen päättely samalla tavalla kuin ihmiset sen tekevät.

Muun muassa Ghaffari ja Krishnaswamy (2024) ja Polverini ja Gregorcic (2024a) ovat tutkineet kielimallien kykyä ratkaista fysikaalista päättelyä vaativia ongelmia ja todenneet, että nämä pystyvät osoittamaan tietoa yksittäisistä asioista mutta eivät useinkaan kykene muodostamaan ratkaisuja monimutkaisiin ongelmiin. Tämä johtuu mm. siitä, että kielimalli ei ajattele vaan tuottaa tilastollisilla menetelmillä tekstiä, jota ihminen todennäköisesti tuottaisi vastatessaan samaan kehotteeseen (Floridi & Chiriatti, 2020). Kielimallien tuottama teksti sisältää tyypillisesti samoja vinoumia kuin niiden koulutukseen käytetty materiaali, eivätkä ne tarkista tiedon paikkansapitävyyttä ja saattavat siten antaa väärää tietoa (Bang ja muut, 2023; Gallegos ja muut, 2024; Shen, Chen, Backes, & Zhang, 2023). Kielimalli ei myöskään osaa laskea tai arvioida laskutehtävän lopputulosta, mutta ne voivat hyödyntää lisäosia esimerkiksi laskemiseen ja generoimansa python-koodin suorittamiseen (Davis, 2024).

(Polverini & Gregorcic, 2024a) ovat kielimallien fysikaalista päättelyä koskevissa tutkimuksissaan havainneet varsin epäjohdonmukaista ja epätäsmällistä argumentointia. Mahdollinen syy tähän on, että ihminen käyttää päättelyn tukena myös muita havainto- ja tietolähteitä kuin kirjoitettua tekstiä. Kielimalli puolestaan ei vertaa tuottamaansa tekstiä tosielämän havaintoihin. Kuitenkin ihminen luonnollisesti olettaa keskustelukumppaninsa ajattelevan ja toimivan kuin ihminen, vaikka tietäisi keskustelevansa kielimallin kanssa. Tosin edellä mainitut tutkimukset on tehty pääasiassa vanhemmilla kielimalleilla, kuten GPT-3 ja GPT-3.5. Gregorcic ja Pendrill (2023) havaitsivat kielimallin GPT-3.5 fysikaalisen päättelykyvyn heikoksi ja toiminnan muutenkin epäjohdonmukaiseksi. Uudempien tutkimusten mukaan kielimalli GPT-4 suoriutuu huomattavasti paremmin fysikaalisessa päättelyssä, vaikka siinäkin edelleen havaittiin eroja ihmisen päättelyyn verrattuna (Dos Santos, 2023; Gregorcic & Polverini, 2024).

Tärkeä havainto edellä viitatuissa tutkimuksissa on, että niissä on myös selvitetty kehotteen muotoilun vaikutusta kielimallin tuottamiin vastauksiin. Kielimallista riippumatta näiden tuottamat vastaukset ovat poikkeuksetta parantuneet muotoilemalla kehotetta tarkoituksenmukaisemmaksi. Toisaalta uudemmat kielimallit ovat havaintojen mukaan pystyneet paikkaamaan monia edeltäjiensä puutteita, ja esimerkiksi kielimallien GPT-3.5 ja GPT-4 välillä on havaittu merkittävää parannusta. Tästä

syystä jatkotutkimukselle nähdään tarvetta uusien kielimallien ilmestymisen myötä. On myös tärkeää ymmärtää, väheneekö vai lisääntyykö kehotteen muotoilun merkitys kehittyneempien kielimallien myötä.

2.3.2 Käsitteellinen hahmottaminen

Erilaisten käsitteellisten testien (concept inventory) teettäminen on yksinkertainen ja vertailtavissa oleva keino mitata kielimallien kyvykkyyttä hahmottaa fysikaalisia käsitteitä (Polverini & Gregorcic, 2024a). Eräs tunnetuimmista käsitteellisistä kyselyistä tunnetaan nimellä Force Concept Inventory (Hestenes, Wells, Swackhamer, ja muut, 1992). Kielimallin GPT-3.5 on havaittu saavan kyselyn vastauksista 50-60% oikein, mikä vastaa aloittelevan opiskelijan tasoa (West, 2023b). Uudempi kielimalli GPT-4 suoriutui paremmin ja sai vastauksista 90–100% oikein. Vastausten välillä oli myös vähemmän hajontaa verrattuna aikaisemmalla mielimallilla tehtyihin tutkimuksiin (West, 2023a).

Sato (2024) on vertaillut eri kielimallien suorituskykyä liikemäärän säilymislain selittämisessä. Tässäkin tutkimuksessa havaittiin, että uudemmat kielimallit menestyvät vanhoja paremmin, mutta siltikin kielimalli tarvitsee onnistuakseen ammattilaisen opastusta. On kuitenkin havaittu, että uudempien kielimallien avulla tekoäly menestyy kirjallisissa kokeissa ja testeissä paremmin kuin opiskelijat keskimäärin.

Kielimallien kyky ottaa vastaan ja tulkita graafista materiaalia on helpottanut merkittävästi generatiivisen tekoälyn soveltamista. Kuitenkin kielimallien tekemissä tulkinnoissa graafisen materiaalin perusteella on havaittu ongelmia erityisesti fysiikan tehtävien yhteydessä. Polverini ja Gregorcic (2024b) ovat havainneet kielimalleja koskevissa tutkimuksissaan virheellisiä graafisia tulkintoja siitäkin huolimatta, että kielimalli saattaa perustella fysikaalisia johtopäätöksiä sanallisesti oikein. Myös Kortemeyer, Babayeva, Polverini, Gregorcic, ja Widenhorn (2025) ovat havainneet kielimallien suorituskyvyn olevan heikompi kuvien tulkintaa vaativissa testeissä, kun niitä verrataan puhtaasti tekstiin perustuviin testeihin.

Sekä käsitteellinen hahmottaminen että graafisen materiaalin, kuten kuvaajien ja kaavioiden tulkitseminen ovat fysiikan opiskelussa ensiarvoisen tärkeitä taitoja. Tutkimuskirjallisuudessa on havaittu, että kielimalleilla on haasteita näissä tehtävissä, mutta toisaalta kehitys kielimallien eri versioiden välillä on ollut merkittävää ja kehityksen voi olettaa jatkuvan edelleen nopeana.

2.3.3 Kirjoitustehtävät ja ongelmanratkaisu

Opiskelijat tyypillisesti hyödyntävät tekoälyä kirjoittamisen apuvälineenä. Kirjoitusprosessin alkuvaiheessa tekoälyä käytetään olennaisten asioiden koostamiseen, organisointiin ja luonnosten tuottamiseen. Myöhemmässä vaiheessa tyypillisiä käyttökohteita ovat mm. kielen selkeyttäminen, lainausten muotoilu ja tekstin viimeistely. Lisäksi tekoälyä hyödynnetään kirjallisuusselvityksissä, esimerkiksi lähdekirjallisuuden etsimisessä ja avainsanojen määrittelyssä. Myös tiivistelmien kirjoittaminen, yhteenvetotaulukoiden luominen ja eri lähteiden vertailu on havaittu kielimalleille luonteviksi tehtäviksi. (Salih ja muut, 2025).

Fysiikan aihepiiriin kuuluvissa kirjoitustehtävissä kielimallien suorituskyky on kuitenkin toistaiseksi osoittautunut lähinnä keskinkertaiseksi. Kortemeyer (2023) selvitti, että kielimalli GPT-3.5 sai fysiikan perustason kirjallisista koetehtävistä noin puolet oikein, vaikka monivalinta- ja ohjelmointitehtävistä onnistui n. 90%. Lisäksi saman kielimallin on havaittu menestyvän hyvin fysiikan historian ja filosofian essee-tehtävissä (Yeadon, Inyang, Mizouri, Peach, & Testrow, 2023).

Yliopistotason kirjoitustehtävissä myöskään uudempi kielimalli GPT-4 ei ole yltänyt keskinkertaista parempaan suorituskykyyn (Yeadon & Halliday, 2023; Yeadon & Hardy, 2024), mutta kielimallin GPT-4 kirjoittamia fysiikan esseitä ei kuitenkaan ole helppo erottaa opiskelijoiden kirjoittamista vastauksista (Yeadon, Agra, Inyang, Mackay, & Mizouri, 2024). Kun Sirnoorkar ja muut (2024) vertailivat opiskelijoiden ja tekoälyn vastauksia fysiikan ongelmanratkaisussa, kielimallit noudittavat selkeää tieteellistä rakennetta kun taas opiskelijoiden vastaukset olivat iteratiivisempia ja käytännönläheisempiä.

Bogireddy ja Dasari (2024) ovat tutkineet kielimallien suorituskykyä erityyppisillä tehtävillä, joissa mitataan kykyä tehdä yhteenvetoja teksteistä, analysoida tietoj ja vastata kysymyksiin. Tutkimuksessa havaittiin kielimallin GPT-4 suoriutuvan tehtävistä varsin hyvin. Pimbblet ja Morrell (2024) ovat mitanneet kielimallin GPT-4 kykyä ratkaista fysiikan kandidaatin (B.Sc.) tutkinnon koetehtäviä. Kielimallin suorituskyky havaittiin erinomaiseksi ohjelmoinnissa sekä yksivaiheisissa tehtävissä. Toisaalta monivaiheiset tehtävät ja pitkät esseevastaukset olivat haastavampia.

Tutkimuskirjallisuus rajoittuu toistaiseksi kielimalleihin GPT-3.5 ja GPT-4. Tulokset ovat osoittaneet, että GPT-4 suoriutuu sekä kirjoitustehtävistä että fysiikan ongelmanratkaisua vaativista tehtävistä selvästi edeltäjiään paremmin. On siis syytä olettaa, että tälläkin alueella kielimallien suorituskyky kehittyy edelleen.

2.4 Sovelluksia fysiikan opetuksessa

Käytännössä tekoälyä voivat hyödyntää sekä opiskelijat että opettajat. Opiskelijalle generatiivinen tekoäly soveltuu tyypillisesti apuvälineeksi tukemaan opiskelua, mutta erityisesti fysiikan käsitteiden ja ongelmanratkaisun oppimisessa kielimallit voivat toimia myös keskustelukumppaneina tai tutor-opettajina. Opettajat puolestaan voivat hyödyntää teköälyä esimerkiksi arvioinnin apuna. Toisaalta kielimallit soveltuvat keskustelukumppaneiksi myös opettajille, esimerkiksi mallintamalla opiskelijaa opettamisen harjoittelussa. Generatiivisen tekoälyn integrointi opetukseen ei kuitenkaan ole vielä edennyt kovin pitkälle eikä käytännön kokemuksista ole juurikaan tutkimustuloksia.

2.4.1 Opiskelun apuväline

Valeri ja muut (2025) ovat havainneet generatiivisen tekoälyn soveltuvan oppimista tehostavaksi työvälineeksi, jota opiskelija voi hyödyntää esimerkiksi käsitteellisen ymmärtämisen parantamiseksi tai kokeisiin kertaamisen apuna. Tyypillisesti opiskelijat käyttävät kielimalleja myös lähdekirjallisuuden hakemisessa ja koostamisessa sekä tekstimateriaalin tiivistämisessä ja omien tekstien korjaamisessa. Valeri ja muut toteavat myös, että STEM-aineiden opiskelijat ovat kokeneet generatiivisen tekoälyn käyttämisen edistävän käsitteellisen hahmottamisen kehittymistä.

Suurelta osin opiskelijat käyttävät tekoälyä itsenäisesti, eikä näillä apuvälineillä useinkaan ole virallista roolia opetuksessa. Polverini ja Gregorcic (2024a) sekä Valeri ja muut (2025) kuitenkin esittävät, että opiskelijoiden ymmärrystä kielimallien toiminnasta sekä kehotteen muotoilusta tulisi suunnitelmallisesti kehittää osana opetusta. Tutkimuskirjallisuudessa on muutenkin laajasti havaittu tarvetta lisätä generatiivisen tekoälyn käyttöä opetuksessa, mutta konkreettisia esimerkkejä on vielä varsin niukasti. Tufino (2025) on kehittänyt erityisiä harjotteita kielimallien toimintaperiaatteiden opettamiseksi python-ohjelmointiin perustuvilla harjoituksilla ja havainnut niiden syventävän paitsi kielimallien tuntemusta, myös opetettavan aineen sisältöjen osaamista.

Kielimallien tuottamien vastausten luotettavuus on parantunut niiden fysikaalisen päättelykyvyn kehittyessä. Niinpä on oletettavissa, että tekoälyyn perustuvien tutor-sovellusten saatavuus kasvaa lähitulevaisuudessa merkittävästi (Polverini & Gregorcic, 2024a). Muun muassa Jiang ja Jiang (2024) ovat tutkineet tekoälyn suorittaman tutoroinnin vaikutuksia opiskelijoiden oppimistuloksiin. Tutkimuksessa havaittiin

monimutkaisten ongelmien ratkaisukyvyn ja tehokkuuden parantuneen, kun tutorointi perustui vaiheittaiseen opastukseen ja oppimisen reflektioon. Tutorointi kehitti myös opiskelijoiden kriittistä ajattelua ja abstraktien käsitteiden ymmärtämistä.

Suunnitelmallisen tutoroinnin lisäksi tekoälyä voi hyödyntää myös vertaisopiskelijan mallina (Polverini & Gregorcic, 2024a). Näin opiskelija saa harjoitusta kriittisestä ajattelusta ja pystyy kehittämään omia ajattelun prosessejaan esittämällä kielimallille kysymyksiä. Tekoäly voi myös avustaa opiskelijaa ongelmanratkaisussa. Tällainen käyttötapa kuitenkin edellyttää kehittynyttä kehotteen muotoilua, jota tutkijoiden mukaan tulisikin opettaa ja harjoitella runsaasti.

Toistaiseksi tutkimuskirjallisuus on keskittynyt melko yleisluontoisesti tekoälyn soveltamisen vaikutuksiin opetuksessa. Kuitenkin esimerkiksi Valeri ja muut (2025) toteavat, että yleisluontoinen tutkimus ei vielä anna kovin tarkkaa tietoa tekoälyn vaikutuksista oppimiseen ja tulevaisuudessa tutkimusta tulisi suunnata yksityiskohtaisemmin rajattuihin aiheisiin.

2.4.2 Opiskelijan mallintaminen ja arvioinnissa avustaminen

Myös opettaja voi hyödyntää generatiivista tekoälyä keskustelukumppanina. Gregorcic ja muut (2024) sekä Gregorcic ja Polverini (2024) ovat tutkineet kielimallien käyttökelpoisuutta opiskelijan mallina, mikäli opettaja haluaa harjoitella ohjaavien kysymysten esittämistä. Tutkimuksissa todettiin generatiivisen tekoälyn soveltuvan harjoitteluvälineeksi opettajankoulutuksessa. Toisaalta Polverini ja Gregorcic (2024a) ovat todenneet, että kielimallien tapa esittää perusteluja ja johtopäätöksiä on hyvin erilaista kuin opiskelijoilla. Kysymysten esittäminen kielimallille kuitenkin harjaannuttaa etsimään epäloogisia johtopäätöksiä muuten uskottavasti muotoillusta tekstistä. Myös Sirnoorkar ja muut (2024) ovat havainneet, että kielimallien ja opiskelijoiden vastaukset fysiikan tehtäviin ovat erityyppisiä.

Kielimallit voivat säästää merkittävästi opettajan työaikaa avustamalla arvioinnissa, ja samalla myös arvioinnin vaikuttavuus voi parantua. Wan ja Chen (2024) ovat tutkineet generatiivisen tekoälyn kirjoittamia palautteita opiskelijoiden vastauksiin. Havaintojen mukaan tekoälyn kirjoittama palaute oli ihmisen kirjoittamaa palautetta hyödyllisempää opiskelijoille. Tekoälyn muotoilemaa palautetta ei myöskään erottanut ihmisen antamasta, ja toimivaan kehotteeseen tarvittiin vain muutama esimerkkivastaus.

Mok ja muut (2024) ovat vertailleet eri kielimallien suoriutumista fysiikan tehtävien

arvioinnissa ja havainneet arvioinnin laadun korreloivan kielimallin ongelmanratkaisukyvyn kanssa. Erillisen arviointiohjeen huomattiin parantavan arvioinnin laatua merkittävästi, mutta kielimallit eivät tunnistaneet kovin hyvin vaihtoehtoisia ratkaisumalleja ja saattoivat joskus hyväksyä myös virheellisiä vastauksia.

Kortemeyer ja Nöhl (2024) ovat arvioineet tekoälyn avustaman fysiikan kokeiden arvioinnin luotettavuutta psykometrian ja vastausteorian avulla. Myös tässä tutkimuksessa havaittiin huolellisesti valmistellun arviointiohjeen parantavan arvioinnin tarkkuutta. Tekoäly voi tehostaa merkittävästi suurten koemäärien arviointia, mutta ihmistä kuitenkin tarvitaan varmistamaan monimutkaisten tehtävien arvioinnin onnistuminen. Ongelmiksi todettiin mm. käsinkirjoituksen ja kuvien tunnistaminen sekä monimutkaisten ratkaisupolkujen seuraaminen. Tekoälyn suorittama arviointi on mekaanista, eikä se huomioi opiskelijan suoriutumista kokonaisuutena. Monissa tapauksissa tekoäly kuitenkin pystyisi antamaan oppimista tukevaa palautetta opiskelijalle jopa paremmin kuin ihminen.

2.4.3 Tekoälyn integrointi opetukseen

Salih ja muut (2025) ovat selvittäneet kansainvälisesti koulutuksen järjestäjien suhtautumista tekoälyn hyödyntämiseen opetuksessa ja tulkinneet myös integraation astetta tutkimusmateriaalin perusteella. Tutkimus kuitenkin käsittelee tekoälyn integraatiota varsin laajasti koulutuksen järjestämisen näkökulmasta, eikä tutkimuksessa juurikaan oteta kantaa opetusmenetelmiin. Valeri ja muut (2025) puolestaan ovat tutkineet opiskelijoiden käyttötapoja ja koettuja hyötyjä tekoälyn hyödyntämisestä. Tutkimus ei kuitenkaan nosta esiin tekoälyn suunnitelmallista käyttöä opetuksessa, mutta johtopäätöksissä suositellaan muun muassa kielimallien toiminnan opettelemista sekä kehotteen muotoilun harjoittelemista opetuksen yhteydessä.

Polverini ja Gregorcic (2024a) esittävät useita tapoja soveltaa generatiivista tekoälyä fysiikan opetuksessa, esimerkiksi tutor-opettajan tai vertaisopiskelijan roolissa, ja korostavat kehotteen muotoilun merkitystä. Myös Cain (2024), Walter (2024) sekä Valeri ja muut (2025) suosittelevat sisällyttämään konkreettisia harjoitteita kehotteen muotoilun opiskelemiseen, sillä sen on havaittu edistävän ymmärrystä kielimallien toiminnasta ja myös tehostavan opiskeltavan aineen sisältöjen oppimista. Konkreettisia esimerkkejä tekoälyä hyödyntävistä opetusmenetelmistä on kuitenkin vain muutamia, esimerkiksi Jiang ja Jiang (2024) tai Tufino (2025), ja tältä osin tutkimuskirjallisuutta kannattaakin seurata tulevaisuudessa tarkasti.

Tässä työssä generatiivisen tekoälyn integrointia fysiikan opetukseen tarkastellaan erityisesti opetusmenetelmien näkökulmasta. Tutkimuskirjallisuuden havainnot laajojen kielimallien suorituskyvystä ja hyödyllisyydestä kannustavat kehittämään uudenlaisia opetusmenetelmiä, joissa generatiivisella tekoälyllä on olennainen tehtävä oppimisen edistämisessä. Kuitenkaan kirjallisuudessa ei vielä ole raportoitu tekoälyn laajamittaisesta integroinnista opetukseen lukuunottamatta muutamia yksittäisiä kehityshankkeita.

3 Menetelmät ja aineisto

3.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskirjallisuudesta tehtyjen johtopäätösten mukaan laajojen kielimallien kehitys on ollut viime vuosien aikana nopeaa ja myös suorituskyky fysikaalisessa ongelmanratkaisussa on kehittynyt nopeasti. Tutkimus- ja julkaisuprosessien vaatiman ajan vuoksi saatavilla olevat julkaisut eivät kuitenkaan käsittele kaikkein uusimpia kielimalleja. Tästä huolimatta kielimallien toimintaperiaatteista sekä kehotteen muotoilun keinoista on saatavilla kattavaa tutkimustietoa. Generatiivisen tekoälyn soveltamista fysiikan opetuksessa on käsitelty yleisellä tasolla, mutta tekoälyä hyödyntäviä opetusmenetelmiä ei ole vielä tutkittu laajassa mittakaavassa. Tämän työn kannalta kiinnostavat tutkimuskysymykset keskittyvät nykyisten kielimallien suorituskykyyn lukion fysiikan sisällöissä sekä tekoälyn hyödyntämiseen käytännön tasolla lukion fysiikan opetuksessa.

3.1.1 Johtopäätöksiä tutkimuskirjallisuudesta

Laajojen kielimallien suorituskykyä fysikaalisessa päättelyssä ja ongelmanratkaisussa on tutkittu kattavasti kielimalleilla GPT-3.5 sekä GPT-4. Tutkimuskirjallisuuden havainnot näiden kielimallien eroista osoittavat johdonmukaisesti, että GPT-4 suoriutuu merkittävästi edeltäjäänsä paremmin fysiikan käsitteellistä ymmärrystä mittaavista testeistä sekä yksinkertaisista harjoitustehtävistä. Kuitenkin monivaiheista päättelyä tai graafisen materiaalin tulkintaa edellyttävät tehtävät ovat olleet haastavia myös kielimallille GPT-4, vaikka suorituskyky vanhempiin kielimalleihin nähden onkin parantunut. Tämän työn tekemisen aikana saatavilla oleva tutkimuskirjallisuus ei kuitenkaan vielä käsittele uusimpia käytettävissä olevia kielimalleja, mutta aiempien havaintojen perusteella näiden voisi olettaa suoriutuvan paremmin myös monivaiheisesta fysikaalisesta päättelystä tai graafisen materiaalin analyysistä.

Kehotteen muotoilun merkitystä kielimallien ohjaamisessa korostettiin monessa julkaisussa. Tutkimusten havainnot osoittivat lähes poikkeuksetta, että kielimallien tekemät väärät fysikaaliset tulkinnat voidaan korjata oikeiksi kehotetta muokkaamalla, mikäli käyttäjällä on itsellään riittävät perustiedot käsiteltävästä aihepiiristä. Tekoälyn hyödyntämisen oppimisvaikutuksia käsittelevissä tutkimuksissa suositeltiin yhdenmukaisesti lisäämään kehotteen muotoilua sisältäviä harjoituksia STEM-aineiden opetukseen, ja esitetyt sovellukset vastaavista menetelmistä osoittivat positiivisia vaikutuksia oppimistuloksiin. Suurin osa julkaisuista kuitenkin käsitteli asiaa ylei-

sellä tasolla, ja käytännön sovelluksia tekoälyä hyödyntävistä opetusmenetelmistä esitettiin vasta muutamissa julkaisuissa.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella voidaan todeta, että tekoälyn hyödyntäminen oppimisen tukena kiinnostaa laajasti mutta sen integrointi opetukseen on vasta alkuvaiheessa. Opiskelijat ovat ottaneet uudet työvälineet käyttöönsä hyvin nopeasti ja itsenäisesti, ja myös opettajat ovat havainneet tekoälyn hyödyttävän oman työnsä kehittämistä. Kuitenkaan tekoälyä ei hyödynnetä kovin laajasti opetuksessa niin, että opiskelijat ja opettajat käyttäisivät tekoälysovelluksia yhteisesti ja suunnitelmallisesti. Osaltaan tähän voi vaikuttaa opetuksen järjestäjien vaihteleva suhtautuminen ja epätietoisuus tekoälyn hyödyistä ja haitoista.

3.1.2 Tutkimuskysymysten muotoilu

Teoreettisesta tarkastelusta esiin nousee tarve selvittää, miten hyvin nykyisin käytössä olevat kielimallit soveltuisivat fysiikan opetukseen ja millaista osaamista generatiivisen tekoälyn tehokas hyödyntäminen edellyttää opiskelijoilta. On myös tarpeen pohtia konkreettisia soveltamistapoja, mikäli tekoälysovelluksia halutaan integroida osaksi lukio-opetusta. Tämän pohjalta voidaan muotoilla kolme erillistä tutkimuskysymystä seuraavasti:

TK-1 Sisältöjen hallinta: Pyritään selvittämään, kuinka hyvin kielimallit hallitsevat käsiteltävät oppisisällöt ja ovatko vastaukset luotettavia.

TK-2 Oppimisen tukeminen: Pohditaan tekoälyn hyötyjä ja järkeviä käyttötapoja, kun sen avulla pyritään tukemaan lukion opiskelijoiden oppimista.

TK-3 Vaadittava osaaminen: Tunnistetaan perustietoja ja taitoja, joita opiskelijalta vaaditaan generatiivisen tekoälyn hyödyntämiseksi oppimisen tukena.

3.2 Aiheen rajaus

Työn tavoitteena on siis selvittää edellä mainittujen tutkimuskysymysten pohjalta, miten generatiivista tekoälyä kannattaa hyödyntää fysiikan opetuksessa lukiotasolla. Tutkittavaksi työkaluksi on valittu yleisimmin tunnettu ja laajimmin käytetty ChatGPT-sovellus. Oppisisältöjen osalta aihepiiri rajataan käsittelemään lukion fysiikan moduulia ”FY4 Voima ja liike”.

3.2.1 Generatiivinen tekoäly

Tässä työssä keskitytään generatiiviseen tekoälyyn, joka hyödyntää laajalla materiaalilla etukäteen koulutettua kielimallia. Tällainen työkalu on tyypillisesti keskustelupohjainen, jossa käyttäjä muotoilee vapaasti kehotteen ja kielimalli tuottaa tähän tekstimuotoisen vastauksen. Nykyiset kielimallit voivat tuottaa tekstin lisäksi myös matemaattisia kaavoja, ohjelmakoodia, taulukoita, diagrammeja ja kuvia.

Tutkimuskohteeksi on valittu ChatGPT, joka on ensimmäinen suurelle yleisölle esitelty ja edelleen ylivoimaisesti suosituin generatiivista tekoälyä hyödyntävä sovellus. Käytännössä lähes kaikki opiskelijat tuntevat ChatGPT:n ja ovat myös käyttäneet sitä eri tarkoituksiin.

Työssä verrataan keskenään ChatGPT:n käyttämiä kielimalleja, joita työn tekohetkellä olivat GPT-4o, GPT-4.5, GPT4, o1 ja o3-mini. Pääasiassa kuitenkin keskitytään ChatGPT:n oletuskielimalliin GPT-4o.

Kiinnostuksen erityisenä kohteena on tekoälyn hyödyntäminen oppimisen tukena. Aihetta tarkastellaan lukion oppilaan näkökulmasta ja sen käsittelyssä rajoitutaan fysiikan sisältöjen oppimiseen sekä ongelmanratkaisuun. Vaikka opiskelijat voivat hyödyntää tekoälyä myös tiedonhaussa ja kirjoittamisessa, tässä työssä keskitytään fysiikan tehtävien ratkaisemiseen.

3.2.2 Fysiikan sisällöt

Työn kiinnostavuuden kannalta ei ole suurta merkitystä, mikä fysiikan osa-alue valitaan tutkimuksen kohteeksi. Kielimallien koulutusmateriaali oletettavasti kattaa kaikki lukion fysiikassa käsiteltävät sisällöt, eikä näiden välillä todennäköisesti ole merkittäviä eroja.

Tutkimuksen tavoite on selvittää tekoälyn suoriutumista tyypillisissä fysiikan tehtävissä. Tarkoitus ei ole verrata suorituskykyä eri sisältöjen välillä. Siksi tutkimuksen aihepiiri kannattaa valita niin, että se kuvastaa lukion fysiikan tyypillisiä piirteitä ja on työn lukijalle riittävän tuttua.

Tässä työssä on päätetty keskittyä voimaan ja liikkeeseen, joita käsitellään lukion fysiikan moduulissa ”FY4 Voima ja liike”. Valinnan perusteena on, että työn lukija todennäköisesti tuntee tämän osa-alueen riittävän hyvin voidakseen arvioida itsekin tekoälyn tuottamien vastausten mielekkyyttä.

3.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmänä käytetään ylioppilaskokeiden tehtävien ratkaisua tekoälyn avulla. Ratkaisujen tuottamisessa verrataan eri kielimallien suoriutumista ja muokataan kehotetta eri menetelmillä, kunnes vastaus on riittävän hyvä saadakseen täydet pisteet. Tekoälyn tuottamia vastauksia arvioidaan tutkimuskysymysten mukaisesti ja niitä tarkastellaan ensisijaisesti oppilaan näkökulmasta. Pohdintaa kuitenkin laajennetaan koskemaan myös opettajan ja opetuksen järjestäjän näkökulmia.

3.3.1 Tehtävien ratkaisu

Tekoälylle annetaan ratkaistavaksi fysiikan tehtäviä, jotka mittaavat tiettyjen oppiaineelle ominaisten tietojen ja taitojen osaamista. Tehtävät on valittu ylioppilaskokeista vuosilta 2019–2021 koskien lukion fysiikan moduulin ”FY4 Voima ja liike” sisältöjä. Tutkimukseen on pyritty valitsemaan tehtäviä, jotka edustavat moduulin sisältöjä mahdollisimman monipuolisesti.

Tehtävä esitetään aina ensin alkuperäisessä muodossaan, ja siihen pyydetään useampia toisistaan riippumattomia vastauksia. Ensimmäisten vastausten perusteella tekoälyä ohjataan kohti toivottua ratkaisua täsmentämällä tehtävänantoa. Tavoitteena on saada kehotetta muokkaamalla aikaan ratkaisu, josta voi saada ylioppilastutkintolautakunnan arviointiohjeiden mukaisesti täydet pisteet.

Tutkimusaineiston valintaa on käsitelty tarkemmin kappaleessa 3.4.

3.3.2 Kielimallit

Käytössä oli ChatGPT:n maksullinen Plus-tilaus, jossa on käytössä ilmaisversioon verrattuna enemmän kapasiteettiä sekä useampia kielimalleja. Muuten käytettävyys on samanlainen kuin ilmaisversiossa. Plus-tilauksen hinta oli tämän työn tekemisen hetkellä noin 23 euroa kuukaudessa.

Työssä käytetään kaikkiaan viittä erilaista OpenAI:n kehittämää kielimallia, jotka olivat saatavilla ChatGPT:n Plus-tilauksessa. Seuraavat kuvaukset tutkituista kielimalleista vastaavat työn tekemisen ajankohtaa, eli vuoden 2025 huhtikuuta:

GPT-4o on ChatGPT:n oletuskielimalli. Se pystyy analysoimaan tekstiä sekä kuvia ja tuottamaan mm. tekstiä, ohjelmakoodia, matemaattisia kaavoja, taulukoita, piirroksia ja kuvia. Kielimalli voi käyttää erilaisia ulkoisia ohjelmakirjastoja ja tuottaa pyydettäessä tiedostoja useassa eri formaatissa.

GPT-4.5 on uusin kielimalli, joka oli työn tekemisen hetkellä saatavilla vain maksullisissa tilauksissa pian käytettävissä myös ilmaisversiossa. Kielimalli on monelta osin samankaltainen kuin GPT-4o, mutta se on tarkoitettu pääasiassa tekstin analysoimiseen ja tuottamiseen.

GPT-4 on vanha kielimalli, joka kuitenkin monissa 2024 tai 2025 julkaistuissa tutkimuksissa edustaa uusinta käytettävissä olevaa kielimallia. ChatGPT:n ilmaisversiosta GPT-4 poistunee kokonaan lähiaikoina.

o1 on päättelevä kielimalli, joka käyttää runsaasti laskentakapasiteettia vastausten tuottamiseen. Se tuottaa useita peräkkäisiä vastauksia, joiden perusteella tuotetaan lopullinen vastaus. Käyttäjä näkee vain lopullisen vastauksen, mutta päättelyketjua voi halutessaan tarkastella pintapuolisesti.

o3-mini on kevyt päättelevä kielimalli, joka toimii samalla periaatteella kuin o1 mutta käyttää huomattavasti vähemmän laskentakapasiteettia.

Kielimallien tuottamien vastausten sisäistä vaihtelua tutkitaan pyytämällä 4 tai 8 erillistä vastausta samaan kehotteeseen. Vastaukset on pyydetty ”yritä uudelleen” -toiminnolla, joten niissä on saatettu hyödyntää käyttäjän historiaa. Täysin riippumattomien vastausten hankkiminen edellyttäisi toimintaa kirjautumattomana niin, että jokaisen vastauksen jälkeen tyhjennetään selaimen välimuisti ja aloitetaan uusi keskustelu. Tässä työssä on tyydytty yksinkertaisempaan toimintatapaan, joka ei välttämättä tuota täysin toisistaan riippumattomia vastauksia.

3.3.3 Kehotteen muokkaus

Jokaisen tehtävän osalta ChatGPT:lle annetaan kehotteeksi ylioppilaskokeen alkuperäinen tehtävänanto liitteineen. Joissakin tapauksissa liitteen sisältämä tieto saatetaan antaa myös kehotteessa, kunhan kielimalli saa käyttöönsä saman informaation kuin ylioppilaskoetta suorittava kokelas. Mikäli vastauksesta ei voi antaa täysiä pisteitä ylioppilastutkintolautakunnan arviointiohjeiden mukaisesti, kehotetta muokataan seuraavassa kuvatuilla menetelmillä:

1. Kontekstin antaminen

   Mikäli vastauksen muotoilu ei noudata ylioppilaskokeiden yleisiä vaatimuksia, uudessa kehotteessa kuvataan vaatimuksia, joita ylioppilaskokeen vastauksilta odotetaan. Näin varmistetaan, että kielimallilla on käytössään sama tieto toimintaympäristöstä kuin ylioppilaskoetta suorittavalla kokelaalla.

2. Päättelyketju

   Jos vastauksessa on virheitä tai siitä puuttuu oleellisia näkökulmia, kehotteessa voidaan ohjata pohtimaan ensin tarvittavia taustatietoja ennen lopullisen vastauksen muodostamista.

3. Johdonmukaisuuden itsearviointi

   Joissakin tapauksissa kielimallille ei eksplisiittisesti osoiteta vastauksessa olevia virheitä, vaan kehotteessa pyydetään tarkastelemaan edellistä vastausta kriittisesti ja etsimään siitä epäjohdonmukaisuuksia.

4. Kysymyksillä ohjaaminen

   Mikäli kielimalli ei tunnista omia virheitään, niihin kiinnitetään huomiota esittämällä neutraaleja kysymyksiä vastauksen virheellisiin kohtiin liittyen.

3.3.4 Analyysi ja tarkastelun näkökulma

ChatGPT:n tuottamia vastauksia koetehtäviin arvioidaan ensisijaisesti kappaleessa 3.1 esitettyjen tutkimuskysymysten mukaisesti:

TK-1 Sisältöjen hallinta

- Käytetäänkö fysiikan käsitteitä oikeaoppisesti?
- Ovatko vastaukset fysikaalisesti perusteltuja?
- Ovatko perustelut johdonmukaisia?
- Onko vastauksissa virheitä?

TK-2 Oppimisen tukeminen

- Ovatko vastaukset luotettavia?
- Onko tekoälyn käytöstä hyötyä oppimisen näkökulmasta?
- Mikä olisi soveltuva käyttötapa opiskelijalle?

TK-3 Vaadittava osaaminen

- Mitä taustatietoja opiskelijalta vaaditaan?
- Pystyykö opiskelija arvioimaan vastausten sisältöä?
- Miten kehote kannattaisi muotoilla?

Ensisijaisesti tutkimuskysymyksiä tarkastellaan oppilaan näkökulmasta. Generatiivisen tekoälyn käyttöä pohdittaessa kiinnitetään huomiota mm. käytettävyyteen ja hyödyllisyyteen. Tavoitteena on löytää tekoälylle käyttötapoja, jotka tehostavat oppimista. Samalla on myös pyrittävä minimoimaan mahdolliset haittavaikutukset.

Toissijaisesti pohdintaa laajennetaan myös opettajan näkökulmaan. Tekoäly vaikuttaa väistämättä opetuksen suunnitteluun ja pakottaa pohtimaan tarkemmin oppilaille annettavien tehtävien muotoilua. Tavoitteena on edistää tekoälyn suunnitelmallista hyödyntämistä fysiikan opetuksessa.

Kolmantena näkökulmana huomioidaan vielä opetuksen järjestäjä, joka tarkoittaa käytännössä oppilaitoksen johtoa tai kunnan koulutuksesta vastaavaa toimialaa. Opetuksen järjestäjän tulee pyrkiä minimoimaan haittavaikutusia ja kehittää oppimista tukevia työkaluja. On myös annakoitava tekoälyn vaikutuksia opetussuunnitelmaan ja opetuksen järjestämiseen.

3.4 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineiston valintaa pohjustetaan lukion opetussuunnitelman tavoitteilla sekä moduulin ”FY4 Voima ja liike” sisällöillä. Opetussuunnitelman tavoitteiden ja sisältöjen perusteella määritellään olennaiset osaamisvaatimukset, jotka pyritään soveltuvin osin kattamaan tutkimusaineistossa.

Tutkimusaineistoksi on valittu neljä tehtävää fysiikan ylioppilaskokeista vuosilta 2019–2022. Aineiston valinnan yhteydessä arvioidaan tehtävien sisältöjä suhteessa opetussuunnitelman vaatimuksiin ja sisältöihin.

3.4.1 Opetussuunnitelman yleiset tavoitteet

Lukion opetussuunnitelman mukaisesti fysiikan opetuksen tulisi mm. valmistaa yhteiskunnalliseen vaikuttamiseen, opettaa tieteellisiä taitoja ja harjaannuttaa opiskelija käyttämään fysiikalle ominaisia työtapoja (Opetushallitus, 2019).

ChatGPT:n luoma synteesi[3] opetussuunnitelman yleisten tavoitteiden pohjalta kuvaa fysiikkaa luonnontieteeksi, joka rakentaa *järjestelmällisiä malleja todellisuudesta* matemaattisten ja käsitteellisten välineiden avulla. Fysiikan oppimisen tulisi kehittää kykyä *ymmärtää, selittää ja ennustaa* luonnon ilmiöitä, arvioida tietoa kriittisesti

[3]Kehotteessa annettiin opetussuunnitelman tekstiä liitteeksi ja pyydettiin kuvaamaan fysiikka oppiaineena sekä määrittelemään opiskelijan osaamisessa tapahtuva muutos fysiikan opiskelun seurauksena. Kielimalli oli GPT-4o ja suorituspäivämäärä 30.3.2025.

sekä soveltaa opittua *teknologian, yhteiskunnan ja arjen* konteksteissa. Fysiikassa yhdistyy *kokeellisuus, mallintaminen ja looginen päättely*, ja se kytkee opiskelijan osaksi *luonnontieteellistä maailmankuvaa ja tiedeyhteisön ajattelutapoja.*

Fysiikan opiskelun tuloksena oppilaasta tulisi jalostua:[4]

- *havainnoija*, joka osaa kysyä olennaisia kysymyksiä ilmiöistä
- *tutkija*, joka osaa suunnitella ja toteuttaa kokeita sekä tulkita tuloksia
- *mallintaja* ja ennustaja, joka käyttää fysiikan malleja ja välineitä ymmärtääkseen maailmaa
- *ajattelija*, joka osaa käyttää fysiikan käsitteitä johdonmukaisesti ja kriittisesti
- *vaikuttaja*, joka ymmärtää fysiikan merkityksen yhteiskunnassa ja osaa osallistua teknologiseen ja tieteelliseen keskusteluun

3.4.2 Voima ja liike lukion fysiikassa

Lukion fysiikan moduuli ”FY4 Voima ja liike” kuuluu fysiikan valtakunnallisiin valinnaisiin opintoihin. Moduuli on ensimmäinen kahdesta mekaniikkaan keskittyvästä moduulista, ja se käsittelee tasaista ja kiihtyvää suoraviivaista liikettä sekä voimien vaikutusta kappaleen liiketilaan. Taulukossa 3.1 on kuvattu Moduulin keskeiset sisällöt luokiteltuna neljään eri ryhmään:

1. Oppilas osaa tarkastella ja tunnistaa suoraviivaiseen liikkeeseen kytkeytyviä *ilmiöitä*, erottaa tasaisen ja kiihtyvän liikkeen toisistaan sekä hahmottaa kappaleiden keskinäisen vuorovaikutuksen mekanismeja
2. Oppilas tuntee suoraviivaiseen liikkeeseen liittyvät ominaisuudet sekä niitä kuvaavat *suureet* ja osaa käyttää niitä oikeaoppisesti analyysissä
3. Oppilas osaa tulkita ja muodostaa matemaattisia tai abstrakteja *malleja*, jotka kuvaavat suoraviivaiseen liikkeeseen ja voimaan liittyviä fysikaalisia ilmiöitä ja riippuvuuksia
4. Oppilas tuntee keskeiset suoraviivaiseen liikkeeseen sekä voimaan liittyvät fysikaaliset lait sekä *periaatteet* ja osaa hyödyntää niitä ilmiöiden mallinnuksessa sekä ongelmien ratkaisussa

[4]Osa edellä mainittua ChatGPT:n luomaa synteesiä

ilmiöt	1	tasainen suoraviivainen liike
	2	kiihtyvä suoraviivainen liike
	3	kappaleiden vuorovaikutus
	4	yksiulotteiset törmäykset
suureet	5	voima
	6	paino
	7	kitka
	8	liike-energia
	9	potentiaalienergia
	10	mekaaninen energia
	11	liikemäärä
	12	impulssi
mallit	13	voimakuvio
	14	liikeyhtälö
periaatteet	15	Newtonin lait
	16	voimien yhteisvaikutus
	17	liikemäärän säilyminen
	18	mekaniikan energiaperiaate

Taulukko 3.1: Lukion fysiikan moduulin ”FY4 Voima ja liike” keskeiset sisällöt ja käsitteet (Opetushallitus, 2019)

Taulukossa 3.2 on puolestaan kuvattu oppikirjoissa esiintyviä tehtävätyyppejä, jotka mittaavat moduulin keskeisiä osaamisvaatimuksia. Lähdemateriaalina on käytetty lukion oppikirjaa ”Vipu 4” (Kiuru ja muut, 2021). Kirjasta on tunnistettu 15 erilaista tehtävätyyppiä, jotka on edelleen luokiteltu viiteen ryhmään. Vaativat tehtävät usein sisältävät elementtejä useammista eri tehtävätyypeistä, ja tutkimusmateriaalin valinnassa pyritään kattamaan mahdollisimman monia taulukon 3.2 tehtävätyyppejä.

3.4.3 Osaamisvaatimukset

Lukion opetussuunnitelman perusteissa kuvatut yleiset oppiainekohtaiset tavoitteet sekä voimaa ja liikettä käsittelevän fysiikan moduulin olennaiset sisällöt muodostavat yhdessä kokonaisuuden, jonka hallitsemista voi pitää moduulin ”FY4 Voima ja liike” olennaisina osaamisvaatimuksina. Näitä osaamisvaatimuksia mitataan myös fysiikan ylioppilaskokeessa. Siksi myös tässä työssä pyritään valitsemaan ylioppilaskokeiden tehtävistä sellainen otos, joka kattaa mahdollisimman hyvin nämä vaatimukset.

Käsitteellinen hahmotus	1	kappaleen liiketilan tunnistaminen
	2	voiman ja liikkeen keskinäinen yhteys
	3	mekaniikan säilymislakien merkitys
	4	mekaniikan keskeiset suureet
Liiketilan analyysi	5	tasaisen tai kiihtyvän liikkeen analyysi
	6	painovoiman, kitkan ja nosteen määrittäminen
	7	voimakomponenttien määrittäminen
Säilymislakien soveltaminen	8	mekaanisen energian määrittäminen
	9	energian säilymiseen perustuva analyysi
	10	liikemäärän säilymiseen perustuva analyysi
Kokeellinen tutkiminen	11	liikkeen analyysi mittaustulosten perusteella
	12	mekaniikan kokeiden ja mittausten suunnittelu
Graafinen esitys	13	liiketilan tunnistaminen kuvaajasta
	14	tulosten graafinen esittäminen
	15	voimakuvion tulkitseminen ja muodostaminen

Taulukko 3.2: Lukion fysiikan moduulin ”FY4 Voima ja liike” keskeisiä tietoja ja taitoja mittaavia tehtävätyyppejä (Kiuru ja muut, 2021)

Seuraavassa kuvataan tiivistetysti lukion fysiikan moduuliin ”FY4 Voima ja liike” liittyvät olennaiset osaamisvaatimukset:

Käsitteellinen hahmotus:

1. Liiketilan säilymisen tai muutoksen perusteleminen Newtonin lakien sekä säilymislakien perusteella
2. Fysiikan ilmiöiden ymmärtäminen ja selittäminen johdonmukaisesti mekaniikan suureiden avulla
3. Käytännön tilanteiden ja ongelmien hahmottaminen ja muokkaaminen fysiikan kielelle

Liiketilan analyysi:

4. Kappaleeseen vaikuttavan kokonaisvoiman eri komponenttien määrittäminen fysikaalisiin lakeihin perustuen
5. Liiketilan täsmällinen mallintaminen ja ennustaminen matemaattisten menetelmien avulla

Säilymislakien soveltaminen:

6. Mekaanisen energian määrittäminen matemaattisesti sekä energiaperiaatteen hyödyntäminen mekaniikan ongelmien ratkaisussa
7. Energian ja liikemäärän säilymislakien soveltaminen kappaleiden vuorovaikutuksen analyysissä

Kokeellinen tutkiminen:

8. Liiketilan ja vuorovaikutuksen hahmottaminen mittaustuloksista tehdyn tulkinnan perusteella
9. Mekaniikan ilmiöihin liittyvien tutkimuskysymysten muotoilu sekä tarvittavien kokeiden suunnittelu

Graafinen esitys:

10. Liiketilaa ja vuorovaikutusta esittävien kuvaajien tulkitseminen ja mittaustulosten esittäminen graafisesti
11. Kappaleisiin vaikuttavien voimien kuvaaminen ja tulkitseminen graafisesti voimakuvion avulla

3.4.4 Ylioppilaskokeiden tehtävät

Tutkimusaineiston valintaa varten tarkasteltiin vuosien 2019–2024 ajalta fysiikan ylioppilaskokeiden tehtäviä, jotka liittyvät moduulin ”FY4 Voima ja liike” sisältöihin. Tarkastelussa tunnistettiin 15 tehtävää, joiden sisältö liittyy kokonaan tai suurimmaksi osaksi kyseiseen moduuliin. Näihin 15 tehtävään perehdyttiin tarkemmin ja ne arvioitiin ensin taulukossa 3.1 (s. 27) esitettyjen käsitteiden suhteen, ja tämän jälkeen taulukossa 3.2 (s. 28) esittettyjen tehtävätyyppien suhteen.

Taulukko 3.3 esittää yhteenvedon valituista ylioppilaskokeiden tehtävistä suhteessa siihen, mitä moduulin ”FY4 Voima ja liike” käsitteitä tehtävien ratkaisussa tulisi hallita. Taulukko 3.4 puolestaan esittää tiivistelmän tehtävätyypeistä, joita valitut ylioppilaskokeiden tehtävät edustavat. Koska ylioppilaskokeiden tehtävät saattavat olla laajoja, nämä usein sisältävät elementtejä useammista eri tehtävätyypeistä.

Ylioppilaskokeiden tehtävien tarkastelussa ilmenee yllättäen, että liikemäärään sekä kappaleiden törmäyksiin perustuvia tehtäviä on ollut huomattavan vähän. Myöskään mittausten ja kokeiden suunnitteluun liittyviä tehtäviä ei ylioppilaskokeissa ole juurikaan esiintynyt.

Käsitteet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
S2019-T4			x		x	x	x	x	x	x			x			x		x
K2020-T2	x		x		x	x	x						x	x	x	x		
K2020-T6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x			x
S2020-T4			x		x			x										x
K2021-T2	x																	
K2021-T5			x		x	x	x						x		x	x		
K2021-T9			x		x	x	x						x		x	x		
S2021-T2	x	x			x	x	x							x	x			
K2022-T5		x	x		x	x							x	x	x	x		
K2022-T10		x	x		x	x	x						x		x			
S2022-T2		x				x								x	x			
S2022-T3		x	x		x	x							x	x	x	x		
K2023-T2		x												x				
K2023-T5					x	x							x	x	x	x		
K2024-T4			x		x	x	x						x		x	x		

Taulukko 3.3: Lukion fysiikan moduulin ”FY4 Voima ja liike” osaamista mittaavien ylioppilaskokeiden tehtävien luokittelua olennaisten käsitteiden suhteen (käsitteiden kuvaukset taulukossa 3.1).

3.4.5 Tutkimusaineiston valinta

Kattavan kokonaisuuden muodostamiseksi ylioppilaskokeiden tehtävistä valittiin neljä tehtävää, jotka muodostavat työssä käytettävän tutkimusaineiston. Tehtävien valinnassa hyödynnettiin taulukkojen 3.3 ja 3.4 yhteenvetoja. Lisäksi tehtävistä pyrittiin muodostamaan kokonaisuus, joka kattaa mahdollisimman laajasti kappaleessa 3.4.3 (s. 27) määritetyt osaamisvaatimukset. Tehtävien sisältö ja osleelliset osaamisvaatimukset on kuvattu lyhyesti seuraavassa:

1. Kevät 2020, Tehtävä 6.2: Hyppy ilman laskuvarjoa

   Tehtävässä on tunnistettava sanomalehdestä julkaistusta uutisesta virheellisiä energiaan liittyviä käsityksiä ja perusteltava, miksi ne ovat virheellisiä. Tehtävässä suoriutuminen edellyttää energiaan ja liikemäärään liittyvien käsitteiden ymmärtämistä sekä putoamisen ja törmäyksen dynamiikan hahmottamista.

   Kappaleen 3.4.3 mukaiset osaamisvaatimukset: 1, 2, 3, 7

Tehtävätyypit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
S2019-T4		x	x	x	x	x	x	x	x					x	x
K2020-T2	x	x		x		x					x	x			x
K2020-T6	x	x	x			x								x	
S2020-T4		x	x					x	x		x			x	
K2021-T2	x				x						x		x	x	
K2021-T5		x					x								x
K2021-T9		x			x	x	x								x
S2021-T2	x	x			x	x					x		x	x	
K2022-T5	x	x			x	x									x
K2022-T10	x	x			x		x				x		x	x	x
S2022-T2	x	x			x	x							x	x	
S2022-T3	x	x			x	x									x
K2023-T2	x			x	x						x		x	x	
K2023-T5		x				x								x	
K2024-T4		x					x								x

Taulukko 3.4: Lukion fysiikan moduulin ”FY4 Voima ja liike” osaamista mittaavien ylioppilaskokeiden tehtävien luokittelua erilaisten tehtävätyyppien suhteen (tehtävätyyppien kuvaukset taulukossa 3.2).

2. Kevät 2021, Tehtävä 5.1: Voimat

   Tehtävässä on valittava pyöräilijää esittävistä voimakuvioista oikea ja nimettävä täsmällisesti voimakuvioon piirretyt pyöräilijään vaikuttavat voimat. Tehtävän oikea ratkaisu edellyttää kykyä tulkita voimakuvioita ja ymmärrystä voimien vaikutuksesta kappaleen liiketilaan.

   Kappaleen 3.4.3 mukaiset osaamisvaatimukset: 1, 2, 3, 4, 11

3. Syksy 2019, Tehtävä 4: Mäenlaskua

   Tehtävässä on määritettävä mäkeä laskevan hiihtäjän loppunopeus sekä hiihtäjän liukuma matka mäen nousukulman funktiona. Laskutehtävän voi ratkaista joko energiaperiaatteella tai Newtonin II lain perusteella. Täydellinen ratkaisu edellyttää laskutehtävän suorittamisen lisäksi voimakuvion sekä funktion kuvaajan piirtämistä.

   Kappaleen 3.4.3 mukaiset osaamisvaatimukset: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11

4. Syksy 2021, Tehtävä 2: Sulkapallo

   Tehtävässä täytyy piirtää kuvaaja mittaustuloksista, tulkita kuvaajasta kappaleen liiketila ja määrittää tulosten perusteella kappaleen ilmanvastuskerroin. Tehtävän ratkaiseminen edellyttää ymmärrystä fysikaalisten mittausten luonteesta sekä kykyä kokeellisen datan graafiseen analyysiin.

   Kappaleen 3.4.3 mukaiset osaamisvaatimukset: 1, 2, 3, 8, 9, 10

3.4.6 Arviointikriteerit

Tutkimusaineistoon valitut ylioppilaskokeiden tehtävät annetaan ChatGPT:n ratkaistavaksi. Tehtävien ratkaisu aloitetaan alkuperäisestä tehtävänannosta ja vastausten perusteella kehotetta muokataan, kunnes vastaus on riittävän hyvä. Tavoitteena on saada aikaan ratkaisu, josta saisi ylioppilaskokeessa täydet pisteet. Arviointiohjeena käytetään ylioppilastutkintolautakunnan julkaisemia hyvän vastauksen piirteitä.

4 Tulokset

4.1 Virheelliset käsitykset

Generatiivisen tekoälyn kykyä arvioida sanallisesti fysiikan käsitteistöä tutkittiin kevään 2020 ylioppilaskokeen tehtävällä 6.2, jossa kokelaiden tuli tunnistaa ja perustella Helsingin Sanomien uutisesta virheellisiä energiaan liittyviä käsityksiä. Ensimmäinen tehtävänanto oli täsmälleen ylioppilaskokeen alkuperäisen muotoilun mukainen. Tämän jälkeen ChatGPT:lle esitettiin täsmennetty tehtävänanto aikaisempien vastausten perusteella.

Kokeet suoritettiin 7.4.2025 kielimalleilla GPT-4o, GPT-4.5, GPT-4, o1 sekä o3-mini. Jokaiselta kielimallilta pyydettiin 4 riippumatonta vastausta täsmälleen samaan kehotteeseen. Täsmennetty tehtävänanto esitettiin ainoastaan oletuskielimallille GPT-4o. Täydelliset kehotteet ja ChatGPT:n antamat vastaukset on esitetty lisämateriaalissa.

4.1.1 Tehtävänanto ja arviointiohjeet

Ylioppilaskokeen (kevät 2020, fysiikka, tehtävä 6.2) täsmällinen tehtävänanto oli:

> *Helsingin Sanomat* julkaisi tiedesivuillaan 10.8.2016 uutisen (teksti 6.A) Luke Aikinsin ilman laskuvarjoa tekemästä hypystä. [*tekstiä poistettu*]
>
> 6.1. [*tekstiä poistettu*]
>
> 6.2. Tarkastele perustellen, mitä energiaan liittyviä virheellisyyksiä tekstissä 6.A esitetään. 7 p.
>
> 6.A:
>
> Laskuvarjotta verkkoon 7 600 metristä
>
> Laskuvarjohyppääjä Luke Aikins hyppäsi heinäkuun lopulla alle kahden minuutin vapaan pudotuksen ilman laskuvarjoa. Matkaa verkkoon oli 7 620 metriä. Aikins mätkähti 30 × 30 -metriseen verkkoon, joka oli viritetty Simi-laaksoon Kaliforniaan. Nopeutta oli lopussa hieman yli 190 kilometriä tunnissa.
>
> Aikinsin kypärässä oli satelliittipaikannus, joka ohjasi häntä kohti verkkoa. Verkon valot muuttuivat punaisiksi, jos hyppääjä ajautui väärään suuntaan, kertoo Scientific American -lehti.
>
> Aikins saattoi hieman ohjailla kulkuaan kahden minuutin pudotuksen

> aikana esimerkiksi laittamalla kädet pitkin vartaloa. Juuri ennen alastuloa hän kääntyi lennossa selälleen niin, että hänen selkänsä iski ensin verkkoon. Se toi joustoa iskuun.
>
> Vapaassa pudotuksessa syntyy paljon liike-energiaa. Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen. Aikinsin pyydystänyt verkko oli valmistettu joustavasta polyeteenistä. Sen tiheä kudelma venyi sopivasti ja imi syöksyjän liike-energian. Verkon nurkissa oli neljä ilmanpaineella toimivaa sylinteriä, jotka niiasivat Aikinsin osuessa verkkoon.

Arviointiohjeen mukaan tehtävästä voi saada yhteensä 7 pistettä, joista 3 pistettä myönnetään virheellisten väittämien tunnistamisesta ja 4 pistettä erikseen mainituista perusteluista:

- Väärä väite ”Vapaassa pudotuksessa syntyy paljon liike-energiaa” tunnistettu (1 piste)
- Väärä väite ”Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen” tunnistettu (1 piste)
- Väärä väite ”Verkon kudelma venyi sopivasti ja imi syöksyjän liike-energian” tunnistettu (1 piste)
- Vastauksessa mainittu, että energia muuntuu muodosta toiseen (1 piste)
- Kuvataan potentiaalienergian muuttuminen liike-energiaksi ja ilmanvastusvoimien tekemäksi työksi (1 piste)
- Kuvataan Newtonin 3. lain mukainen voima-vastavoimapari maahan osuessa tai mainitaan voima törmäyksen yhteydessä (1 piste)
- Kuvataan liike-energian muuntuminen verkkoon osuessa tai kuvataan impulssin avulla törmäysajan vaikutus voimiin (1 piste)

4.1.2 Oletuskielimalli: GPT-4o

ChatGPT:n oletuskielimalli GPT-4o suoriutui tehtävästä melko hyvin ja sen tyypillinen tulos oli 4 tai 5 pistettä, kun maksimi oli 7 pistettä. Eri vastausten välillä oli pientä vaihtelua, mutta yleisesti vastaukset olivat keskenään samantasoisia. Vaikka vastausten oleellinen sisältö oli suunnilleen yhtenevä, käytetyt ilmaukset ja kirjoitustyyli olivat keskenään erilaisia. Myös asioiden esittelyjärjestys vaihteli. Kielimalli

muodosti vastausten loppuun tyypillisesti taulukkomuotoisen listauksen vääristä väitteistä perusteluineen.

Kahdessa vastauksessa GPT-4o tunnisti vaaditut 3 väärää väittämää, ja jokaisessa vastauksessa käytettiin periaatetta energian muuntumisesta muodosta toiseen. Potentiaalienergian muuttuminen lämmöksi ilmanvastuksen johdosta jäi mainitsematta jokaisessa vastauksessa, ja maan hyppääjään kohdistama vastavoima mainittiin vain yhdessä vastauksessa.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:

Vastaus 1: 5/7 pistettä
Kaikki väärät väitteet oli tunnistettu ja perusteltu energian muuntumisen periaatteella. Maan hyppääjään kohdistamaa vastavoimaa tai ilmanvastusta ei mainittu.

Vastaus 2: 4/7 pistettä
Väärää väitettä liike-energian syntymisestä ei tunnistettu. Myöskään maan hyppääjään kohdistamaa vastavoimaa tai ilmanvastusta ei mainittu.

Vastaus 3: 5/7 pistettä
Kaikki väärät väitteet oli tunnistettu ja perusteltu energian muuntumisen periaatteella. Maan hyppääjään kohdistamaa vastavoimaa tai ilmanvastusta ei mainittu.

Vastaus 4: 4/7 pistettä
Vastaus poikkesi selvästi aikaisemmista ja siinä tunnistettiin ainoastaan kineettisen energian heijastuminen vääränä väitteenä. Toisaalta kehoon kohdistuvat voimat ja niiden lyhyt vaikutusaika mainittiin murskaantumisen syynä. Johtopäätöksiä ei myöskään taulukoitu kuten muissa vastauksissa.

4.1.3 Uusin kielimalli: GPT-4.5

Chat-GPT:n uusin kielimalli GPT-4.5 suoriutui tehtävästä hiukan paremmin kuin GPT-4o, ja vastaukset olivat 5 tai 6 pisteen arvoisia. Vastauksissa oli edelleen vaihtelua käytettyjen ilmausten ja sanavalintojen suhteen, mutta vastaukset olivat muodoltaan ja sisällöltään muuten melko yhdenmukaisia.

Ilmanvastuksen vaikutus jäi edelleen huomiotta kaikissa vastauksissa, mutta voimien vaikutukset törmäyksessä sekä hidastumisen kestoaika oli huomioitu vastauksissa. Toisaalta kahdessa vastauksessa ei lainkaan tunnistettu väärä väitettä liike-energian

syntymisestä. Erikoinen havainto oli, että jokaisessa vastauksessa kiinnitettiin huomiota energian muuntumisesta ääneksi törmäyksessä, mikä ei todellisuudessa ole lainkaan merkittävä tekijä.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:

Vastaus 1: 5/7 pistettä
Väärää väitettä liike-energian syntymisestä ei tunnistettu eikä ilmanvastusta mainittu lainkaan. Suuri hidastuvuus ja voimat törmäyksessä on mainittu.

Vastaus 2: 6/7 pistettä
Kaikki väärät väitteet on tunnistettu ja voimien vaikutus törmäyksessä tunnistettu. Ilmanvastusta ei mainittu.

Vastaus 3: 6/7 pistettä
Kaikki väärät väitteet on tunnistettu ja voimien vaikutus törmäyksessä tunnistettu. Ilmanvastusta ei mainittu.

Vastaus 4: 5/7 pistettä
Väärää väitettä liike-energian syntymisestä ei tunnistettu eikä ilmanvastusta mainittu lainkaan. Suuri hidastuvuus ja voimat törmäyksessä on mainittu.

4.1.4 Vanha kielimalli: GPT-4

Chat-GPT:n vanha kielimalli GPT-4 suoriutui kohtalaisesti 4 tai 5 pisteen vastauksilla. Vastaukset olivat tiiviitä ja selkeästi kirjoitettuja. Kirjallisessa ilmaisussa oli vähemmän vaihtelua kuin uudemmissa kielimalleissa, mutta vastaukset olivat silti yksilöllisiä.

Yksikään vastauksista ei tunnistanut kaikkia virheellisiä väittämiä. Etenkin väite liike-energian syntymisestä tunnistettiin heikosti. Törmäyksen aiheuttamat voimat mainittiin kahdessa vastauksessa, mutta ilmanvastusta ei mainittu yhdessäkään vastauksessa.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:

Vastaus 1: 5/7 pistettä
Väärää väitettä liike-energian syntymisestä ei tunnistettu eikä ilmanvastusta mainittu lainkaan. Törmäyksen voima ja sen aiheuttama paine on mainittu.

Vastaus 2: 4/7 pistettä
Väärää väitettä energian imemisestä ei tunnistettu. Ilmanvastusta tai törmäyk-

sen aiheuttamia voimia ei mainittu lainkaan.

Vastaus 3: 5/7 pistettä
Väärää väitettä liike-energian syntymisestä ei tunnistettu eikä ilmanvastusta mainittu lainkaan. Törmäyksen voimat ja liike-energian absorboituminen verkkoon mainittiin.

Vastaus 4: 4/7 pistettä
Väärää väitettä liike-energian syntymisestä ei tunnistettu. Ilmanvastusta tai törmäyksen aiheuttamia voimia ei mainittu lainkaan.

4.1.5 Päättelevä kielimalli: o1

Chat-GPT:n päättelevän kielimallin o1 vastaukset saivat pisteitä vaihtelevasti 4 ja 7 pisteen väliltä. Vastausten tuottaminen oli huomattavan hidasta muihin malleihin verrattuna, mutta siitä huolimatta sisältö ei ollut merkittävästi laadukkaampaa. Kuitenkin vastauksissa käytetty kieli oli hiukan johdonmukaisempaa ja huolellisemmin perusteltua kuin muiden kielimallien tuottamissa vastauksissa.

Merkittävin ero muiden kielimallien vastauksiin oli törmäyksen voimien ja impulssin vaikutusten arvioinnissa. Myös energiaan liittyvien ilmausten analyysi oli täsmällisempää ja huolellisempaa. Vastaukset saattaisi tulkita opiskelijoiden tekemiksi koevastauksiksi, sillä kielimallin käyttämä kieli muistuttaa arkikieltä enemmän kuin alan asiantuntijan käyttämää kieltä.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:

Vastaus 1: 7/7 pistettä
Selkeä ja tiivis vastaus, joka sisältää kaikki arviointiohjeessa edellytetyt havainnot ja perustelut. Tosin ilmanvastus mainitaan vain lyhyesti.

Vastaus 2: 5/7 pistettä
Väärää väitettä liike-energian syntymisestä ei tunnistettu eikä ilmanvastusta mainittu lainkaan. Törmäyksen pohdinnassa mainitaan voima, impulssi ja pysähtymisen vaatima aika.

Vastaus 3: 5/7 pistettä
Väärää väitettä liike-energian syntymisestä ei tunnistettu eikä ilmanvastusta mainittu lainkaan. Törmäyksen yhteydessä mainitaan voima ja impulssi. Vastaus sisältää muutaman englannin kieleen viittavan virheellisen sanavalinnan.

Vastaus 4: 4/7 pistettä
Ainoastaan väite liike-energian heijastumisesta tunnistettiin. Huomio oli muutenkin keskittynyt vain tämän väitteen ympärille ja vastaus oli muita yksinkertaisempi.

4.1.6 Nopea päättelevä kielimalli: o3-mini

Nopea päättelevä kielimalli o3-mini on laskennallisesti kevyempi kuin o1, mutta tuotti tässä tehtävässä aivan yhtä hyviä vastauksia. Vastausten saamat pisteet vaihtelivat 4 ja 6 pisteen välillä.

Vastauksista yksikään ei tunnistanut väärää väitettä liike-energian syntymisestä, mutta törmäyksen analyysissä jokainen vastaus sisälsi viittauksia voimaan tai impulssiin. Edelleen vain yhdessä vastauksessa kiinnitettiin huomiota ilmanvastukseen.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:

Vastaus 1: 5/7 pistettä
Väärää väitettä liike-energian syntymisestä ei tunnistettu eikä ilmanvastusta mainittu lainkaan. Törmäyksen aiheuttama voima mainittiin.

Vastaus 2: 4/7 pistettä
Väärää väitettä liike-energian syntymisestä ei tunnistettu. Ilmanvastusta tai voimia ei mainittu lainkaan.

Vastaus 3: 6/7 pistettä
Väärää väitettä liike-energian syntymisestä ei tunnistettu, mutta ilmanvastuksen vaikutuksen vähättelyyn kiinnitettiin huomiota. Voimien vaikutus ja pysähtymisen nopeus törmäyksessä oli huomioitu.

Vastaus 4: 5/7 pistettä
Väärää väitettä liike-energian syntymisestä ei tunnistettu eikä ilmanvastusta mainittu lainkaan. Törmäyksen vaikutuksia oli käsitelty monipuolisesti.

4.1.7 Täsmennetty tehtävänanto

Seuraavassa vaiheessa ChatGPT:n kehotetta täsmennettiin seuraavasti:

- Vastauksen tulee osoittaa lukion fysiikan osaamista
- Perusteluissa tulee hyödyntää Newtonin lakeja sekä energiaan ja törmäyksiin liittyviä fysikaalisia periaatteita

- Tarkasta vastaus ja arvioi sen virheitä ja puutteita
- Viimeistele vastaus 2000–3000 merkin pituiseksi koevastaukseksi

ChatGPT:ltä pyydettiin 4 riippumatonta vastausta samaan kehotteeseen käyttäen oletuskielimallia GPT-4o.

Täsmennettyjen ohjeiden jälkeen kaikki vastaukset olivat huomattavasti laadukkaampia. Vastaukset perusteltiin huolellisesti lukion fysiikan oppimäärään sisältyvillä teorioilla ja matemaattisella formalismilla. Esitetyt suureyhtälöt olivat virheettömiä ja esitystapa oli johdonmukainen. Jokaisessa vastauksessa perusteluja tuettiin laskennallisella esimerkillä, jossa käytettiin joko tehtävässä annettuja tai oletettuja lähtötietoja.

Sisällöllisesti vastauksissa kuitenkin ilmenee yksittäisiä erikoisuuksia, mutta näin voi toki olla oikeissa koevastauksissakin. Neljä erillistä vastausta ovat keskenään verrattuina hyvin erilaisia ja niissä kiinnitetään huomiota eri seikkoihin. Vastauksissa ei kuitenkaan ole selkeitä virheitä.

Vastausten kirjallinen taso ylittää selvästi ylioppilaskokeen vaatimukset eikä niitä voisi erehdyksessäkään pitää todellisina koevastauksina. ChatGPT:n tuotokset kuitenkin toimisivat erinomaisena oppimateriaalina lukion opiskelijoille. Jokainen neljästä vastauksesta on muotoiltu toisistaan poikkeavalla tavalla ja niiden sisältö vaihtelee, joten lukemalla useamman vastauksen voi saada monipuolisemman näkemyksen asiasta.

Korkeasta tasosta huolimatta vastauksissa ei mainittu kirjoituksen virheellisiä ilmaisuja, vaikka väärät käsitykset perusteltiin huolellisesti. Arviointiohjeiden perusteella vastauksista voi siten saada vain 4/7 pistettä, vaikka niissä osoitettiin aiheen syvällistä ymmärtämistä.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:

> **Vastaus 1:** 4/7 pistettä
> Ilmanvastuksen merkitys sekä pysähtymisajan vaikutus on todettu laskennallisilla esimerkeillä. Sanallinen perustelu energian muuntumisesta törmäyksessä on suppea mutta riittävä. Vastauksessa kiinnitetään huomiota satelliittipaikannukseen ja ohjaamiseen kehoa käyttämällä.
>
> **Vastaus 2:** 4/7 pistettä
> Vapaa pudotus tulkittu vääräksi termiksi, koska hyppääjän nopeus ei kiihdy.

Ilmanvastuksen vaikutus osoitettu laskennallisella esimerkillä. Verkon hidastava vaikutus törmäykseen perusteltu sanallisesti sekä viittaamalla Newtonin II lakiin.

Vastaus 3: 4/7 pistettä
Liike-energia määritetty laskennallisesti, ja törmäyksen vaatimia voimia suhteutettu tähän lukemaan. Muut näkökulmat on todettu vain lyhyesti ja tekstistä välittyy pieniä väärinymmärryksiä, vaikka termit ja johtopäätökset ovat oikeita.

Vastaus 4: 4/7 pistettä
Potentiaali- ja liike-energia on määritetty laskennallisesti ja näiden keskinäistä ristiriitaa on verrattu. Verkon toiminta ja hidastuvuus perusteltu lyhyesti ja täsmällisesti. Satelliittipaikannuksen suhteen viitattiin teknologiaan, joka ei liity suoraan tehtävän aiheena olevaan fysiikkaan. Kieli on sujuvaa ja myös maallikolle ymmärrettävää.

4.1.8 Tulosten tulkinta

Kielimallien suoriutumisessa ei ollut merkittäviä eroja. Päättelevien kielimallien o1 ja o3-mini vastaukset olivat parhaiten muotoiltuja, mutta uusin kielimalli GPT-4.5 sai keskimäärin parhaat pisteet vastauksistaan. Tehtävänanto oli melko yksiselitteinen, mutta ChatGPT ei onnistunut saamaan tahtävästä täysiä pisteitä yhtä poikkeusta lukuunottamatta. Päättelevä kielimalli käytti merkittävästi enemmän laskentatehoa vastausten tuottamiseen tavalliseen kielimalliin verrattuna, mutta näin yksinkertaisen tehtävän tapauksessa sen tuottama hyöty jäi vaatimattomaksi. Kehotteen täsmentäminen osoitti, että ChatGPT kykenee myös oletuskielimallillaan tuottamaan lukion fysiikan vaatimukset täyttävän sanallisen vastauksen. Kielimallille on kuitenkin täsmällisesti kerrottava, millaista sisältöä vastaukselta vaaditaan.

Kieliasu oli selkeä ja vaihteleva, eikä vastauksia välttämättä tunnista helposti tekoälyn muodostamiksi. Tekstissä oli kuitenkin yksittäisiä fysiikan kielelle vieraita ja jossain määrin virheellisiä ilmauksia, kuten ”äkillisen energianmuunnoksen aiheuttamat voimat”. Tosin tällaiset ilmaisut ovat mahdollisia myös opiskelijoiden vastauksissa. Mikäli opiskelija olisi käyttänyt teköälyä itsenäisesti ratkaistavaksi annetussa tehtävässä ja korjannut vastauksesta mahdolliset sanavirheet, opettajan olisi hankala havaita tekoälyn käyttöä ellei vastaus eroa merkittävästi opiskelijan oppitunnilla osoittamasta osaamisesta.

Alkuperäisessä kehotteessa pyydettiin keskittymään energiaan liittyviin käsityksiin.

Niinpä myös vastaukset keskittyivät pääasiassa energian ympärille eikä muuta liikkeen dynamiikkaan liittyvää pohdintaa juurikaan ollut mukana. Esimerkiksi potentiaalienergian muuntuminen liike-energiaksi oli mainittu lähes jokaisessa vastauksessa, mutta ilmanvastuksen vaikutusta ei pääsääntöisesti otettu lainkaan huomioon. Syynä tähän saattaa myös olla koulutusmateriaali, joka ehkä sisältää runsaasti yksinkertaistettuja esimerkkitehtäviä ja ilmanvastuksen jättäminen huomiotta on enemmän sääntö kuin poikkeus.

Täydellisen ylioppilaskokeen vastauksen muodostaminen osoittautui yllättävän hankalaksi. Huolellisemmin muotoiltu kehote tuotti fysikaalisesti täsmällisempiä ja tasalaatuisia vastauksia, jotka eivät kuitenkaan löytäneet tehtävässä edellytettyjä virheellisiä ilmauksia. Lukion oppimäärän suorittaneet oppilaat ovat todennäköisesti harjaantuneet vastaamaan koekysymyksiin odotetulla tavalla, mutta kielimallille täytyy antaa kehotteessa varsin yksityiskohtaiset ohjeet.

Kun samaan kehotteeseen pyydettiin useampia vastauksia, näiden välillä oli selviä eroja sekä sisällöissä että sanavalinnoissa. Siksi ChatGPT:ltä kannattaisi pyytää ainakin muutama erillinen vastaus samaan kysymykseen. Lisäksi myös kehotetta kannattaa vaihdella, sillä se laajentaa kielimallin käyttämää materiaalia ja todennäköisesti tarjoaa monipuolisempia näkemyksiä aiheeseen

Tehtävä osoitti, että ChatGPT:n nykyiset kielimallit hallitsevat energiaan ja liikkeen dynamiikkaan liittyvät fysikaaliset käsitteet ja lainalaisuudet varsin hyvin. Käyttäjän on kuitenkin pystyttävä arvioimaan vastausten sisältöä ja tarvittaessa ohjeistettava kielimallia kehotteessa täsmentämään vastaustaan. Mikäli opiskelijalla on riittävät perustiedot aiheesta, ChatGPT voi olla hyvä apuväline tehostamaan ja syventämään oppimista.

4.2 Voimakuvioiden analyysi

Generatiivisen tekoälyn kykyä arvioida voimakuvioita kuvamateriaalista tutkittiin kevään 2021 ylioppilaskokeen tehtävällä 5.1, jossa kokelaiden tuli tunnistaa nopeuttaan kasvattavaa pyöräilijää esittävien kuuden voimakuvion joukosta oikea. Ensimmäinen tehtävänanto oli täsmälleen ylioppilaskokeen alkuperäisen muotoilun mukainen. Tämän jälkeen ChatGPT:lle esitettiin täsmennetty tehtävänanto ja lisäkysymyksiä aikaisempien vastausten perusteella, kunnes saatiin oikea vastaus perusteluineen.

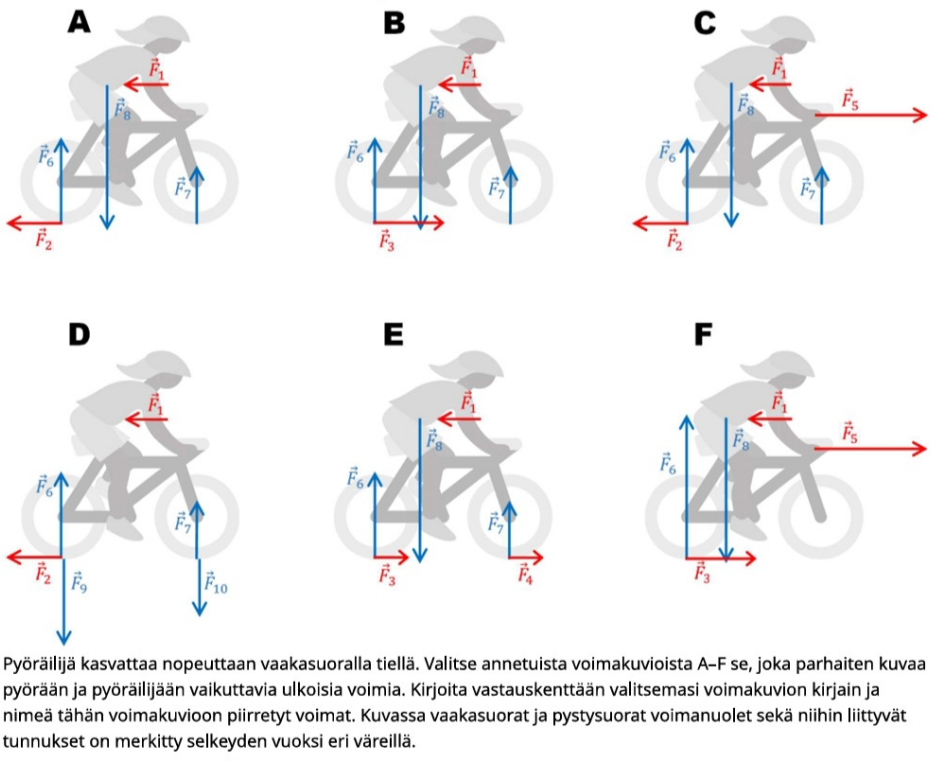
Kokeet suoritettiin 3.4.2025 kielimalleilla GPT-4o, GPT-4.5, GPT-4, o1 sekä o3-mini. Jokaiselta kielimallilta pyydettiin 8 riippumatonta vastausta täsmälleen samaan

kehotteeseen. Täsmennetty tehtävänanto ja jatkokysymykset esitettiin ainoastaan oletuskielimallille GPT-4o. Täydelliset kehotteet ja ChatGPT:n antamat vastaukset on esitetty lisämateriaalissa.

4.2.1 Tehtävänanto ja arviointiohjeet

Ylioppilaskokeen (kevät 2021, fysiikka, tehtävä 5.1) tehtävänanto voimakuvioineen on esitetty kuvassa 4.1. Sanallinen tehtävänanto oli:

> 5.1 Pyöräilijä 9 p.
>
> Pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä. Valitse annetuista voimakuvioista A–F se, joka parhaiten kuvaa pyörään ja pyöräilijään vaikuttavia ulkoisia voimia. Kirjoita vastauskenttään valitsemasi voimakuvioni kirjain ja nimeä tähän voimakuvioon piirretyt voimat. Kuvassa vaakasuorat ja pystysuorat voimanuolet sekä niihin liittyvät tunnukset on merkitty selkeyden vuoksi eri väreillä.



Kuva 4.1: Voimakuvioiden arviointitehtävä ylioppilaskokeesta (kevät 2021, tehtävä 5.1).

Arviointiohjeen mukaisesti oikea voimakuvio on B, ja tämän tunnistamisesta annetaan 4 pistettä. Lisäksi pisteitä saa kuvan voimien oikeasta nimeämisestä:

$\vec{F_1}$: ilmanvastus (1 piste)

$\vec{F_3}$: kitka (1 piste)

$\vec{F_6}$: pinnan tukivoima (1 piste)

$\vec{F_7}$: pinnan tukivoima (1 piste)

$\vec{F_8}$: paino (1 piste)

Tehtävän maksimipistemäärä on siis 9 pistettä ja voimien nimeämisistä voi saada pisteitä, vaikka olisi valinnut väärän kuvan.

4.2.2 Oletuskielimalli: GPT-4o

Kahdeksan vastauksen joukossa oli vain vähän vaihtelua. Vastaukset noudattavat yhtenäistä rakennetta, jossa ensin kuvataan pyöräilijään teoriassa vaikuttavat voimat. Tämän jälkeen esitetään ratkaisu ja nimetään pyydetyt voimat. Ainoastaan ensimmäisessä vastauksessa analysoitiin jokainen kuva, mutta voimien tulkinnat ovat kaikkien kuvien osalta virheellisiä. Vastauksista erottuu kaksi vastaustyyppiä, jotka toistuvat melkein samanlaisina. Oikeaksi vastaukseksi esitettiin 6 tapauksessa F ja 2 tapauksessa E, siis jokainen vastaus oli väärä.

Kuviota F ehdottavissa vastauksissa takapyörästä eteenpäin osoittava voimavektori $\vec{F_3}$ jätettiin kokonaan huomiotta ja ohjaustangosta eteenpäin osoittava voimavektori $\vec{F_5}$ oli tulkittu eteenpäin vieväksi kitkavoimaksi. Kuviota E ehdottavissa vastauksissa etupyörästä eteenpäin osoittava voimavektori $\vec{F_4}$ oli tulkittu kitkavoimaksi, mutta takapyörästä eteenpäin osoittava voimavektori $\vec{F_3}$ oli tulkittu painovoimaksi, vaikka samassa vastauksessa oli aiemmin todettu painovoiman osoittavan alaspäin. Pyöräilijan massakeskipisteestä alaspäin osoittava voimavektori $\vec{F_8}$ oli puolestaan jätetty kokonaan huomiotta, mikä viittaa virheeseen hahmontunnistuksessa.

Kielimallin GPT-4o vastauksille on ominaista, että takapyörästä eteenpäin osoittava voimavektori on jätetty kokonaan huomiotta analyysissä. Kyseessä on tuskin vahinko, sillä ilmiö toistui jokaisessa vastauksessa. Mahdollisesti voimavektori ei sopinut kielimallin oletukseen ja sen tulkittiin olevan ylimääräinen. Tähän viittaa yhdessä vastauksessa esiintynyt lause "F_3 ei esiinny tässä".

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:

Vastaus 1: 2/9 pistettä
Vastaus E on väärä. Kaikki kuvat on analysoitu, mutta voimien tulkinnoissa on virheitä. Voima $\vec{F}_3$ on nimetty painovoimaksi ja painovoima $\vec{F}_8$ on jätetty kokonaan huomiotta.

Vastaus 2: 3/9 pistettä
Vastaus F on väärä. Päättely vaadittavista voimista on oikein, mutta kuvan voimat on tulkittu osittain väärin. Voima $\vec{F}_3$ on jätetty kokonaan huomiotta ja ohjaustankoon piirretty $\vec{F}_5$ on tulkittu kitkavoimaksi.

Vastaus 3: 3/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 2.

Vastaus 4: 3/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 2.

Vastaus 5: 3/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 2.

Vastaus 6: 2/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 1.

Vastaus 7: 2/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 2, paitsi voima $\vec{F}_3$ on nimetty painovoimaksi ja painovoima $\vec{F}_8$ on jätetty kokonaan huomiotta.

Vastaus 8: 3/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 2.

4.2.3 Uusin kielimalli: GPT-4.5

ChatGPT:n uusin kielimalli GPT-4.5 ei juurikaan poikkea oletuskielimallin GPT-4o vastauksista. Teksti etenee samanlaisen mallin mukaan, ja tässäkin tapauksessa vastauksissa toistuu kaksi hiukan erilaista väärää tulkintaa, joista yhdessä on jätetty takapyörään vaikuttava vaakasuora voima kokonaan huomiotta ja toisessa etupyörään vaikuttava voima on tulkittu vierintävastukseksi sen suunnasta huolimatta. Osa virheistä voimien tulkinnassa saattaa johtua myös hahmontunnistuksen ongelmista. Oikeaksi vaihtoehdoksi ehdotetaan jokaisessa vastauksessa kuviota E, joka on arviointiohjeiden mukaan myös opiskelijoiden yleisin väärä vastaus.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:

Vastaus 1: 4/9 pistettä
Vastaus E on väärä. Voimien tulkinnoissa virheitä, esim. $\vec{F_4}$ on tulkittu taaksepäin suuntautuvaksi vierintävastukseksi ja $\vec{F_7}$ pyörään kohdistuvaksi painovoimaksi.

Vastaus 2: 3/9 pistettä
Vastaus E on väärä. Voimien tulkinnoissa virheitä, esim. $\vec{F_3}$ on tulkittu ylöspäin suuntautuvaksi tukivoimaksi, $\vec{F_4}$ eteenpäin vieväksi kitkavoimaksi ja voima $\vec{F_7}$ on jätetty kokonaan huomiotta.

Vastaus 3: 4/9 pistettä
Vastaus E on väärä. Voimien tulkinnoissa virheitä, esim. $\vec{F_4}$ on tulkittu eteenpäin vieväksi kitkavoimaksi ja voima $\vec{F_3}$ on jätetty kokonaan huomiotta.

Vastaus 4: 2/9 pistettä
Vastaus E on väärä. Voimien tulkinnoissa virheitä, esim. $\vec{F_4}$ on tulkittu eteenpäin vieväksi kitkavoimaksi ja voima $\vec{F_3}$ on jätetty kokonaan huomiotta. Kuvioon on tulkittu ylimääräinen painovoima $\vec{F_9}$ ja toinen tukivoima $\vec{F_{10}}$ on numeroitu väärin.

Vastaus 5: 4/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 3.

Vastaus 6: 4/9 pistettä
Vastaus E on väärä. Voimien tulkinnoissa virheitä, esim. $\vec{F_4}$ on tulkittu taaksepäin suuntautuvaksi vierintävastukseksi ja $\vec{F_7}$ on jätetty kokonaan huomiotta.

Vastaus 7: 4/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 3.

Vastaus 8: 4/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 3.

4.2.4 Vanha kielimalli: GPT-4

ChatGPT:n vanhassa kielimallissa GPT-4 on ilmeisiä ongelmia voimavektorien suuntien määrittelyssä. Pääsääntöisesti jokaisen kuvan yhteydessä kielimalli tulkitsi voimien vaikuttavan täysin päinvastaiseen suuntaan. Vastauksissa oli muitakin epäjohdonmukaisuuksia, joissa ei kuitenkaan toistunut muita järjestelmällisiä virheitä suunnan väärän määrittelyn lisäksi.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:

Vastaus 1: 0/9 pistettä
Vastaus C on väärä. Voimien selitykset annettu vain yleisellä tasolla ja suuntien määrittelyssä on virheitä.

Vastaus 2: 2/9 pistettä
Vastaus E on väärä. Voimien numerointi ei aina vastaa kuvaa ja suuntien määrittelyssä on virheitä.

Vastaus 3: 1/9 pistettä
Vastaus E on väärä. Jokainen kuva on analysoitu, mutta monissa on virheitä esim. suuntien määrittelyssä.

Vastaus 4: 6/9 pistettä
Vastaus B on oikea, mutta siihen johtanut tulkinta on väärä. Voimien suunnat on pääsääntöisesti tulkittu väärin.

Vastaus 5: 1/9 pistettä
Vastaus E on väärä. Voimia on analysoitu yleisellä tasolla, mutta suuntien määrittelyssä on virheitä.

Vastaus 6: 0/9 pistettä
Vastaus F on väärä. Voimia on analysoitu yleisellä tasolla, mutta suuntien määrittelyssä on virheitä.

Vastaus 7: 2/9 pistettä
Vastaus C on väärä. Voimien tulkinnassa on virheitä etenkin suuntien määrittelyssä.

Vastaus 8: 1/9 pistettä
Vastaus A on väärä. Voimien tulkinnassa on virheitä etenkin suuntien määrittelyssä.

4.2.5 Päättelevä kielimalli: o1

Päättelevä kielimalli o1 menestyi tehtävässä muita kielimalleja paremmin, mutta vain puolet vastauksista johti oikeaan vastaukseen ja yksikään ei saanut täysiä pisteitä. Perusteluissa huomioitiin voimavektoreiden suunnat ja mittasuhteet, mutta niiden sijainti kuvassa saattoi silti olla väärä. Voimien tulkinnoissa oli edelleen virheitä, mutta pääsääntöisesti tulkinta oli johdonmukaista.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:

Vastaus 1: 2/9 pistettä
Vastaus F on väärä. Voimien tulkinnat oikeansuuntaisia, mutta $\vec{F}_3$ on tulkittu painovoimaksi, $\vec{F}_8$ tukivoimaksi ja ohjaustankoon vaikuttava $\vec{F}_5$ pyörää liikuttavaksi kitkavoimaksi.

Vastaus 2: 7/9 pistettä
Vastaus B on oikein. Voimien tulkinnat ovat muuten oikeita, mutta $\vec{F}_7$ on tulkittu painovoimaksi ja $\vec{F}_8$ on jätetty kokonaan huomiotta.

Vastaus 3: 3/9 pistettä
Vastaus F on väärä. Voimien tulkinnat oikeansuuntaisia, mutta ohjaustankoon vaikuttava $\vec{F}_5$ on tulkittu pyörää liikuttavaksi kitkavoimaksi ja $\vec{F}_3$ on jätetty kokonaan huomiotta.

Vastaus 4: 8/9 pistettä
Vastaus B on oikein. Voimien tulkinnat ovat muuten oikein, mutta painovoima on numeroitu väärin.

Vastaus 5: 7/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 2.

Vastaus 6: 4/9 pistettä
Vastaus B on oikein. Voimat on tulkittu oikein, mutta niitä ei ole lainkaan numeroitu.

Vastaus 7: 2/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 1.

Vastaus 8: 3/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 3.

4.2.6 Nopea päättelevä kielimalli: o3-mini

ChatGPT:n nopean päättelevän kielimallin o3-mini vastauksissa oli eniten hajontaa voimakuvion valinnan suhteen, mutta vastaukset noudattivat siltikin hyvin samankaltaista rakennetta kuin muiden kielimallien tuottamat vastaukset. Raskaampaan päättelevään kielimalliin o1 verrattuna analyysi on kevyttä ja pinnallisempaa. Voimavektoreiden analyysissä kiinnitetään huomiota suuntiin ja mittasuhteisiin muttei lainkaan niiden sijaintiin piirroksessa. Oikean voimakuvion valintaa ei ole juurikaan

perusteltu, vaan se vaikuttaa jossain määrin sattumanvaraiselta. Kuvioita ei ole vertailtu keskenään eikä voimiin viitata lainkaan kuvien mukaisella numeroinnilla.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:

Vastaus 1: 4/9 pistettä
Vastaus B on oikein. Vaaka- ja pystysuuntaiset voimat on kuvattu oikein, mutta vain yleisellä tasolla viittaamatta kuvan numerointiin.

Vastaus 2: 0/9 pistettä
Vastaus C on väärä. Voimien kuvaus on pinnallista mutta totuudenmukaista.

Vastaus 3: 0/9 pistettä
Vastaus E on väärä. Muuten sisällöllisesti kuten vastaus 1.

Vastaus 4: 0/9 pistettä
Vastaus D on väärä. Muuten sisällöllisesti kuten vastaus 1.

Vastaus 5: 0/9 pistettä
Vastaus C on väärä. Muuten sisällöllisesti kuten vastaus 1.

Vastaus 6: 0/9 pistettä
Vastaus A on väärä. Muuten sisällöllisesti kuten vastaus 1.

Vastaus 7: 4/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 1.

Vastaus 8: 0/9 pistettä
Vastaus D on väärä. Perustelut ovat kevyet eikä voimia ole lainkaan eritelty.

4.2.7 Täsmennetty tehtävänanto

Seuraavassa vaiheessa ChatGPT:n kehotetta täsmennettiin seuraavasti:

- Pohdi polkupyörän toimintaperiaatetta
- Kiinnitä huomiota voimavektoreiden suuntaan, pituuteen sekä sijaintiin piirroksessa

ChatGPT:ltä pyydettiin 8 riippumatonta vastausta samaan kehotteeseen käyttäen oletuskielimallia GPT-4o.

Kehotteen täsmentämisestä huolimatta vastausten laatu ei parantunut ratkaisevasti. Polkupyörän toimintaperiaatteen pohtiminen ehkä rajasi vaihtoehdoista pois ku-

vion E, jossa myös etupyörään olisi vaikuttanut eteenpäin vaikuttava kitkavoima. Ohjeistuksesta huolimatta kielimalli ei edelleenkään kiinnittänyt huomiota voimavektoreiden sijaintiin, vaan tulkitsi ohjaustankoon piirretyn vektorin eteenpäin vieväksi kitkavoimaksi.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:

Vastaus 1: 2/9 pistettä
Vastaus F on väärä. Kaikki kuvat on analysoitu, mutta voimien tulkinnoissa on virheitä. Ohjaustankoon piirretty $\vec{F_5}$ on tulkittu kitkavoimaksi, $\vec{F_3}$ painovoimaksi ja $\vec{F_8}$ etupyörän tukivoimaksi.

Vastaus 2: 3/9 pistettä
Vastaus F on väärä. Kaikki kuvat on analysoitu, mutta voimien tulkinnoissa on virheitä. Ohjaustankoon piirretty $\vec{F_5}$ on tulkittu kitkavoimaksi ja $\vec{F_3}$ on jätetty kokonaan huomiotta.

Vastaus 3: 2/9 pistettä
Vastaus F on väärä. Vain yksi kuva on analysoitu. Muuten sisällöllisesti kuten vastaus 1.

Vastaus 4: 3/9 pistettä
Vastaus F on väärä. Vain yksi kuva on analysoitu. Muuten sisällöllisesti kuten vastaus 2.

Vastaus 5: 3/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 4.

Vastaus 6: 3/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 4.

Vastaus 7: 2/9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 1.

Vastaus 8: /9 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 3.

4.2.8 Jatkokeskustelu

Edellisten vastausten jälkeen keskustelua jatkettiin kysymällä, miksi voimavektori $\vec{F_5}$ kohdistuu polkupyörän ohjaustankoon.

Kielimallin GPT-4o tuottamassa vastauksessa selitetään, että ”kyseessä on piirroksen yksinkertaistus, jossa kaikki vaakasuuntaiset voimat on piirretty mahdollisimman selkeästi, eivätkä nuolet välttämättä osoita juuri siihen kohtaan, mihin voima oikeasti kohdistuu”. Vastauksesta selviää, että kielimalli pystyy päättelemään voiman todellisen vaikutuskohdan aivan oikein, mutta tulkitsee jostain syystä kuvion F oikeaksi ja olettaa voimavektorin vain havainnollistavan eteenpäin työntävää kitkavoimaa.

Tämän jälkeen ChatGPT:lle vielä täsmennettiin, että tehtävässä kaikki nuolet ovat oikeilla paikoillaan, ja pyydettiin pohtimaan ratkaisua vielä uudelleen.

Kielimalli GPT-4o tarkasteli nyt vastauksessaan kuviota F uudelleen ja havaitsi, ettei ohjaustankoon kohdistuvaan voimaan ole fysikaalista perustetta. Toisaalta kuviossa B ei ole ristiriitaisuuksia minkään voivavektorin osalta, ja tämä tulkittiin oikeaksi vastaukseksi. Myös kuvan voimien selitykset olivat oikeat, joten vastauksesta saisi täydet 9 pistettä.

4.2.9 Tulosten tulkinta

Kuvantunnistus ja tekstin tulkitseminen kuvamateriaalista vaikuttaa toimivan hyvin kaikkien kokeiltujen kielimallien kanssa, mutta joissakin tapauksissa voimavektoreiden alaindeksit on saatettu lukea väärin. Vaikka alkuperäisissä tulkinnoissa oli selviä virheitä, täsmennettyjen kehotteiden jälkeen vastaus oli yksiselitteisesti oikea ja kuvat tulkittu oikein. Tämän perusteella aikaisempien vastausten ongelmat ovat tuskin johtuneet kuvantunnistuksesta vaan kielimallin muista ominaisuuksista.

ChatGPT:lle annetussa tehtävässä testattiin voimakuvioiden tulkitsemista, joka on lukion fysiikassa olennainen perustaito. Voimakuvioiden avulla voidaan mitata ymmärrystä voimien vaikutuksesta kappaleen liiketilaan, joten tehtävä soveltuu erinomaisesti kielimallien fysikaalisen kyvykkyyden arviointiin.

Alkuperäisellä tehtävänannolla ChatGPT suoriutui heikosti kaikilla käytetyillä kielimalleilla. Osoittautui, että kehittyneimmät kielimallit GPT-4o, GPT-4.5 ja o1 kykenivät hahmottamaan voimia ja liiketilaa varsin hyvin. Nämä kielimallit tunnistivat voimavektoreiden suunnat ja suuruudet, ja voimien vaikutukset kappaleen liiketilaan oli hyvin perusteltu. Vastauksissa oli kuitenkin virheitä ja epätarkkuuksia, kun tehtävänanto oli annettu yleisellä tasolla. Oikeaan vastaukseen perusteluineen päästiin vasta siinä vaiheessa, kun kehotteessa oli täsmällisesti kehotettu vertaamaan vektoreiden sijainteja eri piirrosten välillä.

Vanhempi kielimalli GPT-4 sekä yksinkertaistettu päättelevä kielimalli o3-mini eivät

pystyneet analysoimaan voimakuvioita riittävän tarkasti. Kielimallilla GPT-4 korostuivat ongelmat voimavektoreiden suuntien määrittelyssä, ja kielimallin o3-mini analyysi oli liian pinnallista tehtävän vaativuuteen nähden.

Yleisesti kielimallien vastauksista voi olettaa, että kehotetta on analysoitu ennen vastauksen kirjoittamista. Esimerkiksi uutta kielimallia käytettäessä ensimmäinen vastaus oli tyypillisesti laajempi kuin myöhemmät. Myös yksittäisiin kuvioihin pohjautuvissa vastauksissa on todennäköisesti analysoitu muitakin kuvioita ennen oikean vaihtoehdon valitsemista.

Yleisluontoinen tehtävänanto vaikuttaa johtavan yleisluontoiseen vastaukseen, jossa kielimalli ei kiinnitä huomiota kaikkiin yksityiskohtiin. Täsmennykset ja lisäkysymykset auttavat kielimallia kohdistamaan huomion toivottuihin asioihin ja parantamaan vastauksen laatua.

Voimakuvioiden analyysissä ChatGPT ei välttämättä ole opiskelijalle kovin hyödyllinen työkalu, sillä sen virheellinen analyysi saattaa johtaa opiskelijaa harhaan. Tämänkaltaisessa tehtävässä opiskelija saa hyötyä ChatGPT:stä vain, jos hänellä on ennestään riittävät perustiedot voimakuvioista ja voimiin liittyvistä fysikaalisista periaatteista. Tällöin opiskelijan on osattava arvioida kielimallin tuottamaa vastausta ja ohjata kehotteen avulla kielimallia kiinnittämään huomiota oikeisiin asioihin.

4.3 Laskutehtävän ratkaiseminen

Generatiivisen tekoälyn kykyä ratkaista fysiikan laskutehtäviä tutkittiin syksyn 2019 ylioppilaskokeen tehtävällä 4, jossa kokelaiden tuli laskea hiihtäjän nopeus ja kuljettu matka annetuilla lähtötiedoilla. Ensimmäinen tehtävänanto oli täsmälleen ylioppilaskokeen alkuperäisen muotoilun mukainen. Tämän jälkeen ChatGPT:lle esitettiin täsmennetty tehtävänanto ja lisäkysymyksiä aikaisempien vastausten perusteella, kunnes saatiin toivotun kaltainen lopputulos.

Kokeet suoritettiin 12.4.2025 ChatGPT:n oletuskielimallilla GPT-4o, jolta pyydettiin 4 riippumatonta vastausta täsmälleen samaan kehotteeseen. Myös täsmennettyyn tehtävänantoon pyydettiin 4 riippumatonta vastausta, mutta lisäkysymykset esitettiin vain kerran. Täydelliset kehotteet ja ChatGPT:n antamat vastaukset on esitetty lisämateriaalissa.

4.3.1 Tehtävänanto ja arviointiohjeet

Ylioppilaskokeen (syksy 2019, fysiikka, tehtävä 4) täsmällinen tehtävänanto oli:

Mäenlaskua (15 p.)

Hiihtäjä lähtee laskemaan 7,5 m korkean mäen harjalta työntämättä itselleen alkuvauhtia. Mäen kulma vaakatason suhteen on α (katso kuva 4.A). Suksen ja lumen välinen liukukitkakerroin on 0,11. Ilmanvastus voidaan jättää huomiotta.

[*tekstiä poistettu*]

4.1. Kuinka suuri hiihtäjän vauhti on mäen lopussa, kun $\alpha = 14°$? (7 p.)

4.2. Hiihtäjä lähtee liukumaan mäkeä alas, mikäli mäen kulma on 9° tai enemmän. Piirrä kuvaaja hiihtäjän tasamaalla liukumasta matkasta mäen kulman α funktiona välillä $9 \ldots 45°$. (8 p.)

Tehtävän liitteenä oleva piirros on esitetty kuvassa 4.2.

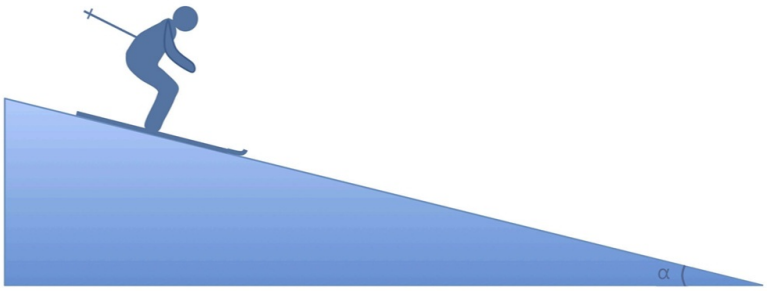
Arviointiohjeen mukaan tehtävän ensimmäisestä osasta voi saada enintään 7 pistettä ja toisesta osasta enintään 8 pistettä.

Tehtävän 4.1 pisteytys:

- Voimakuvio on piirretty, siitä ei puutu voimia eikä siinä ole ylimääräisiä voimia, eivätkä voivavektoreiden vaikutuspisteet ole selvästi vääriä (3 pistettä)
- On esitetty ratkaisun kannalta oikeat lähtöyhtälöt (2 pistettä)
- Suureyhtälö on kirjoitettu näkyviin lopputuloksessa (2 pistettä)

Tehtävän 4.2 pisteytys:

- Tehtävä on ratkaistu työ-energiaperiaatetta käyttäen tai kinemaattisesti Newtonin II laista lähtien, ja käytetty laki tai periaate on nimetty (1 piste)



Kuva 4.2: Esimerkkikuva ylioppilaskokeen tehtävänannosta (kevät 2019, tehtävä 4).

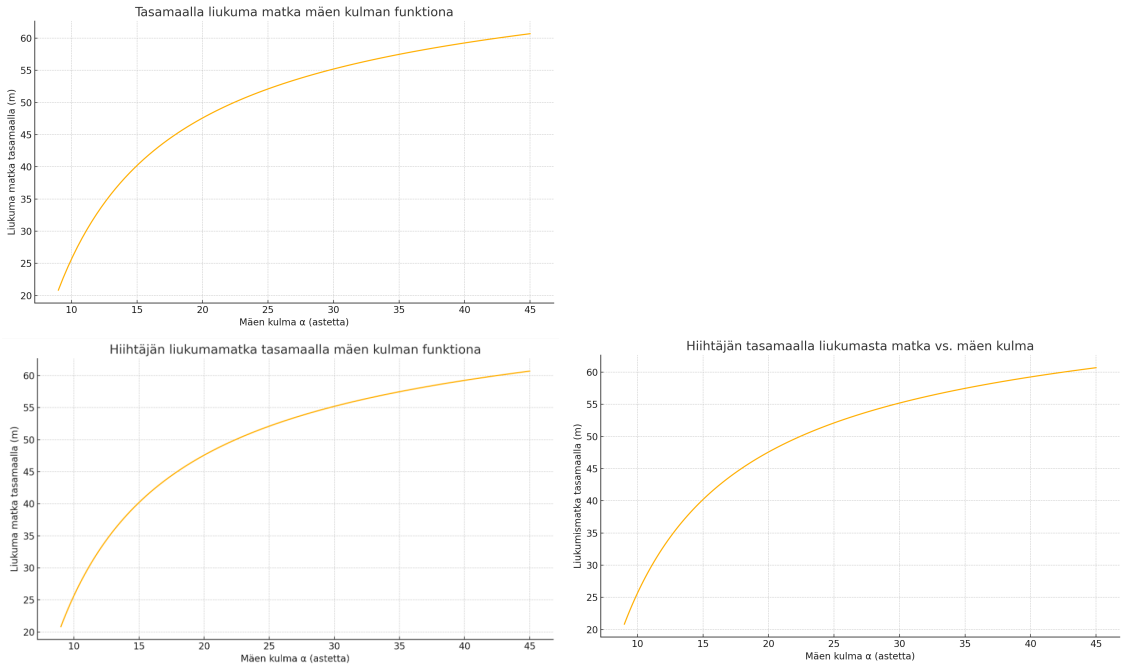
- On esitetty ratkaisun kannalta oikeat lähtöyhtälöt (2 pistettä)
- On esitetty matkan lauseke suureyhtälönä 2p
- Kuvaaja on yhtenäinen käyrä ja se esittää tehtävässä annetun kulma-alueen, akselit on merkitty asianmukaisesti ja akseleiden skaalaus on järkevä (3 pistettä)

4.3.2 Alkuperäisen tehtävänannon ratkaiseminen

Alkuperäisessä tehtävänannossa ei mainittu ylioppilaskokeen tyypillisiä vaatimuksia, eikä ChatGPT myöskään perustellut vastauksiaan erityisen laajasti. Lyhimmillään vastaus sisälsi ainoastaan lopputuloksen ja kuvaajan, mutta kahdessa vastauksessa neljästä laskentamenetelmät ja käytetyt yhtälöt selvisivät kielimallin luomasta python-koodista. Laskentakoodi ei ollut näkyvillä kaikissa vastauksissa, vaikka jonkinlaista laskentaa on ilmiselvästi käytetty taustalla.

Kuvaajat on piirretty graafisia kirjastoja hyödyntäen, ja ne ovat keskenään lähes identtisiä. Kuvaajien otsikoinnissa ja akseleiden nimeämisissä on pieniä eroja. Eri vastauksissa tuotetut kuvaajat on esitetty kuvassa 4.3.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:



Kuva 4.3: Kielimallin luomat kuvaajat alkuperäiseen kehotteeseen. Vastauksessa A.2 ei esitetty kuvaajaa.

Vastaus 1: 11/15 pistettä
Vastauksessa on annettu vain lopputulos ja kuvaaja, mutta laskentamenetelmät ja yhtälöt selviävät python-koodista. Voimakuviota ei ole piirretty eikä käytettyä periaatetta ole nimetty. Yhtälöt ovat oikein, mutta jostain syystä vastaus on väärä. Kuvaaja on oikein piirretty.

Vastaus 2: 0/15 pistettä
Numeerisen laskennan osuutta ei näytetty python-koodissa. Kuvaajan sijasta esitettiin vain taulukko lukuarvoista.

Vastaus 3: 3/15 pistettä
Numeerisen laskennan osuutta ei näytetty python-koodissa. Kuvaaja on oikein piirretty.

Vastaus 4: 11/15 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 1.

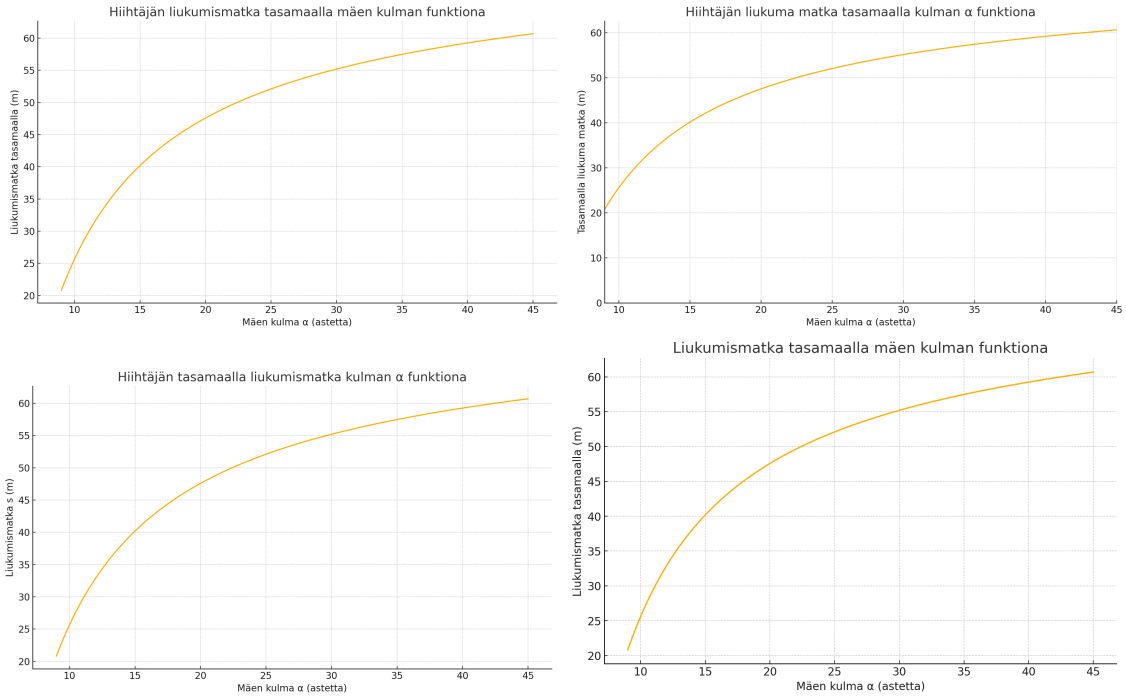
4.3.3 Täsmennetty tehtävänanto

Seuraavassa vaiheessa ChatGPT:n kehotetta täydennettiin pyytämällä huomioimaan ylioppilaskokeessa yleisesti vaadittuja seikkoja:

- Perustele molempien kohtien ratkaisut lukion fysiikan sisältöjen avulla
- Piirrä voimakuvio
- Esitä käyttämäsi ratkaisuperiaate ja lähtöyhtälöt
- Esitä suureyhtälö kysytyn suureen suhteen ratkaistuna
- Nimeä ja skaalaa kuvaajan akselit tarkoituksenmukaisesti

Kielimallin tuottamat vastaukset täsmennettyyn kehotteeseen noudattivat ylioppilaskokeen vaatimuksia, mutta voimakuviota ei pyynnöstä huolimatta piirretty. Yksi vastauksista oli muita suppeampi, mutta kolmessa vastauksessa nimettiin käytetyt periaatteet ja esitettiin yhtälöiden johtaminen välivaiheittain. Näissä vastauksissa myös lukuarvojen sijoituksessa esitettiin välivaiheet, vaikka sitä ei erikseen pyydetty. Kahdessa vastauksessa ratkaisussa hyödynnettiin Newtonin liikeyhtälöitä ja kahdessa käytettiin myös energiaperiaatetta. Eri vastauksissa tuotetut kuvaajat on esitetty kuvassa 4.4.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:



Kuva 4.4: Kielimallin luomat kuvaajat täsmennettyyn kehotteeseen.

Vastaus 1: 11/15 pistettä
Voimakuviota ei ole piirretty eikä käytettyä periaatetta (Newton II) ole nimetty. Lähtöyhtälöt ja lopulliset suureyhtälöt on esitetty. Kuvaaja on piirretty oikein.

Vastaus 2: 12/15 pistettä
Voimakuviota ei ole piirretty, mutta se on kuvailtu sanallisesti. Käytetyt fysikaaliset periaatteet (Newton II, kitka) on nimetty, lähtöyhtölät ja suureyhtälöt esitetty. Yhtälöiden johtamisessa ja lukuarvojen sijoituksessa on esitetty välivaiheita. Kuvaaja on piirretty oikein.

Vastaus 3: 12/15 pistettä
Samantyyppinen muotoilu kuin vastauksessa 2, mutta ratkaisussa on hyödynnetty energiaperiaatetta.

Vastaus 4: 12/15 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 3.

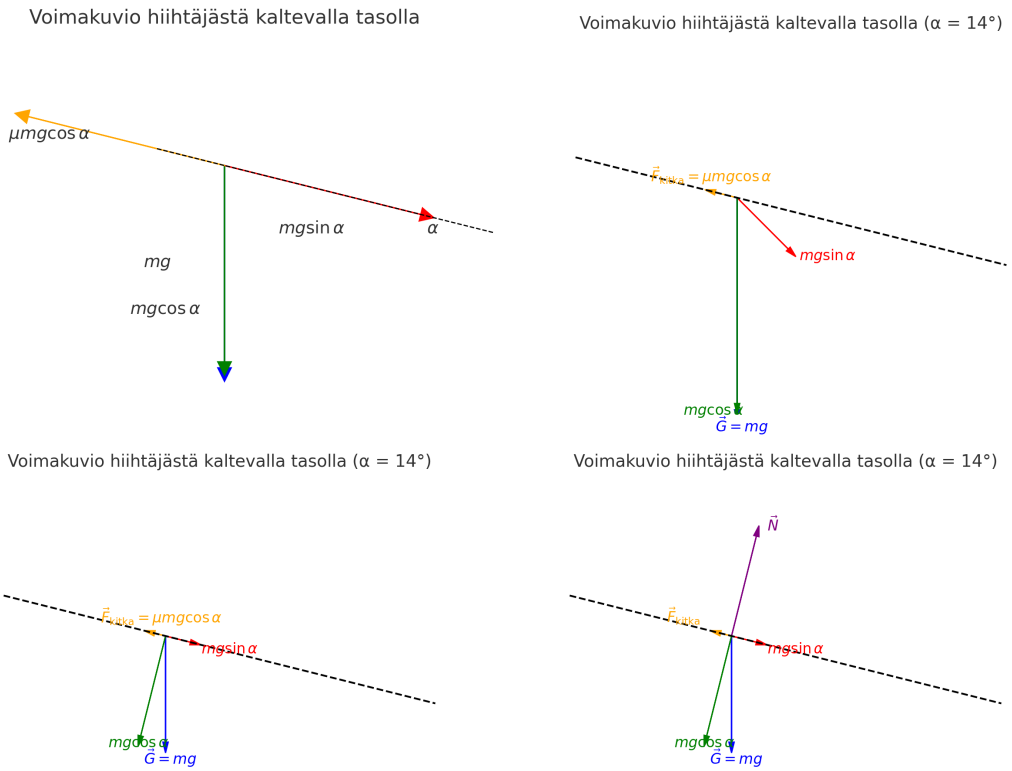
4.3.4 Voimakuvioiden piirtäminen

ChatGPT ei piirtänyt voimakuviota automaattisesti, mutta tarjoutui piirtämään sen erikseen jokaisen vastauksen lopuksi. Oikeanlaisen voimakuvion piirtämiseksi

kuitenkin vaadittiin useampi kehote, ja vasta neljäs kuvio oli hyväksyttävä. Annetut kehotteet olivat:

1. Piirrä voimakuvio selityksineen.
2. Piirrä voimakuvio niin, että vektoreiden täsmälliset sijainnit ja mittasuhteet ovat oikeat.
3. Voimien suunnat eivät ole ihan oikein. Kiinnitä niihin huomiota ja päivitä kuvio.
4. Lisää voimakuvioon vielä hiihtäjään kohdistuva tukivoima.

Voimakuvioiden täsmentyminen käyttäjän kehotteiden seurauksena on esitetty kuvassa 4.5.



Kuva 4.5: Kielimallin luoman voimakuvion täsmentyminen käyttäjän kehotteiden perusteella. Kahdella ensimmäisellä yrityksellä (ylhäällä) vektoreiden pituudet ja suunnat eivät olleet oikein. Kolmannella yrityksellä (alhaalla vasemmalla) kuviosta puuttui tukivoima.

4.3.5 ChatGPT:n tuottama malliratkaisu

Täsmennetyn tehtävänannon jälkeen ChatGPT tuotti seuraavan malliratkaisun:

Tehtävänanto

Hiihtäjä lähtee laskemaan 7.5 m korkean mäen harjalta työntämättä itselleen alkuvauhtia. Mäen kulma vaakatasoon nähden on α. Suksen ja lumen välinen liukukitkakerroin on $\mu = 0{,}11$. Ilmanvastus voidaan jättää huomiotta.

a) Kuinka suuri hiihtäjän vauhti on mäen lopussa, kun $\alpha = 14°$?

b) Hiihtäjä lähtee liukumaan mëessä, jonka kulma on 9° tai enemmän. Piirrä kuvaaja hiihtäjän tasamaalla liukumasta matkasta kulman α funktiona välillä $9 \ldots 45$ astetta.

a) Nopeus mäen lopussa

Periaate: Energiaperiaatteen mukaan potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi ja kitkaksi:

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \mu mg\cos\alpha \cdot \frac{h}{\sin\alpha}$$

Massat supistuvat pois:

$$gh = \frac{1}{2}v^2 + \mu g\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}h$$

$$v = \sqrt{2gh\,(1 - \mu\cot\alpha)}$$

Lasku:

$$\begin{aligned}
g &= 9.81\,\mathrm{m\,s^{-2}},\\
h &= 7.5\,\mathrm{m},\\
\alpha &= 14° \Rightarrow \cot\alpha \approx 4.005\\
v &= \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 7.5 \cdot (1 - 0.11 \cdot 4.005)}\\
&\approx 9.07\,\mathrm{m\,s^{-1}}
\end{aligned}$$

b) Liukumismatka tasamaalla

Periaate: Kun hiihtäjä saapuu tasamaalle nopeudella v, liike pysähtyy kitkavoiman tekemän työn seurauksena:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \mu mgs \Rightarrow s = \frac{v^2}{2\mu g}$$

Käyttämällä nopeuden lauseketta:

$$s = \frac{2gh(1 - \mu \cot \alpha)}{2\mu g} = \frac{h(1 - \mu \cot \alpha)}{\mu}$$

Lopullinen kaava:

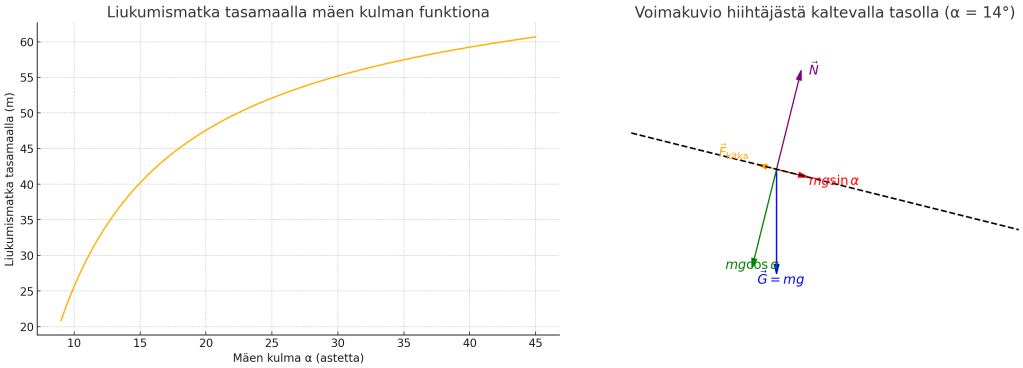
$$s(\alpha) = \frac{h(1 - \mu \cot \alpha)}{\mu}$$

Kuvaaja: (katso liite). Liukumismatka kasvaa kulman α kasvaessa, koska hiihtäjä saa suuremman alkunopeuden.

Voimakuvio

Voimat hiihtäjään kaltevalla tasolla:

- (sininen) Paino $\vec{G}$
- (punainen) Painon rinnesuunta $mg \sin \alpha$
- (vihreä) Painon normaalikomponentti $mg \cos \alpha$
- (oranssi) Kitkavoima $\vec{F}_{\text{kitka}}$
- (violetti) Tukivoima $\vec{N}$



Kuva 4.6: ChatGPT:n luomat kuvat malliratkaisun (kappale 4.3.5) liitteeksi.

4.3.6 Malliratkaisun arviointi

ChatGPT:n oletuskielimallin GPT-4o tuottama esimerkkiratkaisu on erittäin korkeatasoinen. Ratkaisu noudattaa kehotteessa annettuja vaatimuksia ja se etenee selkeästi ja loogisesti perustellen. Kielellisesti teksti on hyvällä tasolla ja sisältää vain muutaman kirjoitusvirheen tai huonosti valitun sanan. Arviointiohjeen mukaisesti tehtävästä saisi täydet pisteet.

Voimakuvion tekeminen kuitenkin vaati käyttäjältä aktiivista ohjeistusta, mutta lopulta kuvion tuottaminen kuitenkin onnistui kertomatta suoraan voimavektoreiden suuntia, sijainteja tai pituuksia. Mikäli kehotteessa ilmaistiin, että kuvaajassa on virheitä, kielimalli kykeni korjaamaan virheet ilman virheiden täsmällistä osoittamista.

4.3.7 Tulosten tulkinta

Tehtävän perusteella ChatGPT:n oletuskielimalli GPT-4o on varsin kyvykäs ratkaisemaan tyypillisen voimaa ja liikettä käsittelevän perustason tehtävän. Pelkkä tehtävänanto ilman erillistä vaatimusten määrittelyä tuottaa lyhyen laskentakoodia hyödyntävän ratkaisun, jonka oikeellisuutta on mahdotonta arvioida ilman ohjelmakoodin tarkastelua. Yksinkertaisen kuvaajan piirtämisessä ei ilmennyt ongelmia, mutta voimakuvion tuottaminen ei onnistunut ilman käyttäjän ohjausta.

Jotta vastauksesta saadaan lukion fysiikan vaatimustason mukainen, kielimallille täytyy määritellä hyvin selkeästi, mitä oikeaoppiselta vastaukselta edellytetään. Vaatimusten määrittelyn jälkeen ratkaisu kuitenkin on korkeatasoinen ja voisi soveltua opiskelijalle harjoitusmateriaaliksi ongelmanratkaisun harjoitteluun.

Opiskelijan täytyy kuitenkin tuntea tehtävien ratkaisuilta vaaditut piirteet, jotta kielimallin voi ohjata tuottamaan ratkaisun riittävässä laajuudessa. Lisäksi täytyy hallita opiskeltavan asian perustiedot, jotta ratkaisun mahdollisia virheitä tai puutteita voisi arvioida.

ChatGPT:n piirtämään voimakuvioon täytyy suhtautua varauksella. Käsitellyn esimerkin valossa voimakuviossa on lähtökohtaisesti virheitä, joita opiskelijan tulisi pystyä tunnistamaan. Tämä edellyttää myös opiskelijalta tietoa, miten voimakuvio tulee oikeasti laatia. Piirtotyökaluna ChatGPT kuitenkin toimii varsin hyvin ja voi olla helppokäyttöisempi kuin normaalit käytössä olevat piirtotyökalut.

4.4 Mittaustulosten analyysi

Generatiivisen tekoälyn kykyä tulkita mittaustuloksia tutkittiin syksyn 2021 ylioppilaskokeen tehtävällä 2, jossa kokelaiden tuli piirtää kuvaaja sulkapallon nopeutta kuvaavista mittaustuloksista ja päätellä kuvaajan perusteella pallon korkein kohta sekä alue, jolla nopeus on vakio. Lisäksi täytyi määrittää ilmanvastuskerroin mittaustulosten ja annetun laskentakaavan perusteella.

Ensimmäinen tehtävänanto oli täsmälleen ylioppilaskokeen alkuperäisen muotoilun mukainen. Tämän jälkeen ChatGPT:lle esitettiin täsmennetty tehtävänanto ja lisäkysymyksiä aikaisempien vastausten perusteella, kunnes saatiin toivotun kaltainen lopputulos.

Kokeet suoritettiin 12.4.2025 ChatGPT:n oletuskielimallilla GPT-4o, jolta pyydettiin 4 riippumatonta vastausta täsmälleen samaan kehotteeseen. Täsmennettyyn tehtävänantoon pyydettiin vain yksi vastaus, ja myös lisäkysymykset esitettiin vain kerran. Täydelliset kehotteet ja ChatGPT:n antamat vastaukset on esitetty lisämateriaalissa.

4.4.1 Tehtävänanto ja arviointiohjeet

Ylioppilaskokeen (syksy 2021, fysiikka, tehtävä 2) täsmällinen tehtävänanto oli:

> Sulkapallo 15 p.
>
> Sulkapalloa lyötiin suuressa hallissa voimakkaasti ylöspäin. Sulkapalloon vaikuttaa olennaisesti kaksi voimaa: Maan siihen kohdistama paino sekä ilmanvastus, joka on verrannollinen sulkapallon nopeuden neliöön. Aineistossa 2.A on sulkapallon mitattu nopeus ajan funktiona. Aineistossa 2.B on kuva sulkapallosta ja tietoa sulkapallon ominaisuuksista.
>
> [*massa 4,8 g ja poikkipinta-ala 0,0030* m^2]
>
> 2.1 Esitä graafisesti sulkapallon mitattu nopeus ajan funktiona. Esitykseen ei tarvitse tehdä graafista tasoitusta. 4 p.
>
> 2.2 Päättele graafisesta esityksestä, millä hetkellä sulkapallo on korkeimmillaan. Millä aikavälillä pallon nopeus on likimain vakio? 4 p.
>
> 2.3 Ilmanvastuksen suuruudelle F_D pätee malli
>
> $$F_D = \frac{1}{2} C \rho A v^2$$

jossa C on kappaleen muodosta riippuva kerroin, ρ on ilman tiheys (1,22 kg/m^3), A on kappaleen poikkipinta-ala ja v on kappaleen nopeus. Tarkastele aikaväliä, jolla pallon nopeus on likimain vakio. Määritä kerroin C kokeessa käytetylle sulkapallolle. 7 p.

Arviointiohjeen mukaan tehtävästä voi saada yhteensä voi saada 15 pistettä seuraavasti:

- Piirretty kuvaaja, jossa mittaustulokset näkyvät erillisinä mittauspisteinä (4 pistettä, murtoviiva 3 pistettä)
- Korkein kohta määritetty välille 0,90...0,95 s (2 pistettä)
- Vakionopeusalue määritetty välille 2,0...2,4 s (2 pistettä)
- Todettu, että vakionopeudella ilmanvastus ja painovoima yhtä suuria tai viitattu Newtonin II lakiin (2 pistettä)
- Kertoimen C suureyhtälö esitetty (2 pistettä)
- Ilmanvastuskertoimeksi määritetty 0,59...0,62 yhden tai kahden merkitsevän numeron tarkkuudella (3 pistettä)

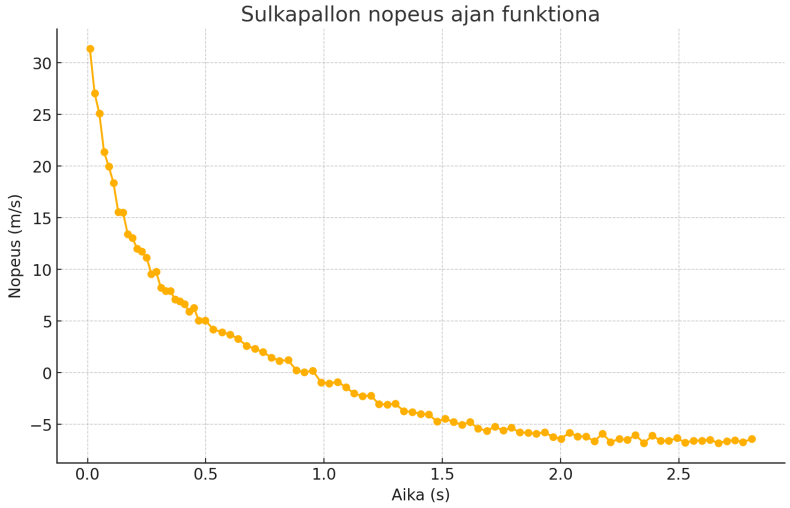
4.4.2 Alkuperäisen tehtävänannon ratkaiseminen

ChatGPT:n tuottama kuvaaja oli jokaisessa vastauksessa samanlainen, joten vain yksi kuvaajista on esitetty kuvassa 4.7. Kuvaajassa mittapisteet oli yhdistetty murtoviivalla, vaikka kehotteessa niin ei pyydetty tekemään.

Jokaisessa vastauksessa osattiin etsiä korkeimmaksi kohdaksi ajanhetkeä, jossa nopeus on nollassa. Kuitenkin vain yksi vastauksista tunnisti mittaustuloksista oikean kohdan, kun kolmessa vastauksessa nollanopeutta ehdotettiin ajanhetkelle 0,23 s, jossa kahdesta peräkkäisestä mittaustuloksesta jälkimmäinen on ensimmäistä kertaa suurempi kuin edellinen.

Yhdessäkään vastauksista ei tunnistettu ajanhetkeä, jossa nopeus on vakio. Yhdessä vastauksessa vakionopeusalueeksi määritettiin erittäin laaja alue 0,15 ... 2,81 sekuntia, ja kolmessa muussa vastauksessa vakionopeusalue määritettiin aikavälille 0,35 ... 0,45 sekuntia.

Ilmanvastuskertoimen määrittäminen sujui jokaisessa vastauksessa teoreettisesti oikein, mutta nopeuden arvo oli edellä kuvatusta syystä väärä ja siten myös lopputulos oli väärä.



Kuva 4.7: ChatGPT:n tuottama kuvaaja nopeuden mittaustuloksista nopeuden funktiona alkuperäisellä tehtävänannolla. Kehotteessa ohjeistettiin, että mittauspisteitä ei tarvitse yhdistää.

Yhtälöitä ei esitetty vastauksissa, mutta joissakin vastauksissa ne pystyi päättelemään python-koodista.

Vastausten saamat pisteet ja arviointi on tiivistetty seuraavassa:

Vastaus 1: 9/15 pistettä
Kuvaajassa pisteet yhdistetty murtoviivalla. Korkeimmaksi kohdaksi määritelty mittauspiste, jossa nopeus on lähimpänä nollaa. Vakionopeusalue yritetty määritettää peräkkäisten mittauspisteiden erotuksen avulla. Ilmanvastuskertoimen laskutapa ja suureyhtälö ovat oikeita, mutta väärin määritetty vakionopeus tuottaa väärän lopputuloksen.

Vastaus 2: 3/15 pistettä
Kuvaajassa pisteet yhdistetty murtoviivalla. Korkein kohta ja vakionopeusalue määritetty väärin. Ilmanvastuskerrointa ei määritetty lainkaan.

Vastaus 3: 7/15 pistettä
Kuvaajassa pisteet yhdistetty murtoviivalla. Korkein kohta ja vakionopeusalue määritetty väärin. Ilmanvastuskertoimen laskutapa ja suureyhtälö ovat oikeita, mutta väärin määritetty vakionopeus tuottaa väärän lopputuloksen.

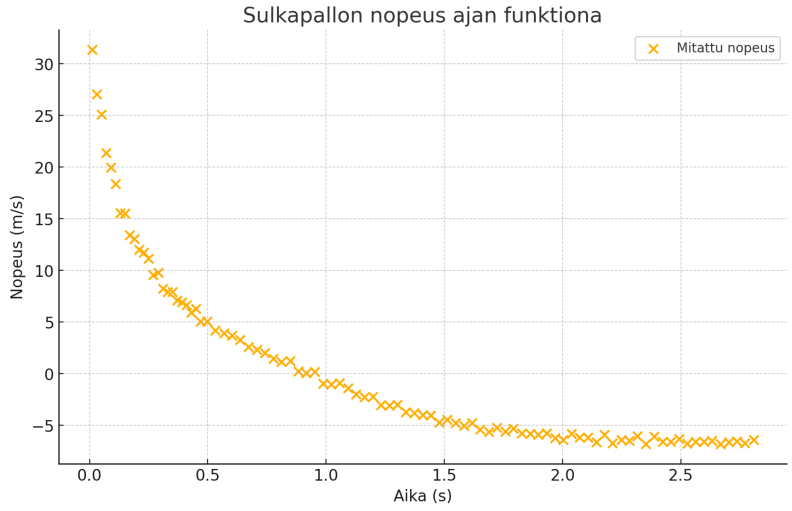
Vastaus 4: 7/15 pistettä
Sisällöllisesti kuten vastaus 3.

4.4.3 Täsmennetty tehtävänanto

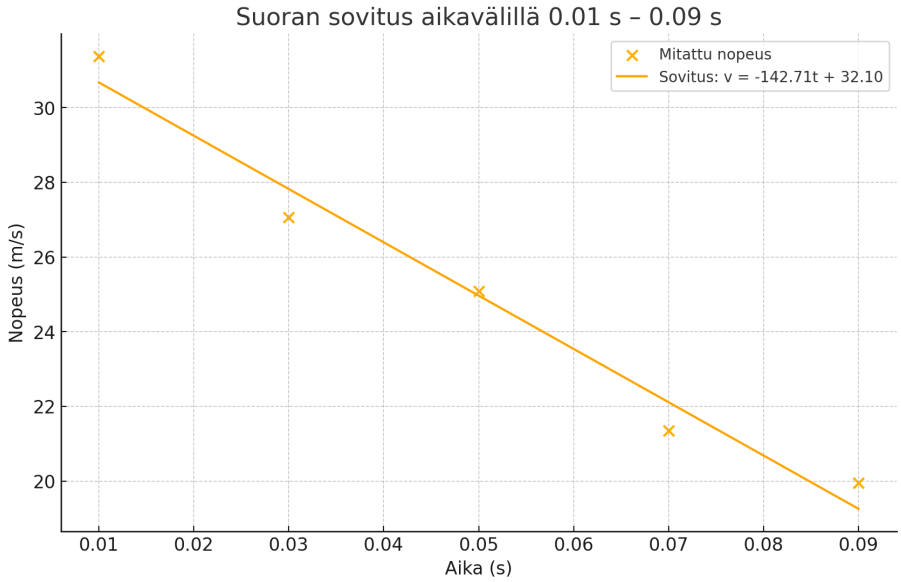
Seuraavassa vaiheessa ChatGPT:n kehotetta täydennettiin pyytämällä kiinnittämään huomiota seuraaviin seikkoihin:

- Mittauspisteitä ei saa yhdistää toisiinsa murtoviivalla
- Analyysissä on hyödynnettävä suoran sovittamista mittauspisteisiin
- Mittaustulokset esittävät nopeutta ajan funktiona
- Suureyhtälöt ja matemaattinen analyysi on esitettävä vastauksessa

Tehtävästä suoriutuminen ei kuitenkaan parantunut merkittävästi. Mittaustulosten kuvaaja esitettiin nyt ilman murtoviivaa, kuten nähdään kuvasta 4.8. Korkeimman kohdan tai vakionopeusalueen tunnistaminen ei vieläkään onnistunut. ChatGPT sovitti suoran mittaustuloksiin nopeusalueella, jolla se tulkitsi nopeuden olevan vakio. Suoransovitusta ei kuitenkaan hyödynnetty vakionopeusalueen varmentamisessa, mikä ilmenee myös kuvasta 4.9. Ilmanvastuskertoimen arvoksi tulee negatiivinen luku, minkä ChatGPT tulkitsee johtuvan virheestä nopeuden määrittelyssä. Lopullisessa vastauksessa etumerkki kuitenkin jätetään huomiotta, eikä virhettä edes yritetä korjata.



Kuva 4.8: ChatGPT:n tuottama kuvaaja nopeuden mittaustuloksista nopeuden funktiona alkuperäisellä tehtävänannolla. Nyt kehotteessa kiellettiin yhdistämästä mittauspisteitä.



Kuva 4.9: ChatGPT:n tuottama kuvaaja suoran sovittamisesta mittauspisteisiin alueella, jossa ChatGPT tulkitsi nopeuden olevan vakio.

4.4.4 Lisäkysymykset virheiden korjaamiseksi

Edellisen vastauksen jälkeen ChatGPT:lle vielä annettiin useita lisäkysymyksiä kehotteissa, ennen kuin lopputulokseksi saatiin odotukset täyttävä vastaus. Tiivistettynä keskustelu eteni seuraavasti:

> *Kehote:* Tarkastele edellistä vastaustasi kriittisesti ja etsi siitä virheitä tai ristiriitaisuuksia. Muodosta sitten uusi vastaus.
>
> [*analyysin vaiheittainen läpikäynti mutta nopeuden suunnanmuutos edelleen väärässä kohdassa*]
>
> *Kehote:* Mieti vielä tarkemmin, miten nopeuden etumerkki, suuruus ja liikkeen suunta liittyvät toisiinsa. Tulkitse tämän jälkeen kuvaajaa uudelleen ja muotoile vastauksesi uudelleen.
>
> [*huolellinen läpikäynti vaihe vaiheelta mutta edelleen nopeuksien tulkinnat väärin*]
>
> *Kehote:* Miten mittausaineisto perustelee, että nopeus muuttaa etumerkkiä 0,2 sekunnin kohdalla?
>
> [*esittää nopeuslukemia 0,23 sekunnin kohdalla mutta luvut ovat erilaisia kuin mittausaineistossa*]

Kehote: Oletko ottanut huomioon mahdollisuuden, että tuloksissa voi olla yksittäisiä virheellisiä mittapisteitä?

[*esittää lukemia mittapisteistä 0,2 sekunnin ympäristössä ja viittaa nopeuden muutokseen mittapisteiden välillä*]

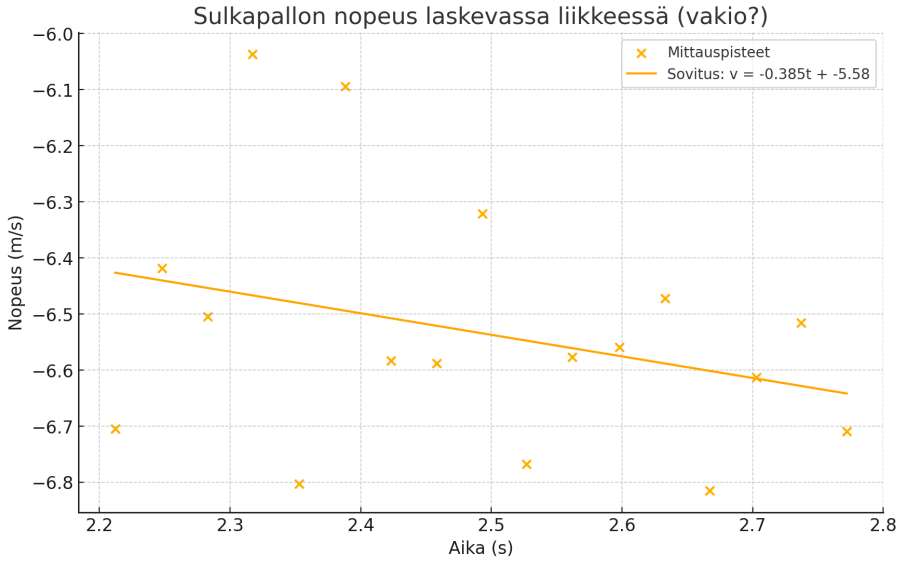
Kehote: Miksi käytät analyysissä nopeuden muutosta, kun aineisto sisältää nopeuden arvot sellaisenaan?

[*tässä vaiheessa virhe selviää*]

Virheen selvittämisen jälkeen ChatGPT:tä pyydettiin ratkaisemaan tehtävä uudelleen. Nyt kuvaaja on piirretty oikein, korkein kohta ja vakionopeusalue on määritetty oikein, tasapainoyhtälö ja ilmanvastuskertoimen suureyhtälö on esitetty, ja oikea lopputulos on esitetty kahden merkitsevät numeron tarkkuudella. Nyt tehtävästä voisi antaa arviointiohjeen mukaisesti täydet pisteet. ChatGPT myös sovitti suoran mittapisteisiin vakionopeusalueella. Suoransovitus on esitetty kuvassa 4.10.

4.4.5 Tulosten tulkinta

Tehtävä osoitti, että generatiivinen tekoäly saattaa lukittua vääriin oletuksiin myös yksinkertaiselta vaikuttavassa toimeksiannossa. Ihmiselle yksinkertainen visuaalinen tulkinta ei ole yhtä yksinkertainen kielimallille. Vaikka kehotteessa pyydettiin



Kuva 4.10: ChatGPT:n tuottama kuvaaja suoran sovittamisesta mittaustuloksiin vakionopeusalueella.

tulkitsemaan kuvaajaa, ChatGPT yritti tulkita mittaustuloksia sellaisenaan. Luultavasti juuri tästä syystä tehtävän suorittaminen ei onnistunut ilman täsmentäviä lisäkysymyksiä.

Kuvaajan piirtäminen mittaustuloksista oli yksinkertainen tehtävä, jossa ChatGPT hyödynsi python-ohjelmointia ja valmiita graafisia kirjastoja. Kun ohjeeksi annettiin, että pisteitä ”ei tarvitse” yhdistää, ChatGPT tästä huolimatta yhdisti pisteet murtoviivalla. Vasta kun kehotteessa täsmällisesti kiellettiin yhdistämästä pisteitä, kuvaajassa oli pelkät mittauspisteet.

Myös suoran sovittaminen mittaustuloksiin vaikutti olevan ChatGPT:lle yksinkertainen rutiinitehtävä. Vaikka suoran kulmakerroin ei ensimmäisellä kerralla tukenut väitettä vakionopeudesta, itse suoransovituksessa ei ilmennyt ongelmia.

Liikesuunnan vaihtumisen tunnistaminen osoittautui yllättävän vaikeaksi tehtäväksi. Virheen löytäminen kielimallin analyysistä ei välttämättä ole edes kokeneelle käyttäjälle yksinkertaista. Tässä esimerkissä syynä väärään tulkintaan oli taulukoituun dataan tehty analyysi. Ihminen olisi tuskin tehnyt vastaavaa virhettä, sillä on luontevampaa tehdä johtopäätökset kuvaajasta kuin raakadatasta. Kuitenkin tekoäly toimii toisella tavalla, mistä tämän tehtävän ratkaisuyritys oli selkeä esimerkki.

ChatGPT:n itsekritiikki ja tulosten järkevyyden arviointi oli heikkoa tai vähintäänkin satunnaista. Nähtävästi kielimalli saattaa jäädä aiempaan virhepäätelmään kiinni, vaikka peräkkäiset vastaukset olisivat näennäisesti toisistaan riippumattomia. Siksi voi joskus olla hyödyllistä nollata muisti ja kysyä asiaa kokonaan uudelleen.

Tämä harjoitus osoitti selvästi, että tekoälyn tuottamaan vastaukseen tai edes hyvin perusteltuun analyysiin ei kannata luottaa, ellei itse tunne asiaa riittävän hyvin.

5 Johtopäätökset ja pohdinta

5.1 Havaintoja tuloksista

Kielimallien kyvykkyyttä fysiikan tehtävien ratkaisemisessa tutkittiin neljän esimerkin kautta. Tutkimusaineistoksi oli valittu fysiikan ylioppilaskokeiden tehtäviä, jotka mittasivat fysikaalisten käsitteiden ja riippuvuuksien ymmärtämistä, graafisen materiaalin tulkitsemista, laskutehtävien ratkaisua sekä mittaustulosten analysointia.

Työkaluna käytettiin ChatGPT-sovellusta ja tämän käyttämiä kielimalleja GPT-4o, GPT-4.5, GPT-4, o1 sekä o3-mini. Suurin huomio kuitenkin kohdistettiin kielimalliin GPT-4o, joka oli työn tekemisen aikaan ChatGPT:n oletuskielimalli. Käytössä oli ChatGPT:n maksullinen Plus-tilaus, joka sallii ilmaisversiota runsaampaa käyttöä ilman rajoituksia, mutta toiminnallisuus on kuitenkin sama kuin yleisemmin käytössä olevassa ilmaisversiossa.

5.1.1 Kielimallien kehittyminen

Tutkimuskirjallisuudessa on käsitelty runsaasti eri kielimallien kyvykkyyttä fysikaaliseen ongelmanratkaisuun ja käsitteelliseen argumentointiin. Suurin osa julkaisuista keskittyi kielimalliin GPT-4 tai sen edeltäjiin. Esimerkiksi Dos Santos (2023) sekä Gregorcic ja muut (2024) havaitsivat kielimallien eri kehitysversioiden välillä merkittävää parannusta fysiikan käsitteiden hahmottamisessa ja erityisesti valmiudessa korjata omia virheitään. Myös West (2023b) sekä West (2023a) havaitsivat kielimallin GPT-4 suorituskyvyn erittäin hyväksi voimaan keskittyvässä käsitetestissä (*force concept inventory*), kun sitä verrattiin vanhempiin kielimalleihin. Tämän työn tekemisen aikana GPT-4 oli jo vanhentunut, ja ChatGPT:n oletuskielimallina toimi edelleen huimasti kehittynyt GPT-4o, jonka suorituskyvystä ei vielä tässä vaiheessa ole kattavaa tutkimuskirjallisuutta.

Tässä työssä havaittiin uusimpien kielimallien osalta edelleen huomattavaa parannusta fysikaalisessa päättelyssä ja ongelmanratkaisukyvyssä verrattuna kielimalliin GPT-4, mutta tämänkin kielimallin kyky fysiikan käsitteelliseen hahmottamiseen vaikutti jo olevan varsin hyvällä tasolla, kuten kirjallisuudessa on todettu. Kielimalli GPT-4 ei kuitenkaan kyennyt arvioimaan piirrettyjä voimakaavioita lainkaan oikein, vaikka fysikaalinen päättely oli muuten uskottavaa.

Erityisesti ongelmanratkaisuun kehitetyt päättelevät kielimallit o1 ja kevyempi malli o3-mini eivät yllättäen suoriutuneet juurikaan yleiskäyttöistä kielimallia GPT-4o pa-

remmin. Eräs syy tähän voi olla, että oletuskielimalli GPT-4o yhdistelee useamman eri kielimallin ominaisuuksia ja se siten mahdollisesti sisältää myös kehittyneeseen päättelyyn suunniteltuja komponentteja. Toisaalta ylioppilaskokeiden vaatima päättely on luonteeltaan melko suoraviivaista eikä edellytä erityisen luovia ja monitahoisia päättelyketjuja.

Yleisenä johtopäätöksenä kielimallien kyvykkyydestä fysiikan tehtävissä voidaan todeta, että kehitys on ollut huomattavan nopeaa ja tulee todennäköisesti jatkumaan nopeana. Tällä hetkellä ChatGPT pystyy jo tasokkaaseen fysikaaliseen päättelyyn perustason tehtävissä, vaikka tiettyjä ongelmakohtia vielä havaittiinkin. Johtopäätös on linjassa tutkimuskirjallisuuden kanssa, jossa on havaittu huomattavia kehitysaskeleita kielimallien peräkkäisten kehitysversioiden välillä kielimalliin GPT-4 saakka. Tämän työn kokeellinen osuus puolestaan osoittaa esimerkkien kautta, että suorituskyvyn paraneminen on jatkunut vielä uudempien kielimallien myötä.

5.1.2 Fysikaaliset perustelut

Tässä työssä kielimallien esittämät fysikaaliset perustelut olivat kautta linjan vakuuttavia ja totuudenmukaisia. Vastauksissa käytetyt ilmaisut vastasivat fysiikassa käytettävää kieltä ja johtopäätökset suureiden keskinäisistä vaikutuksista olivat oikeita. Kuitenkin perusteluissa saattoi olla puutteita ja vastausten laajuudessa oli vaihtelua myös saman kielimallin sisällä. Joissakin tapauksissa kielimalli kiinnitti huomiota vain osaan olennaisista ilmiöistä ja riippuvuuksista, ellei kehotteessa erikseen ohjattu huomioimaan tiettyjä asiakohtia. Tältä osin havainnot eivät juurikaan poikkea tutkimuskirjallisuudessa esitetystä tarpeesta määritellä tehtävän konteksti ja tavoitteet täsmällisesti kehotteessa (Polverini & Gregorcic, 2024a).

Dos Santos (2023) havaitsi, että kielimallin GPT-3.5 vastaukset perustason fysiikan kysymyksiin saattoivat sisältää alkeellisia ajatusvirheitä mutta GPT-4 oli fysiikan lakien suhteen jo huomattavan täsmällinen. Kuten jo edellä todettiin, myöskään tässä työssä ei havaittu selkeästi virheellisiä päättelyketjuja. Vastauksissa saattoi kuitenkin olla puutteita, erityisesti hyppääjän liiketilan analyysissä sekä pyöräilijää esittävien voimakuvioiden vertailussa. Molemmissa tapauksissa kielimalli esitti fysikaalisesti päteviä perusteluja, mutta osa annetusta informaatiosta jätettiin yksinkertaisesti huomiotta.

Uudempien kielimallien suurin ongelma fysikaalisessa päättelyssä vaikutti yllättäen olevan huolimattomuuden tai laiskuuden kaltainen ilmiö, jossa tyydyttiin yksinkertai-

seen vastaukseen monimutkaisessa tilanteessa. Nämä puutteet pystyttiin kuitenkin korjaamaan kehotteen muotoilun avulla, kun kielimallia ohjattiin kiinnittämään huomiota toivottuihin seikkoihin ja mahdollisesti korjaamaan aikaisempia vastauksiaan. Myös tutkimuskirjallisuudessa on todettu uudempien kielimallien kykenevän totuudenmukaiseen ja kattavaan fysikaaliseen päättelyyn myös virheellisen vastauksen jälkeen, mikäli niitä ohjataan kehotteella oikeaan suuntaan.

5.1.3 Matemaattinen analyysi

Vaikka kirjallisuudessa selkeästi todettiin, etteivät kielimallit osaa laskea, tämän työn viitekehyksessä havaittu matemaattinen analyysi oli itsessään virheetöntä. Esimerkiksi Dos Santos (2023) sekä Polverini ja Gregorcic (2024a) osoittivat kokeissaan, että vanhemmat kielimallit mukaan lukien GPT-4 tekivät helposti virheitä matemaattisessa analyysissä. Tämän työn kokeellisessa osuudessa ilmeni, että kielimallin GPT-4o symbolinen laskenta oli erittäin täsmällistä, vaikkei sen taustalla tiettävästi hyödynnetty mitään liitännäisiä ohjelmistoja. Ilmeisesti kielimallien koulutusmateriaali sisältää riittävästi fysikaalisten suureyhtälöiden symbolista analyysiä, jotta kielimalli pystyy sen perusteella johtamaan tarvittavat yhtälöt. Numeerisessa ja graafisessa analyysissä ChatGPT hyödynsi python-ohjelmointia.

Oli jossain määrin yllättävää, että perinteisen fysikaalisen laskutehtävän ratkaiseminen osoittautui generatiiviselle tekoälylle kaikkein yksinkertaisimmaksi tehtäväksi. Toisaalta tehtävä oli laadittu niin, että sen ratkaisemiseksi riittää suoraviivainen oppikirjan mukainen ratkaisumalli. Kenties tällaista materiaalia on käytetty runsaasti myös kielimallien koulutuksessa.

Kuitenkin johtopäätösten tekeminen mittaustuloksista osoittautui kielimallille ongelmalliseksi, sillä se ei osannut huomioida mittaustuloksille ominaista satunnaisvaihtelua. Edes kehittynyt kielimalli GPT-4o ei tunnistanut tuloksista liikkeen suunnan vaihtumista taikka aluetta, jolla nopeus on likipitäen vakio. Vaikka sulkapallon liiketilan teoreettinen analyysi esitettiin aivan oikein, kielimallilta ilmeisesti puuttui ihmiselle ominainen kokemuspohjainen ymmärrys ja eri aistihavaintojen yhdistäminen teoriaan. Saman johtopäätöksen ovat esittäneet myös Polverini ja Gregorcic (2024a), ja tämä ns. monikanavaisen informaation puute vaikuttaa edelleen säilyvän haasteena kielimallien toiminnassa.

5.1.4 Kuvaajat ja kaaviot

ChatGPT on pystynyt tuottamaan graafista materiaalia jo alkuvaiheessa, mutta vasta kielimallin GPT-4 myötä on tullut mahdolliseksi tulkita käyttäjän antamaa kuvamateriaalia. Polverini ja Gregorcic (2024b) kuitenkin havaitsivat, että fysikaalisten kuvaajien tulkitseminen on kielimallille GPT-4 haastavaa ja johtaa usein virheisiin. Kortemeyer ja muut (2025) vertailivat uudemman kielimallin GPT-4o ongelmanratkaisua eri kielillä ja havaitsivat samalla, että kielimalli vastasi heikommin graafisesti esitettyyn tehtävään kuin samaan tehtävään sanallisesti kuvattuna. Myös tämän työn kokeelliset havainnot tukevat näitä johtopäätöksiä. Etenkin kielimallin GPT-4 tulkinnat voimakaavioista olivat epäluotettavia, mutta myös GPT-4o vaikutti tekevän virheellisiä tulkintoja piirroksesta vaikka sanalliset perustelut olivat oikeita.

Graafisen materiaalin tulkinta ja tuottaminen on siis kehittynyt kielimallien mukana, mutta se vaikuttaa silti olevan haastavaa uusimmillekin kielimalleille. Tuloksista voi päätellä, että ainakin kielimallit GPT-4o ja GPT-4.5 lukevat kuvamateriaalin pääsääntöisesti ilman virheitä. Kuitenkin materiaalista tehdyt tulkinnat saattavat olla puutteellisia tai vääriä. Kielimallin toimintaperiaatteesta johtuen on todennäköistä, että kuvamateriaalista muodostetaan ensin sanallinen kuvaus ja varsinaiset johtopäätökset tehdään tämän kuvauksen perusteella. Monivaiheisessa prosessissa informaatiota aina katoaa tai vääristyy eri muunnoksissa, mikä varmasti osaltaan heikentää kykyä tehdä oikeita tulkintoja.

Erityisesti voimakaaviot osoittautuivat hankaliksi kielimalleille. Sekä annettujen kaavioiden tulkinnassa että vastaavan kaavion piirtämisessa ilmeni hankaluuksia, jotka kuitenkin pystyttiin selvittämään kehotetta muotoilemalla. Tämän perusteella voidaan päätellä, että graafisen materiaalin tulkinta on jo varsin hyvällä tasolla mutta ihmisen kykyä yhdistellä aistihavaintoja aikaisempiin kokemuksiin on vaikea saavuttaa, kuten jo edellä todettiin.

Kuvamateriaalin tuottaminen on kielimalleille nykyään yksinkertaista, mikäli sillä on selkeä käsitys toivotusta sisällöstä. Esimerkiksi Gregorcic ja Polverini (2024) esittivät kielimallin GPT-4 tuottaman kuvaajan pomppivan pallon nopeudesta, joka on virheellinen mutta muuten asiallisen näköinen. Tässäkin työssä havaittiin samankaltaisia tilanteita, vaikka esimerkit olivat toisenlaisia. ChatGPT käyttää kuvaajien ja kaavioiden piirtämiseen python-ohjelmointia ja graafisia kirjastoja, mikä takaa siistin ulkomuodon. Esille tulleet haasteet kuvien tuottamisesta liittyivätkin erityisesti sisältöjen sanalliseen kuvaukseen eivätkä niinkään graafiseen suorituskykyyn.

5.2 Sisältöjen hallinta

Ensimmäisen tutkimuskysymyksen (kappale 3.1, s. 19) mukaisesti työssä pyritään selvittämään, *kuinka hyvin kielimallit hallitsevat käsiteltävät oppisisällöt* ja ovatko vastaukset luotettavia. Johtopäätöksissä keskitytään tarkastelemaan, käytetäänkö fysiikan käsitteitä oikeaoppisesti ja ovatko kielimallin tuottamat vastaukset fysikaalisesti perusteltuja, johdonmukaisia ja totuudenmukaisia.

5.2.1 Fysiikan käsitteet

Kielimallien kykyä käyttää liikkeeseen ja voimaan liittyvien käsitteitä on tutkittu jo aiemmin käsitteellisten testien avulla, ja kielimallin GPT-4 on jo havaittu tulkitsevan näitä käsitteitä oikeaoppisesti (West, 2023a, 2023b). Myös Sato (2024) havaitsi kielimallin GPT-4 käyttävän fysiikan käsitteitä kattavasti. On siis perusteltua olettaa, että varsinkaan uudempien kielimallien kyvyssä käyttää fysiikan käsitteitä ei pitäisi enää olla merkittäviä puutteita. Tämän työn kokeellisessa osuudessakaan ei havaittu virheitä tai puutteita fysiikan käsitteiden tulkinnassa, joten havainnot ovat tältä osin linjassa kirjallisuuden kanssa.

Tässä työssä fysiikan käsitteiden oikeaoppista käyttämistä mitattiin erityisesti suojaverkkoon putoamista käsittelevässä tehtävässä, jossa etenkin kehittyneimmät kielimallit tunnistivat helposti energiaan liittyvät virheelliset ilmaisut. Törmäykseen liittyvät käsitteet ilmaistiin enimmäkseen oikeaoppisesti, mutta joissakin tapauksissa syy- ja seuraussuhteet eivät täysin kohdanneet. Vastauksessa saatettiin esimerkiksi kertoa liike-energian muutoksen aiheuttavan suuria voimia, vaikkei ilmiöiden välillä ole tämän kaltaista kausaliteettia.

Muissa tehtävissä käsiteltiin yksinkertaisempia esimerkkejä suoraviivaisen liikkeen dynamiikasta, eikä kielimallien vastauksissa juurikaan ollut fysikaalisten lakien vastaisia tai muulla tavalla harhaanjohtavia ilmaisuja. Joissakin tapauksissa kielimallin tekemät tulkinnat saattoivat olla virheellisiä, mutta käsitteiden käyttö oli siitä huolimatta varsin esimerkillistä. Niinpä generatiivisen tekoälyn tuottaman materiaalin lukeminen todennäköisesti harjaannuttaa opiskelijoita käyttämään fysiikan kieltä ja käsitteitä oikeaoppisesti satunnaisia poikkeuksia lukuunottamatta. Tämä tukee aiempia havaintoja, joissa tekoälyn hyödyntäminen on parantanut STEM-aineiden opiskelijoiden käsitteellistä ymmärrystä (Valeri ja muut, 2025).

5.2.2 Perustelut

Kuten Polverini ja Gregorcic (2024a) suosittelevat, myös tämän työn kokeellisessa osuudessa kielimalleja kehotettiin perustelemaan vastauksiaan ja viitattiin lukion fysiikan tyypillisiin vaatimuksiin. Tällöin kielimallin tuottama vastaus yleensä noudatti fysiikan oppikirjoista ja malliratkaisuista tuttua muotoa, joten viitekehyksen antaminen auttoi kielimallia hyödyntämään vastauksensa muotoilussa juuri fysiikan kontekstissa esitettyä koulutusmateriaalia. Vastauksissa esitetyt perustelut olivat myös fysikaalisesti päteviä, eli ne perustuivat fysiikan tieteenalan tunnustettuihin aksioomiin, kuten Newtonin lakeihin tai energian säilymisen periaatteeseen.

Toisaalta kielimalli pystyi perustelemaan uskottavaan tyyliin myös virheellisiä väittämiä, mikä viittaa erityisesti vanhempien kielimallien toiminnasta tehtyihin havaintoihin (Bang ja muut, 2023; Gregorcic & Pendrill, 2023; Polverini & Gregorcic, 2024a; Shen ja muut, 2023). Tutkimuksessa ei kuitenkaan ilmennyt tilanteitä, joissa kielimalli olisi valehdellut tai keksinyt perusteita, kuten kielimallien on todettu aiemmin tekevän.

Jos vastauksessa oli virheitä, ne eivät johtuneet fysikaalisesti virheellisistä perusteluista vaan lähtötietojen tulkinnassa sattuneesta erehdyksestä tai jonkin olennaisen seikan huomiotta jättämisestä. Tällaisia tilanteita sattui erityisesti voimakuvioiden ja mittaustulosten tulkitsemisen yhteydessä. Esimerkiksi pyöräilijää esittävien voimakaavioiden yhteydessä voiman vaikutus liiketilaan saatettiin kuvata sanallisesti aivan oikein, mutta kuvaus ei vastannut kaavioon piirrettyä voimavektoria.

5.2.3 Johdonmukaisuus

Varsinkin uusimmat kielimallit vaikuttivat olevan varsin johdonmukaisia vastauksissaan, kun niiltä kysyttiin useampia riippumattomia vastauksia samaan kehotteeseen. Myös peräkkäisiin kehotteisiin annetut vastaukset olivat keskenään johdonmukaisia. Osaltaan johdonmukaisuuteen saattaa vaikuttaa tarkoituksella luotu ominaisuus hyödyntää kirjautuneen käyttäjän aikaisempaa historiaa. Tämän mahdollisuuden olisi ehkä voinut välttää käyttämällä kielimalleja omassa kehitysympäristössä tai kirjautumatta, kuten Polverini ja Gregorcic (2024a) suosittelevat. Tässä työssä näin ei kuitenkaan toimittu, sillä se olisi hankaloittanut työn tekemistä merkittävästi.

Valitettavasti kielimallit olivat johdonmukaisia myös virheissään. Esimerkiksi polkupyörää esittävien voimakuvioiden yhteydessä kielimalli GPT-4o piti jääräpäisesti kiinni kuviosta, jossa polkupyörän ohjaustankoon vaikutti suuri eteenpäin vetävä voi-

ma. Vielä asiasta erikseen kysyttäessä kielimalli kehitti ensin uskottavan selityksen, että kyseessä olisi vain havainnollistava piirros, eikä ottanut huomioon virheellisen tulkinnan mahdollisuutta. Samoin kävi myös sulkapalloa koskevien mittaustulosten virheellisen tulkinnan kanssa. Kielimalli palasi tarkastelemaan aikempaa tulkintaansa vasta, kun sille konkreettisesti osoitettiin virhe edellisissä vastauksissa. Tilanne oli samankaltainen kuin Gregorcic ja Pendrill (2023) kokivat ChatGPT:n ensimmäisten kielimallien kanssa, vaikka tässä työssä käytössä oli huomattavasti kehittyneempi kielimalli GPT-4o.

5.2.4 Virheet

Kuten jo aiemmin todettiin, uusimpien kielimallien fysikaalisessa päättelyssä ei havaittu selkeitä virheellisyyksiä. Pikemminkin kielimallin tekemät virheet vaikuttivat liittyvän joko epäselvään tulkintaan tai jonkin olennaisen seikan huomiotta jättämiseen. Nämä havainnot ovat johdonmukaisia myös tutkimuskirjallisuuteen nähden, sillä kielimallien tarkkuuden ja vastausten oikeellisuuden on havaittu paranevan kielimallien päivittyessä ja esimerkiksi kielimallin GPT-4 on jo havaittu olevan varsin totuudenmukainen fysiikan käsitteellisessä hahmotuksessa (Dos Santos, 2023; Shen ja muut, 2023; West, 2023a).

Eniten virheellisiä vastauksia esiintyi polkupyöräilijää esittävien voimakuvioiden tulkinnassa. Tässä tehtävässä kielimallien välillä oli huomattavia eroja. Vaikka vanhemmatkin kielimallit kykenivät esittämään paikkansapitäviä fysikaalisia perusteluita, niiden tekemissä tulkinnoissa oli huomattavia epätarkkuuksia tai virheellisyyksiä. Uudet kielimallit tulkitsivat kuvia pääsääntöisesti tarkemmin, mutta lopputulos oli silti useimmiten väärä.

Väärän tulkinnan lisäksi virheitä saattoi syntyä olennaisten seikkojen huomiotta jättämisestä. Usein kielimalli tyytyi ensimmäiseen riittävän hyvään vastausvaihtoehtoon eikä analysoinut useampia yksityiskohtia. Tämän havainnon syynä voi olla paitsi lisätty satunnaisuus kielimallin toiminnassa, myös tietoinen laskentaresurssien säästäminen. Vaikka ChatGPT on saatavana käyttäjille ilmaisena versiona, sen käyttämä laskentateho on todellisuudessa rajallinen ja maksullinen resurssi, jota kannattaa käyttää säästeliäästi. Laskentatehon säästämiseen liittyviä johtopäätöksiä tutkimuskirjallisuudessa ei kuitenkaan ole esitetty, mutta oletus lienee perusteltu ja sen tutkiminen voisi olla jatkossa hyödyllistä.

5.3 Oppimisen tukeminen

Toinen tutkimuskysymys (kappale 3.1, s. 19) ohjaa pohtimaan *tekoälyn hyötyjä ja järkeviä käyttötapoja*, kun sen avulla pyritään tukemaan lukion opiskelijoiden oppimista. Tällöin on arvioitava vastausten luotettavuutta ja hyötyjä oppimisen näkökulmasta ja mietittävä opiskelijalle soveltuvia käyttötapoja.

5.3.1 Luotettavuus

Mikäli generatiivista tekoälyä halutaan käyttää oppimisen apuvälineenä, sen tuottaman materiaalin luotettavuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Esimerkiksi Valeri ja muut (2025) ovat havainneet opiskelijoiden arvostavan tekoälyn kykyä tarjota nopeita vastauksia kysymyksiin, ja toisaalta Salih ja muut (2025) on kiinnittänyt huomiota laajaan huoleen opiskelijoiden sokeasta luottamuksesta ChatGPT:n kaltaisiin keskusteleviin tekoälysovelluksiin. Tämän johdosta monet koulutuksen järjestäjät maailmanlaajuisesti uskovat tekoälyn käyttämisen olevan enemmän haitaksi kuin hyödyksi ja pyrkivät siksi rajoittamaan tai jopa estämään sen hyödyntämistä opiskelussa.

Tässä työssä kuitenkin pyritään selvittämään keinoja hyödyntää tekoälyä opetuksessa niin, että käyttö on opettajan suunnittelemaa ja ohjaamaa. Toki silloinkin tekoälyn tuottaman materiaalin on oltava luotettavaa, mutta ohjattuna opiskelijat todennäköisesti oppivat tehokkaammin myös arvioimaan tiedon luotettavuutta. Etenkin ChatGPT:n ensimmäisten versioiden havaittiin tuottavan jossain määrin virheellistä tietoa (Bang ja muut, 2023; Shen ja muut, 2023) ja myös toistavan koulutusmateriaalissa esiintyneitä vinoumia (Gallegos ja muut, 2024), mutta näitä puutteita on aktiivisesti korjattu kielimallien kehityksessä ja myös käyttäjät tiedostavat nykyään melko hyvin riskin virheellisestä tiedosta.

Tämän työn kokeellisessa osuudessa tiedon luotettavuutta ei tutkittu systemaattisesti, mutta havaintojen perusteella luotettavuudesta voi silti tehdä päätelmiä fysiikan opetuksen näkökulmasta. Aiemmin jo todettiin, että generatiivinen tekoäly on kehittyneiden kielimallien ansiosta varsin luotettava fysiikan sisältöjen kuvaajana, vaikka kielimallien tekemissä johtopäätöksissä saattaakin olla virheitä. Kokeellisten havaintojen mukaan kielimallien tuottama materiaali vaikuttaa kuvaavan fysikaalisia ilmiöitä ja käsitteitä totuudenmukaisesti ja oppiaineelle ominaisella tavalla. Voidaan siis olettaa, että kielimallien koulutukseen on käytetty kielellisesti ja sisällöllisesti laadukasta materiaalia, mikä ilmenee myös niiden itse tuottamissa vastauksissa.

Toisaalta ongelmanratkaisussa tai annetun liitemateriaalin analysoinnissa tekoäly voi tehdä virheitä, mikä havaittiin myös tässä työssä käytettyjen esimerkkitapausten yhteydessä. Mikäli opiskelija käyttää generatiivista tekoälyä kuvien tai mittaustulosten tulkintaa edellyttävien tehtävien ratkaisussa, vastauksiin on suhtauduttava varauksella. Tutkimuksessa havaittiin myös, että kielimalli saattaa ratkaista annetun tehtävän usealla vaihtoehtoisella tavalla. Opiskelija ei siis välttämättä saa luotettavaa kuvaa tehtävätyypin parhaasta tai yksinkertaisimmasta ratkaisumenetelmästä, ellei kielimallilta erikseen pyydetä useampia ratkaisumalleja.

5.3.2 Hyödyllisyys

Tekoälyn käyttämisen hyöty opiskelijalle riippuu pitkälti siitä, miten hän tosiasiassa hyödyntää saamiaan vastauksia. Jos kielimallin tuotokset vain kopioidaan sellaisenaan omiksi vastauksiksi, tekoälyn käyttäminen ei edistä oppimista lainkaan ja saattaa jopa heikentää oppimistuloksia. Tämä riski voi tosiasiassa realisoitua, jos opiskelijoiden sallitaan käyttää tekoälysovelluksia omaehtoisesti ilman ohjausta, kuten Valeri ja muut (2025) sekä Salih ja muut (2025) ovat kuvanneet. Kuitenkin Valeri ja muut sekä Lestari (2024) ovat havainneet tekoälyn käyttämisessä myös myönteisiä vaikutuksia opiskelijoiden motivaatioon ja sitoutuneisuuteen ja oppimistuloksiin yleisesti. Samoin Polverini ja Gregorcic (2024a) ovat aktiivisesti pyrkineet löytämään generatiiviselle tekoälylle oppimista ja opiskelua hyödyttäviä käyttötapoja.

Jotta tekoälyn potentiaali saataisiin hyödyttämään oppimista, sen käyttöä täytyy opiskella ja harjoitella koulussa opettajan johdolla. Sopivasti opetukseen integroituna tekoälyn käyttäminen voi edistää oman oppiaineen sisältöjen lisäksi myös kriittisen ajattelun ja yleisten opiskelutaitojen kehittymistä. Vaikka opiskelijat ovat usein käteviä uusien tietoteknisten sovellusten omaksumisessa, tekoälyn hyötykäytössä on itse asiassa kyse enemmän tiedon kognitiivisesta prosessoinnista kuin tietotekniikasta.

Muun muassa Almatrafi ja muut (2024), Annapureddy ja muut (2025), Walter (2024) sekä Valeri ja muut (2025) korostavat tekoälylukutaitoa, joka käsittää muun muassa tekoälyn hyödyntämistä työkaluna, kielimallien tuottaman informaation kriittistä arviointia ja kehotteiden tehokasta muotoilua. Näiden taitojen merkitys korostui myös tämän työn kokeellisessa osuudessa, jossa kielimallit eivät kyenneet ratkaisemaan koetehtäviä toivotulla tavalla ilman käyttäjän aktiivista ohjausta. Varsinaisen tekoälylukutaidon lisäksi opiskelijan täytyy myös pystyä määrittelemään omat oppimistavoitteensa ja pohtia, miten tekoäly voisi edistää näiden saavuttamista.

5.3.3 Käyttötavat

Polverini ja Gregorcic (2024b) ehdottavat generatiivisen tekoälyn hyötykäyttöön opetuksessa muun muassa tutor-opettajan roolia sekä ongelmanratkaisussa avustamista, mutta silloisten kielimallien suorituskyky todettiin kuitenkin vielä liian heikoksi. Tässä työssä tehtyjen havaintojen perusteella nykyiset kielimallit soveltuisivat jo huomattavasti paremmin esimerkiksi tutor-opettajan rooliin, sillä esimerkkinä käytettyjen lukion fysiikan oppisisältöjen käsittely osoittautui päteväksi ja luotettavaksi.

Myös fysiikan ongelmien ratkaisussa tekoälystä voi olla apua opiskelijalle, mutta silloin käyttötapaa kannattaa pohtia huolellisesti. Havaintojen perusteella tehtävän antaminen suoraan kielimallin ratkaistavaksi ei välttämättä tuota hyvää tulosta, eikä se luultavasti muutenkaan edistä oppimista. Toisaalta sopivasti muotoillun kehotteen avulla kielimallilta voisi kysyä apua ongelmanratkaisussa etenemiseen tai mahdollisesti palautetta omaan ratkaisuyritykseen. Olennaista on suhtautua tekoälyyn kuten opettajaan tai avustajaan sen sijaan, että yrittäisi saada sen korvaamaan omaa työskentelyään.

Kuten luvun 2 teoreettisessa katsauksessa todettiin, tekoälyn integrointi opetukseen ei ole vielä laajasti edennyt opetusmenetelmien tasolle. Kirjallisuudessa on kuitenkin korostettu kehotteen muotoilun tärkeyttä ja myös kehitetty harjoitteita sen opettamiseksi (Cain, 2024; Tufino, 2025; Valeri ja muut, 2025; Walter, 2024). Hyvin muotoiltujen kysymysten esittäminen tekoälyagentille voi olla tehokas menetelmä oppimisen syventämiseen ja epäselvien käsitteiden täsmentämiseen. Tällaisen menetelmän hyöty on, että tekoäly pystyy tarjoamaan opiskelijalle käytännössä rajattomasti tukea, tarpeeseen räätälöityä täydentävää oppimateriaalia sekä turvallisen ja tuomitsemattoman ympäristön kysymysten esittämiselle (Valeri ja muut, 2025).

Myös tässä työssä käytetty tutkimusmenetelmä saattaisi toimia lukio-opiskelussa. Ylioppilaskokeiden vanhoja tehtäviä sekä mallivastauksia on runsaasti saatavilla, ja niitä yleisesti käytetään oppimateriaalina. Kuten työn kokeellisessa osuudessa havaittiin, kielimalli ei yleensä pysty tuottamaan täysien pisteiden arvoista vastausta ilman käyttäjän opastusta. Niinpä kielimallin ohjaaminen kohti täydellistä vastausta edellyttää tehtävän asiasisältöön perehtymistä, ja puutteiden etsiminen tekoälyn luomista vastauksista syventää opiskelijan omaa ymmärrystä aiheesta.

Kuvaajien tai kaavioiden analysointi ei vieläkään vaikuttanut kovin uskottavalta, vaikka parannusta aikaisempiin kielimalleihin nähden on tapahtunut (Kortemeyer ja muut, 2025; Polverini & Gregorcic, 2024b). Tekoäly voi silti olla piirtotyökaluna

hyödyllinen ja käytännöllinen. Tämän työn havaintojen mukaan käyttäjän on kuitenkin tiedettävä täsmällisesti, mitä haluaa tekoälyn piirtävän. Toisaalta kielimallin ohjaaminen esimerkiksi voimapiirroksen laatimisessa voi olla varsin opettavainen harjoitus opiskelijalle, mikäli kaavion ensimmäiset versiot ovat virheellisiä ja opiskelijan tehtävänä on kaavion virheiden korjaaminen kehotteen muotoilun avulla.

5.4 Vaadittava osaaminen

Kolmannen tutkimuskysymyksen (kappale 3.1, s. 19) ohjaama tavoite on tunnistaa *perustietoja ja taitoja*, joita opiskelijalta vaaditaan generatiivisen tekoälyn hyödyntämiseksi oppimisen tukena. On siis syytä selvittää, mitä taustatietoja tekoälyn tehokas hyödyntäminen opiskelijalta vaatii ja pystyykö opiskelija aidosti arvioimaan vastausten sisältöä. Lisäksi on pohdittava, miten tekoälyn kehote kannattaa muotoilla suurimman hyödyn saamiseksi.

5.4.1 Taustatiedot ja sisällön arviointi

Lähtökohtaisesti tekoälyn käyttäjällä ei tarvitse olla juuri mitään taustatietoa aiheesta, josta kysymyksiä esitetään. Kuitenkin vastauksen oikeellisuutta voi olla mahdotonta arvioida, mikäli aihe on täysin tuntematon. Myös saavutettavan hyödyn näkökulmasta käyttäjällä tulisi olla ainakin jonkintasoiset perustiedot käsiteltävästä aiheesta, jotta tekoälyn luoman vastauksen voisi aidosti ymmärtää.

Fysiikan sisällöissä tekoälyä käyttävällä opiskelijalla tulisi olla vähintäänkin perustasoinen ymmärrys fysiikasta luonnontieteenä, ja hänen tulisi tuntea fysiikan oleelliset käsitteet. Toisaalta tekoälyn kyky mukautua käyttäjän ymmärryksen tasolle helpottaa sen käyttöä, ja kehotteessa voi aina pyytää selittämään asiat uudelleen yksinkertaisemmin, kuten muun muassa Valeri ja muut (2025) toteavat.

Tämän työn yhteydessä ei tutkittu kielimallien mukautumista käyttäjien eritasoiseen taustatiedon määrään, vaan tekoälyn antamia vastauksia tarkasteltiin lukion fysiikan oppimäärän pohjalta ikään kuin opettaja ohjaisi opiskelijan suoritusta. Tuloksista voi kuitenkin päätellä, ettei yhdenkään esimerkkinä käytetyn koetehtävän ratkaisua olisi voinut ohjata täysin oikeaksi tuntematta taustalla olevaa teoriaa. Mikäli opiskelijoille annettaisiin tehtäväksi ratkaista fysikaalisia ongelmia tekoälyn avulla, tehtävät täytyisi ehdottomasti sovittaa opiskelijoilta oletettavaan aihepiirin osaamiseen.

Mitä vaativampia sisältöjä käsitellään, sitä syvällisempää ymmärrystä luonnollisesti vaaditaan myös käyttäjältä. Vaikka fysikaalisten käsitteiden ja ilmiöiden kuvausten

todettiin olevan pääsääntöisesti totuudenmukaisia ja johdonmukaisia, kielimallien vastauksissa voi aina olla virheitä tai epätäsmällisyyksiä. Siten tekoälyn käyttäjän täytyy pystyä arvioimaan kielimallin tuottamaa sisältöä kriittisesti ja tarvittaessa kyseenalaistaa sitä, kuten useassa julkaisussa todettiin tekoälylukutaitoon viitaten (Almatrafi ja muut, 2024; Annapureddy ja muut, 2025; Valeri ja muut, 2025; Walter, 2024).

Toisaalta tekoälyltä on mahdollista pyytää myös itsearviointia, johon viittaavat muun muassa Polverini ja Gregorcic (2024a) termillä *self-consistency*. Tämä menetelmä tarkoittaa useamman riippumattoman vastauksen pyytämistä, joista kielimalli itse arvioi ja valitsee parhaan tai todennäköisimmän. Tämän työn havaintojen perusteella menetelmä ei kuitenkaan toimisi fysiikan sisältöjen kanssa kovin hyvin, sillä nykyisten kielimallien vastaukset olivat suurelta osin lähes samansisältöisiä tai edustivat kahta hiukan toisistaan poikkeavaa rakennetta. Saman ilmiön on havainnut myös West (2023a, 2023b) aiemmissa tutkimuksissaan, joissa kielimallin GPT-4 vastauksissa havaittiin huomattavasti vähemmän hajontaa kuin kielimallilla GPT-3.5.

Tämän työn kokeellisissa esimerkeissä kielimalli ei kovin helposti huomannut omaa virhettään, vaan saattoi jopa voimakkaasti argumentoida oman vastauksensa puolesta. Erityisesti polkupyöräilijään vaikuttavien voimien arvioinnissa tai mittaustulosten analysoinnin tapauksissa kielimallia täytyi ohjata varsin yksityiskohtaisesti ennen kuin se huomasi aikaisemman virheensä. Opiskelijalle tehtävä saattaisi osoittautua liian vaikeaksi, mikäli hänellä ei ole kattavaa taustatietoa aiheesta.

5.4.2 Kehotteen muotoilu

Kehotteen muotoilu on mainittu lähes jokaisessa tekoälyn hyödyntämistä koskevassa julkaisussa, ja sen sisällyttämistä opetukseen pidetään olennaisena taitona, jota täytyisi harjoitella runsaasti osana opetusta. Kehotteen muotoiluun on kehitetty useita eri menetelmiä, joista jokainen voi muokata omia sovelluksiaan. On kuitenkin hyödyllistä omaksua ainakin muutama perustekniikka, kuten *viitekehys*, *päättelyketju*, *itsearviointi* sekä *kysymällä ohjaaminen*, joista muun muassa Polverini ja Gregorcic (2024a) ovat esittäneet selkeät kuvaukset. Tässä työssä kokeiltiin edellä mainittuja menetelmiä, ja niiden havaittiin toimivan tutkituissa esimerkkitapauksissa.

Polverini ja Gregorcic (2024a) esittivät artikkelissaan esimerkin kilpa-auton käyttäytymisestä, jota ChatGPT ei kyennyt perustelemaan fysikaalisesti ennen kuin kehotteessa täsmällisesti pyydettiin vastaamaan kuten fysiikan professori vastaisi. Myös

tämän työn kokeellisissa esimerkeissä ensimmäinen vastaus ei yleensä ollut riittävä koevastaukseksi. Kielimallille viitekehykseksi yleensä riitti maininta lukion fysiikasta tai ylioppilaskokeista, mutta paremman tuloksen sai kuvaamalla yksityiskohtaisesti tyypillisiä hyvän ylioppilaskoevastauksen vaatimuksia. Tekoälylle annettavassa kehotteessa siis kannattaa korostaa fysikaalista näkökulmaa, mikäli pohdittavaksi annetaan arkielämän havainto tai luonnonilmiö ja tavoitteena on tulkita sitä fysikaalisten lakien pohjalta. Muussa tapauksessa kielimallin luoma vastaus jää todennäköisesti arkikieliseksi eikä se silloin edistä fysiikan oppimista.

Polverini ja Gregorcic (2024a) kuvaavat päättelyketjua (*chain-of-thought, CoT*) kielimallin ohjaamiseksi toimimaan tietyllä tavalla. Tällöin kehotteessa pyydetään etenemään vastauksen muodostamisessa tietyssä järjestyksessä tai sisällyttämään vastaukseen pyydettyjä elementtejä. Polverini ja Gregorcic kuvaavat myös erilaisia keinoja itsearviointiin, joista yksinkertaisimmassa (*zero-shot CoT*) kielimallia pyydetään ensin pohtimaan oikeaa ratkaisua ennen vastauksen muotoilua tai mahdollisesti tutkimaan aikaisempaa vastaustaan kriittisesti. Tämän työn havaintojen mukaan päättelyketjua sovelletaan jo nykyisissä kielimalleissa automaattisesti. Itsearviointi voisi olla toimiva tapauksissa, joissa kielimallilta toivotaan useampia vaihtoehtoisia näkökulmia tai aiemman analyysin laajentamista. Tämän työn esimerkeissä itsearviointi ei kuitenkaan vaikuttanut kovin toimivalta menetelmältä kielimallin tekemän virheen löytämiseksi.

Kysymällä ohjaaminen (*Socratic dialogue*) osoittautui tässä työssä toimivaksi menetelmäksi, mutta sen hyödyntäminen vaatii tekoälyn käyttäjältä vahvaa taustatietojen hallintaa. Havaintojen mukaan kielimalli saattaa puolustaa aikaisemmin tekemäänsä virhettä varsin sitkeästi, ellei sille osoiteta virhettä selkeästi kehotteessa. Gregorcic ja Polverini (2024) totesivat jo kielimallin GPT-4 soveltuvan varsin hyvin ohjaavan keskustelun harjoitteluun, ja tämän työn havaintojen perusteella menetelmä toimii etenkin uudemmilla kielimalleilla myös virheiden etsimiseen.

5.5 Ajatuksia tekoälyn hyödyntämisestä

Generatiivinen tekoäly on disruptiivinen teknologia, joka muuttaa yhteiskuntaa. Koulumaailmassa tekoälyn vaikutukset näkyvät konkreettisesti opetuksen suunnittelussa ja opettajan käytännön työssä, esimerkiksi tehtävien laatimisessa. Pidemmällä tähtäimellä on odotettavissa vaikutuksia oppimisen prosesseihin ja luultavasti myös oppimistuloksiin. Opiskelijoilta tekoälyn tehokas hyödyntäminen edellyttää lisääntyvää itseohjautumista, mikä saattaa myös osoittautua haasteeksi. Myös opetuksen

saavutettavuuteen on kiinnitettävä huomiota, mikäli tekoälyä hyödyntävät sovellukset integroidaan vahvasti opetukseen. Toisaalta tällaista integraatiota varmasti tarvitaan, sillä tekoälyn vaikutukset näkyvät jollakin aikajänteellä myös työelämässä ja tulevaisuuden osaamisvaatimuksissa.

5.5.1 Opetuksen suunnittelu

Tekoäly vaikuttaa opetukseen joka tapauksessa riippumatta siitä, miten opetuksen järjestäjä tai opettaja siihen itse suhtautuu. Asenne ja käytännöt voivat vaihdella tiukasti rajoittavasta valvonnasta avoimesti kannustavaan kulttuuriin, mikä väistämättä asettaa reunaehtoja opetuksen suunnitteluun. Suomalainen koulujärjestelmä on pyrkinyt edistämään tietotekniikan integraatiota opetukseen, ja hyvin todennäköisesti sama kannustava asenne jatkuu myös tekoälyn hyödyntämisen suhteen. Tämän ovat havainneet myös Salih ja muut (2025) laajassa kansainvälisessä selvityksessään tekoälyyn liittyvistä asenteista ja käytännöistä. Johtopäätöstä tukee myös Opetushallituksen julkaisema ohjeisto tekoälyn käyttämisestä opetuksessa (Opetushallitus, 2025).

Jos opetuksen tavoitteena on harjoitella tietojen prosessointia, kirjoittamista tai esimerkiksi tehtävien ratkaisemista ilman apuvälineitä, harjoitteet tai arvioitavat näytöt kannattaa järjestää valvotussa ympäristössä. Tekoälyn käyttämistä kotona suoritettavissa tehtävissä on mahdoton valvoa ja hyvin vaikea tunnistaa. Vaikka tekoälyn käytön tunnistavia sovelluksia on saatavilla, niiden toiminta on epäluotettavaa ja saattaa esimerkiksi rankaista taitavaa kirjoittajaa epäreilulla tavalla.

Kotitehtävien suunnittelussa opettajan täytyy olettaa, että opiskelijoilla on käytössään tekoälyä hyödyntäviä sovelluksia ja ainakin osa opiskelijoista myös käyttää niitä. Tehtävät on siis suunniteltava joko niin, ettei tekoälyn käyttäminen juurikaan auta niiden suorittamisessa, tai vaihtoehtoisesti tekoälylle määritetään tehtävissä oma roolinsa. Perinteisistä kotona kirjoitettavista essee- ja raporttitehtävistä ehkä kannattaa luopua tai niiden arviointikriteerejä on muokattava.

Sallivassa ja tekoälyn käyttöön kannustavassa opetuksellisessa ilmapiirissä opetuksen suunnitteluun on kiinnitettävä vielä enemmän huomiota. Silloin oppilaitoksen ja opettajan suhtautuminen tekoälyyn opetuksessa ei enää ole passivista reagointia vaan aktiivista ja ennakoivaa. Tietotekniikan integrointi opetukseen siirsi oppimisen painopistettä staattisesta kirjoitetun materiaalin opiskelusta dynaamisempaan tiedon hakua ja prosessointia painottavaan suuntaan. Nyt tekoäly on aiheuttamassa vas-

taavaa murrosta, jonka sisällöstä tai lopputuloksesta ei vielä tiedetä, mutta muutos etenee todennäköisesti samalla tavalla kuin tietotekniikan tulo koulumaailmaan – voimakkaita ristiriitoja ja hämmennystä aiheuttaen.

Yksityiskohtaisia suosituksia tekoälyn huomioimiseksi opetuksessa on hankala antaa, mutta varmastikaan ei kannata jatkaa entisellä tavalla ilmiöstä välittämättä. Jos tahtoo välttää tai estää tekoälyn käyttöä opiskelussa, opetukseen täytyy lisätä valvontaa ja aktiviteetit on suunniteltava sellaisiksi, etteivät ne kannusta tekoälyn käyttöön. Mikäli tavoitteena on lisätä tekoälyn käyttöä ja kannustaa siihen, opetusta täytyy uudistaa merkittävästi. Tässäkään tapauksessa tekoälyä ei tarvitse integroida kaikkeen opetukseen, mutta sille on suunniteltava ja etsittävä oma roolinsa.

5.5.2 Tehtävien laatiminen

Kuten Valeri ja muut (2025) sekä Salih ja muut (2025) ovat havainneet selvityksissään, tekoälyn integroiminen opetukseen on vasta alkuvaiheessa eikä juurikaan näy vielä käytännön opetustyössä. Molemmat tutkimukset kuitenkin suosittelevat tekoälyn hyödyntämisen harjoittelua opiskelijoille annettavien tehtävien muodossa. Monet opettajat todennäköisesti käyttävät jo nyt tekoälyä hyväkseen perinteisten tehtävien laatimisessa tai arvioinnissa, mutta tämän työn viitekehyksessä kiinnostavampia ovat sellaiset tehtävät, joissa opiskelijat itse hyödyntävät tekoälyä.

Perinteisiin hakukoneisiin verrattuna generatiivinen tekoäly on erittäin tehokas väline tiedon hakuun ja syventämiseen. Tässä työssä tehdyt havainnot osoittivat myös, että kielimallien kyky kuvata fysikaalisia käsitteitä ja ilmiöitä vastaa nykyään jo oppikirjojen tasoa. Näitä ominaisuuksia hyödyntäen opiskelijoille voisi antaa tehtäväksi muodostaa tekoälyn avulla esimerkkitapauksia tai selityksiä fysikaalisista ilmiöistä. Tekoälyn avulla suoritettavat tehtävät voidaan suorittaa jo ennen varsinaista oppituntia, jolloin ne tukevat käänteistä oppimista ja valmistavat aiheen käsittelyyn. Mikäli tehtävän aihe ei ole opiskelijalle vielä kovin tuttu, hän joutuu pohtimaan krittisesti tekoälyn tuottamaa sisältöä ja arvioimaan sen uskottavuutta. Tehtävien tuotokset voi myös jakaa koko opetusryhmän kesken, mikä aktivoi ajattelemaan monipuolisemmin ja auttaa laajentamaan näkökulmia.

Tekoälyn ansiosta opiskelijoille voidaan myös antaa tehtäväksi huomattavasti nykyistä vaativampien ongelmien ratkaisemista. Etenkin käsitteellistä hahmottamista vaativa ongelmanratkaisu tulee mahdolliseksi lukiotasollakin, kun opiskelijoilla on käytettävissään tehokkasti tietoa hakeva ja analysoiva sekä ymmärrettävää kieltä

tuottava apuväline. Tehtävissä voidaan esimerkiksi pohtia erilaisia strategioita ja lähestymistapoja ongelmanratkaisuun tai analysoida tavallista syvällisemmin fysikaalisia riippuvuussuhteita. Myös tässä työssä käytetty menetelmä kielimallin tuottamien vastausten korjaamiseksi ja täydentämiseksi malliratkaisujen perusteella olisi toimiva keino vaikkapa valmistautua ylioppilaskokeeseen.

Kuten eräässä tämän työn esimerkissä havaittiin, opiskelijat voivat myös luoda uutta materiaalia generatiivisen tekoälyn avulla – esimerkiksi malliratkaisuja, lisätehtäviä, tiivistelmiä tai kertausmateriaalia. Tällöin tavoitteena ei enää ole tehtävän mekaaninen suorittaminen tai vaaditun tekstimäärän tuottaminen, vaan huomio kiinnitetään sisältöön ja sen ymmärrettävyyteen. Kun kielimallit tuottavat tarvittaessa hyvin suuria määriä tekstiä lyhyessä ajassa, onkin itse asiassa pyrittävä tiivistämään asiasisältöä helposti ymmärrettävään muotoon. Näin opitaan muun muassa tekstin loogista jäsentelyä ja ytimekästä ilmaisua. Samanlaisen johtopäätöksen ovat tehneet myös Valeri ja muut (2025) tutkiessaan opiskelijoiden tapoja hyödyntää tekoälyä käytännössä.

On kuitenkin tärkeä muistaa, että myös generatiivisen tekoälyn käyttäminen vaatii osaamista ja harjoittelua. Siksi myös tehtävien laadinnassa on mietittävä, minkä tasoista tekoälyosaamista niissä vaaditaan. Alkuvaiheessa kannattaa tutustua kielimallien toimintaan ja kehotteen muotoiluun yksinkertaisten tehtävien muodossa ja edetä vähitellen kohti korkeampia tasoja, joissa voidaan jo keskittyä fysiikan sisältöihin ja käyttää tekoälyä puhtaasti apuvälineenä.

5.5.3 Vaikutukset oppimiseen

Generatiivisen tekoälyn vaikutukset oppimiseen voivat olla kahtalaisia. Esimerkiksi Salih ja muut (2025) ovat havainneet laajamittaista huolestumista puutteellisesta perustaitojen oppimisesta tai suuremmassa mittakaavassa ajattelun ulkoistamisesta tekoälylle. Toisaalta kehittyneet työvälineet tiedon hakuun ja käsittelyyn vapauttavat ihmisten kapasiteettia muuhun käyttöön, ja myös oppiminen voi tehostua huomattavasti mikäli tekoälyä hyödynnetään tuottavasti opiskelussa. Myös Valeri ja muut (2025) esittivät eräänä johtopäätöksenään, että tekoälyn hyödyntäminen opiskelussa on parantanut opiskelijoiden käsitteellistä ymmärrystä. Tässä pohdinnassa olennaista on, millä tavalla tekoälyä käytetään ja miten siihen suhtaudutaan – oikotienä vai oppimisen apuvälineenä.

Mikäli opetuksessa ei muutu mikään, riski perustaitojen ja jopa ajattelun taantumi-

sesta tekoälyn seurauksena on todellinen. Koulutuksessa on perinteisesti nojattu lukuja laskutaitoon sekä ulkoa opittujen tietojen muistamiseen. Tietotekniikan käytön lisääntyessä niin koulussa kuin vapaa-aikanakin on samaan aikaan havaittu heikkeneviä tuloksia sekä lukutaidossa että matematiikan perustaidoissa. Kausaliteettia ei ole aukottomasti osoitettu, mutta varsin todennäköisesti perustaitojen vähäisempi harjoittaminen on vaikuttanut myös niiden osaamiseen. Tekoälyn käytön lisääntyessä sama riski ulottuu myös tietojen käsittelyyn ja ajatteluun. On kiinnitettävä huomiota siihen, lisääkö vai vähentääkö tekoälyn käyttäminen tiedon prosessointia ajattelun korkeimmilla tasoilla.

Toisaalta tekoälyn hyödyntäminen rutiininomaisiin tehtäviin vapauttaa ihmisen kapasiteettia muuhun toimintaan. Opiskelun ja oppimisen näkökulmasta on olennaista, mihin mahdollisesti vapautunut resurssi käytetään. Jos tekoälyn hyödyntäminen on jo huomioitu opetuksen suunnittelussa, opiskeluun käytettävä aika ei juurikaan muutu aikaisemmasta ja kysymys onkin ajankäytön sijasta toiminnan sisällöstä. Suoraviivainen tapa huomioida tehtävien suorittamiseen vaadittavan ajan vähentyminen on lisätä tehtävien määrää, mutta silloin opiskelijat vain harjoittelisivat alemman tason ajatteluun perustuvien tehtävien suorittamista. Oppimista ja osaamista paremmin kehittää, jos tehtävät nostetaan ylemmille ajattelun tasoille ja yksinkertaisempi toiminta jätetään suosiolla kielimallien tehtäviksi.

Opettajien ja opiskelijoiden yhteisenä pyrkimyksenä on oltava tekoälyn hyödyllisten käyttötapojen kehittäminen. Tekoälyn hyötyjä ja haittoja kannattaa pohtia yhdessä ja varata aikaa reflektoinnille erilaisten harjoitteiden jälkeen. Vaikka tekoälyä hyödyntävät tehtävät varsinaisesti käsittelevät opiskeltavia aiheita, niiden kysymyksenasetteluksi sopii mainiosti ”Mitä opit?” -tyyppinen kysymys. Näin opiskelijan huomio ei ole pelkästään opiskeltavassa aiheessa vaan myös oppimisprosessissa.

5.5.4 Itseohjautuvuus

Tekoälyn käyttö opiskelussa edellyttää itseohjautuvuutta mutta myös kehittää sitä. Opiskelijoita ei missään tapauksessa pidä jättää yksin tekoälyn kanssa, vaan tämä kannattaa ottaa mukaan opetukseen jo varhaisessa vaiheessa. Hyötyä tavoiteltaessa generatiivinen tekoäly on normalisoitava sen mystifioinnin sijaan, ja siitä kannattaa tehdä laskukoneen kaltainen apuväline opiskeluun. Lopulta on kuitenkin jokaisen omassa harkinnassa, miten apuvälineitään käyttää, ja etenkin generatiivisen tekoälyn tapauksessa vastuu on suuri. Itseohjautuvuus on siksi merkittävä tekijä, ja siihen on kiinnitettävä myös opetuksessa riittävää huomiota.

Itseohjautuvuuden puuttuessa ajaudutaan helposti hallitsemattomaan käyttöön ja pyritään löytämään nopeita ratkaisuja sekä lyhytnäköisiä keinoja välttää vaivannäköä. Näin tapahtuu helposti, jos opetuksen painopiste on tehtävien suorittamisessa ilman syvällisempää ajattelua tai reflektointia. Tosin vaivan minimointi voi myös joskus olla myös viisautta, jos pyrkimys on saavuttaa aiempaa enemmän samalla työmäärällä. Opettajan onkin panostettava sellaisten harjotteiden kehittämiseen, jotka lisäävät opiskelijan hallinnan tunnetta omasta oppimisestaan ja kehittävät itseohjautuvuutta.

Sekä Valeri ja muut (2025) että Salih ja muut (2025) suosittelevat hybridimuotoista opetusta, jossa tekoälyn hyödyntäminen otetaan osaksi opetusta perinteisten menetelmien rinnalle. Tämä mahdollistaa myös itseohjautuvuuden harjoittelua, joka sisältävää muun muassa tekoälyn hyötyjen ja haittojen punnitsemista. Opettajan on ohjattava opiskelijoita pitkäjänteiseen ajatteluun esimerkiksi koko ryhmän yhteisissä keskusteluissa, joissa punnitaan lyhytnäköisen ja kauaskantoisen toiminnan seurauksia käytännössä. Näin opiskelijat oppivat kiinnittämään huomiota omiin valintoihinsa ja niiden seurauksiin myös tekoälyn käyttöä koskien.

Tehtävien laadinnassa kannattaa kiinnittää huomiota tekoälyn käyttötapoihin ja rohkaista opiskelijoita kokeilemaan ja tutkailemaan muun muassa erilaisia kehotteita ja tehtävänantoja. Opetusjaksojen päätteeksi voi järjestää reflektiotilaisuuksia, joissa keskustellaan kokemuksista tekoälyn käyttötavoista, hyödyistä ja haitoista. Näin opiskelijat saadaan tietoiseksi myös omasta kehityksestään tekoälyn käyttäjinä ja oppijoina. Opettaja voi myös tarjota mahdollisuuden valita erilaisten tehtävätyyppien välillä, joista yksinkertaisempi suoritetaan ilman tekoälyn apua ja laajempi tehtävä puolestaan edellyttää tekoälyn käyttämistä. Tämäkin voi lisätä tietoisuutta omasta vastuusta ja valintojen seurauksista.

5.5.5 Saavutettavuus ja yhdenvertaisuus

Opetuksen on oltava inklusiivista, saavutettavaa ja tarjottava jokaiselle yhdenvertaiset mahdollisuudet oppia ja kehittyä. Generatiivinen tekoäly haastaa nämä tavoitteet jo pelkällä olemassaolollaan, mutta etenkin sen integroituminen osaksi opetusta edellyttää huolellista pohdintaa. Esimerkiksi sovellusten ilmaisversioiden rajoitukset asettavat oman haasteensa niiden hyödyntämiseen koulutyössä, eikä opiskelijalta voi edellyttää maksullisten sovellusten tai lisäominaisuuksien hankkimista. Opiskelijoiden sosioekonominen asema aiheuttaa muutenkin eroja opiskelijoiden edellytyksiin, eikä generatiivinen tekoäly ainakaan saisi näitä eroja enää kasvattaa.

Generatiivisen tekoälyn sovellusten käytettävyys ja saatavuus pitkällä aikavälillä ovat epävarmoja. Nykyiset, vapaasti käytössä olevat ilmaisversiot vääristävät käyttäjien ymmärrystä tekoälyn todellisista kustannuksista. Esimerkiksi generatiivisen tekoälyn käyttämä laskentakapasiteetti on rajallinen ja ennen kaikkea maksullinen resurssi, joka edellyttää suurten datakeskusten rakentamista. Tällä hetkellä kenelläkään ei ole tietoa, millaiseksi generatiivisen tekoälyn markkinat kehittyvät ja minkä hintaisiksi sovellusten lisenssit asettuvat.

Kun generatiivinen tekoäly integroidaan osaksi opetusta, tarvittavien sovellusten on oltava yhdenvertaisesti jokaisen saatavilla. Oppivelvollisuuden laajentaminen toisen asteen koulutukseen tarkoittaa, että oppilaitoksen on tarjottava opiskeluvälineet ja tuki niiden käyttämiseen. Tekoälyn osalta tämä tarkoittaa, että vähintään opetuksen minimivaatimukset täyttävä sovellus on oltava kaikkien opiskelijoiden käytettävissä. Todennäköisesti Suomessa päädytään ennen pitkää kehittämään tai hankkimaan opetuskäyttöön tarkoitettu generatiivisen tekoälyn sovellus, joka toimii opetuksen järjestäjän hankkimassa ympäristössä kuten nykyinen ylioppilaskokeiden järjestelmä.

Vammaisille opiskelijoille tarkoitetut kohtuulliset sopeutukset eivät tekoälyn osalta luultavasti eroa nykyisistä tietotekniikkaan liittyvistä sopeutuksista. Toisaalta on mahdollista, että joissain tapauksissa tekoälysovellukset saattavat jopa lisätä opetuksen saavutettavuutta vammaisille opiskelijoille.

5.5.6 Tulevaisuuden osaaminen

Yksi koulutuksen monista tehtävistä on osaavan työvoiman tuottaminen tulevaisuuden tarpeisiin. Lukiossa tähän kytkeytyy myös opetussuunnitelman perusteissakin mainittu valmius jatko-opintoihin. Niin peruskoulu, lukio kuin ylemmät koulutusasteetkin elävät ajassa ja pyrkivät vastaamaan nimenomaan tulevaisuuden haasteisiin. Monissa kirjallisuusviitteissäkin mainittu tekoälylukutaito on takuuvarmasti yksi tulevaisuudessa tarvittavista taidoista.

Työn ja ammattien polarisoitumisen suorittavan työn ja tietotyön välillä uskotaan jatkuvan edelleen. Toki jossain vaiheessa vastaan tulee raja, jota pienemmäksi suorittavan työn tekijöiden osuus yhteiskunnasta ei enää voi laskea. On työtehtäviä, joissa tarvitaan ihmisen läsnäoloa, kädentaitoja, tunnetaitoja, ja niin edelleen. Automaatio ja robotit korvaavat ihmistyötä tiettyyn pisteeseen saakka, mutta eivät rajattomasti.

Tekoälyn läpimurto puolestaan vaikuttaa ensisijaisesti tietotyöhön. Suorittavan työn väheneminen ja tietotyön tarpeen lisääntyminen on ohjannut nostamaan kansalais-

ten koulutustasoa. Samalla suuri osa tietotyöstä on muuttunut rutiininomaiseksi suorittamiseksi, jossa annettuja työtehtäviä toistetaan ennalta määrätyn prosessin mukaisesti. Kehittynyt tekoäly onkin tekemässä tietotyölle saman kuin koneet ja robotit suorittavalle työlle – vain sellainen työ jää jäljelle, mitä ei voi tai kannata siirtää koneiden tehtäväksi.

Lopulta ollaan syvällisen kysymyksen äärellä: Mitä on ihmiselle ominainen toiminta? ChatGPT tiivistää asian esimerkiksi näin:[5]

> Ihmiselle ominaista toimintaa on kyky tuntea, kokea, tulkita merkityksiä ja toimia eettisten periaatteiden pohjalta. Ihminen kykenee empatiaan, luovuuteen, moraaliseen pohdintaan ja monimutkaisten sosiaalisten suhteiden ymmärtämiseen. Näitä ominaisuuksia ei voida täysin mallintaa koneille.
>
> Koneet voivat tulevaisuudessa hoitaa yhä useampia toistuvia, teknisiä ja laskennallisia tehtäviä, kuten tiedon käsittelyä, logistiikkaa tai rutiininomaista asiakaspalvelua. Tekoäly voi myös tukea päätöksentekoa ja tuottaa jopa taiteellista sisältöä.
>
> Ihmisen tehtäväksi jää kuitenkin edelleen eettinen harkinta, inhimillinen vuorovaikutus, hoiva, kasvatustyö ja kulttuurin luominen merkitysten kautta. Myös vastuu tekoälyn käytöstä ja sen seurauksista säilyy aina ihmisellä.

[5] ChatGPT:lle annettiin kehote: ”Selitä lyhyesti, mikä on ihmiselle ominaista toimintaa. Pohdi vastauksen tueksi ihmisen ja koneen eroja siitä näkökulmasta, mitä ihmisen tekemiä tehtäviä voisi tulevaisuudessa siirtää koneiden tehtäväksi ja mikä puolestaan täytyy aina säilyä ihmisen tehtävänä.” Vastauksia pyydettiin viisi, eikä niiden sisällöissä ollut merkittäviä eroja. Tähän valittiin vastauksista ensimmäinen, joka oli myös parhaiten muotoiltu. Käytetty kielimalli oli GPT-4o ja suorituspäivämäärä oli 17.5.2025.

6 Yhteenveto

Tämä työ on yksi ensimmäisistä suomalaisista selvityksistä generatiivisen tekoälyn hyödyntämisestä fysiikan opetuksessa. Aiheeseen on perehdytty tutkimuskirjallisuuden sekä suppean kokeellisen tutkimuksen kautta. Vuonna 2022 julkaistu ChatGPT toi laajoihin kielimalleihin pohjautuvan generatiivisen tekoälyn jokaisen ulottuville, ja siitä lähtien se on alkanut vaikuttaa myös koulumaailmaan. Laajat kielimallit suorittavat korkeatasoisia kognitiivisia prosesseja, joita on perinteisesti harjoiteltu ja arvioitu peruskoulun ylemmillä luokilla sekä toisen asteen koulutuksessa. Tästä syystä tekoälyyn koulutuksen viitekehyksessä täytyy suhtautua vakavasti.

Opiskelijat ovat omaksuneet generatiivisen tekoälyn nopeasti ja ryhtyneet laajasti käyttämään sitä apuvälineenä opiskelussaan. Valeri ja muut (2025) ovat tutkineet STEM-aineiden opiskelijoiden tapoja käyttää generatiivista tekoälyä opinnoissaan ja havainneet, että opiskelijat ovat varsin itsenäisesti kehittäneet älykkäitä ja monipuolisia käyttötapoja tekoälysovelluksille. Tästä huolimatta Valeri ja muut pitävät tärkeänä lisätä suunnitelmallista opetusta tekoälyn käytöstä, sillä se lisää opiskelijoiden kokemaa hyötyä. Salih ja muut (2025) ovat tutkineet tekoälyn soveltamista opetuksessa kansainvälisesti ja havainneet hyvin vaihtelevia käytäntöjä kielteisestä ja rajoittavasta suhtautumisesta hyvin avoimeen ja kannustavaan asenteeseen. Muun muassa Almatrafi ja muut (2024) sekä Annapureddy ja muut (2025) ovat korostaneet tekoälylukutaitoa, joka käsittää esimerkiksi tekoälyn monipuolista soveltamista, sen tuottaman sisällön arvioimista sekä eettisten näkökulmien huomiointia. Opetushallitus (2025) on julkaissut ohjeiston, jossa tekoälyn hyödyntämistä ohjeistetaan suomalaisen koulutusjärjestelmän sisällä.

Aiheen kiinnostavuuden ja merkittävyyden johdosta laajoista kielimalleista fysiikan opetuksessa on jo olemassa runsaasti tutkimuskirjallisuutta, mutta tieteellisten tutkimus- ja julkaisuprosessien perusteellisuuden vuoksi saatavilla oleva aineisto viittaa yleensä kielimallien vanhentuneisiin versioihin, esimerkiksi GPT-3.5 ja GPT-4. Tutkimuskirjallisuudessa on johdonmukaisesti havaittu kielimallien suorituskyvyn parantumista uusien versioiden myötä, ja myös tämän työn havainnot tukevat samaa johtopäätöstä.

Jo vanhemmat kielimallit ovat suoriutuneet hyvin fysiikan perusteisiin ja tieteen filosofiaan liittyvissä tehtävissä, mutta fysikaalinen ongelmanratkaisu ja kehittynyttä päättelyä vaativat tehtävät ovat aiheuttaneet hankaluuksia (Dos Santos, 2023; Gregorcic & Pendrill, 2023; Sato, 2024). West (2023a, 2023b) on havainnut kielimallissa

GPT-4 huomattavaa parannusta fysiikan käsitteellisessä analyysissä verrattuna aikaisempaan kielimalliin GPT-3.5. Polverini ja Gregorcic (2024b) ovat havainneet, että GPT-4 suoriutuu kohtalaisesti melko vaativistakin fysiikan tehtävistä muttei hallitse graafista analyysiä. Kortemeyer ja muut (2025) tutkivat kehittyneempää kielimallia GPT-4o, mutta havaitsivat senkin suoriutuvan graafista tulkintaa vaativista tehtävistä heikommin kuin kirjallisista tehtävistä. Tämän työn kokeellisessa osuudessa tutkittiin pääasiassa uudempia kielimalleja, kuten ChatGPT:n oletuskielimallia GPT-4o tai päätteleviä kielimalleja o1 ja o3-mini. Havaintojen perusteella kielimallien suorituskyky fysikaalisessa ongelmanratkaisussa vaikuttaa kehittyneen edelleen kaikilla osa-alueilla. Graafinen analyysi todettiin silti uusimmillekin kielimalleille vielä haastavaksi, kuten myös Kortemeyer ja muut (2025) olivat havainneet.

Polverini ja Gregorcic (2024a) ovat kuvanneet generatiivinen tekoälyn toimintaperiaatteita kattavasti ja ymmärrettävästi. Tekoälyn taustalla toimiva laaja kielimalli (*large language model, LMM*) tuottaa tekstiä tilastollisten menetelmien avulla koulutusaineiston pohjalta. Käyttäjä puolestaan ohjaa kielimallia kehotteella eli komentoriville kirjoitetuilla ohjeilla (*prompt*). Kehotteen muotoiluun (*prompt engineering*) on olemassa erilaisia menetelmiä, joiden avulla kielimallin tuottamaa vastausta voi säätää haluamaansa suuntaan. Olennaisia menetelmiä kehotteen muotoilussa ovat mm. viitekehyksen (*context*) antaminen, päättelyketjujen (*chain-of-thought, CoT*) määrittely sekä kysymällä ohjaaminen (*Socratic dialogue*). Näitä menetelmiä käytettiin myös tämän työn kokeellisessa osuudessa, ja ne havaittiin toimiviksi.

Työn kokeellisessa osuudessa tutkittiin generatiivisen tekoälyn tuottamia ratkaisuja liikettä ja voimaa käsitteleviin fysiikan ylioppilaskokeiden tehtäviin. Tutkimusaineistoon valittiin tehtäviä, jotka mittaavat käsitteellistä osaamista, voimakaavioiden tulkintaa, laskutehtävien ratkaisua sekä mittaustulosten analyysiä. Tehtävät annettiin tekoälyn ratkaistavaksi ja kielimallia ohjattiin kehotetta muokkaamalla, kunnes vastauksesta olisi saanut ylioppilaslautakunnan arviointiohjeen mukaisesti täydet pisteet. Käytettävä tekoälysovellus oli ChatGPT, ja osassa tehtävistä vaihdeltiin sovelluksen käyttämää kielimallia.

Tutkimuksen perusteella generatiivinen tekoäly kykenee nykyisillä kielimalleilla tuottamaan uskottavaa ja totuudenmukaista materiaalia lukion fysiikan sisällöistä, vaikkakin työssä on rajoituttu liikettä ja voimaa käsittelevään sisältöön. Kielimallien tuottamassa materiaalissa fysiikan käsitteitä kuvataan täsmällisesti ja johdonmukaisesti, kuten laadukkaissa oppikirjoissa. Fysikaalisten ilmiöiden ja riippuvuussuhteiden perustelu on yhtenäistä ja uskottavaa, ja myös suoraviivainen ongelmanratkaisu sekä

suureyhtälöiden matemaattinen analyysi on aukotonta. Voimakuvioiden ja mittaustulosten tulkinta osoittautuivat edelleen haastaviksi tehtäviksi, mutta ChatGPT:n oletuskielimalli GPT-4o suoriutui lopulta molemmista tehtävistä riittävän ohjauksen jälkeen. Havaintojen perusteella voi todeta, että kielimalli ei helposti kykene yhdistämään eri aistihavaintoja ja aikaisempia kokemuksia ihmisten lailla. Saman johtopäätöksen esittivät tutkimusartikkelissaan myös Polverini ja Gregorcic (2024a).

Generatiivisen tekoälyn suorituskyky lukion fysiikan sisällöissä vaikuttaa olevan sellaisella tasolla, että sen integrointi opetukseen on jo nyt ajankohtaista. Salih ja muut (2025) ovat todenneet, että tekoälyn integrointi opetukseen etenee toistaiseksi lähinnä ylätasolla eikä vielä laajassa mittakaavassa käytännön opetustyössä. Myös Valeri ja muut (2025) ovat tulleet vastaavaan johtopäätökseen tutkiessaan opiskelijoiden tapoja hyödyntää tekoälyä. Tämän työn johtopäätösten perusteella opettajien kannattaa liittää tekoäly mukaan opetukseen yhtenä apuvälineenä muiden joukossa ja suunnitella osa opetuksesta niin, että siinä hyödynnetään tekoälyä suunnitelmallisesti ja yhteisöllisesti. Tekoälysovellusten yleistymisen vuoksi opiskelijoille annettavat tehtävät on pian luokiteltava sen mukaan, onko siinä sallittua hyödyntää tekoälyä vai täytyykö tehtävä suorittaa valvotussa tilanteessa.

Opiskelijoille annettavissa tehtävissä kannattaa edetä vaiheittain yksinkertaisista vaativampiin. Alkuvaiheessa tutustutaan yksinkertaisten tehtävien avulla kielimallien toimintaan ja harjoitellaan kehotteiden muotoilua. Tekoälylukutaidon kehittyessä voidaan vähitellen siirtää huomio työvälineestä itse opiskeltavaan asiaan. Kun kielimalli kykenee suorittamaan suuren osan rutiininomaisesta informaation käsittelystä, opiskelijan kapasiteettia vapautuu korkeammille ajattelun tasoille.

Opetuksen järjestäjän on luonnollisesti huomioitava opiskelussa käytettävien työvälineiden saavutettavuudesta, sillä tekoälysovellukset eivät välttämättä säily ilmaisina eikä yhteiskunnan järjestämässä opetuksessa voi tukeutua puhtaasti kaupallisiin sovelluksiin. Todennäköisesti suomalaisissa oppilaitoksissa siirrytään lähivuosina käyttämään erityisesti opetuskäyttöön suunniteltua generaatiivista tekoälysovellusta, joka toimii omassa suljetussa asennusympäristössään.

Tekoälyn uskotaan muuttavan koko maailmaa, ja sama pätee varmasti myös opetukseen. Alan nopea kehitys takaa, että aihe säilyy runsaudensarvena tutkijoille pitkään.

Lähteet

Academy, K. (2025). https://www.khanacademy.org. (Viitattu 10.5.2025)

Almatrafi, O., Johri, A., & Lee, H. (2024). A systematic review of ai literacy conceptualization, constructs, and implementation and assessment efforts (2019-2023). *Computers and Education Open*, *6*(100173), 20 s.

Annapureddy, R., Fornaroli, A., & Gatica-Perez, D. (2025). Generative ai literacy: Twelve defining competencies. *Digital Government: Research and Practice*, *6*(1), 21 s.

Babbel. (2025). https://www.babbel.com. (Viitattu 10.5.2025)

Bang, Y., Cahyawijaya, S., Lee, N., Dai, W., Su, D., Wilie, B., ... others (2023). A multitask, multilingual, multimodal evaluation of chatgpt on reasoning, hallucination, and interactivity. *arXiv preprint arXiv:2302.04023*, 45 s.

Bogireddy, S. R., & Dasari, N. (2024). Comparative analysis of chatgpt-4 and llama: Performance evaluation on text summarization, data analysis, and question answering. Teoksessa *2024 15th international conference on computing communication and networking technologies (icccnt)* (s. 7 s.).

Cain, W. (2024). Prompting change: Exploring prompt engineering in large language model ai and its potential to transform education. *TechTrends*, *68*(1), 47–57.

ChatGPT. (2025). https://chat.openai.com. (Viitattu 10.5.2025)

Copilot, G. (2025). https://github.com/features/copilot. (Viitattu 10.5.2025)

Copyscape. (2025). https://www.copyscape.com. (Viitattu 10.5.2025)

Davis, E. (2024). Mathematics, word problems, common sense, and artificial intelligence. *Bulletin of the American Mathematical Society*, *61*(2), 287–303.

Dos Santos, R. P. (2023). Enhancing physics learning with chatgpt, bing chat, and bard as agents-to-think-with: a comparative case study. *arXiv preprint arXiv:2306.00724*, 26 s.

DreamBox. (2025). https://www.dreambox.com. (Viitattu 10.5.2025)

Duolingo. (2025). https://www.duolingo.com. (Viitattu 10.5.2025)

Edulastic. (2025). https://www.edulastic.com. (Viitattu 10.5.2025)

Floridi, L., & Chiriatti, M. (2020). Gpt-3: Its nature, scope, limits, and consequences. *Minds and Machines*, *30*, 681–694.

Gallegos, I. O., Rossi, R. A., Barrow, J., Tanjim, M. M., Kim, S., Dernoncourt, F., ... Ahmed, N. K. (2024). Bias and fairness in large language models: A survey. *Computational Linguistics*, *50*(3), 1097–1179.

Gemini. (2025). https://gemini.google.com. (Viitattu 10.5.2025)

Ghaffari, S., & Krishnaswamy, N. (2024). Exploring failure cases in multimodal reasoning about physical dynamics. Teoksessa *Proceedings of the aaai symposium series* (osa 3, s. 105–114).

Gradescope. (2025). https://www.gradescope.com. (Viitattu 10.5.2025)

Grammarly. (2025). https://www.grammarly.com. (Viitattu 10.5.2025)

Grassini, S. (2023). Shaping the future of education: Exploring the potential and consequences of ai and chatgpt in educational settings. *Education sciences*, *13*(692), 13 s.

Gregorcic, B., & Pendrill, A.-M. (2023). Chatgpt and the frustrated socrates. *Physics Education*, *58*(035021), 10 s.

Gregorcic, B., & Polverini, G. (2024). Chatgpt-4 and the satisfied socrates. *arXiv preprint arXiv:2401.11987*, 9 s.

Gregorcic, B., Polverini, G., & Sarlah, A. (2024). Chatgpt as a tool for honing teachers' socratic dialogue skills. *Physics Education*, *59*(045005), 10 s.

Hannikainen, J. (2020). *Helsingin Yliopiston epävirallinen LaTeX-pohja.* https://github.com/jgke/helsinki-latex. (Viitattu 27.4.2025)

Hestenes, D., Wells, M., Swackhamer, G., ja muut (1992). Force concept inventory. *The physics teacher*, *30*(3), 141–158.

Imran, M., & Almusharraf, N. (2023). Analyzing the role of chatgpt as a writing assistant at higher education level: A systematic review of the literature. *Contemporary Educational Technology*, *15*(4), 14 s.

Jiang, Z., & Jiang, M. (2024). Beyond answers: Large language model-powered tutoring system in physics education for deep learning and precise understanding. *arXiv preprint arXiv:2406.10934*, 13 s.

Kahoot! (2025). https://kahoot.com. (Viitattu 10.5.2025)

Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., ... others (2023). Chatgpt for good? on opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and individual differences*, *103*(102274), 13 s.

Kiuru, M., Kohtamäki, J., Korhonen, M., Laukkanen, P., Nurmi, E., & Vähä-Heikkilä, K. (2021). *Vipu 4 (lops21), digikirja.* Kustannusosakeyhtiö Otava.

Kortemeyer, G. (2023). Could an artificial-intelligence agent pass an introductory physics course? *Physical Review Physics Education Research*, *19*(010132), 18 s.

Kortemeyer, G., Babayeva, M., Polverini, G., Gregorcic, B., & Widenhorn, R. (2025). Multilingual performance of a multimodal artificial intelligence system on multisubject physics concept inventories. *arXiv preprint arXiv:2501.06143*, 23 s.

Kortemeyer, G., & Nöhl, J. (2024). Assessing confidence in ai-assisted grading of physics exams through psychometrics: An exploratory study. *arXiv preprint arXiv:2410.19409*, 22 s.

Lestari, S. (2024). The implementation of chatgpt-based learning for higher education in indonesia: Systematic literature review. *ELS Journal on Interdisciplinary Studies in Humanities*, *7*(2), 339–347.

Liang, T., He, Z., Jiao, W., Wang, X., Wang, Y., Wang, R., ... Tu, Z. (2023). Encouraging divergent thinking in large language models through multi-agent debate. *arXiv preprint arXiv:2305.19118*, 16 s.

Lingvist. (2025). `https://lingvist.com`. (Viitattu 10.5.2025)

Lo, C. K. (2023). What is the impact of chatgpt on education? a rapid review of the literature. *Education sciences*, *13*(410), 15 s.

Meyer, J., Jansen, T., Schiller, R., Liebenow, L. W., Steinbach, M., Horbach, A., & Fleckenstein, J. (2024). Using llms to bring evidence-based feedback into the classroom: Ai-generated feedback increases secondary students' text revision, motivation, and positive emotions. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *6*(100199), 10.

Michel-Villarreal, R., Vilalta-Perdomo, E., Salinas-Navarro, D. E., Thierry-Aguilera, R., & Gerardou, F. S. (2023). Challenges and opportunities of generative ai for higher education as explained by chatgpt. *Education Sciences*, *13*(856), 18 s.

Mok, R., Akhtar, F., Clare, L., Li, C., Ida, J., Ross, L., & Campanelli, M. (2024). Using ai large language models for grading in education: A hands-on test for physics. *arXiv preprint arXiv:2411.13685*, 19 s.

Nearpod. (2025). `https://www.nearpod.com`. (Viitattu 10.5.2025)

Opetushallitus. (2019). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019*. Tekijä.

Opetushallitus. (2025). *Tekoäly varhaiskasvatuksessa ja koulutuksessa – lainsäädäntö ja suositukset.* Saatavilla `https://www.oph.fi/fi/tekoalysuositukset` (Viitattu 17.5.2025)

Perplexity. (2025). `https://www.perplexity.ai`. (Viitattu 10.5.2025)

Pimbblet, K. A., & Morrell, L. J. (2024). Can chatgpt pass a physics degree? making a case for reformation of assessment of undergraduate degrees. *European Journal of Physics*, *46*(015702), 22 s.

Polverini, G., & Gregorcic, B. (2024a). How understanding large language models can inform the use of chatgpt in physics education. *European Journal of Physics*, *45*(025701), 35 s.

Polverini, G., & Gregorcic, B. (2024b). Performance of chatgpt on the test of understanding graphs in kinematics. *Physical Review Physics Education Research*, *20*(010109), 16 s.

Proctorio. (2025). `https://proctorio.com`. (Viitattu 10.5.2025)

Qualtrics. (2025). `https://www.qualtrics.com`. (Viitattu 10.5.2025)

Quizlet. (2025). `https://quizlet.com`. (Viitattu 10.5.2025)

RapidMiner. (2025). `https://rapidminer.com`. (Viitattu 10.5.2025)

SafeAssign. (2025). `https://help.blackboard.com/SafeAssign`. (Viitattu 10.5.2025)

Salih, S., Husain, O., Hamdan, M., Abdelsalam, S., Elshafie, H., & Motwakel, A. (2025). Transforming education with ai: A systematic review of chatgpt's role in learning, academic practices, and institutional adoption. *Results in Engineering*, *25*(103837), 27 s.

Sato, K. (2024). Exploring the educational landscape of ai: Large language models' approaches to explaining conservation of momentum in physics. *arXiv preprint arXiv:2407.05308*, 8 s.

Shen, X., Chen, Z., Backes, M., & Zhang, Y. (2023). In chatgpt we trust? measuring and characterizing the reliability of chatgpt. *arXiv preprint arXiv:2304.08979*, 21 s.

Sirnoorkar, A., Zollman, D., Laverty, J. T., Magana, A. J., Rebello, N. S., & Bryan, L. A. (2024). Student and ai responses to physics problems examined through the lenses of sensemaking and mechanistic reasoning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *7*(100318), 15 s.

Socrative. (2025). `https://socrative.com`. (Viitattu 10.5.2025)

Sparrow, S. (2025). `https://www.smartsparrow.com`. (Viitattu 10.5.2025)

Stone, R. (2025). `https://www.rosettastone.com`. (Viitattu 10.5.2025)

Translate, G. (2025). `https://translate.google.com`. (Viitattu 10.5.2025)

Tufino, E. (2025). Exploring large language models (llms) through interactive python activities. *arXiv preprint arXiv:2501.05577*, 13 s.

Turnitin. (2025). `https://www.turnitin.com`. (Viitattu 10.5.2025)

Unicheck. (2025). `https://unicheck.com`. (Viitattu 10.5.2025)

Valeri, F., Nilsson, P., & Cederqvist, A.-M. (2025). Exploring students' experience of chatgpt in stem education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *8*(100360), 12 s.

Walter, Y. (2024). Embracing the future of artificial intelligence in the classroom: the relevance of ai literacy, prompt engineering, and critical thinking in modern education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *21*(15), 29 s.

Wan, T., & Chen, Z. (2024). Exploring generative ai assisted feedback writing for students' written responses to a physics conceptual question with prompt engineering and few-shot learning. *Physical Review Physics Education Research*, *20*(1), 010152.

Watson, I. (2025). `https://www.ibm.com/watson`. (Viitattu 10.5.2025)

West, C. G. (2023a). Advances in apparent conceptual physics reasoning in gpt-4. *arXiv preprint arXiv:2303.17012*, 6 s.

West, C. G. (2023b). Ai and the fci: Can chatgpt project an understanding of introductory physics? *arXiv preprint arXiv:2303.01067*, 13 s.

Yeadon, W., Agra, E., Inyang, O.-O., Mackay, P., & Mizouri, A. (2024). Evaluating ai and human authorship quality in academic writing through physics essays. *European Journal of Physics*, *45*(055703), 17 s.

Yeadon, W., & Halliday, D. P. (2023). Exploring durham university physics exams with large language models. *arXiv preprint arXiv:2306.15609*, 9 s.

Yeadon, W., & Hardy, T. (2024). The impact of ai in physics education: a comprehensive review from gcse to university levels. *Physics Education*, *59*(025010), 19 s.

Yeadon, W., Inyang, O.-O., Mizouri, A., Peach, A., & Testrow, C. P. (2023). The death of the short-form physics essay in the coming ai revolution. *Physics Education*, *58*(035027), 14 s.

Liite 1. Lisämateriaali: Virheelliset käsitykset

Energiakäsitysten analyysissä käytettiin tutkimusmateriaalina kevään 2020 ylioppilaskokeen tehtävää, jossa täytyi tunnistaa lehtiartikkelissa esitettyjä energiaan liittyviä virhekäsityksiä.

Tässä liitteessä esitetään annetut kehotteet ja vastaukset, jotka saatiin käyttämällä eri kielimalleja. Kokeet suoritettiin 7.4.2025 sekä 12.4.2025.

Kehote A

ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Tarkastele perustellen, mitä energiaan liittyviä virheellisyyksiä seuraavassa tekstissä esitetään:
>
> Laskuvarjotta verkkoon 7 600 metristä
>
> Laskuvarjohyppääjä Luke Aikins hyppäsi heinäkuun lopulla alle kahden minuutin vapaan pudotuksen ilman laskuvarjoa. Matkaa verkkoon oli 7 620 metriä. Aikins mätkähti 30 × 30 -metriseen verkkoon, joka oli viritetty Simi-laaksoon Kaliforniaan. Nopeutta oli lopussa hieman yli 190 kilometriä tunnissa.
>
> Aikinsin kypärässä oli satelliittipaikannus, joka ohjasi häntä kohti verkkoa. Verkon valot muuttuivat punaisiksi, jos hyppääjä ajautui väärään suuntaan, kertoo Scientific American -lehti.
>
> Aikins saattoi hieman ohjailla kulkuaan kahden minuutin pudotuksen aikana esimerkiksi laittamalla kädet pitkin vartaloa. Juuri ennen alastuloa hän kääntyi lennossa selälleen niin, että hänen selkänsä iski ensin verkkoon. Se toi joustoa iskuun.
>
> Vapaassa pudotuksessa syntyy paljon liike-energiaa. Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen. Aikinsin pyydystänyt verkko oli valmistettu joustavasta polyeteenistä. Sen tiheä kudelma venyi sopivasti ja imi syöksyjän liike-energian. Verkon nurkissa oli neljä ilmanpaineella toimivaa sylinteriä, jotka niiasivat Aikinsin osuessa verkkoon.

Tekoälyn käyttämät kielimallit olivat: GPT-4o, GPT-4.5, GPT-4, o1 sekä o3-mini. Kokeen suorituspäivämäärä oli 7.4.2025.

Kielimalli GPT-4o – Vastaus A.1

Tarkastellaan tekstin energiaan liittyviä väittämiä kriittisesti fysiikan näkökulmasta ja etsitään mahdolliset virheellisyydet tai harhaanjohtavat ilmaukset:

—

Virhe 1: ”Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.”

Virheellinen väite: ”Kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon.”

Oikea fysiikan näkökulma: Energia eiheijastu takaisin kehoonsamalla tavalla kuin valo heijastuu peilistä. Kun ihminen osuu maahan suurella nopeudella, hänen liike-energiansa muuttuu (ei heijastu) muiden energiamuotojen kautta: esimerkiksi kehon rakenteiden muodonmuutoksiksi (jotka voivat rikkoa kudoksia), lämmöksi, ja ääneksi. Vauriot johtuvat siitä, ettei energiaa voida poistaa kehosta riittävän lempeästi – ei siitä, että se jotenkin ”palaa takaisin”.

—

Virhe 2: ”Verkon kudelma imi syöksyjän liike-energian.”

Hieman harhaanjohtava ilmaus: ”Verkon tiheä kudelma imi syöksyjän liike-energian.”

Tarkennus: Fysiikassa energiaa ei ”imitä” samalla tavalla kuin sieni imee vettä. Tässä tapauksessa verkko muuntaa hyppääjän liike-energian mekaaniseksi energiaksi verkon säikeiden venymisessä (eli jännitysenergiaan) ja lämmöksi materiaalissa ja ilmanpainejärjestelmässä. Parempi ilmaisu olisi: ”Verkko vaimensi liikettä muuttamalla liike-energian muiksi energiamuodoiksi.”

—

Virhe 3: ”Vapaassa pudotuksessa syntyy paljon liike-energiaa.”

Kielitieteellinen epätarkkuus: ”Vapaassa pudotuksessa syntyy paljon liike-energiaa.”

Tarkennus: Liike-energia ei synny tyhjästä, vaan muuntuu potentiaalienergiasta. Tarkempi ilmaisu olisi: ”Vapaassa pudotuksessa painovoiman potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi.”

—

Yhteenveto virheistä ja parannusehdotuksista:

Kohta tekstissä	Ongelma	Tarkennus
”Kineettinen energia heijastuu...”	Fysikaalisesti virheellinen	Liike-energia muuntuu kehon sisäisiksi muodonmuutoksiksi, ei heijastu
”Verkko imi liike-energian”	Epätarkka ilmaus	Verkko vaimensi liikkeen muuttamalla energian muiksi muodoiksi
”Syntyy liike-energiaa”	Epätarkka energia-analyysi	Potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi

—

Jos haluat, voin muotoilla koko kappaleen uudelleen tieteellisesti täsmälliseksi – silti yleistajuisesti. Haluatko?

Kielimalli GPT-4o – Vastaus A.2

Tarkastellaan tekstin väittämiä energiaan liittyen ja arvioidaan niiden paikkansapitävyyttä fysiikan näkökulmasta:

—

1. ”Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.”

Virheellinen tai harhaanjohtava ilmaisu.

Kineettinen energia ei ”heijastu” takaisin kehoon. Energia ei toimi samalla tavalla kuin pallo kimpoaa seinästä. Kineettinen energia ei ole mikään esine, joka voi heijastua. Sen sijaan, kun keho törmää maahan, liike-energia muuttuu lämpöenergiaksi, ääneksi ja ennen kaikkea muodonmuutosenergiaksi – eli kudosten murskaantumiseen, sisäelinten vaurioitumiseen jne. Energia siis vaikuttaa kehoon aiheuttaen vaurioita, mutta se ei tule takaisin ”kineettisenä energiana”.

Parempi tapa sanoa: ”Jos osuu maahan, kineettinen energia siirtyy kehoon aiheuttaen vakavia vaurioita, kun energia muuntautuu muodonmuutos- ja lämpöenergiaksi.”

—

2. ”Verkon tiheä kudelma venyi sopivasti ja imi syöksyjän liike-energian.”

Lähes oikea, mutta termi ”imi” on epäfysikaalinen.

Vaikka puhekielessä voidaan sanoa, että jokin ”imee energiaa”, fysiikassa kyse on energian siirtymisestä ja muuntumisesta. Verkon tapauksessa liike-energia siirtyy verkkoon ja muuttuu verkon elastiseksi potentiaalienergiaksi, joka sitten voi osin muuttua lämpöenergiaksi, kun verkko vaimenee (värähtelyt hälvenevät). Lisäksi verkon jousto pidentää pysähtymisaikaa, jolloin kehoon kohdistuva voima pienenee (impulssiperiaate).

Parempi tapa sanoa: ”...venyi sopivasti ja muutti liike-energian elastiseksi energiaksi ja lämpöenergiaksi.”

—

3. ”Ilmanpaineella toimivat sylinterit niiasivat Aikinsin osuessa verkkoon.”

Ei virheellinen väite, mutta mahdollinen väärinkäsitys piilee tässä.

On hyvä huomioida, että sylinterien tehtävä oli todennäköisesti vaimentaa ja hallita verkon liikettä ja joustoa. Tämä ei ole varsinaisesti virheellinen väittämä, mutta fysiikan kannalta olisi tärkeää ymmärtää, että myös sylintereihin siirtyy osa liike-energiasta, ja ne auttavat muuttamaan sen lämpöenergiaksi tai sisäiseksi energiaksi sylintereissä.

—

Yhteenveto virheellisyyksistä:

Kohta	Ongelma	Miksi väärin tai harhaanjohtava	Korjaus
1	”Kineettinen energia heijastuu...”	Kineettinen energia ei heijastu, vaan muuntuu vaurioittaviksi energiamuodoiksi	Kineettinen energia muuntuu kudosten vaurioitumiseksi ja lämmöksi
2	”Verkko imi liike-energian”	Ei ime, vaan muuntaa ja vaimentaa	Liike-energia muuttui verkon elastiseksi energiaksi ja vaimeni
3	(sylinterit ”niiasivat”)	Ei virhe, mutta mekaaninen toimintaperiaate voisi olla selitetty tarkemmin	Vaimensivat liikettä ja muunsivat energiaa muiksi muodoiksi

—

Jos haluat, voin myös muotoilla tästä pienen oppituntiesimerkin, joka auttaisi opiskelijoita havaitsemaan nämä asiat itse. Kiinnostaako?

Kielimalli GPT-4o – Vastaus A.3

Teksti kuvaa vaikuttavaa hyppyä ja sisältää paljon kiinnostavaa tietoa, mutta siinä on myös muutamia fysikaalisesti virheellisiä tai harhaanjohtavia väitteitä liittyen energiaan. Tässä on tarkastelu ja perustelut:

—

1. ”Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.”

Virheellinen väite.

- Perustelu: Energia ei ”heijastu” kehoon takaisin kuin pallo seinästä. Kun ihminen osuu maahan suurella nopeudella, liike-energia ei palaudu, vaan se muuntuu:
  - lämpöenergiaksi,

  - ääneksi,
  - ja ennen kaikkea mekaaniseksi työksi, joka rikkoo kehon rakenteita (luut, kudokset jne.).
- Energia siis häviää kehosta, ei palaa siihen. Murskaantuminen johtuu siitä, että keho joutuu nopeasti pysäyttämään suuren liike-energiansa, mikä aiheuttaa erittäin suuria voimia.

—

2. ”Verkon tiheä kudelma venyi sopivasti ja imi syöksyjän liike-energian.”

Osittain oikea, mutta kielikuva “imi” voi olla harhaanjohtava.

- Perustelu: Tieteellisesti ilmaistuna verkko vaimensi liikettä tekemällä työtä hyppääjän pysäyttämiseksi, jolloin liike-energia muuttui elastiseksi potentiaalienergiaksi (verkon venyessä), ja lopulta lämmöksi ja värähtelyksi.
- Termi ”imi” antaa kuvan, että energia jotenkin siirtyi pois hyppääjästä johonkin säiliöön, mikä ei kuvaa hyvin energian muuntumisen luonnetta.

—

3. ”Vapaassa pudotuksessa syntyy paljon liike-energiaa.”

Pääosin oikein, mutta syy-seuraus-suhteessa pientä epätarkkuutta.

- Perustelu: Liike-energia ei ”synny” tyhjästä, vaan se muuntuu hyppääjän potentiaalienergiasta (korkeudessa oleva energia) liike-energiaksi pudotuksen aikana painovoiman vaikutuksesta.
- Tarkemmin olisi sanoa:”Pudotuksessa potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi.”

—

Yhteenveto virheistä:

Väite	Virhe	Korjaus
”Kineettinen energia heijastuu kehoon”	Ei heijastu vaan muuntuu ja tuhoaa kudoksia	Liike-energia muuntuu kehon sisäiseksi työksi ja lämmöksi
”Verkko imi liike-energian”	Harhaanjohtava kielikuva	Verkko muutti liike-energian elastiseksi potentiaalienergiaksi ja vaimensi liikkeen
”Syntyy liike-energiaa”	Epätarkka syy-seuraus	Potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi

—

Haluatko, että tämän pohjalta laaditaan opiskelijoille sopiva tehtävä tai selitysteksti?

Kielimalli GPT-4o – Vastaus A.4

Tarkastellaan tekstin esittämiä väitteitä energiaan liittyen ja arvioidaan, mitä virheellisiä tai harhaanjohtavia ilmauksia siinä esiintyy:

—

Virheellinen tai harhaanjohtava väite: ”Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.”

Mikä tässä on ongelma? Tämä väite antaa harhaanjohtavan kuvan siitä, miten liike-energia vaikuttaa törmäyksessä. Liike-energia ei ”heijastu” takaisin kehoon, vaan se muuntuu muiksi energiamuodoiksi törmäyksessä. Kun keho törmää maahan:

- Liike-energia muuttuu lämmöksi, äänienergiaksi ja ennen kaikkea muodonmuutosenergiaksi kehon ja maan rakenteissa.
- Jos hidastuminen on äkillinen, kehoon kohdistuvat suuret voimat voivat vaurioittaa kudoksia, elimiä ja luita – ei siksi, että energia ”heijastuisi”, vaan koska energiaa ei voida turvallisesti hajottaa riittävän hitaasti.

Korjaus: Energia ei heijastu kehoon, vaan törmäyksessä liike-energia muuntuu ja aiheuttaa vaurioita nopean pysähtymisen seurauksena.

—

Potentiaalinen tarkennustarve: ”Verkon nurkissa oli neljä ilmanpaineella toimivaa sylinteriä, jotka niiasivat Aikinsin osuessa verkkoon.”

Miksi tämä voi hämmentää? Vaikka tämä ei ole varsinaisesti virheellinen, voisi olla hyvä tarkentaa, että sylinterien tehtävänä oli pidentää törmäysaikaa ja pienentää kiihtyvyyttä, jolloin törmäysvoimat pienenevät ja energia siirtyy hallitusti.

—

Muuta huomionarvoista: ”Verkon valot muuttuivat punaisiksi, jos hyppääjä ajautui väärään suuntaan. . . ”

Tämä liittyy ohjaukseen eikä energiaan, mutta voi antaa vaikutelman, että hyppääjä voi ohjata reittiään tarkemmin kuin todellisuudessa – vapaassa pudotuksessa ohjauskyky on rajoitettu.

—

Yhteenveto: Tekstin merkittävin energiaan liittyvä virheellinen väite on, että kineettinen energia heijastuu kehoon ja murskaa sen. Todellisuudessa keho vaurioituu siksi, että liike-energia ei ehdi tai pysty siirtymään turvallisesti muiksi energiamuodoiksi – se muuntuu muodonmuutoksiksi liian nopeasti, jolloin syntyy tuhoisia voimia.

Jos haluat, voin auttaa muotoilemaan tästä lyhyen fysiikan oppitunnin osuuden tai havainnollistavan esimerkin oppilaille!

Kielimalli GPT-4.5 – Vastaus A.1

Seuraavassa perusteltu analyysi tekstissä esiintyvistä energiaan liittyvistä virheellisyyksistä ja epätarkkuuksista:

Virhe 1: ”Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.”

Perustelu: Tekstissä esitetään, että törmäyksessä ”kineettinen energia heijastuu takaisin kehoon”. Todellisuudessa energia ei ole kappale, joka voisi ”heijastua” tai palata takaisin kuin jokin esine. Energia ei myöskään itsessään murskaa kehoa, vaan kehon vaurio syntyy, koska suuri hidastuvuus törmäyksessä aiheuttaa suuria voimia ja kiihtyvyyksiä elimistöön. Kehoon kohdistuvat voimat (ja paineet) aiheuttavat kudosvaurioita. Energia siirtyy törmäyksessä muihin energiamuotoihin (lämpöenergia, ääni, materiaalin muodonmuutosten energia jne.), eikä se pomppaa takaisin kehoon.

Oikeampi ilmaus olisi, että törmäyksessä kehon suuri liike-energia muuntuu nopeasti muihin energiamuotoihin, kuten lämpöenergiaksi ja rakenteiden muodonmuutoksiin. Kehon suuri hidastuvuus aiheuttaa suuria voimia ja siten vakavia vammoja.

—

Virhe 2: ”Verkon tiheä kudelma venyi sopivasti ja imi syöksyjän liike-energian.”

Perustelu: Ilmaisu ”imi syöksyjän liike-energian” on epäselvä ja fyysisesti epätarkka. Energia ei ”imeydy” esineisiin konkreettisena aineena. Oikeampi ilmaus on, että verkko tekee työtä hyppääjää vastaan venyessään. Hyppääjän liike-energia muuntuu tässä prosessissa verkon elastiseksi potentiaalienergiaksi sekä jonkin verran lämmöksi ja ääneksi. Energia siis siirtyy muodosta toiseen – ei imeydy eikä katoa.

Verkon venyminen tarkoittaa, että verkon materiaaliin kohdistuu voimia, jotka tekevat negatiivista työtä pudottajaa vastaan hidastaen hänen vauhtiaan. Tässä energian säilymislain mukaisesti pudottajan liike-energia muuttuu elastiseksi potentiaalienergiaksi ja muihin energiamuotoihin.

—

Korjattu versio energian kannalta oikein ilmaistuna voisi kuulua esimerkiksi seuraavasti:

”Vapaassa pudotuksessa keholle kertyy paljon liike-energiaa. Osuttaessa kovaan pintaan tämä energia muuttuisi hyvin nopeasti lämmöksi, ääneksi ja materiaalin muodonmuutosenergiaksi, jolloin suuret voimat aiheuttaisivat vakavia vammoja kehoon. Aikinsin osuessa joustavaan verkkoon verkko teki työtä häntä vastaan venyen ja hidastaen hänen liikettään hallitusti. Näin hyppääjän liike-energia muuttui pääosin verkon elastiseksi potentiaalienergiaksi ja osittain myös lämmöksi sekä ääneksi. Hallittu energian muuntuminen vähensi hyppääjään kohdistuvia voimia ja teki alastulon turvalliseksi.”

—

Tiivistetysti virheet ja korjaukset:

Alkuperäinen väite	Virhe	Korjattu versio
Kineettinen energia heijastuu takaisin kehoon	Energia ei ”heijastu” takaisin, vaan muuntuu muihin muotoihin.	Kineettinen energia muuttuu nopeasti muihin energiamuotoihin törmäyksessä, mikä aiheuttaa kehoon suuria voimia.
Verkko ”imi” syöksyjän liike-energian	Energia ei ”imeydy”, vaan muuttuu muihin energiamuotoihin.	Verkko teki työtä venyessään hidastaen hyppääjää ja muuntaen liike-energian verkon elastiseksi potentiaalienergiaksi ja muiksi energiamuodoiksi.

—

Näillä tarkennuksilla energian käsitteellinen esittäminen tulee fysiikan näkökulmasta täsmälliseksi ja oppilaiden on helpompi ymmärtää tapahtumaan liittyvät energiaperiaatteet oikein.

Kielimalli GPT-4.5 – Vastaus A.2

Tekstissä esiintyy seuraavia energiaan liittyviä virheellisyyksiä ja epätarkkuuksia:

1. ”Vapaassa pudotuksessa syntyy paljon liike-energiaa.”

- Virheellinen ajatus: Energia ei ”synny” tyhjästä putoamisen aikana.
- Perustelu: Todellisuudessa vapaan pudotuksen aikana painovoiman potentiaalienergia muuntuu liike-energiaksi. Alussa hyppääjällä on suuri potentiaalienergia (johtuen sijainnista korkealla Maan pinnasta), ja kun hän putoaa, tämä potentiaalienergia vähenee ja vastaavasti liike-energia kasvaa. Energia ei siis synny, vaan muuttuu potentiaalimuodosta kineettiseksi.

Korjattu versio voisi olla: ”Vapaassa pudotuksessa potentiaalienergia muuttuu suureksi liike-energiaksi.”

—

2. ”Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.”

- Virheellinen ajatus: Energia ei ”heijastu” takaisin kehoon murskaavana voimana.
- Perustelu: Törmäyksessä energia ei palaudu kehoon kimpoilemalla kuin jokin aineellinen kappale. Todellisuudessa törmäyksessä tapahtuu energian muuntumista muihin muotoihin (lämpö, ääni, rakenteelliset muodonmuutokset). Murskautuminen johtuu kehon kiihtyvyydestä (hidastuvuudesta), voimista ja rasituksista, joita suuri nopeuden muutos lyhyellä matkalla aiheuttaa. Energiaa ei ole järkevää kuvata ”takaisinheijastumisena”.

Korjattu versio voisi olla: ”Jos osuu maahan, kehon suuri liike-energia muuttuu nopeasti lämmöksi, ääneksi ja rakenteiden muodonmuutokseksi aiheuttaen vakavia vaurioita.”

—

3. ”Sen tiheä kudelma venyi sopivasti ja imi syöksyjän liike-energian.”

- Epätarkka ilmaisu: Energiaa ei varsinaisesti ”imeta” pois.
- Perustelu: Verkko ei varsinaisesti ime energiaa, vaan ottaa vastaan hyppääjän liike-energiaa ja muuntaa sen joustavan verkon potentiaalienergiaksi (jousienergiaksi), lämmöksi ja muiksi energiamuodoiksi. Verkko toimii vaimentavana välineenä, joka muuntaa kineettisen energian turvallisiksi energiamuodoiksi.

Korjattu versio voisi olla: ”Sen tiheä kudelma venyi joustavasti ja muunsi hyppääjän liike-energian verkon joustojen potentiaalienergiaksi ja lämmöksi, hidastaen hyppääjän turvallisesti.”

—

Yhteenvetona:

Tekstissä esitetään kolme energiaan liittyvää virheellistä tai epätarkkaa väitettä:

1. Energiaa ei synny putoamisessa, vaan potentiaalienergia muuttuu kineettiseksi.
2. Energia ei törmäyksessä heijastu takaisin ja aiheuta vammoja, vaan energia muuntuu muihin energiamuotoihin, ja vammat syntyvät voimista ja kiihtyvyyksistä.
3. Energiaa ei ”imeta”, vaan muunnetaan muihin energiamuotoihin.

Korjaamalla nämä kohdat saadaan fysiikan lakien mukainen, täsmällinen ja opetuksellisesti parempi teksti.

Kielimalli GPT-4.5 – Vastaus A.3

Tarkastellaan perustellusti tekstin energiaan liittyviä virheellisyyksiä ja ongelmallisia ilmaisuja:

—

1. ”Vapaassa pudotuksessa syntyy paljon liike-energiaa.”

   - Virheellinen ajatus: Energiaa ei synny vapaassa pudotuksessa tyhjästä, vaan olemassa oleva potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi. Alussa hyppääjä on korkealla, jolloin hänellä on suuri gravitaatiopotentiaalienergia Maan suhteen. Kun hän putoaa alaspäin, potentiaalienergia vähenee ja muuttuu vastaavasti kineettiseksi energiaksi.
   - Oikea ilmaisu: ”Vapaassa pudotuksessa potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi.”

—

2. ”Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.”

   - Virheellinen ajatus: Energia ei ole esine, joka voisi konkreettisesti ”heijastua” takaisin samalla tavalla kuin esimerkiksi pallo pompatessaan pinnasta. Energia ei ”heijastu kehoon” murskaavalla tavalla, vaan törmäyksessä kineettinen energia muuttuu pääasiassa kehon muodonmuutosenergiaksi, lämmöksi ja ääneksi. Kyseessä ei ole energian heijastuminen, vaan nopea ja voimakas energian muuntuminen.
   - Oikea ilmaisu: ”Jos osuu maahan, kineettinen energia muuntuu nopeasti muodonmuutosten aiheuttamaksi energiaksi sekä lämmöksi ja ääneksi. Tämän äkillisen energianmuunnoksen aiheuttamat voimat murskaavat kehon.”

—

3. ”Sen tiheä kudelma venyi sopivasti ja imi syöksyjän liike-energian.”

   - Ongelmallinen ilmaisu: Verkko ei konkreettisesti ”ime” energiaa, vaan verkon materiaali muuttaa liike-energian venymisen kautta joustavan rakenteensa potentiaalienergiaksi (jousienergiaksi), sekä jonkin verran lämmöksi ja ääneksi.

Termi ”imee” antaa kuvan energiasta aineena tai nesteenä, joka voi siirtyä aineeseen ja jäädä sinne pysyvästi.

- Parempi ilmaisu: ”Sen tiheä kudelma venyi joustavasti, jolloin hyppääjän liike-energia muuttui verkon elastiseksi potentiaalienergiaksi sekä osittain lämmöksi ja ääneksi.”

—

4. Maininta ”ilmanpaineella toimivista sylintereistä, jotka niiasivat”

- Tämä kohta on sinänsä oikein, mutta energiaan liittyvä fyysinen selitys puuttuu. Sylinterien tehtävä on auttaa energiaa hallitusti muuttumaan liike-energiasta joustavan rakenteen potentiaalienergiaksi sekä sylintereissä tapahtuvaksi ilman puristumiseksi (paine-energiaksi) ja lämmöksi.

—

Yhteenveto:

Tekstin suurimmat virheet liittyvät siihen, että energiaa kuvataan ikään kuin se olisi jokin konkreettinen aine tai substanssi, joka syntyy tyhjästä, heijastuu takaisin kehoon tai imeytyy materiaaleihin. Energia on fysiikassa aina jonkin fysikaalisen järjestelmän ominaisuus, joka voi siirtyä ja muuntua eri muotoihin, mutta se ei synny eikä katoa tyhjästä eikä se siirry fyysisenä aineena.

Oikea fysikaalinen kuvaus tilanteesta olisi:

- Pudotuksessa potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi.
- Verkkoon osuessa liike-energia muuttuu verkon elastiseksi potentiaalienergiaksi, lämmöksi ja ääneksi.
- Kehon murskaantuminen johtuu äkillisestä energiankulun aiheuttamista suurista voimista, eikä energian ”takaisinheijastumisesta”.

Tällä tavalla ilmaistuna energiakäsitteet ovat fysiikan näkökulmasta oikein ja johdonmukaisia.

Kielimalli GPT-4.5 – Vastaus A.4

Tekstissä on joitain fysiikan näkökulmasta virheellisiä tai epätäsmällisiä ilmaisuja, erityisesti liittyen energiaan ja sen käsittelyyn. Tarkastellaan niitä perusteellisesti:

—

Virheellisyys 1: ”Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.”

Perustelu:

Kineettinen energia ei varsinaisesti ”heijastu” maasta takaisin kehoon. Energia ei ole aineen tavoin käyttäytyvä asia, joka voisi kimpoilla objektista toiseen. Energia on fysiikan suure, joka kuvaa kappaleen kykyä tehdä työtä tai aiheuttaa muutoksia.

Todellisuudessa, kun henkilö törmää kovaan alustaan suurella nopeudella:

- Kehoon kohdistuu erittäin suuri törmäysvoima.
- Kineettinen energia muuntuu törmäyksessä nopeasti muihin energiamuotoihin, kuten kappaleen ja alustan muodonmuutosenergiaksi, ääneksi, lämpöksi jne.
- Ei tapahdu mitään kineettisen energian ”heijastumista” takaisin kehoon. Sen sijaan äkillinen pysähtyminen aiheuttaa suuret voimat, jotka johtavat vakaviin vammoihin.

Oikeampi tapa ilmaista olisi:

”Jos osuu maahan, suuri liike-energia muuntuu erittäin nopeasti muodonmuutoksiin, lämpöön ja ääneen. Äkillisestä pysähdyksestä johtuvat voimat murskaavat kehon.”

—

Virheellisyys 2: ”Sen tiheä kudelma venyi sopivasti ja imi syöksyjän liike-energian.”

Perustelu:

Verkko itsessään ei ”ime” energiaa siinä merkityksessä, että energia katoaisi tai siirtyisi pelkästään verkon rakenteeseen. Energia ei ole aine, joka imeytyy johonkin ja katoaa. Sen sijaan energia muuntuu muihin energiamuotoihin verkon joustaessa:

- Laskuvarjohyppääjän kineettinen energia muuttuu verkon elastiseksi potentiaalienergiaksi (verkko venyy ja joustaa).
- Osa energiasta muuttuu edelleen ääneksi ja hieman lämmöksi materiaalin sisällä tapahtuvan kitkan vuoksi.

Selkeämpi fysiikan mukainen ilmaisu olisi:

”Verkko jousti törmäyksessä niin, että hyppääjän liike-energia muuttui pääosin verkon

elastiseksi potentiaalienergiaksi. Näin energiaa siirtyi turvallisesti pois hyppääjän kehosta, hidastaen hänet turvallisesti paikalleen.”

—

Virheellisyys 3 (epätarkkuus): ”Se toi joustoa iskuun.”

Perustelu:

Pelkkä asennon kääntäminen selälleen ei sinällään tuo ”joustoa iskuun”. Todellisuudessa jousto ja energiaa vaimentava vaikutus syntyy yksinomaan verkosta ja sen kiinnityksestä.

On totta, että selälleen kääntyminen voi jakaa voiman laajemmalle alueelle vartaloa ja vähentää loukkaantumisriskiä (siten vaimentaen tehokkaasti kehoon kohdistuvaa voimaa), mutta itse jousto eli energian varsinaisen vaimennuksen mekanismi syntyy alustasta (verkosta ja sen sylintereistä), ei vartalon asennosta.

Parempi ilmaisu olisi ollut esimerkiksi:

”Juuri ennen alastuloa hän kääntyi lennossa selälleen niin, että voimat jakautuivat tasaisemmin ja turvallisemmin koko selän alueelle. Varsinainen iskuvaimennus tapahtui kuitenkin verkon ja siihen kytkettyjen sylinterien ansiosta.”

—

Yhteenveto

Virheelliset ja epätäsmälliset kohdat:

- Energia ei ”heijastu” maasta takaisin kehoon.
- Energia ei ”imeydy” verkkoon, vaan muuntuu verkon elastiseksi potentiaalienergiaksi ja osittain muihin energiamuotoihin.
- Selälleen kääntyminen ei itsessään tuo joustoa törmäykseen.

—

Näiden korjausten avulla teksti vastaisi paremmin fysiikan käsitteistöä ja energiaperiaatetta, mikä auttaa lukijaa ymmärtämään fysiikan ilmiöitä oikein.

Kielimalli GPT-4 – Vastaus A.1

Tekstissä esiintyy muutamia virheitä tai epätarkkuuksia, jotka liittyvät energiaan ja sen käsitteisiin fysiikassa:

1. Kineettisen energian ”heijastuminen” maasta: Tekstissä mainitaan, että jos hyppääjä osuu maahan, kineettinen energia ”heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.” Tämä kuvaus on metaforinen ja ei tarkasti kuvaa fysikaalisia prosesseja. Kun kappale törmää maahan, sen kineettinen energia muuttuu pääosin muihin energiamuotoihin, kuten lämpöenergiaksi, äänienergiaksi ja potentiaalienergiaksi (esimerkiksi maan deformaation myötä). Energia ei varsinaisesti ”heijastu” takaisin, vaan törmäyksessä kineettinen energia siirtyy ja muuntautuu. Törmäyksen voimakkuus voi aiheuttaa vammoja, mutta tämä johtuu voimasta ja sen aiheuttamasta paineesta, ei energian ”heijastumisesta”.

2. Verkon kyky ”imiä” liike-energiaa: Ilmaisu, että verkko ”imi syöksyjän liike-energian”, on yksinkertaistus. Fysikaalisesti tarkastellen verkko ei ”imi” energiaa, vaan se muuttaa kineettistä energiaa potentiaalienergiaksi verkon venymisen myötä. Verkko toimii jousimaisesti, venyen ja siten hidastaen hyppääjän vauhtia joustavasti, mikä vähentää lopullista iskuvoimaa.

3. Ilmanpaineella toimivat sylinterit: Maininta verkon nurkissa olevista ilmanpaineella toimivista sylintereistä, jotka ”niiavat” Aikinsin osuessa verkkoon, on hieman epäselvä. Tässä yhteydessä ”niiaaminen” viittaa todennäköisesti siihen, että sylinterit mahdollistavat verkon lisäjouston, mikä auttaa absorboimaan iskun energiaa. Tämä prosessi on kuitenkin mekaanisen energian hallittua siirtymistä ja hajauttamista, ei pelkästään ”niiaamista”, joka on epätäsmällinen kuvaus.

Nämä seikat huomioon ottaen, tekstissä käytetty kieli on dramatisoivaa ja yksinkertaistavaa, mikä saattaa johtaa väärinkäsityksiin energiaan liittyvistä fysikaalisista periaatteista.

Kielimalli GPT-4 – Vastaus A.2

Tekstissä esitetään joitakin yksinkertaistuksia ja epätarkkuuksia energian luonteesta ja siirtymisestä, erityisesti miten liike-energia käyttäytyy törmäyksissä:

1. ”Vapaassa pudotuksessa syntyy paljon liike-energiaa.” - Tämä lause voi johtaa harhaan. Oikeastaan liike-energia ei ”synny” vapaassa pudotuksessa, vaan kun kappale putoaa, sen potentiaalienergia (joka johtuu sen korkeudesta maan pintaan nähden) muuttuu liike-energiaksi. Energia siis muuntautuu muodosta toiseen, eikä ”syntymistä” tapahdu ilman ulkoista työtä.

2. ”Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja

murskaa sen.” - Tämä kuvaus on epätarkka ja yksinkertaistettu. Kineettinen energia ei varsinaisesti ”heijastu” takaisin. Kun kappale osuu maahan, sen liike-energia muuttuu muihin energian muotoihin, kuten ääneksi, lämmöksi ja deformoitumisenergiaksi (esimerkiksi maa tai kappale voi muovautua). Lisäksi osa energiasta voi aiheuttaa kappaleen rikkoutumisen. ”Heijastuminen” ei ole sopiva termi kuvaamaan näitä interaktioita, sillä se antaa ymmärtää elastisen törmäyksen kaltaisen tilanteen, joka ei tässä tapauksessa päde.

3. ”Verkon nurkissa oli neljä ilmanpaineella toimivaa sylinteriä, jotka niiasivat Aikinsin osuessa verkkoon.” - Vaikka tämä kohta kuvaa mekaanista vastetta, joka auttaa energiaa absorboitumaan, siitä puuttuu selitys siitä, miten nämä sylinterit toimivat energian hallinnassa. Ilmanpaineella toimivat sylinterit toimivat iskunvaimentimina, jotka absorboivat liike-energiaa, muuntaen sen muita mekaanisia muotoja ja mahdollisesti lämpöä, mikä vähentää törmäyksen voimaa. Selkeämpi kuvaus näiden sylinterien toiminnasta antaisi paremman kuvan energian hallinnasta törmäyksessä.

Nämä kohdat ovat tärkeitä ymmärtää syvemmin, kun puhutaan energian siirtymisistä ja muuntumisista fysiikan näkökulmasta. Tällainen ymmärrys on keskeistä, erityisesti turvallisuuden ja fysiikan opetuksen kannalta.

Kielimalli GPT-4 – Vastaus A.3

Tekstissä esitetään monia oikeita seikkoja, mutta joitain energiaan liittyviä väitteitä voi tarkastella kriittisemmin:

1. Kineettinen energia ja maahan osuessa: Tekstissä todetaan, että jos laskuvarjohyppääjä osuu maahan, ”kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen”. Tämä on hieman harhaanjohtava ilmaisu. Todellisuudessa, kun hyppääjä osuu maahan, kineettinen energia muuttuu pääosin muihin energiamuotoihin, kuten lämpöenergiaksi ja potentiaalienergiaksi, mikä aiheuttaa vahinkoa (esimerkiksi ruhjeita ja murtumia). Energia ei varsinaisesti ”heijastu” takaisin kehoon, vaan sen vaikutuksesta aiheutuu voimia, jotka vahingoittavat kehoa.

2. Verkon toimintaenergian absorboijana: Kuvaus verkon toiminnasta on periaatteessa oikein. Verkko todella absorboi hyppääjän liike-energiaa venymällä ja siten vähentää alastulon aiheuttamaa iskua. Verkon joustavuus auttaa hidastamaan hyppääjän vauhtia pehmeämmin ja kontrolloidummin kuin kova

maapinta. Sen sijaan, että energia ”niiaisi” verkon nurkissa olevien ilmanpaineella toimivien sylinterien ansiosta, on kyse enemmänkin siitä, että nämä sylinterit auttavat hallitsemaan verkon muodonmuutoksia ja tasaamaan laskeutumisen voimia, jotka muuten saattaisivat vahingoittaa hyppääjää tai rikkoa verkon.

3. Väite energian ”imemisestä”: Vaikka tekstissä käytetty termi ”imi syöksyjän liike-energian” kuvaa havainnollisesti verkon toimintaa, se ei ole tieteellisesti tarkka ilmaisu. Fysiikassa puhuttaessa energian absorboinnista tarkoitetaan yleensä energian muuntumista toiseksi energian muodoksi tai energian siirtymistä toiseen kohteeseen. Verkko ei varsinaisesti ”ime” energiaa, vaan muuttaa liike-energiaa potentiaalienergiaksi verkon venyessä ja osin lämpöenergiaksi kitkan vaikutuksesta.

Yleisesti ottaen teksti selittää hyvin, miten joustava verkko voi pelastaa laskuvarjohyppääjän hengen tehokkaasti absorboimalla iskun liike-energiaa, mutta joitakin käytettyjä ilmaisuja voisi täsmentää tarkemman tieteellisen tarkkuuden saavuttamiseksi.

Kielimalli GPT-4 – Vastaus A.4

Tekstissä esitetään muutamia energiaan liittyviä käsitteitä, joita voidaan tarkastella tarkemmin:

1. Liike-energian ”heijastuminen” maasta: Tekstissä mainitaan, että jos hyppääjä osuu maahan, kineettinen energia ”heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.” Tämä ilmaisu on harhaanjohtava, sillä energia ei varsinaisesti heijastu. Kun kohde törmää maahan, sen kineettinen energia muuttuu nopeasti muiksi energian muodoiksi, kuten lämpöenergiaksi, ääneksi ja deformoitumisenergiaksi (esim. murtumat). Törmäyksessä energia ei ”palaa” takaisin kehoon niin kuin heijastuminen antaisi ymmärtää, vaan aiheuttaa vaurioita kohdessa, jossa energia vapautuu.

2. Liike-energian ”imeminen” verkossa: Tekstissä kerrotaan, että verkko ”imi syöksyjän liike-energian”. Tämä kuvaus on yksinkertaistettu eikä täysin tarkka. Verkko ei niinkään ime energiaa, vaan muuntaa hyppääjän kineettisen energian toiseksi energiamuodoksi venymällä ja siten vähentää voimaa, joka kohdistuu hyppääjään. Tämä energia siis hajautuu verkkoon aiheuttamalla sen materiaalin venymistä ja ehkä lämpenemistä.

3. Ilmanpaineella toimivat sylinterit: Tekstissä mainitaan, että verkon nurkissa oli neljä ilmanpaineella toimivaa sylinteriä, jotka ”niiavat” hyppääjän osuessa verkkoon. Vaikka tämä on tekninen yksityiskohta, on hyvä huomauttaa, että nämä sylinterit toimivat todennäköisesti energian vaimentimina, jotka auttavat absorboimaan ja hajauttamaan törmäysenergiaa. Tämä on tärkeä turvaominaisuus, joka suojaa hyppääjää vähentämällä lopullisen törmäyksen voimakkuutta.

Näiden tarkennusten avulla voidaan paremmin ymmärtää, miten energia käyttäytyy fyysisissä prosesseissa kuten vapaapudotuksessa ja törmäyksissä. Tekstissä käytetyt ilmaisut ovat yleistäviä ja voivat johtaa väärinkäsityksiin energian käyttäytymisestä näissä tilanteissa.

Kielimalli o1 – Vastaus A.1

Alla on eritelty tekstin keskeisimmät harhakäsitykset, jotka liittyvät energian (etenkin liike-energian) käyttäytymiseen hyppääjän osuessa maahan tai turvaverkkoon:

1. ”Kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.”

   Tämä on fysiikan kannalta virheellinen tapa kuvata törmäystä. Kineettinen energia ei ”heijastu” ihmiseen maasta, vaan törmäyksessä keho pysähtyy hyvin lyhyessä ajassa. Tämä pysähtyminen vaatii keholta suuria voimia (nopeaa hidastuvuutta), jotka aiheuttavat vakavia vammoja. Energian kohtalo on pääosin häviämistä äänenä, muodonmuutoksina (sekä keho että maa voivat hieman myötää) ja lämpönä, eikä se palaa ”bumerangina” takaisin kehoon.

2. Yleinen harhakäsitys siitä, miten liike-energia ”tuhoaa” tai ”imeytyy”

   Tekstissä mainitaan, että verkko ”imee” Aikinsin liike-energian. Vaikka on sinänsä totta, että joustava verkko ja siihen kytketty vaimennusmekanismi (ilmapaineella toimivat sylinterit) pidentävät törmäysaikaa ja siten pienentävät huippuvoimia, itse energia ei häviä mystisesti tai pysy verkossa. Se muutetaan muodonmuutoksiksi, lämmöksi ja mahdollisesti pieneksi osaksi verkon heiluminen ym. Oikea periaate on, että törmäyksen kestoa pidennetään ja voimaa pienennetään, jolloin keho välttää murskautumista.

3. Energian ”tuottaminen” vs. potentiaalienergian muuttuminen liike-energiaksi

   Tekstissä puhutaan ”vapaassa pudotuksessa syntyvästä” liike-energiasta. Täsmällisemmin ilmaistuna hyppääjä menettää potentiaalienergiaansa (koska hän

on korkealla), ja se muuttuu ilmanvastuksen ohella suurelta osin liike-energiaksi. Ei siis ole kyse siitä, että energia ”syntyy tyhjästä”, vaan potentiaalienergia vain muuntuu liike-energiaksi.

Yhteenveto Suurin virhe on väite, että kun hyppääjä osuisi maahan, ”kineettinen energia heijastuisi maasta kehoon.” Törmäyksen tuhoavuus johtuu siitä, että jäykkä alusta pysäyttää kehon liian nopeasti – eli pysäytysmatka on lyhyt ja hidastuvuus erittäin suuri. Turvaverkon etu on venyä riittävästi ja pidentää hidastumisaikaa, jolloin kehoon kohdistuva voima pienenee ja vältytään (tai ainakin vähennetään) tappavia vammoja.

Kielimalli o1 – Vastaus A.2

Alla on eritelty tekstin keskeiset energia-aiheiset ongelmat ja miksi ne ovat virheellisiä.

1. Väite, että ”kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon”

   Tekstissä sanotaan: Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.

   Tämä on harhaanjohtava tapa kuvata törmäyksessä tapahtuvaa energiansiirtoa. Kineettinen energia ei ”heijastu” varsinaisesti takaisin. Kun nopeasti liikkuva keho pysähtyy lyhyessä ajassa (kuten maahan osuessa), kehon sisäosat joutuvat valtavan, hyvin lyhyeen törmäysaikaan puristuvan hidastuvuuden ja voiman kohteeksi.Vauriomekanismi johtuu siitä, että keho pysähtyy äkisti, eikä siitä, että ”energia pomppaisi takaisin” elimiin.

2. Törmäyksen pysäyttävä mekanismi (esim. verkko) ei niinkään ”ime” energiaa

   Tekstissä puhutaan siitä, että verkko ”imi” hyppääjän liike-energian ja näin pysäytti hänet.

   Sinänsä on totta, että verkon tehtävä on pidentää törmäykseen kuluvaa aikaa ja pienentää pysäytyksessä syntyviä voimia (eli hajauttaa tai dissipoida energiaa); usein puhutaan arkipuheessa ”energian vaimentamisesta”. Tiukan terminologian kannalta ”imeä energiaa” voi kuitenkin johtaa virheelliseen mielikuvaan, ettei energiaa enää olisi missään. Todellisuudessa verkon ja sen rakenteiden (kuten ilmanpaineella toimivien sylinterien) tehtävä on muuntaa hyppääjän liike-energiaa muiksi energiamuodoiksi ja ennen kaikkea pidentää pysähtymisaikaa, jotta keho ei joutuisi liian suuren impulsin kohteeksi hetkessä.

3. Erittelyä siitä, miksi verkko suojaa ja maa ei

   – Maahan iskeminen: Lyhyt pysähtymisaika (sadas- tai tuhannesosasekunteja kovalla pinnalla) → erittäin suuri voima → henkilön keho joutuu murskaaviin kuormituksiin.

   – Verkkoon laskeutuminen: Pidempi pysähtymisaika (verkko joustaa ja niiaa) → pienempi kiihtyvyys kehoon → todennäköisyys selviytyä kasvaa huomattavasti.

   Kriittinen tekijä on pysähtymiseen käytetty aika ja siihen liittyvä voiman huippuarvo. Ero kovan maan ja joustavan verkon välillä on siinä, että verkko hidastaa hyppääjän liikettä asteittain.

Yhteenveto

Suurin virhe tekstin energia-selityksissä on ajatus, että ”kineettinen energia heijastuu takaisin” ja sen vuoksi keho ”murskautuu”. Todellisuudessa kyse on suuresta hidastuvuudesta ja siitä aiheutuvista sisäisistä kuormituksista kehon rakenteille. Verkko ei magneetin tavoin ”ime” energiaa olemattomiin vaan pidentää hidastumiseen kuluvaa aikaa ja hajauttaa energiaa rakenteisiinsa, mikä estää kehon äkillisen pysähdyksen murskaavat vaikutukset.

Kielimalli o1 – Vastaus A.3

Alla on eritelty tekstin ilmeisimpiä kohtia, joissa energia-asioita on käsitelty puutteellisesti tai suorastaan virheellisesti. Päävirhe on ajatus siitä, että maahan osuessa ”kineettinen energia heijastuisi takaisin” kehoon, mutta myös termien käytössä ja netin ”energian imeytymisessä” on väärinkäsityksiä.

1. ”Kineettinen energia heijastuu maasta takaisin”

   Tekstissä väitetään, että jos ihminen osuisi maahan, törmäyksessä ”liike-energia heijastuisi maasta takaisin kehoon ja murskaisi sen”. Fysiikan näkökulmasta energia ei osuessa ”heijastu” tällä tavoin kehoon. Keskeistä on, että lyhyessä pysähtymisajassa kehoon kohdistuu erittäin suuri hidastuvuus (voima), joka vaurioittaa kudoksia. Maahan osuessa törmäys on käytännössä voimakkaasti epäelasticinen, eikä energia pompi kehoon takaisin – pikemminkin kehoitse-pysähtyy hyvin lyhyessä ajassa ja energia kuluu muodonmuutoksiin, ääneen ja lämpöön. Ihmisen kannalta vahingollista on nimenomaan pysähtymiseen liittyvä suuri voima, ei väitetty ”energian heijastuminen”.

2. Netin ”energian imeminen”

   Tekstissä esitetään, että joustava verkko ”imi” tai ”nielaisi” hyppääjän liike-energian. On totta, että verkko ja sen jousitukset pystyvät venymällä ja muodonmuutoksella pidentämään pysähtymisaikaa ja siten pienentämään hyppääjään kohdistuvaa hidastuvuutta (voimaa). Se onkin laskuvarjottoman laskun pelastusmekanismi: mitä pidemmällä matkalla ja ajalla pysähdys tapahtuu, sitä pienemmäksi muuttuvat hetkelliset voimat. Kuitenkin ”energian imeminen” on kansankielistä kuvausta siitä, että verkko muuntaa hyppääjän liike-energian muun muassa verkon (ja sylintereiden) elastiseksi potentiaalienergiaksi sekä lopulta lämpöenergiaksi. Energiaa ei siis ”katoa tyhjiin” tai ”tuhoa” verkko, vaan sevarastoidaanja hajautetaan rakenteen venymiseen, jolloin huippuvoimat kehoon jäävät pienemmiksi.

3. Termien sekoittuminen

   Tekstissä puhutaan osin sekaisin energian ”heijastumisesta” ja ”imemisestä”, kun tosiasiassa pitäisi korostaa hidastuvuuden keston ja suuruuden roolia ihmiskehon kannalta. Törmäysten jyrkkyydestä ja joustavasta pysäytyksestä on hyödyllisempää puhua voiman ja impulssin (liikemäärän muutoksen) kielellä kuin energian ”heijastumisena” takaisin kehoon.

Yhteenvetona suurin virhe on väite energian ”heijastumisesta” kehoon maahan osuessa. Parempi selitys on se, että kova maa pysäyttää ihmisen liikkeen liian äkillisesti, jolloin kehoon kohdistuu nopeasti kasvava voima. Vastaavasti verkon avulla pysäytys venyy pidemmälle ajalle, jolloin voimat jäävät riittävän pieniksi estääkseen hengenvaaralliset vammat.

Kielimalli o1 – Vastaus A.4

Tekstissä on erityisesti yksi selkeä energiakäsitteisiin liittyvä virhe: se väittää, että “kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen”. Fysiikassa ei puhuta kineettisen energian “heijastumisesta” onnettomuustilanteessa. Kun jäykkää pintaa (esim. maata) lähestytään suurella nopeudella, kehoon kohdistuu erittäin suuri hidastusvoima. Liike-energiaa ei siis pompi “takaisin kehoon”, vaan se muuttuu äkillisen törmäyksen seurauksena muun muassa kehon sisäiseksi muodonmuutosenergiaksi (vammojen aiheuttama vaurio), lämmöksi ja esimerkiksi maahan siirtyväksi energiaksi. Juuri tämä lyhyt, mutta erittäin voimakas impulssi murskaa kehon, jos osuma on tarpeeksi kova.

Muuten tekstissä puhutaan varsin ymmärrettävästi suuresta liike-energiasta, joka syntyy pitkässä putoamisessa. Joustava turvaverkko ja sen ilmanpaineella toimivat sylinterit puolestaan “ottavat vastaan” eli vaimentavat osan tästä liike-energiasta venymällä ja muuttamalla sen esimerkiksi aineen sisäiseksi potentiaali- ja lämpöenergiaksi, jotta hyppääjän hidastuvuus (ja täten kehoon kohdistuva voima) pysyy vielä selviytymisen rajoissa.

Yhteenveto virheellisestä kohdasta:

- Väite: “Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.”
- Ongelma: Energia ei heijastu kehoon, vaan keho kokee rajun hidastuvuuden, kun liike-energia on pakko haihduttaa (dissipoida) hyvin lyhyessä ajassa ja tilassa. Tällöin syntyvät erittäin suuret voimat aiheuttavat vakavan kudostuhoon johtavan vamman.

Muut tekstin kohdat (kuten turvaverkon toiminta liike-energian vaimentamisessa, nopeuden suuruusluokka, vapaapudotuksen aikainen ohjaus) ovat olennaisesti oikein tai ainakin tavanomaisia tapoja puhua suuren nopeuden törmäyksen vaimennuksesta.

Kielimalli o3-mini – Vastaus A.1

Tekstissä esiintyy muutamia energiankäsitteen virheellisiä kuvauksia:

1. Kineettisen energian ”heijastuminen”

   Kirjoitetaan, että jos hyppääjä osuisi maahan, kineettinen energia ”heijastuisi” maasta takaisin kehoon ja murskaisi sen. Todellisuudessa törmäyksessä kineettinen energia ei ”heijastu” samalla tavalla kuin valo peilistä; sen sijaan energia muuttuu muiksi energiamuodoiksi (esim. lämpöksi, ääniksi ja materiaalin sisäiseksi energian varastoksi, kuten muodonmuutokseen) ja aiheuttaa voimia, jotka voivat vahingoittaa kehoa. Tämä kuvaus yksinkertaistaa ja vääristää sitä, miten energian muuntuminen tapahtuu törmäyksessä.

2. Energian ”imeminen” joustavassa verkossa

   Tekstissä sanotaan, että verkko ”imi syöksyjän liike-energian”. Vaikka idea on se, että verkko jäsentää ja hidastaa liikkeen vaikutuksia, se ei kirjaimellisesti ”ime” energiaa. Verkossa tapahtuu energian muuntuminen: sen elastinen energia kasvaa venyttäessä, ja osa kineettisestä energiasta muuttuu lämmöksi ja muihin

energiamuotoihin materiaalin sisäisissä prosesseissa. Tällainen prosessi ei ole yhtä yksinkertainen kuin pelkkä ”imeminen”.

Näin ollen tekstissä on virheellisiä tai yksinkertaistettuja selityksiä siitä, miten liike-energia käyttäytyy törmäyksessä ja miten energian muuntuminen tapahtuu. Näissä selityksissä energian siirtymistä ja muuttumista ei kuvata tarkasti, mikä voi johtaa virheelliseen ymmärrykseen törmäysten fysiikasta.

Kielimalli o3-mini – Vastaus A.2

Analysoidaanpa tekstissä esiintyviä energiaan liittyviä virheellisyyksiä:

1. Kineettisen energian “heijastuminen”

   Tekstissä sanotaan: ”Jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen.”

   Tämä ilmaus on fysikaalisesti epäselvä ja virheellinen. Oikeasti törmäyksessä keho ei saa takaisinkaikenliike-energiansa takaisin “heijastuksena” – törmäyksessä energia siirtyy monella tavalla: osa menee deformaation, lämmön ja mahdollisesti äänen muodossa. Kineettinen energia ei vain “pomppaa” takaisin, vaan suurin osa siitä häviää, kun törmäys tapahtuu ei-elastisena. Tällainen kuvaus antaa virheellisen kuvan siitä, miten törmäyksessä energiaa siirtyy ja miksi se voi olla vaarallista.

2. Energian “imittäminen” verkon toimesta

   Kirjoitetaan, että verkko ”imi syöksyjän liike-energian” ja että sen tiheä kudelma venyi sopivasti. Vaikka periaatteessa joustavat materiaalit voivat hidastaa törmäystä tekemällä työtä – eli muuntamalla kineettistä energiaa muuksi energiaksi (esimerkiksi venytysenergian varastointina ja lämmöksi) – terminologia “imii energiaa” on epätarkka. Se antaa mielikuvan jostain maagisesta, jossa energia katoaa, sen sijaan kun kyseessä on energian muuntuminen ja dissipaatio. Oikeasti energiaa ei “imeyty” vaan se siirtyy toiseen energian muotoon, mikä vaatii selkeämpää selitystä.

3. Yksinkertaistettu energian ja vaikutusten kuvaus

   Tekstissä esitetty ajatus siitä, että vapaassa pudotuksessa syntynyt liike-energia olisi yksiselitteisesti vaarallista (paitsi jos se “imittäisiin” verkkoon) jättää huomiotta sen, miten fysiikassa energiaa voi hallitusti siirtää tai hajottaa. Todelli-

suudessa vaikka 190 km/h lopullinen nopeus tarkoittaisi valtavaa kineettistä energiaa, vaarallisuus riippuu juuri siitä, kuinka energiaa pystytään hallitusti muuttamaan – esimerkiksi venymällä, hidastamalla pudotuksen kiihtyvyyttä ja näin ollen pienenemällä voimia, jotka vaikuttavat kehoon.

Yhteenvetona:

- Virheellinen käsitys energian “heijastumisesta”: Kineettinen energia ei palaudu takaisin kehoon kokonaisuudessaan, vaan törmäyksessä se hajoaa eri energian muotoihin.
- Epäselvä ilmaisu energian “imimisestä”: Energian siirtyminen verkon venytyksen kautta ei ole sama asia kuin energian katoaminen – kyse on energian muuntamisesta ja dissipoinnista.
- Yksinkertaistus energian vaarallisuudesta: Pelkkä nopeus tai pudotettu energia ei itsessään takaa, että keho tuhoutuu, vaan ratkaisevaa on, miten energiaa onnistutaan hallitusti hajottamaan.

Nämä ovat ne energiaan liittyvät virheellisyydet, joita tekstissä esiintyy.

Kielimalli o3-mini – Vastaus A.3

Tekstissä on muutamia energiaperusteisia väärinkäsityksiä:

1. Kineettisen energian ”heijastuminen”:

   Tekstissä sanotaan, että jos keho osuisi maahan, kineettinen energia ”heijastuu” maasta takaisin kehoon ja murskaisi sen. Todellisuudessa törmäyksessä kyseessä ei ole energian heijastuminen, vaan erittäin nopea, inelastinen pysähtyminen. Keho ja maa (tai mikä tahansa törmäyksen kohde) absorboivat suurimman osan liike-energiasta muuntamalla sen muihin energiamuotoihin, kuten lämmöksi ja muodonmuutokseksi. Tämä jyrkkä jarrutus aiheuttaa suuria voimia, jotka voivat johtaa vakaviin vammoihin, mutta energiaa ei yksinkertaisesti ”heijastudu” takaisin.

2. Ilmanvastuksen vaikutuksen vähättely:

   Vaikka teksti ei käsittele tätä suoraan energiakäsitteen väärinymmärryksenä, vapaassa pudotuksessa on kyseessä potentiaalienergian muuntuminen kineettiseksi energiksi, mutta laskuvarjoa käyttämättömässä hypyssä ilmanvastus on ratkaiseva tekijä. Ilmanvastus rajoittaa nopeutta, jolloin pudotuksen lopussa

saavutettu nopeus (noin 190 km/h) on paljon pienempi kuin vapaassa pudotuksessa ilman ilmanvastusta laskettu arvo. Tekstissä ei oteta riittävästi huomioon tätä ilmiötä.

3. Energiaabsorptio verkon toiminnassa:

   Verkkoa kuvaillaan energian absorboijana, joka ”venyy sopivasti ja imi syöksyjän liike-energian”. Vaikka tämä on periaatteessa oikein – joustavat materiaalit voivat hajottaa liike-energiaa muuntamalla sitä muiksi energiamuodoiksi – energian kuljetuksen ja varastoinnin mekanismit ovat monimutkaisempia kuin pelkkä venyminen. Tällaiset järjestelmät suunnitellaan nimenomaan minimoimaan nopean jarrautumisen aiheuttamat voimat, mutta tekstin kuvaus on yksinkertaistava ja voi antaa virheellisen kuvan siitä, miten energiaa hallitaan dynaamisessa törmäyksessä.

Yhteenvetona tekstissä esitetään virheellinen ajatus siitä, että kehoon kohdistuisi ”heijastunutta” kineettistä energiaa törmäyksessä, kun todellisuudessa kyseessä on energian nopea muuttuminen muiksi muodoiksi erittäin lyhyessä ajanhetkessä, mikä aiheuttaa erittäin suuria jarrutusvoimia. Lisäksi ilmanvastuksen merkitys ja energian absorptiomekanismit ovat yksinkertaistettuja eivätkä täysin kuvaa monimutkaista fysiikkaa.

Kielimalli o3-mini – Vastaus A.4

Tekstissä esitetään muutamia energiaan ja iskujen mekaniikkaan liittyviä virheellisiä tai harhaanjohtavia väittämiä:

1. Kineettisen energian ”heijastuminen”:

   Tekstissä sanotaan, että jos keho osuisi maahan, ”kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen”. Tämä ilmaus on fysikaalisesti virheellinen. Todellisuudessa iskun yhteydessä energiaa ei ”heijastudu” takaisin, vaan se muuttuu muiksi energiamuodoiksi (kuten lämmöksi, ääneksi ja materiaalin muodonmuutokseksi). Iskun aikana syntyvä energia häviää, eikä se palaudu kehoon takaisin samalla tavalla kuin peilissä näkyvä kuva.

2. Energiaa absorboivan materiaalin toimintamekanismi:

   Tekstissä kerrotaan, että verkon venyminen ”imee syöksyjän liike-energian” ja että nurkissa olevat sylinterit ”niiasivat” iskun energiaa. Vaikka verkon joustava rakenne ja sylinterit auttavat hidastamaan kehon liikkeen muutosta, kyse ei

ole energian kirjaimellisesta ”imemisestä” samalla tavalla kuin esimerkiksi akkukapasiteetissa. Todellisuudessa materiaali muuttaa ja hajottaa energiaa jatkuvana prosessina, eikä siinä ole kyse siitä, että energia ”varastoituisi” ja sitten palautuisi kehoon.

3. Iskun dynamiikan yksinkertaistaminen: Tekstissä esitetään iskun mekanismi siten, että maahan osumisessa syntyvä kineettinen energia aiheuttaisi suoraan kehon vaurioitumisen, mikä on liioiteltua. Todelliset iskut ovat monimutkaisia ja niiden vaikutus riippuu paitsi energian määrästä myös siitä, miten nopeasti ja millä voimalla energiaa vapautuu. Hyvin suunnitellussa iskunvaimennuksessa, kuten verkon tapauksessa, energia hajautuu pitkin suurempaa aikaa ja etäisyyttä, mikä vähentää voimakkaiden impulsseja ja suojaa kehoa.

Yhteenvetona voidaan sanoa, että tekstissä energian kulkua ja muuntumista iskujen yhteydessä on kuvattu liian yksinkertaistavasti ja osittain virheellisesti: kineettinen energia ei ”heijastu” vaan muuntuu, ja iskunvaimennus perustuu energian hallittuun hajauttamiseen eikä pelkkään sen ”imeytymiseen”.

Kehote B

ChatGPT:lle annettiin täsmennetty kehote:

> Tarkastele perustellen, mitä energiaan liittyviä virheellisyyksiä seuraavassa tekstissä esitetään. Osoita vastauksellasi lukion fysiikan osaamista ja hyödynnä perusteluissa ainakin Newtonin lakeja sekä energiaan ja törmäyksiin liittyviä fysikaalisia periaatteita. Tarkasta lopuksi vastauksesi ja arvioi, onko siinä virheitä tai puuttuuko siitä jotain. Viimeistele lopuksi vastaus yhtenäiseksi 2000-3000 merkin koevastaukseksi.
>
> Laskuvarjotta verkkoon 7 600 metristä
>
> Laskuvarjohyppääjä Luke Aikins hyppäsi heinäkuun lopulla alle kahden minuutin vapaan pudotuksen ilman laskuvarjoa. Matkaa verkkoon oli 7 620 metriä. Aikins mätkähti 30 × 30 -metriseen verkkoon, joka oli viritetty Simi-laaksoon Kaliforniaan. Nopeutta oli lopussa hieman yli 190 kilometriä tunnissa.
>
> Aikinsin kypärässä oli satelliittipaikannus, joka ohjasi häntä kohti verkkoa. Verkon valot muuttuivat punaisiksi, jos hyppääjä ajautui väärään suuntaan, kertoo Scientific American -lehti.

Käytetty kielimalli oli GPT-4o ja kokeen suorituspäivämäärä oli 12.4.2025.

Kielimalli GPT-4o – Vastaus B.1

Tässä tekstissä kuvataan vaikuttava laskuvarjoton hyppy, mutta siihen sisältyy useita energiaan, liikkeeseen ja fysiikkaan yleisesti liittyviä virheellisyyksiä tai epätäsmällisyyksiä, joita voidaan tarkastella lukion fysiikan näkökulmasta. Hyödynnän analyysissäni Newtonin lakeja sekä energia- ja törmäysfysiikan periaatteita.

—

1. Energian säilyminen ja potentiaalienergia

Hyppy alkaa 7620 metrin korkeudelta. Tällöin hyppääjällä on runsaasti painovoiman potentiaalienergiaa, joka lasketaan kaavalla

$$E_p = mgh$$

, missä m on massa, $g \approx 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$ ja $h = 7620\,\mathrm{m}$. Jos oletetaan Aikinsin massaksi noin 80 kg, saadaan:

$$E_p = 80 \cdot 9{,}81 \cdot 7620 \approx 5{,}98 \cdot 10^6\,\mathrm{J}$$

Tämä potentiaalienergia muuntuu vapaassa pudotuksessa pääasiassa liike-energiaksi, kunnes verkko pysäyttää liikkeen. Liike-energia lasketaan kaavalla

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Jos nopeus osumahetkellä on 190 km/h $\approx$ 52,8 m/s, liike-energiaksi saadaan:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 80 \cdot (52{,}8)^2 \approx 111{,}3 \cdot 10^3\,\mathrm{J}$$

Tässä nähdään virheellinen oletus, mikäli ajatellaan, että kaikki potentiaalienergia olisi muuntunut liike-energiaksi: lopullinen liike-energia on vain noin 111 kJ, kun taas alkuperäinen potentiaalienergia oli lähes 6 MJ. Tämä osoittaa, että ilmanvastus on merkittävä tekijä, joka muuntaa suuren osan energiasta lämpöenergiaksi jo pudotuksen aikana – ilmanvastus ei ole mitätön voima, vaan keskeinen osa liiketilaa. Tämä olisi hyvä mainita tekstissä.

—

2. Newtonin lait ja jarrutus verkolla

Aikinsin pysähtyminen verkkoon tarkoittaa nopeuden muutosta n. 52,8 m/s $\rightarrow$ 0. Tämä on kiihtyvyyttä, ja Newtonin toisen lain mukaan:

$$F = ma$$

Jotta pysähtyminen ei ole kohtalokas, jarrutuksen tulee tapahtua mahdollisimman pitkällä matkalla ja ajalla, jolloin kiihtyvyys ja siihen liittyvä voima pienenevät. Tämä on periaate, joka näkyy myös esimerkiksi turvavöissä ja törmäystyynyissä: liikemäärän muutos tapahtuu hitaammin ja turvallisemmin.

Jos verkko pysäyttää hyppääjän esimerkiksi 5 metrin matkalla, voidaan arvioida hidastuvuutta käyttämällä mekaanisen energian säilymistä tai liikeyhtälöitä. Olettaen tasainen hidastus:

$$v^2 = 2as \Rightarrow a = \frac{v^2}{2s} = \frac{(52{,}8)^2}{2 \cdot 5} \approx 278\,\mathrm{m/s^2}$$

Tämä vastaa noin 28 g:n hidastusta, mikä on vielä hengissä siedettävissä rajoissa hetkellisesti, mutta erittäin suuri. Tästä pitäisi keskustella, sillä se osoittaa, miten kriittistä on, että verkko joustaa ja hidastaa liikettä tehokkaasti – muuten kyseessä olisi tappava pysäys. Tekstissä tämä jää mainitsematta.

—

3. Törmäys ja energiansiirto

Törmäystä verkon kanssa voi pitää epäelastisena törmäyksenä, jossa hyppääjä ja verkko ”jäävät yhteen”. Epäelastisessa törmäyksessä liike-energia ei säily, mutta liikemäärä säilyy, ja osa energiasta muuntuu rakenteiden muodonmuutoksiin ja lämpöön. Tässä on syytä pohtia myös rakenteiden kestävyyttä ja verkon materiaalien kykyä absorboida energiaa. Teksti ei pohdi tätä, vaikka se on ratkaiseva osa onnistumista.

—

4. Ohjaus satelliittipaikannuksella

Teksti mainitsee, että satelliittiohjaus ja valot ohjasivat Aikinsia. Tämä antaa harhaanjohtavan kuvan: liikkeen suunnan ja nopeuden säätely tapahtuu ilmassa kehon asennon ja aerodynamiikan avulla, ei automaattisesti GPS:n kautta. GPS voi antaa tietoa, mutta liike perustuu Newtonin ensimmäisen lain (jatkuvuuden laki) ja kolmannen lain (reaktiovoimat) pohjalta siihen, miten hyppääjä käyttää kehoaan ilmanvastuksen kanssa.

—

Yhteenveto ja viimeistely

Teksti jättää huomioimatta useita olennaisia fysiikan lainalaisuuksia. Siinä ei huomioida:

- Ilmanvastuksen merkitystä energiankulutuksessa.
- Mekaanisen energian muuntumista lämpöenergiaksi.
- Newtonin lakeja pysäytyksen ja liikkeen ohjauksen yhteydessä.
- Törmäyksen fysiikkaa ja verkon roolia energiavaimentimena.
- Kriittistä pohdintaa siitä, miten suuriin kiihtyvyyksiin keho altistuu.

Lopuksi: Onko vastauksessa puutteita?

Vastauksessa on käsitelty keskeiset fysiikan osa-alueet lukion tasolla (energia, Newtonin lait, ilmanvastus, törmäykset). Arviointi on johdonmukaista, ja kaavat tukevat perusteluita. Yksi mahdollinen lisäys voisi olla maininta termisestä energiasta ja sen vaikutuksesta ilman lämpenemiseen, mutta se ei ole keskeistä tämän tilanteen kannalta. Kokonaisuutena vastaus on sisällöllisesti kattava ja virheetön.

Merkkimäärä: ∼2850 (Vastaa vaadittua 2000–3000 merkin laajuutta.)

Kielimalli GPT-4o – Vastaus B.2

Tarkastellaan seuraavassa, mitä energiaan ja mekaniikkaan liittyviä virheellisyyksiä tekstissä esiintyy, ja arvioidaan tapahtumaa lukion fysiikan periaatteiden pohjalta. Hyödynnämme erityisesti Newtonin lakeja, mekaanisen energian säilymisen periaatetta sekä törmäyksiin liittyviä käsitteitä.

—

1. Vapaata putoamista ei ollut koko hypyn ajan

Teksti antaa vaikutelman, että Luke Aikins putosi lähes kahden minuutin ajan vapaassa pudotuksessa. Tämä on harhaanjohtavaa. Vapaa pudotus tarkoittaa tilannetta, jossa ainoa vaikuttava voima on painovoima (ilmanvastus puuttuu). Käytännössä tämä pätee vain putoamisen alkuvaiheessa. Todellisuudessa hyppääjä saavuttaa nopeasti rajanopeuden (noin 50–60 m/s eli 180–220 km/h), jolloin ilmanvastusvoima kasvaa yhtä suureksi kuin painovoima ja nettovoima on nolla – eli putoaja ei enää

kiihtyvästi putoa, vaan etenee vakionopeudella. Tällöin kyse ei enää ole vapaasta pudotuksesta.

Newtonin toinen laki ($\Sigma F = ma$) osoittaa, että kiihtyvyyttä syntyy vain, jos kokonaisvoima on nollasta poikkeava. Kun ilmanvastus tasapainottaa painovoiman, ei kiihtyvyyttä enää ole. Siksi on virheellistä kutsua koko hyppyä vapaaksi pudotukseksi.

—

2. Mekaanisen energian säilyminen ja ilmanvastus

Teksti ei ota huomioon ilmanvastuksen vaikutusta energiatarkastelussa. Jos ilmanvastusta ei olisi, hyppääjä saavuttaisi loppunopeuden, jonka voisi laskea mekaanisen energian säilymisellä:

$$E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}} \Rightarrow mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

Tästä voidaan ratkaista nopeus:

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9{,}81\,\text{m/s}^2 \cdot 7620\,\text{m}} \approx 386\,\text{m/s}$$

Tämä vastaa noin 1390 km/h, mikä on yli 7-kertainen verrattuna Aikinsin ilmoitettuun loppunopeuteen (190 km/h $\approx$ 53 m/s). Tämä osoittaa, että suurin osa potentiaalienergiasta muuntui ilmanvastuksen takia lämmöksi ja turbulenssiksi – ei liike-energiaksi. Teksti ei huomioi tätä keskeistä energiahäviötekijää.

—

3. Törmäys verkkoon: energia ja voimat

Hyppääjä pysähtyi verkkoon noin 53 m/s nopeudesta. Törmäys on joustava ja hidastettu, mutta siihen liittyy merkittävä energian muuntuminen. Verkko ja sen jousto muuttavat hyppääjän liike-energian verkon mekaaniseksi energiaksi, mahdollisesti myös ääneksi ja lämpöksi. Hidastusaika ja -matka määräävät siihen kohdistuneen jarruttavan voiman Newtonin toisen lain mukaan:

$$F = ma = \frac{mv}{\Delta t}$$

Koska pysähtyminen tapahtui verkon avulla – ei äkillisesti – verkko pienensi törmäykseen liittyvää kiihtyvyyttä ja siten myös ihmiskehoon kohdistuvia voimia. Jos

pysähtyminen olisi tapahtunut esimerkiksi betonialustaan, seuraukset olisivat olleet kuolettavat.

Tekstissä ei kuitenkaan tarkastella tätä törmäyksen fyysistä luonnetta tai sen vaikutusta voimiin, vaan tyytyy kuvailemaan tapahtumaa dramaattisesti ilman fysiikan selityksiä.

—

Yhteenveto ja arvio omasta vastauksesta

Tekstissä esitetään virheellisesti, että kyseessä olisi ollut koko ajan vapaa pudotus. Todellisuudessa ilmanvastus merkittävästi hidastaa putoajaa, ja hyppääjä saavuttaa rajanopeuden jo muutaman sadan metrin matkalla. Lisäksi tekstissä ei käsitellä mekaanisen energian häviötä ilmanvastuksen takia, eikä törmäyksen dynamiikkaa verkkoon analysoida lainkaan. Nämä puutteet antavat lukijalle vääristyneen kuvan tapahtuman fysikaalisesta luonteesta.

Vastaukseni tarkastelee keskeisiä virheellisyyksiä lukion fysiikan kannalta perustellusti: hyödynnän Newtonin lakeja, mekaanisen energian säilymistä ja törmäyksen mekaniikkaa. Olisin voinut lisätä tarkempia laskelmia siitä, kuinka nopeasti rajanopeus saavutetaan, tai arvioida törmäyksen kestoa ja siihen liittyvää hidastuvuutta, mutta annetussa merkkimäärässä (2000–3000 merkkiä) pääkohdat on kattavasti käsitelty.

—

Viimeistelty vastaus (n. 2600 merkkiä)

Teksti antaa virheellisesti vaikutelman, että laskuvarjohyppääjä Luke Aikins olisi pudonnut koko 7620 metrin matkan vapaassa pudotuksessa. Todellisuudessa kyseessä ei ole vapaapudotus kuin pudotuksen alkuvaiheessa. Vapaassa pudotuksessa ainoa vaikuttava voima on painovoima, mutta ilmassa hyppääjään vaikuttaa lisäksi ilmanvastus, joka kasvaa nopeuden kasvaessa. Kun ilmanvastusvoima kasvaa yhtä suureksi kuin painovoima, nettovoima on nolla eikä liiketila enää muutu – hyppääjä putoaa tasaisella nopeudella eli rajanopeudella. Newtonin toinen laki $\Sigma F = ma$ osoittaa, että kiihtyvyyttä ei ole ilman nettovoimaa, joten lopullinen, yli minuutin kestänyt putoaminen ei ole enää vapaata.

Toinen virhe liittyy mekaanisen energian tarkasteluun. Jos ilmanvastusta ei olisi, hyppääjä saavuttaisi huomattavasti suuremman nopeuden kuin 190 km/h. Potenti-

aalienergia mgh muuntuisi kokonaisuudessaan liike-energiaksi $\frac{1}{2}mv^2$, jolloin loppunopeus olisi yli 1300 km/h. Koska ilmoitettu nopeus on paljon pienempi, suurin osa energiasta on muuntunut ilmanvastuksen vuoksi lämmöksi ja ilmavirtauksiksi. Tätä tekstissä ei tuoda esiin.

Kolmas virhe liittyy törmäykseen. Hyppääjä pysähtyy verkkoon, mikä vaatii hänen liike-energiansa muuttumista verkon mekaaniseksi energiaksi ja sen jälkeen muiksi energiamuodoiksi. Törmäyksen aiheuttamat voimat riippuvat pysähtymisajasta: mitä pidempi pysähtymisaika, sitä pienempi voima. Newtonin toinen laki osoittaa tämän: $F = \frac{mv}{\Delta t}$. Verkon jousto pienentää voimia merkittävästi ja tekee selviytymisen mahdolliseksi – asia, jota tekstissä ei käsitellä.

Yhteenvetona tekstissä esitetään virheellisiä tai puutteellisia väitteitä vapaasta pudotuksesta, energian säilymisestä ja törmäyksestä. Fysikaalinen tarkastelu paljastaa, että ilmanvastus ja törmäyksen hidastaminen ovat ratkaisevassa roolissa selviytymisessä.

Kielimalli GPT-4o – Vastaus B.3

Tässä tehtävässä tarkastellaan tekstin fysikaalista sisältöä kriittisesti ja analysoidaan sen mahdollisia virheitä erityisesti energian säilymisen, Newtonin lakien sekä törmäyksiin liittyvien periaatteiden pohjalta. Tehtävässä vaaditaan lukion fysiikan tietojen soveltamista ja kriittistä lukutaitoa.

—

Energia ja putoamisliike

Kun Luke Aikins hyppäsi 7 620 metristä ilman laskuvarjoa, häneen vaikutti alaspäin Maan painovoima. Tällöin hänen liikkeensä oli vapaata pudotusta, kunnes ilmanvastus alkoi hidastaa kiihtymistä ja nopeus saavutti loppuvaiheessa likimain vakioarvon – niin sanotun rajoittuneen nopeuden (terminaalinopeuden).

Putoamisen aikana painovoima muutti hyppääjän gravitaatioenergian ($E_\mathrm{p} = mgh$) liike-energiaksi ($E_\mathrm{k} = \frac{1}{2}mv^2$). Lasketaan, kuinka paljon liike-energiaa hänellä oli juuri ennen osumista verkkoon:

- Massa m arvioidaan noin 80 kg (aikuisen miehen keskipaino).
- Nopeus $v \approx 190\,\mathrm{km/h} = 52.8\,\mathrm{m/s}$.

Sijoitetaan liike-energian kaavaan:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 80\,\mathrm{kg} \cdot (52.8\,\mathrm{m/s})^2 \approx 111000\,\mathrm{J}$$

Tämä valtava liike-energia täytyi jollakin tavalla sitoa hyppääjän pysäyttämiseksi hengissä. Jos törmäys olisi tapahtunut äkillisesti – esimerkiksi maahan – pysähtymiseen vaadittu aika olisi ollut hyvin lyhyt, jolloin Newtonin toisen lain mukainen hidastuvuus ja siihen liittyvä voima olisivat olleet tappavia:

$$F = ma = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Mitä lyhyempi törmäysaika, sitä suurempi voima. Turvallinen pysähtyminen edellytti, että verkko hidasti häntä riittävän pitkän ajan ja matkan kuluessa, jolloin myös pysäyttävä voima pieneni.

Fysikaalisia virheellisyyksiä tekstissä

1. Sanan ”mätkähti” käyttö: Termi ”mätkähti” antaa virheellisen kuvan törmäyksen luonteesta. Se viittaa äkilliseen ja voimakkaaseen pysähdykseen, mikä ei ole fysiikan näkökulmasta mahdollista selvitä hengissä 190 km/h nopeudella. Todellisuudessa verkko jarrutti liikettä asteittain, mikä viittaa elastiseen tai ainakin osittain plastiseen törmäykseen, jossa liike-energiaa hajosi verkon liikkeeseen ja rakenteeseen sekä kehon joustaviin osiin. Jotta Aikins säilyi hengissä, töräys ei ollut lyhyt eikä äkillinen, vaan tarkoin suunniteltu energiaa vaimentava prosessi.

2. Energiaa ei mainita ollenkaan: Teksti ei käsittele mitenkään liike-energian tai gravitaatioenergian muutoksia tai sitä, miten suuri määrä energiaa jouduttiin vaimentamaan. Tämä on merkittävä puute, koska juuri energian hallinta ratkaisee, miksi hyppy oli mahdollinen.

3. Newtonin lait jäävät implisiittisiksi: Esimerkiksi Newtonin ensimmäinen laki selittää, miksi hyppääjä jatkoi liikettään alaspäin, kunnes jokin ulkoinen voima (verkko) pysäytti hänet. Newtonin toinen laki taas määrittelee sen, että mitä pidempi pysäytysaika, sitä pienempi voima vaikuttaa kehoon. Tätä ei tekstissä huomioida lainkaan.

4. Ilmanvastuksen vaikutus jää epämääräiseksi: Vaikka mainitaan ”alle kahden minuutin vapaa pudotus”, ei tekstissä eroteta vapaan pudotuksen ja ilmanvastuksen aiheuttaman kiihtyvyyden vähenemisen vaikutuksia. Käytännössä

hyppääjän nopeus ei jatkanut kiihtymistä koko matkaa, vaan vakioitui – tämä johtuu painovoiman ja ilmanvastusvoiman tasapainosta.

—

Yhteenveto ja arviointi

Teksti ei sisällä suoranaisia laskuvirheitä, mutta siinä on useita fysikaalisia epätarkkuuksia ja puutteita. Suurin ongelma on, että energiaan liittyvä näkökulma puuttuu täysin, ja törmäyksen luonne esitetään virheellisesti ”mätkähtämisenä”. Teksti ei myöskään hyödynnä Newtonin lakeja tai selitä, miten näin hurja hyppy oli mahdollinen fysiikan lakien puitteissa.

Kokonaisuutena analyysi osoittaa lukion fysiikan keskeisten periaatteiden tuntemusta, kuten energia säilymisen periaatteen, liike-energian muutoksen, Newtonin lait ja ilmanvastuksen vaikutukset.

—

Lopullinen vastaus on 2 548 merkkiä ilman välilyöntejä ja täyttää siten tehtävänannon pituusvaatimukset.

Kielimalli GPT-4o – Vastaus B.4

Alla on lukion fysiikan oppimäärään perustuva analyysi ja arviointi tekstissä esiintyvistä energiaan ja liikkeeseen liittyvistä mahdollisista virheellisyyksistä. Vastauksessa hyödynnetään Newtonin lakeja, energian säilymisen periaatetta sekä törmäyksiin liittyviä keskeisiä käsitteitä. Lopuksi arvioin vastauksen kattavuutta ja virheettömyyttä, sekä esitän kokonaisuuden valmiina koevastauksena.

—

Koevastaus:

Tekstissä kuvataan hurja temppu, jossa laskuvarjohyppääjä Luke Aikins hyppäsi 7620 metrin korkeudesta ilman laskuvarjoa ja laskeutui suoraan verkkoon. Tapahtuma on itsessään tosi, mutta tekstissä on joitakin fysikaalisia epätarkkuuksia tai kohtia, jotka voivat johtaa harhaan, jos niitä tarkastellaan fysiikan näkökulmasta.

Ensinnäkin mainitaan, että Aikins putosi ”alle kahdessa minuutissa” ja lopussa hänen nopeutensa oli ”hieman yli 190 km/h”. Tämä antaa aiheen tarkastella liikeyhtälöitä ja energiaa. Ilmanvastuksen vaikutuksesta kappale ei kiihdy vapaasti kiihtyvällä liikkeellä koko matkaa, vaan saavuttaa rajanopeuden eli terminaalinopeuden, jonka

jälkeen nopeus ei enää kasva. 190 km/h (noin 53 m/s) on uskottava arvio ihmisen terminaalinopeudeksi vaakatasossa selkäasennossa, joten siinä ei ole suoranaista virhettä. Kuitenkin, jos ilmanvastus olisi jätetty kokonaan huomiotta ja tarkasteltaisiin tilannetta pelkästään painovoiman vaikutuksesta, nopeus olisi huomattavasti suurempi. Tämä voidaan tarkistaa energiaperiaatteella:

Potentiaalienergia hypyn alussa on

$$E_p = mgh = m \cdot 9{,}81\,\mathrm{m/s^2} \cdot 7620\,\mathrm{m} \approx 74{,}7m\,(\mathrm{kJ/kg})$$

Jos kaikki potentiaalienergia muuttuisi liike-energiaksi ilman ilmanvastusta, loppunopeus lasketaan yhtälöstä

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \Rightarrow v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 7620} \approx 386\,\mathrm{m/s} \approx 1390\,\mathrm{km/h}$$

Todellisuudessa näin ei käy, koska ilmanvastus aiheuttaa jatkuvaa energiahävikkiä (lämpönä) ja nopeus vakiintuu terminaalinopeudeksi. Tämä osoittaa, kuinka merkittävä rooli ilmanvastuksella on vapaassa pudotuksessa.

Toiseksi tekstissä ei lainkaan viitata siihen, miten verkko pysäyttää hyppääjän turvallisesti. Tämä on oleellinen osa fysiikan tarkastelua. Törmäyksessä verkkoon liike-energia täytyy muuttaa muuksi energiaksi. Koska hyppääjän massa ja nopeus ovat suuret, hänen liike-energiansa on suuri. Esimerkiksi massalla 80 kg:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 80 \cdot (53)^2 \approx 112{,}000\,\mathrm{J}$$

Tämä energia täytyy poistaa riittävän hitaasti, jotta keho ei joudu äkilliseen kiihtyvyyteen, joka voisi aiheuttaa vakavia vammoja. Newtonin toinen laki $F = ma$ kertoo, että jos pysähtymisaika on lyhyt, tarvitaan suuri voima. Verkko siis toimii kuten jousi: mitä pidempään ja joustavammin pysähtyminen tapahtuu, sitä pienempi on pysäyttävä voima. Tämän vuoksi verkko on todennäköisesti erittäin joustava ja syvä. Tätä tekstissä ei selitetä, mikä voi antaa virheellisen käsityksen siitä, että ”mätkähdys” olisi tapahtunut kuin seinään törmäys. Todellisuudessa pysäytys on tarkasti suunniteltu ja hallittu prosessi.

Lisäksi sana ”mätkähti” antaa virheellisen vaikutelman äkillisestä pysähdyksestä. Tämä olisi fysiikan näkökulmasta hengenvaarallista. Jos hyppääjä pysähtyisi nopeasti, tuloksena olisi suuri kiihtyvyys (useita kymmenkertaisia g-voimia), mikä voisi aiheuttaa vakavia vammoja tai kuoleman.

Lopuksi, tekstissä mainitaan satelliittipaikannus ja verkon valot, jotka ohjasivat hyppääjää. Vaikka tämä ei suoraan liity fysiikkaan, on hyvä huomata, että tällaisen hypyn onnistuminen ei riipu pelkästään fysiikan laeista, vaan myös teknologian tarkkuudesta ja ihmisen reaktiokyvystä. Silti onnistuminen perustuu aina fysikaalisiin periaatteisiin, joiden mukaan liike ja pysähtyminen tapahtuvat.

Yhteenveto ja arviointi:

Tekstissä ei esiinny varsinaisia suoria fysikaalisia virheitä, mutta siinä on useita kohtia, jotka voivat johtaa väärinkäsityksiin, ellei lukija ymmärrä perusfysiikan lakeja. Ilmanvastuksen roolia ei tuoda esiin, vaikka se on keskeinen tekijä nopeuden ja energian kehityksessä. Samoin pysähtymisen dynamiikka ja verkon tehtävä jäävät täysin käsittelemättä, vaikka ne ovat törmäysfysiikan ja Newtonin lakien näkökulmasta olennaisia.

Vastauksessa on käsitelty relevantit fysiikan ilmiöt (liike-energia, ilmanvastus, törmäysvoimat, Newtonin lait) ja selitetty niiden merkitys. Tarkastettuani tekstin arvioin, että siinä ei ole varsinaisia virheitä, mutta tarkentaminen joiltain osin, esimerkiksi verkon toimintaan liittyen, olisi lisännyt sen uskottavuutta.

—

Vastauksen pituus: noin 2900 merkkiä ilman välilyöntejä, eli asettuu annetun haarukan (2000–3000 merkkiä) sisään.

Liite 2. Lisämateriaali: Voimakuvioiden analyysi

Voimakuvioiden analyysissä käytettiin tutkimusmateriaalina kevään 2021 ylioppilaskokeen tehtävää, jossa täytyi tunnistaa kuudesta vaihtoehtoisesta voimakuviosta oikea sekä nimetä voimakuvioon piirretyt voimat. Ylioppilaskokeen tehtävä on esitetty kuvassa 4.1 (s. 42).

Tässä liitteessä esitetään kehotteet ja vastaukset, jotka saatiin käyttämällä eri kielimalleja. Kokeet suoritettiin 3–4.4.2025.

Kehote A

ChatGPT:lle annettiin kehote: ”Ratkaise tehtävä.”

Kehotteen liitteenä oli kuvakaappaus ylioppilaskokeesta.

Tekoälyn käyttämät kielimallit olivat: GPT-4o, GPT-4.5, GPT-4, o1 sekä o3-mini. Kokeen suorituspäivämäärä oli 3.4.2025.

Kielimalli GPT-4o – Vastaus A.1

Tehtävässä pyöräilijä kiihdyttää vaakasuoralla tiellä, joten häneen ja pyörään vaikuttavat ulkoiset voimat pitäisi olla seuraavat:

Tarkasteltavat ulkoiset voimat:

1. Pyöräilijään vaikuttava ilmanvastus: osoittaa taaksepäin (vastusvoima).
2. Tiemerkityksen kautta pyörään kohdistuva kitkavoima: eteenpäin suuntautuva, joka kiihdyttää pyörää.
3. Painovoima: alaspäin.
4. Tukivoima tien pinnasta: ylöspäin.

Etsimme siis kuviota, jossa on seuraavat voimat:

- Taaksepäin vaikuttava ilmanvastus pyöräilijään (esim. $\vec{F}_1$)
- Eteenpäin vaikuttava kitkavoima pyörän ja tien välillä (esim. $\vec{F}_5$)
- Alaspäin vaikuttava paino (esim. $\vec{F}_3$)
- Ylöspäin vaikuttava tukivoima (esim. $\vec{F}_6$)

Käydään vaihtoehdot läpi:

A: eteenpäin ja taaksepäin vaikuttavat voimat ovat ristiriitaisia, pystysuunnassa on liikaa voimia.

B: samoin ongelma, esim. vaakasuuntainen voima väärinpäin.

C: sisältää sekä ilmanvastuksen että kitkan, mutta myös ylimääräinen vaakasuuntainen voima.

D: ei mukana eteenpäin vievää kitkavoimaa, joten pyörä ei kiihdy.

E: sisältää ilmanvastuksen, pystysuunnan voimat (paino ja tukivoima), ja eteenpäin suuntautuvan voiman $\vec{F}_4$, joka voi olla tien aiheuttama kitkavoima.

F: näyttää samalta kuin E, mutta siinä on liikaa voimia (esim. kaksi vaakasuuntaista voimaa eteenpäin: $\vec{F}_4$ ja $\vec{F}_5$).

Oikea vastaus on: E

Voimat kuvassa E:

- $\vec{F}_1$: ilmanvastus (taakse)
- $\vec{F}_3$: painovoima (alas)
- $\vec{F}_4$: kitka tien ja pyörän välillä (eteen)
- $\vec{F}_6$: tukivoima (ylös)

Haluatko, että laadin tästä selitystekstin opiskelijoille tai kaavion, johon nämä nimetyt voimat on merkitty?

Kielimalli GPT-4o – Vastaus A.2

Tehtävässä pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä. Tällöin pyörään ja pyöräilijään vaikuttavat ulkoiset voimat ovat:

1. Painovoima alaspäin (maan vetovoima)
2. Tukivoima ylöspäin (tien reaktiovoima)
3. Kitkavoima eteenpäin (tien ja renkaan välinen voima, joka aiheuttaa kiihtyvyyden)
4. Ilmanvastus taaksepäin (vastustaa liikettä)

Tarkastellaan vaihtoehtoja:

- F on oikea vastaus.

Siinä esiintyvät voimat:

- 'F_1': ilmanvastus (taaksepäin)
- 'F_5': kitka (eteenpäin)
- 'F_6': tukivoima (ylöspäin)
- 'F_8': painovoima (alaspäin)

Nämä kaikki ovat ulkoisia voimia ja ne vastaavat oikeita suuntia.

Vastaus: Kuvio F Voimat:

- 'F_1' – ilmanvastus
- 'F_5' – kitkavoima
- 'F_6' – tukivoima
- 'F_8' – painovoima

Kielimalli GPT-4o – Vastaus A.3

Tehtävän mukaan pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä, eli kyseessä on kiihtyvä liike vaakasuunnassa. Tarkastellaan siis ulkoisia voimia, jotka vaikuttavat pyöräilijään ja pyörään:

Tarvittavat ulkoiset voimat:

1. Painovoima (alas) – vaikuttaa pyöräilijään ja pyörään.
2. Tukivoima (ylös) – tie kohdistaa pyörään tukivoiman, joka tasapainottaa painon pystysuunnassa.
3. Kitka/voima tien ja pyörän välillä eteenpäin – saa aikaan kiihtyvän liikkeen eteenpäin.
4. Ilmanvastus tai muu vastusvoima (taaksepäin) – vastustaa liikettä.

Analysoidaan kuvat:

Kuvassa F:

- F_1: ilmanvastus, taaksepäin
- F_5: eteenpäin suuntautuva voima (esim. renkaan ja tien välinen kitka)

- F_6 ja F_8: pystysuuntaiset tukivoima ja painovoima

Tässä kuvassa on:

- vaakasuorassa vastusvoima (F_1) ja eteenpäin suuntautuva kiihtyvyyttä aiheuttava voima (F_5),
- pystysuunnassa painovoima ja tukivoima tasapainossa.

Oikea vastaus on siis kuva F.

Voimat kuvassa F:

- F_1: ilmanvastus (taakse)
- F_5: kitka/tien aiheuttama voima (eteen)
- F_6: tukivoima (ylös)
- F_8: painovoima (alas)

Haluatko myös ehdotuksen, miten tämän voisi selittää opiskelijoille ymmärrettävästi?

Kielimalli GPT-4o – Vastaus A.4

Tehtävässä pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä, eli kyseessä on kiihtyvä liike vaakasuunnassa. Tällöin ulkoiset voimat (esimerkiksi ilmanvastus, maan tukivoimat ja pyörän sekä maantien välinen vuorovaikutus) vaikuttavat tilanteeseen.

Etsitään oikea voimakuvio, jossa:

1. Vaakasuunnassa on eteenpäin suuntautuva kokonaisvoima (kiihtyvä liike edellyttää resultanttivoimaa).
2. Pystysuunnassa painovoima ja tukivoima ovat yhtä suuret ja vastakkaissuuntaiset (koska pyöräilijä ei liiku ylös tai alas).

Tarkastellaan vaihtoehtoa F:

- F_1: ilmanvastus (taaksepäin)
- F_5: tien kohdistama voima pyörään eteenpäin (tämä on se voima, joka mahdollistaa kiihtyvän liikkeen; syntyy pyörän ja tien välisestä kitkasta)
- F_6: maan tukivoima ylöspäin
- F_3: painovoima alaspäin

- F_8: pyöräilijän oma voima (esim. lihastyö kampiin), joka ei ole ulkoinen voima mutta se vaikuttaa pyörän liiketilaan

Pystysuunnassa:

- F_6 (ylöspäin) ja F_3 (alaspäin) ovat yhtä suuret ja vastakkaiset → tasapaino

Vaakasuunnassa:

- F_5 (eteenpäin) on suurempi kuin F_1 (ilmanvastus taaksepäin) → kiihtyvä liike

Vastaus: Oikea vaihtoehto on F.

Kuvioon F piirretyt ulkoiset voimat:

- F_1: ilmanvastus (taaksepäin)
- F_3: painovoima (alaspäin)
- F_5: tien reaktiovoima eteenpäin (kitkan aikaansaama)
- F_6: maan tukivoima ylöspäin

Haluatko, että piirrän vielä oman version tästä oikeasta voimakuviosta havainnollistamiseksi?

Kielimalli GPT-4o – Vastaus A.5

Tehtävässä pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä. Tarkoitus on valita oikea voimakuvio (A–F), joka parhaiten kuvaa pyörään ja pyöräilijään vaikuttavia ulkoisia voimia.

Tunnistetaan ulkoiset voimat:

1. Paino (alaspäin): Pyöräilijän ja pyörän yhteinen paino, osoittaa alaspäin.
2. Tukivoima (ylöspäin): Maa työntää pyörää ylöspäin – vastavoima painolle.
3. Kitka/renkaan aiheuttama työntövoima (eteenpäin): Kun pyöräilijä polkee, pyörän takapyörä työntyy tiehen ja tie reagoi työntämällä pyörää eteenpäin. Tämä on kitkavoima, joka kiihdyttää liikettä.
4. Ilmanvastus (taaksepäin): Vastustaa liikettä, vaikuttaa etenkin suuremmilla nopeuksilla.

Tunnistetaan oikea kuvio:

Katsotaan kuvaa:

Kuviossa F on neljä voimaa:

- F_1: ilmanvastus, taaksepäin (punainen)
- F_5: kitka/työntövoima eteenpäin (punainen)
- F_6: tukivoima (ylöspäin, sininen)
- F_8: painovoima (alaspäin, sininen)

Tämä on juuri oikea yhdistelmä:

Vaakasuunnassa:

- Eteenpäin vaikuttava voima (F_5): työntävä voima, joka kiihdyttää.
- Taaksepäin vaikuttava voima (F_1): ilmanvastus.

Pystysuunnassa:

- Alaspäin paino (F_8).
- Ylöspäin tukivoima (F_6).

Oikea vastaus on: F

Kuvion F voimat:

- F_1: ilmanvastus (taaksepäin)
- F_5: tie työntää pyörää eteenpäin (kitka)
- F_6: tukivoima (ylöspäin)
- F_8: paino (alaspäin)

Haluatko, että teen tästä myös opiskelijalle sopivan selityksen?

Kielimalli GPT-4o – Vastaus A.6

Tehtävässä pyöräilijä kiihdyttää vaakasuoralla tiellä, eli pyörän täytyy saada eteenpäin suuntautuva kokonaisvoima, ja pystyvoimien täytyy olla tasapainossa (ei liikettä ylös tai alas).

Tarkastellaan oikeaa voimakuviota:

Vaakasuorat voimat:

- Vastuksen (esim. ilmanvastus) voima osoittaa taaksepäin.
- Kitkavoima tiehen (se voima, joka saa pyörän liikkeelle) osoittaa eteenpäin. Vaikka voima syntyy polkemisesta, Newtonin III lain mukaan ulkoinen voima on tien reaktiovoima pyörään.

Pystyvoimat:

- Paino osoittaa alaspäin.
- Tukivoima maasta osoittaa ylöspäin.

Näiden perusteella oikean voimakuvion tulisi sisältää:

- Alaspäin suuntautuva voima (paino)
- Ylöspäin suuntautuva voima (tukivoima)
- Taaksepäin suuntautuva voima (ilmanvastus tms.)
- Eteenpäin suuntautuva voima (kitkavoima, joka kiihdyttää pyörää)

Oikea vaihtoehto on: E

Voimat kuviossa E:

- F_1: ilmanvastus (taakse)
- F_4: tien aiheuttama kitkavoima pyörälle (eteen)
- F_6: tukivoima
- F_3: paino

Eli vastaus on: E, ja voimat ovat F_1, F_3, F_4, F_6.

Haluatko, että selitetään opiskelijalähtöisesti, mistä nämä voimat syntyvät?

Kielimalli GPT-4o – Vastaus A.7

Tehtävässä pyöräilijä kiihdyttää vaakasuoralla tiellä, eli hänen nopeutensa kasvaa vaakasuunnassa.

Tällöin häneen ja pyörään vaikuttavat seuraavat ulkoiset voimat:

1. Painovoima alaspäin (maan vetovoima, esim. $\vec{F}_7$ tai $\vec{F}_{10}$)
2. Tukivoima maasta ylöspäin (reaktiovoima, esim. $\vec{F}_6$ tai $\vec{F}_9$)

3. Ilmanvastus taaksepäin (vastustava voima, esim. $\vec{F}_1$)
4. Kitka eteenpäin (maasta pyörään kohdistuva voima, joka saa sen liikkeelle – tämä on kiihdyttävä voima, esim. $\vec{F}_5$)

Näistä voimista koostuvan oikean voimakuvion tulee siis sisältää:

- Ylös- ja alaspäin suuntautuvat yhtä suuret vastakkaiset voimat: paino ja tukivoima.
- Vaakasuunnassa eteenpäin suuntautuva voima (kitka, joka saa aikaan kiihtyvyyden).
- Taaksepäin suuntautuva vastusvoima (ilmanvastus).

Kuvio F on ainoa, jossa nämä ehdot täyttyvät:

- $\vec{F}_6$: tukivoima ylöspäin
- $\vec{F}_3$: painovoima alaspäin
- $\vec{F}_1$: ilmanvastus vasemmalle
- $\vec{F}_5$: kitka oikealle (kiihtyvyyden aikaansaava voima)

Vastaus: F

Voimat kuviossa F:

- $\vec{F}_1$: ilmanvastus
- $\vec{F}_3$: painovoima
- $\vec{F}_5$: kitkavoima
- $\vec{F}_6$: tukivoima

Haluatko vielä perustelun esimerkiksi miksi jokin toinen kuvio ei käy?

Kielimalli GPT-4o – Vastaus A.8

Tehtävän kuvauksessa sanotaan, että pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä, eli pyöräilijään ja pyörään vaikuttaa ulkoisia voimia, jotka aiheuttavat kiihtyvää liikettä vaakasuunnassa. Etsitään oikea voimakuva seuraavin perustein:

Oikean kuvion piirteet:

1. Vaakasuora nettovoima oikealle, koska pyöräilijä kiihdyttää vaakasuunnassa.

2. Painovoima alaspäin.
3. Tukivoima ylöspäin.
4. Vierimis- tai ilmanvastus vasemmalle.
5. Liikkeen suuntainen voima oikealle (kitkavoima tien ja takarenkaan välillä).

Tarkastellaan kuvio F:

- F_1: ilmanvastus tai muu vastusvoima vasemmalle
- F_5: eteenpäin suuntautuva voima (kitka takarenkaasta)
- F_6 ja F_8: tukivoima ja painovoima (ylös ja alas)
- F_3: ei esiinny tässä

Tämä voimakuva täyttää ehdot:

- Vaakasuunnassa oikealle suuntautuva voima (F_5) on suurempi kuin vasemmalle suuntautuva vastus (F_1).
- Pystysuorassa suunnassa painovoima (F_8) ja tukivoima (F_6) ovat tasapainossa.

Vastaus: Voimakuvio: F Voimat:

- F_1 – ilmanvastus (vasemmalle)
- F_5 – kitkavoima tien ja renkaan välillä (oikealle)
- F_6 – tukivoima (ylöspäin)
- F_8 – painovoima (alaspäin)

Haluatko että muotoilen tämän vastauksen vielä opiskelijalle sopivaksi mallivastaukseksi?

Kielimalli GPT-4.5 – Vastaus A.1

Oikea vastaus on kuvio E.

Perustelut ja voimien nimeäminen:

- $\vec{F_1}$: Ilmanvastus (vastustaa liikettä)
- $\vec{F_3}$: Kitkavoima tien pinnasta renkaaseen (suuntautuu eteenpäin, nopeutta lisäävä voima)

- $\vec{F}_4$: Renkaan ja tien välinen vierimisvastus (suuntautuu taaksepäin, vastustaa liikettä)
- $\vec{F}_6$: Tien tukivoima pyöräilijälle ja pyörälle (ylöspäin)
- $\vec{F}_8$: Pyöräilijään kohdistuva painovoima (alaspäin, paino)
- $\vec{F}_7$: Pyörään kohdistuva painovoima (alaspäin)

Kuviossa E kaikki olennaiset voimat on huomioitu oikein pyöräilijän kiihdyttäessä vaakasuoralla pinnalla. Siinä on mukana ilmanvastus, kitka (eteenpäin kiihdyttävä voima), vierimisvastus sekä painot ja tukivoimat pyörälle ja pyöräilijälle.

Kielimalli GPT-4.5 – Vastaus A.2

Oikea vastaus on voimakuvio E.

Perustelu ja voimien nimeäminen:

- $\vec{F}_1$ = ilmanvastus (vastustaa liikettä, suunnattu taaksepäin)
- $\vec{F}_3$ = tien pinnan tukivoima (suunnattu ylöspäin, kohdistuu pyörään)
- $\vec{F}_4$ = tien pinnan kitkavoima (eteenpäin suuntautuva voima, jonka ansiosta pyörä kiihtyy eteenpäin)
- $\vec{F}_6$ = tien pinnan tukivoima (suunnattu ylöspäin, kohdistuu pyöräilijään)
- $\vec{F}_8$ = painovoima (pyöräilijän ja pyörän massa, suunta alaspäin kohti maata)

Voimakuvio E kuvaa oikein kaikki tilanteeseen vaikuttavat ulkoiset voimat silloin, kun pyöräilijä kiihdyttää vauhtiaan vaakasuoralla tiellä. Pyöräilijää liikuttava eteenpäin suuntautuva voima on tien pintaan kohdistuvan kitkavoiman vastavoima ($\vec{F}_4$).

Kielimalli GPT-4.5 – Vastaus A.3

Oikea vastaus on E.

Voimakuviossa E on esitetty kaikki tärkeät ulkoiset voimat, jotka vaikuttavat vaakasuoralla tiellä nopeuttaan kasvattavaan pyöräilijään:

- $\vec{F}_1$ on ilmanvastus, joka vaikuttaa pyöräilijään taaksepäin (liikkeen suuntaa vastaan).
- $\vec{F}_4$ on tien ja renkaan välinen kitkavoima, joka kiihdyttää pyöräilijää eteenpäin.

- $\vec{F}_6$ ja $\vec{F}_7$ ovat normaalivoimat, jotka tukevat pyörää ja pyöräilijää.
- $\vec{F}_8$ on pyöräilijään ja pyörään vaikuttava painovoima.

Valittu kuvio E sisältää juuri ne voimat, jotka ovat oleellisia pyörän kiihtyessä vaakasuoralla tiellä. Kuvioon on merkitty sekä pysty- että vaakasuuntaiset voimat järkevästi ja oikein suhteessa kiihtyvään pyöräilijään.

Kielimalli GPT-4.5 – Vastaus A.4

Oikea vastaus on kuvio E.

Perustelut:

Kun pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä:

- Pyöräilijään ja pyörään vaikuttaa painovoima (voimat $\vec{F}_7$ ja $\vec{F}_9$) alaspäin.
- Alusta vaikuttaa tukivoimilla ylöspäin ($\vec{F}_6$ ja $\vec{F}_{10}$), jotka tasapainottavat painovoiman vaikutuksen.
- Pyöräilijä työntää pyörän polkimiin liittyvän voiman avulla taaksepäin, jolloin alusta kohdistaa pyörään kitkavoiman eteenpäin ($\vec{F}_4$), mikä aiheuttaa pyörän kiihtyvyyden.
- Ilmanvastus ja muut mahdolliset vastusvoimat ($\vec{F}_1$) vaikuttavat pyöräilijään ja pyörään liikkeen suunnalle vastakkaiseen suuntaan.

Kuviossa E nämä voimat on esitetty oikein: pyörän eteenpäin vievä kitkavoima ($\vec{F}_4$) on merkitty eteenpäin, vastusvoima ($\vec{F}_1$) taaksepäin, ja pystysuorat voimat (painovoima ja tukivoima) ovat tasapainossa. Tämä kuvaa oikein nopeuttaan kasvattavan pyöräilijän tilannetta.

Kielimalli GPT-4.5 – Vastaus A.5

Oikea vastaus on voimakuvio E.

Perustelu:

Kun pyöräilijä kiihdyttää vaakasuoralla tiellä, seuraavat voimat vaikuttavat tilanteessa olennaisesti:

- Painovoima (tässä $\vec{F}_8$): suuntautuu alas päin.

- Tukivoima (tässä $\vec{F}_6$ ja $\vec{F}_7$): suuntautuvat ylöspäin, tukevat pyöräilijää ja pyörää.
- Kitkavoima (tässä $\vec{F}_4$): suuntautuu eteenpäin (tien pyörään kohdistama voima, joka mahdollistaa kiihtyvän liikkeen).
- Ilmanvastus ja muut vastustavat voimat (tässä $\vec{F}_1$): suuntautuu taaksepäin.

Kuviossa E kaikki nämä voimat on esitetty realistisesti:

- $\vec{F}_1$ taaksepäin kuvaa vastustavia voimia.
- $\vec{F}_4$ eteenpäin kuvaa pyörää kiihdyttävää kitkavoimaa.
- $\vec{F}_6$, $\vec{F}_7$ ja $\vec{F}_8$ kuvaavat pystyvoimia oikein (paino ja tukivoimat).

Näin ollen voimakuvio E kuvaa tilannetta oikein.

Kielimalli GPT-4.5 – Vastaus A.6

Tehtävän ratkaisu:

Oikea voimakuvio on vaihtoehto E.

Perustelut ja voimien nimeäminen:

- $\vec{F}_1$: Ilmanvastus (vastustaa liikettä, osoittaa taaksepäin)
- $\vec{F}_3$: Pyörän renkaiden ja tien välinen kitkavoima (osoittaa eteenpäin, kiihdyttää pyörää)
- $\vec{F}_4$: Renkaan vierimisvastus (osoittaa taaksepäin, hidastava voima)
- $\vec{F}_6$: Alustan tukivoima (ylöspäin, tukee pyöräilijää)
- $\vec{F}_8$: Pyöräilijään vaikuttava painovoima (alaspäin)

Voimakuviosta näkyy, että pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan, joten eteenpäin suuntautuva kitkavoima $\vec{F}_3$ on suurempi kuin vastakkaissuuntainen ilmanvastus ja vierimisvastus. Lisäksi pystysuunnassa vaikuttavat voimat (painovoima ja tukivoima) kumoavat toisensa, koska pyöräilijä ei liiku pystysuunnassa.

Kielimalli GPT-4.5 – Vastaus A.7

Tehtävän oikea vastaus on vaihtoehto E.

Perustelut:

- Pyöräilijä kiihdyttää vaakasuunnassa oikealle, jolloin nettovoiman täytyy suuntautua liikesuunnan mukaisesti oikealle.
- Vaakasuorista voimista:
  - Voima $\vec{F}_4$ kuvaa tien pintaan kohdistuvaa kitkavoimaa, joka on eteenpäin suuntautuva voima ja mahdollistaa pyörän kiihdyttämisen.
  - Voima $\vec{F}_1$ on ilmanvastus (vastustava voima), joka hidastaa liikettä.
- Pystysuorista voimista:
  - Voima $\vec{F}_8$ kuvaa pyöräilijään kohdistuvaa painovoimaa.
  - Voimat $\vec{F}_6$ ja $\vec{F}_7$ ovat tukivoimia tiestä, jotka kannattelevat pyörää ja pyöräilijää pystysuunnassa.

Näin ollen vaihtoehto E on tilanteeseen sopivin ja fysiikan lakien mukainen.

Kielimalli GPT-4.5 – Vastaus A.8

Tehtävän ratkaisu:

Oikea vastaus on vaihtoehto E.

Perustelu:

Pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä. Tällöin voimakuviossa tulee olla vaakasuoralla suunnassa kaksi vastakkaista voimaa:

- Eteenpäin suuntautuva voima (F_4), joka on tiehen kohdistuva kitkavoima, joka työntää pyörää eteenpäin.
- Taaksepäin suuntautuva voima (F_1), joka on ilmanvastus.

Pystysuunnassa vaikuttavat voimat ovat:

- Painovoima alaspäin (F_8).
- Tien tukivoima ylöspäin, joka on pyörän renkaisiin kohdistuvat tukivoimat (F_6 ja F_7).

Nämä voimat on esitetty oikein voimakuviossa E:

- Vaakasuuntainen voima eteenpäin (F_4), sekä ilmanvastus taaksepäin (F_1).
- Painovoima alaspäin (F_8), tukivoimat ylöspäin (F_6 ja F_7).

Vaihtoehto E kuvaa siis parhaiten tilannetta, jossa pyöräilijä kiihdyttää vaakasuoralla tiellä.

Kielimalli GPT-4 – Vastaus A.1

Katsotaan voimakuvioita ja valitsemme sopivimman kuvaamaan pyöräilijää, joka kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä.

Tarkastellaan kunkin kuvion voimia:

- A, B, D, E, F: Näissä kuvioissa on vaakasuuntaisia voimia, jotka voivat kuvata pyöräilijän liikkeen vastusvoimia (kuten ilmanvastus) ja voimia, jotka pyöräilijä tuottaa itse (kuten polkemalla syntyvä vetovoima).
- C: Tässä kuviossa on lisäksi vaakasuuntainen voima F5, joka voisi esittää liikkeen suunnassa vaikuttavaa voimaa, joka auttaa pyöräilijää kiihdyttämään.

Tulkinta:

- F1 (kaikissa kuvioissa): Pyöräilijän tuottama vetovoima polkimista.
- F2, F3, F5: Vaakasuuntaiset voimat, jotka ovat ilmanvastus tai muu vastusvoima. F5 kuviossa C saattaa edustaa lisäkiihtyvyyttä antavaa voimaa.
- F6, F7, F8, F9, F10: Painovoima ja normaalivoima (pyörän ja maan välinen voima).

Paras vastine kuvaamaan pyöräilijää, joka kiihdyttää nopeuttaan, on kuvio C. Tässä kuviossa F5 edustaa lisäksi pyöräilijän kiihdyttävää voimaa, ja se näyttää suuntautuvan myötäpäivään, mikä on tyypillistä kiihtyvälle liikkeelle. Voimien F1 ja F2 kanssa tämä muodostaa voimien tasapainon, joka auttaa pyöräilijää liikkumaan nopeammin.

Vastaus: Voimakuvio C kuvaa parhaiten pyöräilijää, joka kasvattaa nopeuttaan. Tässä kuviossa vaakasuorat voimat ovat F2 ja F5, ja pystysuorat voimat ovat F6 ja F7.

Kielimalli GPT-4 – Vastaus A.2

Kuvasta on havaittavissa, että pyöräilijä pyrkii kasvattamaan nopeuttaan vaakasuoralla tiellä. Tarkasteltaessa eri voimakuvioita, meidän täytyy keskittyä sellaiseen kuvioon, joka parhaiten kuvaa vaakasuuntaisen liikkeen voimia sekä pyörän ja pyöräilijän vastaanottamia pystysuoria voimia.

Analysoimalla kuvat:

- Voima F_1 on yleensä pyöräilijän eteenpäin työntämä voima, joka kuvaa polkemisen aiheuttamaa liikettä.
- Voima F_2 on ilmanvastusvoima, joka vastustaa pyöräilijän etenemistä.
- Voimat F_6, F_7, ja F_8 liittyvät painovoimaan ja normaalivoimaan, jotka vaikuttavat pyöräilijään ja pyörään pystysuunnassa.

Kun tarkastellaan kuvien vaihtoehtoja:

- Kuva E näyttää olevan paras kuvaus tilanteesta. Tässä kuvassa F_1 kuvaa pyöräilijän polkemisesta syntyvää voimaa, F_2 ilmanvastusta ja F_3 pyörän renkaiden ja tien välistä kitkavoimaa, joka auttaa pyöräilijää etenemään ja estää liukumista. F_6 ja F_7 ovat painovoiman ja normaalivoiman vastaavat voimat, jotka tasapainottavat toisiaan.

Joten oikea vastaus on kuva E, jossa pystysuorat voimat F_6 ja F_7 vastaavat painovoimaa ja normaalivoimaa, ja vaakasuorat voimat F_1, F_2 ja F_3 kuvaavat polkemisvoimaa, ilmanvastusta ja kitkaa.

Kielimalli GPT-4 – Vastaus A.3

Tässä tehtävässä meidän tulee valita kuvio, joka parhaiten kuvaa pyöräilijän ja pyörän kokemia ulkoisia voimia hänen kiihdyttäessään vaakasuoralla tiellä.

Tarkastellaan jokaista voimakuviota:

1. Voima F_1 kuvaa yleensä pyöräilijän liikesuuntaan kohdistuvaa voimaa, mikä luultavasti on pyöräilijän polkemisesta johtuvaa työntövoimaa.
2. Voima F_2 on vastusvoima, joka vastustaa liikettä ja vaikuttaa vastakkaiseen suuntaan liikkeelle.
3. Voimat F_6 ja F_7 ovat painovoima ja normaalivoima. Painovoima vaikuttaa alaspäin ja normaalivoima ylöspäin, ja ne ovat suuruudeltaan yhtä suuret ja vastakkaiset, kun pyöräilijä on vaakasuoralla tiellä (tasapainossa).

Katsotaan, mitkä kuvat täyttävät nämä ehdot:

- Kuvassa A voimat F_6 ja F_7 ovat oikein, mutta F_2 on piirretty liikkeen suuntaan, mikä on virheellistä.

- Kuvassa B voima F_3 on vastusvoima ja se on oikein suunnattu vastakkaiseen suuntaan kuin liike. Voimat F_6 ja F_7 ovat myös oikein.
- Kuvassa C voimat F_6 ja F_7 ovat oikein, mutta F_2 ja F_5 ovat virheellisesti piirretty.
- Kuvassa D voimat F_9 ja F_{10} ovat oikein, mutta F_2 on jälleen virheellisesti piirretty.
- Kuvassa E näyttää kaikki voimat oikein suunnattuina.
- Kuvassa F on ylimääräisiä voimia, joita ei ole mainittu, ja F_2 on väärin suunnattu.

Näin ollen paras kuvaus pyöräilijän voimista kiihdytyksen aikana on kuvio E, jossa voima F_1 on työntövoima, F_3 on vastusvoima ja voimat F_6 ja F_7 ovat vastaavasti painovoima ja normaalivoima.

Kielimalli GPT-4 – Vastaus A.4

Kuvassa pyöräilijä lisää nopeuttaan vaakasuoralla tiellä. Valitsemme parhaiten tilanteen kuvaavan voimakuvion seuraavien perusteiden mukaan:

1. F_1: Tämä on pyöräilijän käyttämä voima, joka työntää pyörää eteenpäin.
2. F_2: Vastusvoima, joka on ilmanvastus ja muu kitka, vastustaa pyöräilijän liikettä.
3. F_6, F_7 ja F_8: Normaalivoimat, jotka ovat yleensä vertikaalisuunnassa ja osoittavat ylöspäin.
4. F_3 ja F_9: Painovoiman aiheuttama voima, joka vetää pyöräilijää ja pyörää alaspäin.

Analysoimalla kuvat:

- Kuva B ja E ovat ainoat, joissa kaikki mainitut voimat on merkitty oikein.
- Kuva B erottuu siinä, että siinä on merkitty oikein sekä vaaka- että pystysuoran voimien suunnat ja vastavoimat.

Vastaus: Kuva B kuvaa parhaiten pyöräilijän voimatasapainoa, kun hän lisää nopeuttaan vaakasuoralla tiellä. Tässä kuvassa:

- F_1 on pyöräilijän käyttämä työntövoima.

- F_2 ja F_3 ovat vastusvoimia.
- F_6, F_7 ja F_8 ovat normaalivoimia, jotka tasapainottavat painovoiman F_3 aiheuttamaa voimaa.

Kielimalli GPT-4 – Vastaus A.5

Tehtävässä pyydetään valitsemaan kuvista A-F se, joka parhaiten kuvaa pyöräilijän ja pyörän kokemia ulkoisia voimia. Näin pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä. Tarkastellaan kuvioita ja niihin merkittyjä voimia:

- Voima F_1 on tyypillisesti pyöräilijän antama työntövoima tai lihasvoima, joka kohdistuu eteenpäin.
- Voima F_2 on ilmanvastusvoima, joka kohdistuu taaksepäin.
- Voima F_3 kuvaa maan kitkavoimaa, joka auttaa pyörää liikkumaan eteenpäin ja toimii ilmanvastuksen vastavoimana.
- Voimat F_6, F_7, ja F_8 ovat painovoiman vaikutuksia pyöräilijään ja pyörään sekä normaalivoima, joka vastaa painovoimaa ylöspäin.
- Muut voimat (F_5, F_9, F_{10}) ilmenevät tietyissä kuvioissa, mutta niiden läsnäoloa ei voi selkeästi perustella tässä kontekstissa.

Tässä kontekstissa, jossa pyöräilijä kasvattaa nopeutta vaakasuoralla tiellä, olisi odotettavissa, että kuvassa näkyisi:

- Pyöräilijän työntövoima eteenpäin.
- Ilmanvastusvoima taaksepäin.
- Kitkavoima renkaista eteenpäin.
- Painovoima alaspäin ja normaalivoima ylöspäin.

Kuvio E näyttää parhaiten vastaavan näitä odotuksia:

- F_1 (eteenpäin suuntautuva työntövoima).
- F_2 (taaksepäin suuntautuva ilmanvastusvoima).
- F_3 (eteenpäin suuntautuva kitkavoima renkaista).
- F_6 ja F_7 (painovoimat) sekä F_8 (normaalivoima).

Siksi oikea vastaus on E.

Kielimalli GPT-4 – Vastaus A.6

Tehtävässä pyydetään valitsemaan voimakuviot A-F niistä, joka parhaiten kuvaa pyöräilijän ja pyörän kokemia ulkoisia voimia, kun pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan tasaisella tiellä. Voimakuviosta valittu vastaus tulee kirjata sen kirjaimen perusteella, ja kuviosta pitää myös nimetä pysty- ja vaakasuuntaiset voimat sekä niiden tunnukset.

Tarkastellaan kuvia ja niissä esitettyjä voimia:

- Voima F_1 kuvaa tyypillisesti pyöräilijän antamaa työntövoimaa, joka on kuvattu punaisella.
- Voima F_2 edustaa ilmanvastusta, joka vastustaa pyöräilijän liikettä, myös punainen.
- Voimat F_3, F_5 ja F_9 kuvaavat eri kuvissa ilmanvastuksen suuntaa ja voimakkuutta, jotka ovat punaisella.
- Voimat F_6, F_7, F_8 ja F_{10} ovat sinisiä ja kuvaavat painovoiman ja normaalin voiman komponentteja.

Pyöräilijä kasvattaessaan nopeuttaan antaa lisää voimaa polkemalla (F_1), ja tämän voiman on oltava suurempi kuin ilmanvastusvoima (F_2, F_3, F_5), jotta nopeus kasvaa. Samalla painovoima ja normaalivoima vaikuttavat vertikaalisesti.

Parhaiten tämän tilanteen kuvaa kuva, jossa F_1 (pyöräilijän polkemisvoima) on suurin vaakasuuntainen voima ja se on suurempi kuin vastavoima (ilmanvastus), ja vertikaaliset voimat (painovoima ja normaalivoima) ovat tasapainossa. Vertailemalla kuvia näemme, että kuvio F vastaa parhaiten tätä tilannetta: suurin työntövoima F_1, pienempi ilmanvastusvoima F_5 ja pystysuorat voimat F_6 (normaalivoima) ja F_7 (painovoima), jotka ovat yhtä suuria mutta vastakkaisia, joten ne kumoavat toisensa.

Vastaus: F

- Vaakasuorat voimat: F_1 (pyöräilijän polkemisvoima) ja F_5 (ilmanvastus)
- Pystysuorat voimat: F_6 (normaalivoima) ja F_7 (painovoima)

Kielimalli GPT-4 – Vastaus A.7

Tehtävässä pyydettiin valitsemaan kuva, joka parhaiten kuvaa pyöräilijän ja pyörään vaikuttavia ulkoisia voimia, kun pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä. Tarkastellaan kuvia ja niiden voimia:

1. Kitkavoima (F_2, F_3, F_4): Auttaa pyörää liikkumaan eteenpäin ja vastustaa liikkeen suuntaa.
2. Painovoima (F_6, F_7, F_8, F_9, F_{10}): Vaikuttaa aina alas, kuvaa pyöräilijän ja pyörän painon vaikutusta.
3. Normaalivoima (F_6, F_7, F_8, F_9, F_{10}): Tasapainottaa painovoimaa, vaikuttaa ylöspäin tiestä pyörään.
4. Voima, jolla pyöräilijä työntää polkimia (F_1): Tämä voima auttaa lisäämään pyörän nopeutta.

Tässä tapauksessa parhaiten tilanteen kuvaa voimakuva C, sillä siinä:

- F_1 on voima, jolla pyöräilijä työntää polkimia eteenpäin.
- F_5 on voima, joka kuvaa polkimien työntövoiman vastavoimaa (voima, joka työntää pyörää eteenpäin).
- F_2 on kitkavoima, joka auttaa pyörää liikkumaan eteenpäin vastustaen pyörän liikettä.
- F_6, F_7 ovat painovoimia, jotka vaikuttavat pyöräilijään ja pyörään.
- F_6, F_7 ovat myös normaalivoimia, jotka tasapainottavat painovoimaa.

Nämä voimat kuvaavat hyvin tilannetta, jossa pyöräilijä nopeuttaa vaakasuoralla tiellä ja käyttää voimaa työntääkseen polkimia.

Kielimalli GPT-4 – Vastaus A.8

Tässä kuvassa pyöräilijä pyrkii kasvattamaan nopeuttaan vaakasuoralla tiellä. Tarkastellaan kunkin kuvion voimia:

- F_1: Pyöräilijän tuottama voima polkemisen kautta, joka työntää pyörää eteenpäin.
- F_2, F_3, F_5: Kitkavoima, joka vastustaa pyörän liikettä eteenpäin.
- F_6: Painovoima, joka vaikuttaa pyöräilijään ja pyörään alaspäin.
- F_7: Normaalivoima, joka on reaktiovoima maan pinnalta pyöräilijään, suuntautuen ylöspäin.
- F_8, F_9, F_{10}: Työntövoima polkimista, joka vaikuttaa polkimien kautta maahan ja vastavoimana maasta pyöräilijään.

Oikean voimakuvion valitsemiseksi on tärkeää tarkastella voimien suuntia ja niiden tasapainoa:

- F_1 ja F_2, F_3, F_5 ovat vastakkaisia voimia, joissa F_1 on suurempi voima, koska pyöräilijä kasvattaa nopeutta.
- F_6 ja F_7 ovat myös vastakkaisia voimia, ja niiden pitäisi olla tasapainossa, koska ei ole pystysuuntaista liikettä (pyöräilijä pysyy samalla korkeudella).
- F_8, F_9, F_{10} ovat voimia, jotka liittyvät polkemisen dynamiikkaan.

Analysoimalla kuvat:

- Kuva A: Tässä kuvassa näkyy voima F_1 eteenpäin, F_2 taaksepäin, F_6 alaspäin ja F_7 ylöspäin. Tämä kuva vaikuttaa tasapainoiselta, sillä siinä on huomioitu sekä vaakasuora että pystysuora voimien tasapaino ilman ylimääräisiä voimia.
- Muut kuvat: Sisältävät ylimääräisiä voimia tai voimien suuntia, jotka eivät ole tarpeellisia tai loogisia pyöräilijän nopeuden kasvattamisen kontekstissa.

Oikea vastaus on siis Kuva A, jossa on kirjattuna voimat F_1, F_2, F_6, F_7, jotka kuvaavat realistisesti tilannetta, jossa pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä ilman ylimääräisiä voimia tai epärealistisia suuntia.

Kielimalli o1 – Vastaus A.1

Hyvä tapa ratkaista tehtävä on ensin miettiä, mitä ulkoisia voimia todella vaikuttaa pyörään ja pyöräilijään, kun nopeus kasvaa vaakasuoralla tiellä:

- Painovoima (paino) alaspäin (yhteisvaikutus pyörä + pyöräilijä)
- Tukivoima tai tukivoimat ylöspäin tien pinnasta
- Ilmanvastus (air resistance) vaakasuunnassa taaksepäin
- Kitkavoima (”vetävä voima”) rengasta työntävä kitka tien pinnasta eteenpäin, kun poljetaan

Koska pyörä kiihtyy eteenpäin, nettonopeus (ja siis nettovoima) on vaakasuunnassa eteenpäin, joten kitkavoiman on oltava suurempi kuin ilmanvastus. Pystysuunnassa voimat ovat tasapainossa (paino = tukivoimien summa), koska tie on vaakasuora eikä pyörä nouse ilmaan tai uppoa maahan.

Näistä kuudesta (A–F) kuva F vastaa parhaiten tilannetta:

- Pystyvoimat (siniset nuolenpäät) tasapainottavat toisensa:
  - Alaspäin on painovoima (yleensä merkitty esim. F_g tai vastaavalla).
  - Ylöspäin on tien tukivoima(t) (kuvassa kaksi nuolta, koska etu- ja takapyörä voivat kantaa massaa eri suhteilla).
- Vaakasuunnassa on kaksi vastakkaissuuntaista voimaa (punaiset nuolenpäät):
  - Taaksepäin (pienempi) ilmanvastus (F_1 kuvassa).
  - Eteenpäin (suurempi) kitkavoima (F_5), joka synnyttää kiihtyvyyden.

Kootusti siis kuvan F nuolten nimet voisivat olla esimerkiksi:

1. F_1 = ilmanvastus (taaksepäin)
2. F_5 = kitkavoima eli ”vetävä voima” (eteenpäin)
3. F_3 = paino (mg) (alaspäin)
4. F_6 ja F_8 = tukivoimat maasta (ylöspäin)

Tämä diagrammi kuvaa oikein vaakasuoralla tiellä kiihdyttävän pyöräilijän ulkoisia voimia.

Kielimalli o1 – Vastaus A.2

Kuvista paras on B: se näyttää juuri ne neljä ulkoista voimaa, jotka vaikuttavat pyöräilijä+pyörä-systeemiin vaakasuoralla alustalla kiihdytettäessä:

- Paino alas (F7)
- Tukivoima maasta ylöspäin (F6)
- Ilmanvastus (tai muu vastusvoima) taaksepäin (F1)
- Kitka renkaasta eteenpäin (F3)

Koska pyöräilijä kiihdyttää vaakasuunnassa, eteenpäin kohdistuva kitkavoima on suurempi kuin ilmanvastus, joten resultanttivoima on eteenpäin. Muut kuvat sisältävät joko vääriä tai ylimääräisiä voimia (useita pystysuuntaisia tuki-/painovoimia tai vääränsuuntaisia kitkavoimia), eivätkä siksi vastaa tilannetta yhtä selvästi kuin B.

Kielimalli o1 – Vastaus A.3

Fiksuin tapa hahmottaa ongelma on muistaa, että vaakasuoralla tiellä pyöräilijällä on neljä oleellista ulkoista voimaa:

1. Painovoima (pyörä + pyöräilijä), alaspäin
2. Normaalivoima (tiehen kohdistuva tuki), ylöspäin
3. Liikkeelle vievä kitkavoima (renkaiden ja tien välinen ajo- tai ”vetokitka”) eteenpäin
4. Ilmanvastus (ja/tai muu vastusvoima), taaksepäin

Kun pyöräilijä kiihdyttää vaakasuoralla tiellä, kitkavoima (3) on suurempi kuin ilmanvastus (4), jolloin nettovoima on eteenpäin.

Kuvista (A–F) paras ja yksinkertaisin tätä tilannetta vastaava on kuva F. Siinä

- F_6 on normaalivoima ylöspäin,
- F_8 on painovoima alaspäin,
- F_5 on tien kitkavoima eteenpäin (vetävä voima),
- F_1 on ilmanvastus (tai kokonaisvastus) taaksepäin.

Nämä neljä voimaa kuvaavat täsmälleen kiihtyvän pyöräilijän ulkoisia voimia vaakasuoralla alustalla.

Kielimalli o1 – Vastaus A.4

Tyypillisessä mallissa vaaka-tasolla kiihdyttävän pyöräilijän ulkoiset voimat ovat

1. Painovoima alaspäin (yhteinen paino pyörälle ja pyöräilijälle).
2. Tukivoimat ylöspäin (maasta kummallekin pyörälle).
3. Kitkavoima takapyörän kohdalla menosuuntaan (se “työntää” pyörää eteenpäin).
4. Ilmanvastus (ja mahdolliset muut vastusvoimat) vastakkaiseen suuntaan eli taaksepäin.

Kuvista B on ainoa, joka näyttää juuri nämä ulkoiset voimat oikein:

- Punainen nuoli oikealle (F3) on takapyörän ja tien välinen kitka, joka kiihdyttää pyörää.
- Punainen nuoli vasemmalle (F1) on ilmanvastus pyöräilijää vastaan.
- Kaksi sinistä nuolta ylöspäin (F6 ja F7) ovat etu- ja takapyörän tukivoimat tien pinnasta.
- Sininen nuoli alaspäin (F2) on pyörän ja pyöräilijän painovoima.

Näin siis vastaus on kuva B, ja ko. kuvassa esiintyvien nuolten nimet ovat:

- F1 = ilmanvastus
- F2 = painovoima
- F3 = kitka (tien työntövoima eteenpäin)
- F6 ja F7 = maan tukivoimat (etu- ja takapyörän alla).

Kielimalli o1 – Vastaus A.5

Lyhyesti sanoen paras valinta on kuva B. Siinä on juuri ne neljä ulkoista voimaa, joita vaakasuoralla tiellä kiihdyttävään pyöräilijään yleensä kohdistuu:

1. Painovoima (alas),
2. Maan tukivoima (ylös),
3. Ilmanvastus (taakse),
4. Tiehen kohdistuva kitka (eteen), joka ”työntää” pyörää eteenpäin.

Kuvassa B nämä voimat näkyvät seuraavasti (voimavektorien nimilaput voivat hieman vaihdella kirjan tms. merkinnöistä riippuen):

- F_7 (sininen nuoli alas) = Paino (painovoima),
- F_6 (sininen nuoli ylös) = Maan tukivoima,
- F_1 (punainen nuoli vasemmalle ylhäällä) = Ilmanvastus,
- F_3 (punainen nuoli oikealle alhaalla) = Kitka (tie työntää pyörää eteenpäin).

Koska pyöräilijä kiihdyttää, vaakasuuntainen nettovoima on eteenpäin: kitka (F_3) on suurempi kuin ilmanvastus (F_1). Pystysuunnassa tukivoiman (F_6) ja painon (F_7) suuruudet ovat yhtä suuret, joten pystysuuntainen nettovoima on nolla.

Kielimalli o1 – Vastaus A.6

Fysiikan kannalta oikea voimakuvio on B. Siinä on juuri ne neljä ulkoista voimaa, jotka kiihtyvään pyöräilijään vaakasuoralla tiellä kohdistuvat:

1. Painovoima (paino) alas (kokonaismassan mg),
2. Tukivoimat ylös (etupyörän ja takapyörän kosketuskohdista),
3. Kitkavoima eteenpäin (takarenkaan ja tien välisestä kosketuksesta, kun poljetaan),
4. Ilmanvastus taaksepäin (vastustaa liikettä).

Kaavio B näyttää nämä selkeimmin:

- Ylhäällä taaksepäin suuntautuva punainen nuoli (ilmanvastus),
- Alhaalla takarenkaan kohdalla eteenpäin suuntautuva punainen nuoli (kitka),
- Kaksi sinistä nuolta ylöspäin (tukivoimat pyörän renkaiden kohdalta)
- Ja alaspäin (paino), joka on merkitty sinisellä nuolella keskiosaan.

Näin nettovoima on vaaka-suunnassa eteenpäin (kiihtyvä liike) ja pysty-suunnassa voimat kumoavat toisensa.

Kielimalli o1 – Vastaus A.7

Fysiikan kannalta pyöräilijään kohdistuvat neljä keskeistä ulkoista voimaa tasaisella tiellä kiihdytettäessä ovat

1) Paino (maata kohti),
2) Tien tukivoima (ylöspäin),
3) Ilmanvastus (taaksepäin) ja
4) Kitkavoima eli ”vetävä voima” renkaasta eteenpäin.

Kun tarkastelee kuvia A–F, juuri kuva F näyttää nämä voimat oikein siten, että vaakasuora (kitkan aiheuttama) voima on suurempi eteenpäin kuin ilmanvastus taaksepäin, mikä mahdollistaa kiihtyvän liikkeen. Pystysuunnassa paino ja tien tukivoimien summa kumoavat toisensa.

Kuvassa F nuolien merkinnät voi tulkita esimerkiksi seuraavasti:

- F_3: Paino (pyörä + ajaja)
- F_1: Ilmanvastus (taaksepäin)
- F_5: Vetävä kitkavoima (eteenpäin)
- F_6 ja F_8: Tuen (normaalivoiman) komponentteja, esim. renkaiden ja satulan kautta tulevat tukivoimat, joiden yhteisvaikutus tasapainottaa painon.

Kielimalli o1 – Vastaus A.8

Yksinkertaisin tapa ratkaista tehtävä on miettiä, mitä ulkoisia voimia vaakasuoralla tiellä kiihdyttävään pyöräilijään kohdistuu:

1. Painovoima (paino) alaspäin
2. Tukivoima (normaalivoima) ylöspäin tien pinnasta
3. Ilmanvastus (ja/tai vierintävastus) taaksepäin
4. Tien kitkavoima (”vetävä voima”) eteenpäin, kun pyöräilijä polkee ja rengas ”työntää” tiehen

Koska pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan, eteenpäin vaikuttava kitkavoima on suurempi kuin taaksepäin vaikuttava ilmanvastus. Pystysuunnassa taas paino ja tukivoima kumoavat toisensa (ei pystysuuntaista kiihtyvyyttä).

Kuvista (A)–(F) vaihtoehto F vastaa täsmälleen tätä tilannetta. Siihen on merkitty:

- $\vec{F}_1$ = ilmanvastus (takaviistoon/taakse)
- $\vec{F}_5$ = tien kitka (eteenpäin, ”vetävä voima”)
- $\vec{F}_6$ = tien tukivoima (ylöspäin)
- $\vec{F}_8$ = painovoima (alaspäin)

Kaikki muut (A–E) joko jättävät puuttumaan eteenpäin suuntautuvan resultantin voiman tai näyttävät sen väärään suuntaan/epärealistisena. Siksi oikea valinta on siis kuva F yllä mainituin voimanimin.

Kielimalli o3-mini – Vastaus A.1

Ratkaisu perusteluineen

Pyöräilijä kiihdyttää vaakasuoralla tiellä, joten nettopystysuuntainen voima on nolla (tukivoima = paino) ja nettovaakasuuntainen voima on eteenpäin. Tällöin oikein piirretty voimakuva näyttää:

1. Tukivoiman (maan pinnan tukivoima) ja painon (maan vetovoima) yhtä pitkät vastakkaissuuntaiset nuolet pystyakselilla.
2. Eteenpäin (pyörän liikesuuntaan) osoittava vaakasuuntainen kitkavoima on suurempi kuin taaksepäin osoittava ilmanvastus (tai muu vastusvoima).

Kuvista A–F ainoastaan kuva B vastaa tätä tilannetta:

- Pystysuuntainen nettovoima on nolla (ylös ja alas suunnatut nuolet yhtä pitkät).
- Vaakasuuntaisten voimien tuloksena jää eteenpäin kiihdyttävä voima (eteenpäin osoittava nuoli pidempi kuin taaksepäin osoittava).

Nimeä voimanuolet (esimerkin mukaan):

- F_{N} (tai N): tukivoima ylöspäin
- mg (tai F_{paino}): paino alaspäin
- F_{kitka}: kitkavoima (tai vetävä voima) eteenpäin
- $F_{\mathrm{ilmanvastus}}$: ilmanvastus taaksepäin

Näin ollen oikea vastaus on kuva B, jossa on kuvattu nämä neljä ulkoista voimaa oikein suhteutettuina, kun pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä.

Kielimalli o3-mini – Vastaus A.2

Tehtävässä etsitään oikeaa voimakuvioita A–F kuvaamaan sitä, miten pyöräilijään vaikuttavat ulkoiset voimat, kun pyörä kiihtyy vaakasuoralla tiellä. Tällöin on olennaista huomata:

1. Pystysuorassa suunnassa kiihtyvyyttä ei ole (tie on vaakasuora, pyörä ei nouse ilmaan eikä painu tiehen), joten pystysuorat voimat kumoavat toisensa. Tämä tarkoittaa, että tukivoiman (N) ja painon (mg) on oltava yhtä suuret.
2. Vaakasuorassa suunnassa pyörä kiihtyy eteenpäin, joten eteenpäin vaikuttavan voiman (esim. kitkan tai ”vetävän” voiman) on oltava suurempi kuin taaksepäin suuntautuvan voiman (ilmanvastus + vierintävastus tms.).

Kuvista näkee, että ainoastaan vaihtoehdossa C pystysuorat voimat ovat yhtä suuret, kun taas eteenpäin suuntautuva voima on suurempi kuin taaksepäin suuntautuva. Näin ollen:

- Pystysuorat voimat: $F_2 = F_1$ (tukivoima = paino)
- Vaakasuorat voimat: $F_3 > F_4$ (eteenpäin suuntautuva voima suurempi kuin vastusvoima)

Oikea vastaus on siis C.

Kielimalli o3-mini – Vastaus A.3

Ratkaisu lyhyesti:

- Oikea valinta on kuvio E.
- Voimat siinä ovat:
    1. Paino (G) alaspäin
    2. Tukivoima (N) ylöspäin (saman suuruinen kuin paino, koska tie on vaakasuora)
    3. Kitka / ajo- tai vetävä voima (F) eteenpäin (suurin vaakasuora voima, koska pyöräilijä kiihdyttää)
    4. Ilmanvastus (F_{ilma}) taaksepäin (pienempi kuin eteenpäin suuntautuva voima, koska kokonaiskiihtyvyys on eteenpäin)

—

Perustelut:

Pyöräilijä kiihdyttää vaakasuoralla tiellä, joten pystysuunnassa tukivoiman (N) ja painon (G) tulee olla yhtä suuret mutta vastakkaissuuntaiset (nettovoima nolla pystyssä). Vaakasuunnassa eteenpäin suuntautuvan voiman (mahdollistaa pyörän kiihtymisen) on oltava suurempi kuin ilmanvastus (ja mahdolliset muut vastukset), jotta pyörän nopeus kasvaa. Kuvassa E nuo ehdot toteutuvat:

- Pystysuuntaiset voimat ovat yhtä pitkät (N = G).
- Eteenpäin suuntautuva nuoli on pidempi kuin taaksepäin suuntautuva, eli nettovoima on eteenpäin.

Kielimalli o3-mini – Vastaus A.4

Ratkaisu

Pyöräilijä kiihdyttää vaakasuoralla tiellä, joten:

1. Pystysuunnassa normaalivoiman (tien tukivoima) on oltava yhtä suuri kuin painon, koska pyöräilijä ei nouse ilmaan eikä painu maan läpi.
2. Vaakasuunnassa eteenpäin vaikuttavan vetävän voiman (renkaiden ja tien välinen kitka, jota usein kutsutaan myös ”ajovoimaksi”) täytyy olla suurempi kuin taaksepäin vaikuttavat vastusvoimat (ilmanvastus ja mahdollinen vierintävastus), jotta pyöräilijä kiihtyy eteenpäin.

Kun vertailee annettuja voimakuvioita A–F, oikea vastaus on D, koska siinä:

- Pystysuuntaiset voimat ovat yhtä suuret ja vastakkaissuuntaiset (normaalivoima = paino), joten nettonopeutta pystysuunnassa ei ole.
- Vaakasuuntainen voima eteenpäin on suurempi kuin taaksepäin suuntautuva vastusvoima, mikä tuottaa kiihtyvyyden eteenpäin.

Voimien nimeäminen (kuvassa D):

- F_{N} = Normaalivoima (ylöspäin)
- F_{G} = Paino (alas)
- F_{kitka} = Vetävä voima (eteenpäin)
- F_{vastus} = Vastusvoima, kuten ilmanvastus (taaksepäin)

Koska pyöräilijä kiihdyttää vaakasuunnassa, on eteenpäin suuntautuva voima suurempi kuin vastusvoima, mutta pystysuunnassa voimat kumoavat toisensa. Tämä tilanne on esitetty juuri vaihtoehdossa D.

Kielimalli o3-mini – Vastaus A.5

Ratkaisu: Kuva C

1. Koska tie on vaakasuora, pystyvoimien on oltava tasapainossa: normaalivoiman N on oltava yhtä suuri kuin painovoiman mg. Kuvassa C pystyvoimanuolet (ylös ja alas) ovat yhtä pitkät, mikä kertoo näiden voimien olevan yhtä suuret.
2. Pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan eli kiihtyy eteenpäin. Tällöin nettovoiman vaakasuunnassa on oltava eteenpäin. Kuvassa C vaakasuuntainen eteenpäin

osoittava voima (renkaiden ja tien välinen kitka/työntö) on selvästi suurempi kuin taaksepäin osoittava voima (ilmanvastus + vierimisvastus).

Nimeä kuvan C voimat esimerkiksi näin:

- N (ylöspäin) = normaalivoima
- mg (alaspäin) = painovoima
- F_{eteen} (oikealle) = renkaiden ja tien välinen kitkavoima/"työntövoima"
- F_{taakse} (vasemmalle) = ilmanvastus ja/tai vierimisvastus

Näin ollen C on ainoa annetuista vaihtoehdoista, jossa pystysuorat voimat kumoavat toisensa ja nettovoima vaakasuunnassa on eteenpäin (kiihdyttävä voima).

Kielimalli o3-mini – Vastaus A.6

Ratkaisu lyhyesti:

Tehtävän mukaan pyöräilijä kiihdyttää vaakasuoralla tiellä, joten pystysuunnassa (ylös–alas) voimat kumoavat toisensa, mutta vaakasuunnassa (eteen–taakse) on nettovoima eteenpäin.

- Pystysuunnassa: normaalivoima (tukivoima) = painovoima (paino), koska tie on vaakasuora eikä pyöräilijä nouse tai laske.
- Vaakasuunnassa: eteenpäin kohdistuva kitkavoima (renkaan ja tien välinen vetävä voima) on suurempi kuin taaksepäin vaikuttava ilmanvastus (sekä mahdolliset muut vastusvoimat), sillä pyöräilijä kiihdyttää.

Kuvista A–F vain kuvassa A on pystysuunnassa yhtä suuret voimat ylös ja alas, ja samalla vaakasuunnassa eteenpäin suuntautuva voima on selvästi suurempi kuin taaksepäin suuntautuva.

Vastaus:

- Oikea voimakuva on A.
- Voimat siinä ovat:
    1. Painovoima mg alaspäin
    2. Normaalivoima (tukivoima) ylöspäin
    3. Vetävä (kitka)voima eteenpäin

4. Ilmanvastus (ja mahdollinen vierintävastus) taaksepäin

Koska pyöräilijä kiihdyttää, eteenpäin suuntautuva voima voittaa taaksepäin suuntautuvan vastusvoiman. Pystysuunnassa nettovoima on nolla, joten pyöräilijä ei nouse eikä laske. Näin ollen kuva A vastaa parhaiten fysiikan tilannetta.

Kielimalli o3-mini – Vastaus A.7

Ratkaisu perustuu siihen, että vaakasuoralla tiellä pyöräilijään vaikuttavien voimien on täytettävä seuraavat ehdot:

1. Pystysuunnassa tukivoiman (N) ja painon (mg) on oltava yhtä suuret ja vastakkaissuuntaiset, koska pyöräilijä ei kiihdy pystysuunnassa.
2. Vaakasuunnassa eteenpäin (pyörän kulkusuuntaan) vaikuttava voima on suurempi kuin taaksepäin vaikuttava vastusvoima (lähinnä ilmanvastus ja/tai vierintävastus), jotta pyörä ja pyöräilijä voivat kiihtyä eteenpäin.

Katsomalla kuvan vaihtoehtoja A–F huomataan, että:

- Joissakin kuvissa tukivoima ja painovoima eivät ole yhtä suuret ($\rightarrow$ väärin, koska silloin olisi pystysuuntainen kiihtyvyys).
- Joissakin kuvissa taaksepäin suuntautuva voima on suurempi kuin eteenpäin ($\rightarrow$ tarkoittaisi hidastumista).
- Joissakin ei ole ollenkaan taaksepäin suuntautuvaa voimaa ($\rightarrow$ käytännössä ilmanvastus tai muu vastus on aina olemassa, jos nopeus ei ole olematon).

Näiden perusteella oikein on vaihtoehto B: pystysuorat voimat ovat yhtä suuret (N = mg) ja eteenpäin vaikuttava voima on suurempi kuin taaksepäin vaikuttava.

Kun nimeät kuvan B:n voimat, ne ovat esimerkiksi:

- **N**: Tuki- eli normaalivoima maasta ylöspäin
- **mg**: Paino alaspäin
- $\mathbf{F}_{\text{kitka}}$ (tai $\mathbf{F}_{\text{vetävä}}$): Kitka (tai vetävä voima) renkaasta eteenpäin
- $\mathbf{F}_{\text{vastus}}$: Ilmanvastus (tai kokonaisvastus) taaksepäin

Tämä voimakuvio kuvaa parhaiten pyöräilijän kiihtyvää liikettä vaakasuoralla tiellä.

Kielimalli o3-mini – Vastaus A.8

Oikea vastaus on D. Perustelut lyhyesti:

1. Pystysuunnassa (ylös-alas) pyöräilijään kohdistuvat paino alaspäin ja tien tukivoima ylöspäin ovat yhtä suuret, joten ne kumoavat toisensa.
2. Vaakasuunnassa (eteen-taakse) pyöräilijään kohdistuu ilmanvastus (ja mahdollinen vierintävastus) taaksepäin, mutta maasta renkaiden välityksellä tuleva työntövoima on suurempi ja suuntautuu eteenpäin.
3. Koska pyöräilijä kiihdyttää, nettovoima on eteenpäin.

Kuvassa D pystysuorat voimat ovat yhtä suuret mutta vastakkaissuuntaiset, ja eteenpäin suuntautuva voima on suurempi kuin taaksepäin suuntautuva, mikä vastaa kiihdyttävän pyöräilijän tilannetta tasaisella tiellä.

Kehote B

ChatGPT:lle annettiin kehote: ”Tutustu liitteenä olevaan tehtävään ja pohdi polkupyörän toimintaperiaatetta. Kiinnitä huomiota voimavektoreiden suuntaan, pituuteen sekä sijaintiin piirroksessa. Ratkaise sitten tehtävä.”

Tekoälyn käyttämä kielimalli oli GPT-4o ja kokeen suorituspäivämäärä oli 4.4.2025.

Vastaus B.1

Tarkastellaan tehtävän tilannetta: Pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä. Tämä tarkoittaa, että pyörään kohdistuu etenevä (eteenpäin suuntautuva) nettovoima, eli kiihtyvyys on vaakasuoraan eteenpäin.

Mitä ulkoisia voimia tilanteessa vaikuttaa?

1. Paino (alaspäin): pyöräilijän ja pyörän yhteinen painovoima.
2. Tukivoimat (ylöspäin): tien reaktiovoimat pyörän renkaille.
3. Ilmanvastus ja mahdollinen muu vastus (taaksepäin).
4. Tiekosketusvoima (eteenpäin): takarenkaaseen kohdistuva maan reaktiovoima, joka kiihdyttää pyörää.

Mikä kuvista vastaa tätä parhaiten?

Käydään kuvat läpi:

A: vaakasuora nettovoima vasemmalle – ei käy.

B: myös vaakasuora nettovoima vasemmalle – ei käy.

C: sisältää eteenpäin suuntautuvan vaakasuoran voiman F_5, mutta siinä on myös vastakkainen F_1 – nämä kumoavat toisensa, ei vastaa kiihtyvää liikettä.

D: vaakasuora voima vasemmalle – ei käy.

E: sisältää eteenpäin suuntautuvan vaakasuoran voiman F_4, mutta sen vastavoima F_1 on yhtä pitkä – jälleen ei kiihtyvyyttä.

F: sisältää eteenpäin suuntautuvan voiman F_5, ja vastakkainen F_1 on lyhyempi. Tämä tarkoittaa, että eteenpäin suuntautuva nettovoima on olemassa → pyörä kiihtyy. Lisäksi pystysuorat voimat ovat keskenään tasapainossa (F_6 ja F_8 ylös, F_3 alas) – tukivoimat ja paino näyttävät olevan mukana järkevästi.

Oikea vastaus: F

Voimat kuvassa F:

- F_1: ilmanvastus (taaksepäin)
- F_5: tien kohdistama voima, joka kiihdyttää pyörää eteenpäin
- F_6: takapyörän tukivoima (maan reaktio)
- F_8: etupyörän tukivoima
- F_3: painovoima (alaspäin)

Haluatko, että kirjoitan tähän vielä mallivastauksen opiskelijalle tai tehtävään sopivan sanallisen selityksen?

Vastaus B.2

Tehtävässä pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä, eli liikkuu kiihtyvällä liikkeellä vaakasuunnassa. Meidän täytyy valita kuvioista A–F se, joka parhaiten kuvaa pyörään ja pyöräilijään vaikuttavia ulkoisia voimia.

Tarkastellaan tilannetta fysiikan kannalta: Pyöräilijään ja pyörään vaikuvat ulkoiset voimat ovat:

1. Kitkavoima renkaan ja tienpinnan välillä (eteenpäin, koska se kiihdyttää liikettä – tämän suunnan monet opiskelijat saattavat aluksi mieltää väärin).

2. Ilmanvastus ja mahdollinen muu vastus (taaksepäin).
3. Painovoima (maan vetovoima) alaspäin.
4. Normaalivoima alustan tukivoima ylöspäin.

Koska pyöräilijä kiihdyttää, eteenpäin suuntautuva vaakasuora voima on suurempi kuin taaksepäin suuntautuva, eli tuloksena syntyy nettovoima eteenpäin.

Analysoidaan vaihtoehdot:

A: Vaakasuorat voimat F_1 (taakse) ja F_2 (vasemmalle/eteenpäin) – mutta F_2 vaikuttaa pyörän taakse. Näyttää epäloogiselta.

B: F_1 taaksepäin, F_3 eteenpäin – mutta F_3:n sijainti on maassa. Ei oikein selkeä.

C: F_1 (ilmanvastus?) taakse, F_5 eteen. Eteenpäin suuntautuva voima on suurempi kuin taaksepäin suuntautuva – hyvä! Pystysuorat voimat F_6 (normaalivoima) ja F_7 (paino) näyttävät oikeilta.

D: Vaakasuora voima vain taaksepäin – ei voi olla kiihtyvää liikettä.

E: F_1 taaksepäin, F_4 eteenpäin – mutta F_4:n sijainti on pyörän takana, ja pystyvoimat eivät ole tasapainossa.

F: Sama kuin C, mutta eri tunnuksin. F_5 eteen (suuri), F_1 taakse (pieni), F_6 ja F_8 pystysuunnassa – tasapainossa.

Oikea vastaus: Kuvio F on paras vaihtoehto. Siinä:

- F_5 on eteenpäin suuntautuva (esimerkiksi tien antama kitkavoima),
- F_1 on ilmanvastus,
- F_6 on normaalivoima ylöspäin,
- F_8 on painovoima alaspäin.

Vastaus: F:

- F_1 = ilmanvastus (taakse)
- F_5 = tien kitkavoima (eteen)
- F_6 = normaalivoima (ylös)
- F_8 = painovoima (alas)

Haluatko tähän vielä selittävän tekstin opiskelijoille, jossa perustellaan tämä valinta?

Vastaus B.3

Tarkastellaan tehtävää: pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä, eli pyörä kiihtyy eteenpäin. Meidän tulee valita kuvista A–F se, joka parhaiten kuvaa pyörään ja pyöräilijään vaikuttavia ulkoisia voimia.

Tärkeimmät ulkoiset voimat tilanteessa:

1. Kitkavoima maasta takarenkaaseen (F_5): Tämä voima kiihdyttää pyörää eteenpäin. Se on maan reaktio siihen, että poljinliike pyörittää takapyörää. Suunta eteenpäin.
2. Ilmanvastus (F_1): Vastustaa liikettä, vaikuttaa taaksepäin.
3. Painovoima (esim. F_3 tai F_7 tai F_{10}): Alaspäin.
4. Tukivoimat maasta pyörän renkaisiin (F_6 ja F_8): Ylöspäin.

Kuvion valinta: Katsotaan kuviota F:

- F_1: ilmanvastus, taaksepäin.
- F_5: eteenpäin, vastaa maasta tulevaa kitkavoimaa.
- F_6 ja F_8: tukivoimia maasta ylös.
- F_3: alaspäin – painovoima.

Kuvio F sisältää kaikki keskeiset ulkoiset voimat oikeissa suunnissa ja loogisissa paikoissa. F_5 (eteenpäin) selittää kiihtyvyyden, ja F_1 (taakse) ottaa huomioon ilmanvastuksen. Pystyvoimat (paino ja tukivoimat) ovat tasapainossa.

Vastaus: Oikea voimakuvio on F.

Voimat:

- F_1: ilmanvastus (taakse)
- F_3: painovoima (alas)
- F_5: maasta tuleva kitkavoima eli eteenpäin suuntautuva voima
- F_6 ja F_8: tukivoimat (ylös)

Haluatko, että puretaan vielä tarkemmin esim. miksi juuri F_5 on kiihtyvyyden selittävä voima?

Vastaus B.4

Tehtävässä pyöräilijä kiihdyttää vaakasuoralla tiellä, eli kyseessä on kiihtyvä liike vaakasuunnassa. Tällöin pyörään ja pyöräilijään vaikuttavat seuraavat ulkoiset voimat:

Vaakasuorat voimat:

- Etukiekon ja tien välinen kitkavoima (tai oikeastaan vetävä voima takarenkaan ja tien välillä), joka kiihdyttää pyörää eteenpäin.
- Ilmanvastus, joka vaikuttaa taaksepäin.

Pystysuorat voimat:

- Painovoima (alaspäin)
- Tukivoima tien pinnasta (ylöspäin)

Koska pyöräilijä ei liiku pystysuunnassa, pystysuorat voimat kumoavat toisensa. Vaakasuunnassa on oltava eteenpäin suuntautuva nettovoima, koska pyöräilijä kiihdyttää.

Katsotaan nyt vaihtoehdot:

Vaihtoehto F näyttää oikealta:

Vaakasuunnassa:

- F_1 on ilmanvastus (taakse)
- F_5 on vetävä voima takarenkaassa (eteen) $\rightarrow F_5 > F_1$, koska liike kiihtyy eteenpäin Pystysuunnassa:
- F_6 on tukivoima (ylös)
- F_8 on painovoima (alas) $\rightarrow F_6 = F_8$

Sijainnit ja suuntaukset myös vastaavat todellisuutta. Vetävä voima syntyy takarenkaassa, ja ilmanvastus kohdistuu pyöräilijään.

Oikea vastaus: F

Voimat:

- F_1: ilmanvastus (taakse)
- F_5: vetävä voima (eteen)

- F_6: tukivoima (ylös)
- F_8: painovoima (alas)

Haluatko vielä, että teen tästä selityksestä opiskelijaystävällisen version tai pohjan tehtävän purkuun tunnilla?

Vastaus B.5

Tarkastellaan tehtävää:

Tehtävänanto: Pyöräilijä kiihdyttää vaakasuoralla tiellä. Tehtävänä on valita kuudesta voimakuvasta (A–F) se, joka parhaiten kuvaa pyörään ja pyöräilijään vaikuttavia ulkoisia voimia.

Vaiheittainen analyysi:

Fyysinen tilanne:

- Pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan: tarvitaan eteenpäin suuntautuva nettovoima vaakasuunnassa.
- Pystysuorassa suunnassa voimat (paino ja tukivoima) ovat tasapainossa, koska liike tapahtuu vaakasuoraan ilman pystyliikettä. Vaakasuunnassa vaikuttaa:
- Kitkavoima tien ja pyörän renkaan välillä, joka työntää pyörää eteenpäin (koska polkija polkee).
- Ilmanvastus, joka vastustaa liikettä eli on taaksepäin.

Eli vaakasuunnassa:

- Eteenpäin: kitkavoima renkaan ja tien välillä.
- Taaksepäin: ilmanvastus.

Pystysuunnassa:

- Alaspäin: painovoima.
- Ylöspäin: tukivoima tien pinnasta.

Tarkastelu vaihtoehdoittain:

Vaihtoehto F: Vaakasuorat voimat:

- F_1 (taaksepäin) – ilmanvastus

- F_5 (eteenpäin) – tien reaktiovoima eli kitka Pystysuorat voimat:
- F_6 (ylöspäin) – tukivoima
- F_3 (alaspäin) – painovoima

→ Näyttää oikealta: vaakasuunnassa eteenpäin kohdistuva kitkavoima > ilmanvastus, jolloin liikettä syntyy. Pystysuunnassa voimat ovat vastakkaissuuntaiset ja yhtä suuret.

Vastaus: Oikea voimakuvio on F.

F-kuvion voimat:

- F_1 – ilmanvastus (taaksepäin)
- F_3 – painovoima (alaspäin)
- F_5 – tien reaktiovoima eli kitkavoima (eteenpäin)
- F_6 – tukivoima (ylöspäin)

Haluatko, että laadin tästä myös oppilaalle sopivan vastauksen tai pohdintatehtävän?

Vastaus B.6

Tehtävässä pyöräilijä kasvattaa nopeutta vaakasuoralla tiellä, eli pyörän pitää kiihtyä eteenpäin. Tämä tarkoittaa, että siihen vaikuttavien ulkoisten voimien resultantti vaakasuunnassa osoittaa eteenpäin. Tarkastellaan siis, millainen voimakuvio sopii tähän tilanteeseen.

Tunnistetaan tarvittavat ulkoiset voimat:

1. Painovoima alaspäin (pyöräilijä + pyörä, esim. $\vec{F}_7$ tai $\vec{F}_{10}$).
2. Tukivoima maasta ylöspäin (esim. $\vec{F}_6$, $\vec{F}_9$).
3. Ilmanvastus/kitka (taaksepäin, esim. $\vec{F}_1$).
4. Kitkavoima maasta eteenpäin (renkaan ja tien välinen, aiheuttaa kiihtyvyyden — esim. $\vec{F}_5$).

Etsimme kuviota, jossa:

- On painovoima alaspäin ja tukivoima ylöspäin, jotka kumoavat toisensa pystysuunnassa.

- On eteenpäin suuntautuva voima, joka aiheuttaa kiihtyvyyden (kitkavoima tien ja pyörän välillä).
- On mahdollisesti myös taaksepäin suuntautuva ilmanvastusvoima.

Kuvio F täyttää nämä ehdot:

- $\vec{F_7}$ (alas) = paino.
- $\vec{F_6}$ (ylös) = tukivoima.
- $\vec{F_5}$ (eteenpäin) = tien aiheuttama kitkavoima, joka saa aikaan kiihtyvyyden.
- $\vec{F_1}$ (taaksepäin) = ilmanvastus.
- $\vec{F_8}$ (ylös) voi olla osa tukivoimaa satulan kohdalta.

Vaaka- ja pystysuuntaiset voimat ovat tasapainossa pystysuunnassa, ja vaakasuunnassa eteenpäin suuntautuva voima on suurempi kuin taaksepäin suuntautuva → saadaan kiihtyvyyttä eteenpäin.

Oikea vastaus: F Voimat kuvassa F:

- $\vec{F_1}$: ilmanvastus, taaksepäin
- $\vec{F_5}$: tien aiheuttama kitkavoima, eteenpäin
- $\vec{F_6}$: tukivoima maasta, ylöspäin
- $\vec{F_7}$: painovoima, alaspäin
- $\vec{F_8}$: mahdollinen tukivoiman osa (esim. satulan kautta)

Haluatko, että teen tästä havainnollistavan selityksen opiskelijoille tai esimerkin, miten tämän voisi avata tunnilla?

Vastaus B.7

Tehtävässä pyöräilijä kasvattaa nopeuttaan vaakasuoralla tiellä. Oikean voimakuvion tulisi siis kuvata tilannetta, jossa:

1. Vaakasuorassa (x-suunnassa) pyörään kohdistuu:

- Etukäteen suuntautuva voima (kitkavoima tien ja takapyörän välillä, joka kiihdyttää pyörää eteenpäin).
- Taakse suuntautuva ilmanvastus (vastustaa liikettä).

2. Pystysuorassa (y-suunnassa) vaikuttavat:

- Alaspäin suuntautuva painovoima (pyöräilijä ja pyörä).
- Ylöspäin suuntautuva tukivoima tien pinnasta.

Tarkastellaan vaihtoehtoja:

A: Vaakasuunnassa eteenpäin F_1 ja taaksepäin F_2. Pystysuunnassa alaspäin F_7, ylöspäin F_6 ja F_8. Ei hyvä – tukivoimia liikaa, epätasapaino.

B: Vaakasuunnassa eteenpäin F_3, taaksepäin F_1. F_3 näyttää olevan liian suuri – ei vastaa kiihtyvää liikettä (eteenpäin). Hylätään.

C: Vaakasuunnassa eteenpäin F_5, taaksepäin ei mitään. Ei ilmanvastusta – ei realistinen. Hylätään.

D: Vaakasuunnassa taaksepäin F_1 ja F_2 – väärään suuntaan kiihtyvälle pyöräilijälle. Hylätään.

E: Vaakasuunnassa eteenpäin F_4, taaksepäin F_1. Pystysuorassa alaspäin F_3, ylöspäin F_6 ja F_8. F_4 suurempi kuin F_1 – kiihtyvä liike mahdollinen. Tämä on realistinen vaihtoehto.

F: Vaakasuunnassa eteenpäin F_5, taaksepäin F_1. Pystysuunnassa alaspäin F_3, ylöspäin F_6 ja F_8. F_5 selvästi suurempi kuin F_1 – myös realistinen.

Ratkaisu: F Voimat:

- F_1 = ilmanvastus (taakse)
- F_5 = kitkavoima/voima, jolla tie työntää pyörää eteenpäin (eteen)
- F_3 = painovoima (alaspäin)
- F_6 ja F_8 = tukivoimat (ylöspäin)

Perustelu: Voimakuvio F kuvaa realistisesti kiihtyvää liikettä eteenpäin: eteenpäin kohdistuva voima on suurempi kuin taaksepäin kohdistuva. Pystysuunnassa tukivoimat tasapainottavat painon.

Haluatko vielä täydentävän fysiikan selityksen siitä, mistä voimat tarkalleen ottaen syntyvät tässä tilanteessa?

Vastaus B.8

Tehtävässä pyöräilijä kasvattaa nopeutta vaakasuoralla tiellä, eli liikkeen suuntaan vaikuttaa nettovoima eteenpäin. Meidän on tunnistettava, mikä voimakuviosta A–F kuvaa parhaiten pyörään ja pyöräilijään vaikuttavia ulkoisia voimia.

Analysoidaan mitä ulkoisia voimia tilanteessa pitäisi olla:

Vaakasuuntaiset voimat:

- Ilmanvastus ja vierintävastus vaikuttavat taaksepäin.
- Maasta pyörän takarenkaaseen kohdistuva kitkavoima työntää pyörää eteenpäin, koska polkupyörä liikkuu lihasvoimalla.

Pystysuuntaiset voimat:

- Painovoima vaikuttaa alaspäin (maan vetovoima pyöräilijään ja pyörään).
- Tukivoimat (maasta pyöriin) vaikuttavat ylöspäin. Pyörässä on yleensä tukivoima molemmille renkaille.

Tarkastellaan nyt vaihtoehtoa F:

Vaakasuunnassa:

- F_1 osoittaa taaksepäin: ilmanvastus/vierintävastus.
- F_5 osoittaa eteenpäin: maasta renkaan kautta syntyvä voima, joka aiheuttaa kiihtyvyyden. Pystysuunnassa:
- F_6 ja F_8 osoittavat ylöspäin: tukivoimat etu- ja takarenkaassa.
- F_3 osoittaa alaspäin: painovoima.

Tässä kaikki tarvittavat voimat ovat mukana, ja ne ovat oikeansuuntaisia ja järkevissä paikoissa.

Vastaus: F

Voimien nimet:

- F_1: Ilmanvastus tai vierintävastus
- F_5: Maasta takarenkaan kautta vaikuttava eteenpäin suuntautuva voima
- F_6 ja F_8: Tukivoimat pyörän etu- ja takarenkaalle
- F_3: Painovoima (maan vetovoima pyöräilijään ja pyörään)

Haluatko vielä, että teen havainnollistavan selityksen tästä oppilaiden tueksi?

Kehote C

Edellisen vastauksen jälkeen ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Selitä, miksi voimavektori F_5 kohdistuu polkupyörän ohjaustankoon”

Tekoälyn käyttämä kielimalli oli GPT-4o ja kokeen suorituspäivämäärä oli 4.4.2025.

Vastaus C.1

Tämä on erinomainen ja havainnollistava kysymys – miksi F_5 näyttää kohdistuvan pyörän etuosaan (ohjaustankoon), vaikka liikkeelle paneva voima syntyy takarenkaan kautta?

Vastaus: Kyseessä on piirroksen yksinkertaistus, jossa kaikki vaakasuuntaiset voimat on piirretty mahdollisimman selkeästi, eivätkä nuolet välttämättä osoita juuri siihen kohtaan, mihin voima oikeasti kohdistuu.

Tosiasiassa:

- F_5 kuvaa maasta pyörän takarenkaaseen kohdistuvaa kitkavoimaa, joka työntää pyörää eteenpäin.
- Tämä voima syntyy, kun pyöräilijä polkee ja pyörän ketjut pyörittävät takapyörää.
- Takapyörä yrittää pyöriä asfalttia vasten, mutta kitka estää renkaan luistamisen, ja juuri tuo kitka työntää pyörää eteenpäin – siis voima tulee maasta ylöspäin takarenkaan kohdalla, ei eturenkaalta tai ohjaustangosta.

Miksi nuoli on ohjaustangon kohdalla?

- Todennäköisesti haluttiin esittää eteenpäin suuntautuva nettokiihtyvyys, ja piirtää se mahdollisimman näkyvästi.
- Vaikka voima vaikuttaa takarenkaaseen, koko pyöräilijän ja pyörän yhteinen massa kokee tämän voiman ja liikkuu eteenpäin – joten kuvassa nuolen paikka ei ole tarkka, vaan enemmän symbolinen.

Miten tämän voisi selittää oppilaille? Voit sanoa esimerkiksi näin:

”Vaikka kuvassa voima F_5 näyttää vaikuttavan ohjaustankoon, se ei oikeasti tule sieltä. F_5 kuvaa sitä voimaa, jonka maa kohdistaa takarenkaaseen, kun pyöräilijä polkee. Juuri tämä voima saa pyörän kiihtymään eteenpäin. Kuvassa nuoli on sijoitettu näkyvyyden vuoksi ohjaustangon kohdalle, mutta sen pitäisi olla takarenkaan kohdalla, jos halutaan tarkkaa paikkaa.”

Jos haluat, voin myös piirtää oikeanlaisen voimatilanteen, jossa jokainen voima on oikeassa paikassa pyörässä.

Lisäkysymys ja vastaus C.2

Edellisen vastauksen jälkeen ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Tehtävässä kaikki nuolet ovat oikeilla paikoillaan. Pohdi ratkaisuasi vielä uudelleen.

—

Kiitos tärkeästä huomiosta! Tarkastellaan siis tilannetta uudelleen sillä oletuksella, että kaikki voimanuolet (myös F_5) ovat oikeilla paikoillaan ja esittävät todellisia ulkoisia voimia oikeissa kohdissa pyöräilijä–pyörä-järjestelmään.

—

Tilanne: Pyöräilijä kiihdyttää vaakasuoralla tiellä, eli:

- Kokonaisvoima on eteenpäin.
- Liike tapahtuu maahan liittyvän voiman kautta, joka kohdistuu takarenkaaseen.
- Etupyörä ei vedä, koska polkupyörä on takavetoinen.
- Pyöräilijään ja pyörään vaikuttavat painovoima, tukivoimat, kitka, ilmanvastus.

—

Tarkastellaan nyt voimakuviota F:

Vaakasuorat voimat:

- F_1 (takana): ilmaa tai vierintävastusta (taaksepäin, toimii oikein).
- F_5 (edessä, etupyörän kohdalla): eteenpäin – tässä on ongelma.

Jos F_5 vaikuttaa etupyörän kohdalla eteenpäin, se kuvaisi ulkoista voimaa, joka vetää pyörää edestäpäin eteenpäin. Mutta:

- Pyörä ei ole etuvetoinen.
- Maa ei työnnä etupyörää eteenpäin.
- Pyöräilijä ei vedä itseään eteenpäin ohjaustangosta.

Tästä seuraa, että F_5 etupyörän kohdalla ei voi olla oikein tässä tilanteessa.

—

Katsotaan vaihtoehto B:

Vaakasuorat voimat:

- F_1 (taaksepäin): ilmanvastus – oikein.
- F_3 (takarenkaaseen kohdistuva, eteenpäin): tämä kuvaa kitkavoimaa maasta takarenkaaseen, joka aiheuttaa liikkeen – juuri se, mitä tarvitaan!

Pystysuorat voimat:

- F_6 ja F_7: tukivoimat maasta molempiin renkaisiin – oikein.
- F_8: painovoima (alaspäin, keskellä) – oikein.

—

Johtopäätös:

- F_5:n sijainti etuosassa tarkoittaa, että se kuvaa eteenpäin suuntautuvaa voimaa etupyörän kohdalla, mikä ei ole mahdollista kiihdyttävässä polkupyörässä.
- Ainoa oikein sijoitettu eteenpäin työntävä voima on F_3 kuvassa B, ja se kohdistuu oikein takarenkaaseen.

—

Oikea vastaus: Voimakuva B

Voimien tulkinta:

- F_1: ilmanvastus
- F_3: maasta takarenkaaseen kohdistuva kitkavoima (liikkeelle paneva voima)
- F_6 ja F_7: tukivoimat
- F_8: painovoima

Kiitos vielä, että ohjasit tarkempaan pohdintaan! Tämä oli hyvä tilaisuus syventää tilanteen fysikaalista ymmärtämistä. Haluatko vielä, että rakennan tästä oppilaille selittävän animaation tai kaavion?

Liite 3. Lisämateriaali: Laskutehtävän ratkaisu

Laskutehtävän ratkaisemisessa käytettiin tutkimusmateriaalina syksyn 2019 ylioppilaskokeen tehtävää, jossa täytyi laskea hiihtäjän nopeus ja kuljettu matka annetuilla lähtötiedoilla.

Tässä liitteessä esitetään annetut kehotteet ja vastaukset, jotka saatiin käyttämällä kielimallia GPT-4o. Kokeet suoritettiin 12.4.2025.

Ratkaisuissa hyödynnetty python-koodi on esitetty niissä tapauksissa, joissa se oli saatavilla. ChatGPT:n tuottamat kuvaajat on esitetty kappaleessa 4.3 alkaen s. 51.

Kehote A

ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Hiihtäjä lähtee laskemaan 7,5 m korkean mäen harjalta työntämättä itselleen alkuvauhtia. Mäen kulma vaakatason suhteen on alpha (katso liitetty kuva). Suksen ja lumen välinen liukukitkakerroin on 0,11. Ilmanvastus voidaan jättää huomiotta.
>
> a) Kuinka suuri hiihtäjän vauhti on mäen lopussa, kun alpha on 14 astetta?
>
> b) Hiihtäjä lähtee liukumaan mäkeä alas, mikäli mäen kulma on 9 astetta tai enemmän. Piirrä kuvaaja hiihtäjän tasamaalla liukumasta matkasta mäen kulman alpha funktiona välillä 9...45 astetta.

Kehotteen liitteeksi annettiin ylioppilaskokeen liitemateriaalissa esitetty piirros hiihtäjästä ja mäestä (kuva 4.2, s. 52).

Tekoälyn käyttämä kielimalli oli GPT-4o ja kokeen suorituspäivämäärä oli 12.4.2025.

Vastaus A.1

a) Kun mäen kulma on 14 astetta, hiihtäjän nopeus mäen juurella on noin 11,44 m/s.

b) Yllä olevassa kuvaajassa on esitetty hiihtäjän liukumamatka tasamaalla mäen kulman funktiona välillä 9°–45°. Näemme, että mitä jyrkempi mäki (eli suurempi kulma α), sitä suurempi vauhti hiihtäjällä on mäen lopussa, ja sitä pidemmälle hän liukuu tasamaalla.

Jos haluat, voimme laskea myös jonkin tietyn kulman liukumamatkan tai tarkastella, missä kulmassa saavutetaan esimerkiksi tietty vauhti. Haluatko tutkia jotain tiettyä tapausta lisää?

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Constants
h = 7.5  # height of the hill in meters
mu = 0.11  # coefficient of kinetic friction
g = 9.81  # gravitational acceleration in m/s^2

# a) For alpha = 14 degrees, find final speed at bottom
alpha_deg = 14
alpha_rad = np.radians(alpha_deg)

# Length of slope using trigonometry: h = L * sin(alpha)
L = h / np.sin(alpha_rad)

# Net acceleration along slope: a = g*sin(alpha) - mu*g*cos(alpha)
a = g * np.sin(alpha_rad) - mu * g * np.cos(alpha_rad)

# Final velocity using v^2 = 2*a*s
v = np.sqrt(2 * a * L)

# b) Plot distance on flat ground vs alpha (from 9 to 45 degrees)
alphas_deg = np.linspace(9, 45, 100)
distances = []

for alpha in np.radians(alphas_deg):
    L = h / np.sin(alpha)
    a = g * np.sin(alpha) - mu * g * np.cos(alpha)
    if a <= 0:
        distances.append(0)
    else:
        v = np.sqrt(2 * a * L)
```

```
        # On flat ground: friction force only, so deceleration = mu * g
        d = v**2 / (2 * mu * g)
        distances.append(d)

# Plotting
plt.figure()
plt.plot(alphas_deg, distances)
plt.xlabel("Mäen kulma alpha (astetta)")
plt.ylabel("Liukuma matka tasamaalla (m)")
plt.title("Tasamaalla liukuma matka mäen kulman funktiona")
plt.grid(True)
plt.tight_layout()
plt.show()

v
```

Vastaus A.2

Vastaus kohtaan (a): Kun mäen kulma on 14 astetta, hiihtäjän nopeus mäen alapäässä on noin 9,07 m/s. Mäen suuntainen kiihtyvyys on noin 1,33 $\mathrm{m/s^2}$.

Kohtaan (b): Näet nyt taulukon, jossa on esitetty hiihtäjän tasamaalla liukumasta matkaa mäen kulman funktiona välillä 9–45 astetta. Jos haluat siitä kuvaajan, voin piirtää senkin! Haluatko nähdä graafisen version?

```
import pandas as pd

# Create a DataFrame for display
df = pd.DataFrame({
    "Slope Angle (deg)": alphas_deg,
    "Sliding Distance on Flat Ground (m)": s_flat
})

# Display the DataFrame to the user
tools.display_dataframe_to_user(name="Sliding Distance vs. Slope Angle",
dataframe=df)
```

```
# Return calculated velocity and acceleration for part (a)
v, a
```

Vastaus A.3

Tässä ovat vastaukset tehtävän osiin:

a) Hiihtäjän vauhti mäen lopussa, kun $\alpha = 14°$: Vauhti on noin 9,09 m/s.

b) Hiihtäjän liukumamatka tasamaalla α:n funktiona (9°–45°): Kun kulma on 14 astetta, hiihtäjä liukuu tasamaalla vielä noin 38,25 metriä.

Yllä olevassa kuvaajassa näet liukumamatkan, kun mäen kulma vaihtelee välillä 9–45 astetta. Suurempi mäen kulma tarkoittaa suurempaa loppunopeutta ja siten pidempää liukumamatkaa tasamaalla.

Jos haluat myös taulukon kulmista ja vastaavista liukumamatkoista, voin tehdä senkin!

```
# Instead of looking for an exact match for 14 degrees,
which may not exist due to float precision,
# find the closest index to 14 degrees
closest_index = np.argmin(np.abs(alphas_deg - 14))
v_14 = velocities[closest_index]
distance_14 = distances_flat[closest_index]

v_14, distance_14
```

Vastaus A.4

Vastaukset:

a) Hiihtäjän nopeus mäen lopussa (kun $\alpha = 14°$) Hiihtäjän nopeus mäen lopussa on noin 9,07 m/s.

b) Liukumismatka tasamaalla kulman funktiona ($\alpha = 9°...45°$) Kuvassa näkyy, kuinka hiihtäjän liukumismatka vaakasuoralla tasolla kasvaa mäen kulman α kas-

vaessa. Tämä johtuu siitä, että jyrkemmässä kulmassa hiihtäjä saa enemmän vauhtia alamäkeen.

Jos haluat, voin lisätä kuvaajaan myös viivan tai pisteen osoittamaan esimerkiksi tietyssä kulmassa saavutetun nopeuden tai liukumismatkan. Haluaisitko jotain sellaista?

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Given values
h = 7.5  # height of the hill in meters
mu = 0.11  # coefficient of kinetic friction
g = 9.81  # acceleration due to gravity in m/s^2

# a) Speed at the bottom of the hill for alpha = 14 degrees
alpha_deg = 14
alpha_rad = np.radians(alpha_deg)

# Calculate length of the slope using height and angle: h = L * sin(alpha)
L = h / np.sin(alpha_rad)

# Net acceleration down the slope: a = g*sin(alpha) - mu*g*cos(alpha)
a = g * np.sin(alpha_rad) - mu * g * np.cos(alpha_rad)

# Final speed using v^2 = 2*a*s
v = np.sqrt(2 * a * L)

# b) Plotting distance traveled on flat surface as function of alpha
alphas_deg = np.linspace(9, 45, 500)
alphas_rad = np.radians(alphas_deg)

# Calculate slope length and speed at bottom for each angle
L_all = h / np.sin(alphas_rad)
a_all = g * np.sin(alphas_rad) - mu * g * np.cos(alphas_rad)
v_all = np.sqrt(2 * a_all * L_all)
```

```
# Distance on flat terrain: deceleration due to friction only, a = -mu * g
d_flat = v_all**2 / (2 * mu * g)

# Plotting
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(alphas_deg, d_flat)
plt.title("Hiihtäjän tasamaalla liukumasta matka vs. mäen kulma")
plt.xlabel("Mäen kulma alpha (astetta)")
plt.ylabel("Liukumismatka tasamaalla (m)")
plt.grid(True)
plt.tight_layout()
plt.show()

v
```

Kehote B

ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Hiihtäjä lähtee laskemaan 7,5 m korkean mäen harjalta työntämättä itselleen alkuvauhtia. Mäen kulma vaakatason suhteen on alpha (katso liitetty kuva).Suksen ja lumen välinen liukukitkakerroin on 0,11. Ilmanvastus voidaan jättää huomiotta.
>
> a) Kuinka suuri hiihtäjän vauhti on mäen lopussa, kun alpha on 14 astetta?
>
> b) Hiihtäjä lähtee liukumaan mäkeä alas, mikäli mäen kulma on 9 astetta tai enemmän. Piirrä kuvaaja hiihtäjän tasamaalla liukumasta matkasta mäen kulman alpha funktiona välillä 9...45 astetta.
>
> Perustele molempien kohtien ratkaisut lukion fysiikan sisältöjen avulla. Piirrä voimakuvio, esitä käyttämäsi ratkaisuperiaate ja lähtöyhtälöt, ja esitä suureyhtälö kysytyn suureen suhteen ratkaistuna. Nimeä ja skaalaa kuvaajan akselit tarkoituksenmukaisesti.

Tekoälyn käyttämä kielimalli oli GPT-4o ja kokeen suorituspäivämäärä oli 12.4.2025.

Vastaus B.1

a) Hiihtäjän nopeus mäen lopussa (kulma 14°)

Laskettiin hiihtäjän loppunopeus käyttäen liike- ja voimadynamiikkaa:

- Mäen korkeus: $h = 7.5\,\mathrm{m}$
- Kitkakerroin: $\mu = 0.11$
- Kulma: $\alpha = 14^\circ$
- Painovoima: $g = 9.81\,\mathrm{m/s^2}$

Ratkaisuperiaate:

1. Mäen pituus: $L = \frac{h}{\sin\alpha}$
2. Kiihdytys mäessä: $a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$
3. Nopeus: $v = \sqrt{2aL}$

Lopullinen vauhti on noin: 9.07 m/s

—

b) Hiihtäjän liukumismatka tasamaalla mäen kulman funktiona

Piirrettiin kuvaaja, jossa vaakasuoran liukumismatka riippuu mäen kulmasta välillä 9°–45°.

- Tasamaalla hiihtäjä hidastuu vain kitkan takia: $a = \mu g$
- Käytettiin mäen lopussa laskettua nopeutta lähtönopeutena:

$$d = \frac{v^2}{2\mu g}$$

Kuvaajasta nähdään:

- Mitä jyrkempi mäki, sitä suurempi lähtönopeus → sitä pidempi liukumismatka tasamaalla.
- Kulman kasvaessa 9° → 45°, liukumismatka kasvaa noin 21 metristä yli 60 metriin.

—

Jos haluat, voin piirtää vielä voimakuvion hiihtäjälle ja kirjoittaa tehtävään soveltuvan ratkaisun puhtaaksi kuin se olisi vastauksena kokeeseen. Haluatko?

Vastaus B.2

Hyvä! Katsotaan tehtävää vaiheittain. Kyseessä on klassinen vinoratahiihtäjän liiketarkastelu. Käytetään fysiikan peruslakeja (energian säilyminen ja Newtonin lait), ja sitten piirretään pyytämäsi kuvaaja. Aloitetaan kohdan a) ratkaisulla.

—

Tehtävä a) – Hiihtäjän nopeus mäen lopussa ($\alpha = 14°$)

1. Analyysi ja voimat

Hiihtäjä liukuu alas mäkeä, jonka korkeus $h = 7,5\,\text{m}$. Mäkikulma on $\alpha = 14°$, ja liukukitkakerroin $\mu = 0{,}11$. Ilmanvastusta ei huomioida. Alussa nopeus on nolla.

2. Voimakuvio (laaditaan sanallisesti)

Voimat hiihtäjään:

- Paino: $\vec{G} = mg$, suunta alaspäin
- Tukivoima: kohtisuorassa pintaa vasten
- Liukukitka: vastakkaiseen suuntaan kuin liike, eli mäkeä ylös pitkin pintaa

Paino jaetaan kahteen komponenttiin:

- Pitkin mäkeä: $mg\sin\alpha$
- Mäkitasoa vasten: $mg\cos\alpha$

Kitkavoima: $F_{\text{kitka}} = \mu mg\cos\alpha$

3. Newtonin toinen laki (pitkin mäkeä)

$$F_{\text{netto}} = ma = mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha$$

$$a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$$

4. Mäkiosuuden pituus

Vinon mäen pituus s voidaan laskea korkeuden ja kulman avulla:

$$s = \frac{h}{\sin\alpha} = \frac{7{,}5}{\sin(14°)} \approx 31{,}0\,\text{m}$$

5. Nopeus mäen alaosassa

Liikkeen yhtälö (alkunopeus 0):

$$v^2 = 2as$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) \cdot \frac{h}{\sin\alpha}}$$

Sijoitetaan arvot:

$$v = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot (\sin(14^\circ) - 0{,}11\cos(14^\circ)) \cdot \frac{7{,}5}{\sin(14^\circ)}}$$

Lasketaan:

$$v \approx \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot (0{,}2419 - 0{,}11 \cdot 0{,}9709) \cdot 31{,}0}$$

$$v \approx \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}1351 \cdot 31{,}0} \approx \sqrt{82{,}15} \approx \boxed{9{,}1\,\text{m/s}}$$

—

Tehtävä b) – Tasamaalla liukumismatka kulman funktiona ($\alpha = 9...45^\circ$)

Kun hiihtäjä pääsee mäen alas, hän jatkaa tasamaalla, jossa ei ole enää mäkivoimaa. Jäljelle jää vain liukukitka, joka hidastaa liikettä:

1. Liikkeen tarkastelu tasamaalla

Lähtönopeus on edellisen vaiheen lopussa laskettu:

$$v_0 = \sqrt{2gh(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)/\sin\alpha}$$

Tasamaalla vaikuttaa ainoastaan kitkavoima:

$$F = -\mu mg \Rightarrow a = -\mu g$$

Matka, jonka hiihtäjä liukuu ennen pysähtymistä:

$$v^2 = v_0^2 + 2ad \Rightarrow 0 = v_0^2 - 2\mu g d \Rightarrow d = \frac{v_0^2}{2\mu g}$$

Yhdistetään:

$$d(\alpha) = \frac{1}{2\mu g}\left[\frac{2gh(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{\sin\alpha}\right] = \frac{h(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{\mu\sin\alpha}$$

—

Piirretään kuvaaja välillä $\alpha = 9^\circ \ldots 45^\circ$

Lasketaan $d(\alpha)$ edellisellä kaavalla:

$$d(\alpha) = \frac{7{,}5(\sin\alpha - 0{,}11\cos\alpha)}{0{,}11\sin\alpha}$$

Tämän funktion kuvaaja osoittaa, kuinka paljon hiihtäjä liukuu tasamaalla kulman funktiona.

—

Jatkan nyt laskennalla ja kuvaajan piirtämisellä.

Tässä on kuvaaja hiihtäjän tasamaalla liukumasta matkasta mäen kulman α funktiona (asteina). Huomaa:

- Mitä jyrkempi mäki, sitä suurempi loppunopeus $\rightarrow$ pidempi liukuma.
- Käyrä kasvaa, mutta ei lineaarisesti: alkuvaiheessa kulman lisäys kasvattaa matkaa selvästi enemmän kuin jyrkemmissä kulmissa.

—

Yhteenveto ratkaisuista

a) Hiihtäjän vauhti mäen lopussa, kun $\alpha = 14°$:

$$\boxed{v \approx 9{,}1\,\mathrm{m/s}}$$

b) Liukuma tasamaalla kulman funktiona:

$$d(\alpha) = \frac{7{,}5(\sin\alpha - 0{,}11\cos\alpha)}{0{,}11 \cdot \sin\alpha}$$

(Katso kuvaajaa yllä.)

—

Haluatko myös käsinpiirretyn voimakuvion selityksineen tai havainnollistuksen graafisesti?

Vastaus B.3

Kiitos kuvasta ja tehtävänannosta! Tarkastellaan tehtävää vaiheittain. Kysymys liittyy laskettelijan liikkeeseen mäkeä alas ja siitä edelleen vaakatasolla. Oletetaan, että kyseessä on klassinen liukuvan kappaleen mekaniikkatehtävä, jossa hyödynnetään lukion fysiikan sisältöjä: mekaanista energiaa, Newtonin II lakia ja kitkavoimia.

—

a) Laskettelijan vauhti mäen lopussa ($\alpha = 14°$, h = 7,5 m)

1. Periaate: Käytetään mekaanisen energian säilymistä ja huomioidaan kitkavoima työnä, joka vie energiaa pois järjestelmästä. Oletetaan, että ilmanvastus on merkityksetön.

2. Lähtöyhtälö: Kokonaisenergia alussa = kokonaisenergia lopussa + kitkatyö:

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + F_{\text{kitka}} \cdot s$$

Missä:

- m = massa (supistuu pois)
- $g = 9{,}81$ m/s^2
- $h = 7,5$ m
- v = loppunopeus
- $F_{\text{kitka}} = \mu N = \mu mg \cos\alpha$
- s = mäen pituus = $\frac{h}{\sin\alpha}$

3. Ratkaisu loppunopeudelle:

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \mu mg\cos\alpha \cdot \frac{h}{\sin\alpha}$$

Supistetaan m pois ja ratkaistaan v:

$$gh = \frac{1}{2}v^2 + \mu gh \cdot \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} \Rightarrow \frac{1}{2}v^2 = gh - \mu gh \cdot \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}$$

$$v = \sqrt{2gh\left(1 - \mu \cdot \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}\right)}$$

4. Numerot sisään:

- $g = 9.81$
- $h = 7.5$
- $\mu = 0.11$

- $\alpha = 14^\circ \Rightarrow \sin\alpha \approx 0.2419, \cos\alpha \approx 0.9709$

$$v = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 7.5 \cdot \left(1 - 0.11 \cdot \frac{0.9709}{0.2419}\right)} = \sqrt{147.15 \cdot (1 - 0.441)} \approx \sqrt{147.15 \cdot 0.559}$$

$$v \approx \sqrt{82.2} \approx \boxed{9.07 \text{ m/s}}$$

—

b) Hiihtäjän liukumismatka tasamaalla kulman funktiona

Kun hiihtäjä pääsee mäen alas, hänellä on nopeus v. Tasamaalla häneen vaikuttaa enää kitkavoima, joka hidastaa liikkeen pysähdyksiin.

1. Periaate:

Tasamaalla Newtonin II laki ja liike-energia:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \mu mgs \Rightarrow s = \frac{v^2}{2\mu g}$$

Käytetään aiemmin johdettua lauseketta $v^2 = 2gh\left(1 - \mu \cdot \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}\right)$, ja sijoitetaan se:

$$s = \frac{2gh\left(1 - \mu \cdot \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}\right)}{2\mu g} = \frac{h}{\mu}\left(1 - \mu \cdot \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}\right)$$

Tämä on suoraan liukumismatkan lauseke kulman funktiona!

—

2. Kuvaaja:

- x-akseli: mäen kulma α (astetta), välillä 9°–45° - y-akseli: tasamaalla liukumismatka s (metreinä)

Piirrän sinulle kuvaajan tästä.

Tässä on kuvaaja, joka esittää hiihtäjän liukumismatkan tasamaalla mäen kulman α funktiona väliltä 9°–45°.

Havainnot:

- Mitä jyrkempi mäki (suurempi α), sitä pidemmälle hiihtäjä liukuu tasamaalla.

- Tämä johtuu siitä, että suurempi kulma tuottaa suuremman nopeuden mäen lopussa, mikä lisää liike-energiaa tasamaalle tullessa.

—

Yhteenveto:

a) Loppunopeus 14° mäessä:

Laskettu kaavalla:

$$v = \sqrt{2gh\left(1 - \mu \cdot \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}\right)} \approx \boxed{9.07\ \text{m/s}}$$

b) Liukumismatka tasamaalla kulman funktiona:

Kuvaaja piirrettynä kaavasta:

$$s = \frac{h}{\mu}\left(1 - \mu \cdot \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}\right)$$

Jos haluat, voin myös piirtää voimakuvion hiihtäjälle mäessä ja/tai tasamaalla. Haluatko sen mukaan?

Vastaus B.4

Tämä tehtävä käsittelee klassista mekaniikkaa – erityisesti liukumista kaltevalla tasolla ja energian säilymistä kitkan vaikutuksesta. Käytetään lukion fysiikan tietoja ratkaisuun.

Lähtötiedot:

- Mäen korkeus $h = 7{,}5\,\text{m}$
- Kulma α
- Liukukitkakerroin $\mu = 0{,}11$
- Ilmanvastus ei vaikuta
- Alkuvauhti: 0 m/s

—

a) Hiihtäjän nopeus mäen lopussa, kun $\alpha = 14°$

1. Ratkaisuperiaate:

Käytetään energiaperiaatetta, jossa potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi ja kitkaksi:

$$E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{kitka}}$$

2. Lähtöyhtälöt:

- Potentiaalienergia: $E_{\text{pot}} = mgh$
- Liike-energia: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$
- Kitkan tekemä työ: $W_{\text{kitka}} = \mu mg\cos\alpha \cdot s$

Missä:

- $s = \frac{h}{\sin\alpha}$ (mäen pituus trigonometrisesti)
- m supistuu pois yhtälöstä

3. Yhtälö nopeudelle:

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \mu mg\cos\alpha \cdot \frac{h}{\sin\alpha}$$
$$gh = \frac{1}{2}v^2 + \mu g\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} \cdot h$$
$$v = \sqrt{2gh\,(1 - \mu\cot\alpha)}$$

4. Lasketaan:

- $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$
- $h = 7{,}5\,\text{m}$
- $\mu = 0{,}11$
- $\alpha = 14° \Rightarrow \cot\alpha = \frac{1}{\tan(14°)} \approx 4{,}005$

$$v = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 7{,}5 \cdot (1 - 0{,}11 \cdot 4{,}005)}$$
$$v = \sqrt{147{,}15 \cdot (1 - 0{,}4405)} = \sqrt{147{,}15 \cdot 0{,}5595} \approx \sqrt{82{,}3} \approx \boxed{9{,}07\,\text{m/s}}$$

—

b) Kuvaaja liukumamatkasta tasamaalla kulman funktiona (9°–45°)

1. Ratkaisuperiaate:

Mäen jälkeen hiihtäjä jatkaa liikettä vaakasuoralla tasolla, mutta pysähtyy kitkan takia. Energia liikkeeseen tulee mäen korkeuserosta ja menetetään tasamaalla kitkavoiman tekemässä työssä.

2. Lähtöyhtälöt:

- Energiaperiaate: $\frac{1}{2}mv^2 = \mu mgs$
- Nopeus mäen lopussa (ilman ilmanvastusta):

$$v = \sqrt{2gh\,(1 - \mu \cot \alpha)}$$

- Liukumismatka tasamaalla:

$$s = \frac{v^2}{2\mu g} = \frac{2gh(1 - \mu \cot \alpha)}{2\mu g} = \frac{h(1 - \mu \cot \alpha)}{\mu}$$

3. Lopullinen suureyhtälö:

$$s(\alpha) = \frac{h(1 - \mu \cot \alpha)}{\mu}$$

4. Piirretään kuvaaja välillä $\alpha = 9° ... 45°$

Luodaan taulukko- ja kuvaaja-arvot ja piirretään kuvaaja.

Voimakuvio: Kaltevalla tasolla:

- Paino: mg, jakautuu komponentteihin:
  - Alaspäin rinnettä: $mg \sin \alpha$
  - Normaali: $mg \cos \alpha$
- Kitkavoima: $F_{\text{kitka}} = \mu mg \cos \alpha$, vastustaa liikettä

—

Lasketaan arvot ja piirretään kuvaaja seuraavaksi.

Yhteenveto vastauksista:

a) Kun mäen kulma on 14°, hiihtäjän nopeus mäen lopussa on noin 9,07 m/s.

b) Liukumismatka tasamaalla kasvaa kulman kasvaessa ja voidaan mallintaa funktiolla:

$$s(\alpha) = \frac{h(1 - \mu \cot \alpha)}{\mu}$$

Kuvaaja ja taulukko näyttävät, kuinka suuremmalla kulmalla saatu alkunopeus johtaa pidempään liukumiseen vaakatasossa.

Jos haluat, voin myös piirtää voimakuvion tai laatia tehtävästä täydellisen vastauksen lukion fysiikan tehtäväksi Word- tai PDF-muotoon. Haluatko?

Kehote C

ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Piirrä voimakuvio selityksineen ja laadi vielä täydellinen vastaus lukion fysiikan tehtäväksi latex-formaatissa

Tekoälyn käyttämä kielimalli oli GPT-4o ja kokeen suorituspäivämäärä oli 12.4.2025.

ChatGPT:n tuottama mallivastaus ja siihen liittyvät kuvat on esitetty kappaleessa 4.3.5 (sivu 57).

Voimakuvioiden eri versiot on esitetty kuvassa 4.6 (sivu 58).

Vastaus C.1

Täydellinen LaTeX-vastaus lukion fysiikan tehtävään on nyt laadittu, sisältäen:

- Ratkaisuperiaatteet ja kaavat
- Nopeuden ja matkan laskut
- Voimakuvio selityksineen
- Kuvaajaviittaus

Jos haluat, voin myös kääntää tämän PDF-muotoon tai auttaa lisää esimerkiksi malliratkaisun selittämisessä oppilaalle. Haluatko PDF-version?

Lisäkysymys ja vastaus C.2

Edellisen vastauksen jälkeen ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Piirrä voimakuvio niin, että vektoreiden täsmälliset sijainnit ja mittasuhteet ovat oikeat. Lisää myös selitykset voimille.

—

Tässä on tarkasti mittasuhteisiin perustuva voimakuvio hiihtäjästä kaltevalla tasolla kulmassa $\alpha = 14°$. Jokainen voima on esitetty oikeaan suuntaan ja mittakaavassa:

Voimien selitykset:

- (sininen) $\vec{G} = mg$: Painovoima vetää hiihtäjää kohtisuoraan alaspäin.
- (punainen) $mg \sin \alpha$: Painon komponentti rinteen suuntaisesti, aiheuttaa kiihtyvyyden alaspäin.
- (vihreä) $mg \cos \alpha$: Painon komponentti kohtisuoraan rinteeseen, vastaa normaalivoiman suuruutta.
- (oranssi) $\vec{F}_{\text{kitka}} = \mu mg \cos \alpha$: Kitkavoima vaikuttaa rinnettä ylöspäin ja hidastaa liikettä.

Jos haluat, voin lisätä tämän kuvan automaattisesti LaTeX-vastaukseen ja viedä sen PDF:ksi – haluatko minun tekevän niin?

Lisäkysymys ja vastaus C.3

Edellisen vastauksen jälkeen ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Voimien suunnat eivät ole ihan oikein. Kiinnitä niihin huomiota ja päivitä kuvio.

—

Tässä on päivitetty ja geometrisesti täsmällinen voimakuvio:

Voimien suunnat ja merkitykset:

- (sininen) $\vec{G} = mg$: Painovoima vaikuttaa suoraan alaspäin.
- (punainen) $mg \sin \alpha$: Rinteen suuntainen komponentti, aiheuttaa kiihtyvyyttä rinnettä alas.
- (vihreä) $mg \cos \alpha$: Rinteen normaalisuuntainen komponentti, vastaa tukivoimaa.
- (oranssi) $\vec{F}_{\text{kitka}} = \mu mg \cos \alpha$: Kitkavoima, joka vastustaa liikettä ja osoittaa rinnettä ylöspäin.

Jos haluat, voin nyt:

- Liittää tämän kuvan LaTeX-vastaukseen ja luoda siitä PDF:n.
- Tai viedä pelkän voimakuvion korkealaatuisena kuvana latausta varten.

Kumpi kiinnostaa?

Lisäkysymys ja vastaus C.4

Edellisen vastauksen jälkeen ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Lisää voimakuvioon vielä hiihtäjään kohdistuva tukivoima

—

Nyt voimakuvioon on lisätty myös tukivoima $\vec{N}$, joka on:

- (violetti) $\vec{N}$: Rinteestä hiihtäjään kohdistuva tukivoima, joka on yhtä suuri mutta vastakkaissuuntainen kuin painon normaalikomponentti $mg\cos\alpha$. Se estää hiihtäjää "uppoamasta"mäkeen.

Kuviossa on nyt kaikki merkittävät voimat kaltevalla tasolla:

- (sininen) Paino $\vec{G}$
- (punainen) Painon rinnesuunta $mg\sin\alpha$
- (vihreä) Painon normaalikomponentti $mg\cos\alpha$
- (oranssi) Kitkavoima $\vec{F}_{\text{kitka}}$
- (violetti) Tukivoima $\vec{N}$

Jos haluat, voin nyt lisätä tämän päivitetyn kuvan suoraan LaTeX-vastaukseen ja tehdä siitä valmiin PDF:n. Jatketaanko siihen?

Liite 4. Lisämateriaali: Mittaustulosten analyysi

Laskutehtävän ratkaisemisessa käytettiin tutkimusmateriaalina syksyn 2021 ylioppilaskokeen tehtävää, jossa täytyi piirtää mittaustuloksista kuvaaja ja analysoida sulkapallon liikettä mittaustulosten perusteella.

Tässä liitteessä esitetään annetut kehotteet ja vastaukset, jotka saatiin käyttämällä kielimallia GPT-4o. Kokeet suoritettiin 12.4.2025.

Kehote A

ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Sulkapalloa lyötiin suuressa hallissa voimakkaasti ylöspäin. Sulkapalloon vaikuttaa olennaisesti kaksi voimaa: Maan siihen kohdistama paino sekä ilmanvastus, joka on verrannollinen sulkapallon nopeuden neliöön. Sulkapallon mitattu nopeus ajan funktiona on liitteenä. Sulkapallon massa on 4,8 g ja poikkipinta-ala A on 0,0030 m^2.
>
> Esitä graafisesti sulkapallon mitattu nopeus ajan funktiona. Esitykseen ei tarvitse tehdä graafista tasoitusta. Päättele graafisesta esityksestä, millä hetkellä sulkapallo on korkeimmillaan. Millä aikavälillä pallon nopeus on likimain vakio?
>
> Ilmanvastuksen suuruudelle F_D pätee malli
>
> $$F_D = \frac{1}{2} C \rho A v^2$$
>
> jossa C on kappaleen muodosta riippuva kerroin, ρ on ilman tiheys (1,22 $\mathrm{kg/m}^3$), A on kappaleen poikkipinta-ala ja v on kappaleen nopeus. Tarkastele aikaväliä, jolla pallon nopeus on likimain vakio. Määritä kerroin C kokeessa käytetylle sulkapallolle.

Kehotteen liitteenä oli tiedosto, joka sisälsi mittaustulokset sulkapallon nopeudesta ajan funktiona.

Tekoälyn käyttämä kielimalli oli GPT-4o ja kokeen suorituspäivämäärä oli 12.4.2025.

ChatGPT:n tuottama kuvaaja mittaustuloksista on esitetty kuvassa 4.7 (sivu 62).

Vastaus A.1

Tässä on graafinen esitys sulkapallon nopeudesta ajan funktiona. Nopeudesta voidaan päätellä seuraavaa:

Milloin sulkapallo on korkeimmillaan?

Sulkapallo on korkeimmillaan silloin, kun sen nopeus on nolla (tai lähimpänä nollaa). Tarkastellaan tätä seuraavaksi tarkemmin numeerisesti.

Millä aikavälillä nopeus on likimain vakio?

Graafista näkyy, että nopeus on melko tasainen ja pieni aikavälillä, jossa sulkapallo on laskeutumassa ja ilmanvastus tasapainottaa painon. Tämä vastaa tilannetta, jossa sulkapallo saavuttaa terminaalinopeuden. Selvitetään nämä tarkemmin.

```
# Rename columns for easier access
data = xls.rename(columns={"t [s]": "time", "v [m/s]": "velocity"})

# Plotting the velocity vs. time graph
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(data["time"], data["velocity"], marker="o")
plt.title("Sulkapallon nopeus ajan funktiona")
plt.xlabel("Aika (s)")
plt.ylabel("Nopeus (m/s)")
plt.grid(True)
plt.show()
```

Sulkapallon liikkeestä voidaan päätellä seuraavaa:

- Korkeimmalla kohdalla sulkapallo on noin ajassa 0,917 sekuntia, jolloin sen nopeus on lähimpänä nollaa (n. 0,052 m/s).
- Aikavälillä 0,15 s – 2,81 s sulkapallon nopeus on likimain vakio. Tällöin voidaan olettaa, että se on saavuttanut terminaalinopeuden, jolloin ilmanvastus tasapainottaa painon.

Seuraavaksi määritetään ilmanvastuskerroin C tällä aikavälillä.

```
# Etsitään hetki, jolloin nopeus on lähimpänä nollaa
```

```
min_speed_idx = data["velocity"].abs().idxmin()
time_at_peak = data.loc[min_speed_idx, "time"]
velocity_at_peak = data.loc[min_speed_idx, "velocity"]

# Etsitään aikaväli, jolla nopeus on likimain vakio
# Tehdään yksinkertainen tarkastelu:
# nopeuden muutokset peräkkäisissä mittauksissa
data["dv"] = data["velocity"].diff().abs()
# Aikaväli, jolla peräkkäiset muutokset ovat pieniä (esim. alle 0.5 m/s)
steady_state = data[data["dv"] < 0.5]

import ace_tools as tools;
tools.display_dataframe_to_user(name="Nopeustiedot", dataframe=data)

(time_at_peak, velocity_at_peak,
steady_state["time"].min(), steady_state["time"].max())
```

Ilmanvastuskerroin C kokeessa käytetylle sulkapallolle on noin 7,79.

Tämä on melko suuri arvo, mikä on odotettavissa, koska sulkapallo on kevyt ja sen muoto aiheuttaa paljon ilmanvastusta. Haluatko vielä esimerkiksi tarkastella sulkapallon korkeutta ajan funktiona tai tehdä lisäanalyysejä?

```
# Vakioarvot
mass_kg = 4.8e-3  # kg
g = 9.81  # m/s²
rho = 1.22  # kg/m³
A = 0.0030  # m²

# Terminaalinopeus: oletetaan keskiarvoksi vakaalla aikavälillä
v_terminal = steady_state["velocity"].mean()

# Ilmanvastus voiman suuruus on tällöin yhtä suuri kuin paino: F_D = mg
F_D = mass_kg * g

# Lasketaan ilmanvastuskerroin C kaavasta:
```

```
# F_D = 0.5 * C * rho * A * v^2
C = (2 * F_D) / (rho * A * v_terminal**2)

C
```

Vastaus A.2

Graafista nähdään seuraavaa:

1. Milloin sulkapallo on korkeimmillaan?

Sulkapallo on korkeimmillaan siinä kohdassa, jossa sen nopeus on 0 m/s (tai kääntymässä negatiiviseksi). Nopeus ei ehkä ehdi tarkalleen nollaan, mutta sen pienin arvo on korkeuden maksimihetki.

Jos katsotaan graafia:

- Nopeus vähenee nopeasti alkuvaiheessa, kun sulkapallo nousee.
- Nopeus käy minimiarvossa suunnilleen ajalla 0,23 s, jonka jälkeen se alkaa kasvaa negatiivisena (eli sulkapallo putoaa).

Johtopäätös: Sulkapallo on korkeimmillaan noin 0,23 s kohdalla.

—

2. Millä aikavälillä pallon nopeus on likimain vakio?

Graafissa näkyy, että nopeus muuttuu selvästi suurimmaksi osaksi aikaa. Mutta:

- Noin ajalla 0,33–0,43 s nopeus pysyy melko tasaisena välillä -10...-11 m/s.

Johtopäätös: Pallon nopeus on likimain vakio aikavälillä 0,33–0,43 s.

—

Haluatko nyt, että määritetään ilmanvastuskerroin C tuolla tasaisen nopeuden aikavälillä? Tarvitaan massa, A, ilman tiheys ja keskimääräinen vakiovaiheen nopeus.

```
import matplotlib.pyplot as plt

# Extract time and velocity columns
time = data["t [s]"]
```

```
velocity = data["v [m/s]"]

# Plotting the velocity vs time
plt.figure(figsize=(8, 5))
plt.plot(time, velocity, marker='o', linestyle='-')
plt.title("Sulkapallon nopeus ajan funktiona")
plt.xlabel("Aika (s)")
plt.ylabel("Nopeus (m/s)")
plt.grid(True)
plt.show()
```

Vastaus A.3

Kuvasta voidaan tehdä seuraavat havainnot:

- Korkein kohta: Sulkapallo on korkeimmillaan silloin, kun nopeus on nolla eli käy nollassa. Nopeus vaihtaa tällöin merkkiä positiivisesta (ylöspäin) negatiiviseksi (alaspäin). Nopeus käy nollassa noin 0,23 sekunnin kohdalla – tämä on siis hetki, jolloin sulkapallo on korkeimmillaan.
- Vakionopeusvaihe: Pallon nopeus on likimain vakio noin välillä 0,35 s – 0,45 s, jolloin nopeus on lähes vakio ja negatiivinen (eli pallo putoaa alaspäin tasaisella nopeudella). Tämä viittaa siihen, että ilmanvastus on tällöin tasapainossa painon kanssa, eli kappale on saavuttanut terminaalinopeuden.

Seuraavaksi lasketaan ilmanvastuskertoimen C arvo kyseiselle sulkapallolle vakionopeusvaiheen avulla.

```
import matplotlib.pyplot as plt

# Rename columns for easier access
df.columns = ['time_s', 'velocity_mps']

# Plotting the measured velocity as a function of time
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(df['time_s'], df['velocity_mps'], marker='o')
plt.title('Sulkapallon nopeus ajan funktiona')
```

```
plt.xlabel('Aika (s)')
plt.ylabel('Nopeus (m/s)')
plt.grid(True)
plt.show()
```

Ilmanvastuskerroin C sulkapallolle kokeen perusteella on noin 0,56.

Tämä on järkevä arvo, koska sulkapallo on muodoltaan hyvin epäaerodynaaminen ja siksi ilmanvastus on merkittävä. Jos haluat, voin myös piirtää kuvaajan, jossa näkyy, milloin terminaalinopeus saavutetaan. Haluatko?

```
# Suodatetaan data aikavälille 0.35 s - 0.45 s,
# jolla nopeus on likimain vakio
steady_phase = df[(df['time_s'] >= 0.35) & (df['time_s'] <= 0.45)]

# Lasketaan keskimääräinen nopeus tällä aikavälillä
v_terminal = steady_phase['velocity_mps'].mean()

# Tunnetut arvot
m = 0.0048  # massa kilogrammoina
g = 9.81  # painovoima m/s^2
rho = 1.22  # ilman tiheys kg/m^3
A = 0.0030  # poikkipinta-ala m^2

# Painovoima (alaspäin)
G = m * g

# Ilmanvastusvoiman mallista ratkaistuna C:
# G = 0.5 * C * rho * A * v^2 -> C = (2 * G) / (rho * A * v^2)
C = (2 * G) / (rho * A * v_terminal**2)
C
```

Vastaus A.4

Graafista voidaan tehdä seuraavat havainnot:

Korkein kohta:

Sulkapallo on korkeimmillaan, kun sen nopeus on hetkellisesti 0 m/s (eli se vaihtaa suuntaa ylöspäin liikkeestä alaspäin). Tämä tapahtuu suurin piirtein noin kohdassa 0,23 s, jolloin nopeus käy lähes nollassa ja alkaa sitten kasvaa negatiiviseksi (eli alaspäin suuntautuvaksi).

Nopeuden vakio alue:

Graafista näkyy, että nopeus on melko vakio noin välillä 0,35 s – 0,45 s, jolloin sulkapallo liikkuu alaspäin vakionopeudella. Tällöin ilmanvastus tasapainottaa painovoiman – sulkapallo on saavuttanut likimääräisen rajoittuvan putoamisnopeuden (terminal velocity).

Seuraavaksi lasketaan ilmanvastuskerroin C tällä vakionopeuden alueella.

```
import matplotlib.pyplot as plt

# Rename columns for easier access
ods_data.columns = ['t', 'v']

# Plotting the velocity vs time graph
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(ods_data['t'], ods_data['v'], marker='o')
plt.title("Sulkapallon nopeus ajan funktiona")
plt.xlabel("Aika (s)")
plt.ylabel("Nopeus (m/s)")
plt.grid(True)
plt.show()
```

Ilmanvastuskerroin C kokeessa käytetylle sulkapallolle on noin 0,56.

Tämä on varsin järkevä arvo ottaen huomioon sulkapallon muodon ja sen aiheuttaman suuren ilmanvastuksen. Jos haluat, voin vielä arvioida muita parametreja tai auttaa analyysin jatkamisessa.

```
# Määritellään vakionopeuden aikaväli
constant_velocity_data
```

```
    = ods_data[(ods_data['t'] >= 0.35) & (ods_data['t'] <= 0.45)]

# Lasketaan keskimääräinen nopeus tältä alueelta
v_avg = constant_velocity_data['v'].mean()

# Tunnetut arvot
m = 0.0048  # kg
g = 9.81  # m/s^2
rho = 1.22  # kg/m^3
A = 0.0030  # m^2

# Lasketaan ilmanvastuskerroin C tasapainotilassa:
# F_D = mg = (1/2) * C * rho * A * v^2

FD = m * g
C = (2 * FD) / (rho * A * v_avg**2)
C
```

Kehote B

ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Sulkapalloa lyötiin suuressa hallissa voimakkaasti ylöspäin. Sulkapalloon vaikuttaa olennaisesti kaksi voimaa: Maan siihen kohdistama paino sekä ilmanvastus, joka on verrannollinen sulkapallon nopeuden neliöön. Sulkapallon mitattu nopeus ajan funktiona on liitteenä. Sulkapallon massa on 4,8 g ja poikkipinta-ala A on 0,0030 m^2.
>
> Esitä graafisesti sulkapallon mitattu nopeus ajan funktiona. Älä yhdistä mittauspisteitä toisiinsa murtoviivalla. Päättele graafisesta esityksestä, millä hetkellä sulkapallo on korkeimmillaan ja millä aikavälillä pallon nopeus on likimain vakio. Hyödynnä analyyseissä suoran sovittamista mittauspisteisiin. Muista, että mittaustulokset esittävät nopeutta ajan funktiona.
>
> Ilmanvastuksen suuruudelle F_D pätee malli
>
> $$F_D = \frac{1}{2} C \rho A v^2$$

jossa C on kappaleen muodosta riippuva kerroin, ρ on ilman tiheys (1,22 kg/m^3), A on kappaleen poikkipinta-ala ja v on kappaleen nopeus. Tarkastele aikaväliä, jolla pallon nopeus on likimain vakio. Määritä kerroin C kokeessa käytetylle sulkapallolle.

Esitä tarvittavat suureyhtälöt ja matemaattinen analyysi vastauksessa.

Kehotteen liitteenä oli tiedosto, joka sisälsi mittaustulokset sulkapallon nopeudesta ajan funktiona.

Tekoälyn käyttämä kielimalli oli GPT-4o ja kokeen suorituspäivämäärä oli 12.4.2025.

ChatGPT:n tuottama kuvaaja mittaustuloksista on esitetty kuvassa 4.8 (sivu 63) ja kuvaaja suoran sovittamisesta tuloksiin on esitetty kuvassa 4.9 (sivu 64).

Vastaus B.1

Yllä oleva graafi näyttää sulkapallon nopeuden ajan funktiona:

Havainnot:

1. Korkein kohta: Sulkapallo on korkeimmillaan, kun sen nopeus on nolla (eli hetki, jolloin nopeus vaihtaa merkkiä positiivisesta negatiiviseen). Tässä mittauksessa pienin nopeus (lähellä nollaa) osuu noin kohtaan t $\approx$ 0.21 s.
2. Vakionopeuden aikaväli: Pallon nopeus on suunnilleen vakio (eli laskee hyvin lineaarisesti) aikavälillä t $\approx$ 0.01 s – 0.09 s. Tämä tarkoittaa, että ilmanvastus ei vielä dominoinut, vaan liike oli melko tasaisesti hidastuvaa, mahdollisesti pääosin painovoiman vaikutuksesta.

Seuraavaksi sovitetaan suora tähän aikaväliin ja lasketaan ilmanvastuskerroin C.

```
import matplotlib.pyplot as plt

# Extract the data from the sheet
df = xls["Taulukko1"]
df.columns = ["t", "v"]  # Rename for simplicity

# Plot the data points
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(df["t"], df["v"], label="Mitattu nopeus", s=50)
```

```
plt.title("Sulkapallon nopeus ajan funktiona")
plt.xlabel("Aika (s)")
plt.ylabel("Nopeus (m/s)")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()
```

Suoran sovituksen perusteella aikavälillä 0.01 s – 0.09 s:

- Nopeuden muutosnopeus eli kiihtyvyys on noin –142,71 m/s^2.

Tämä tarkoittaa, että sulkapallon nopeus hidastuu voimakkaasti ylöspäin lentäessään.

—

Ilmanvastuskertoimen C määritys

Tässä kohtaa ilmanvastusvoima tasapainottaa painovoiman, ja kokonaiskiihtyvyys voidaan ilmaista seuraavasti:

1. Newtonin toinen laki:

$$ma = -mg - F_D$$

$$a = -g - \frac{F_D}{m}$$

2. Ilmanvastus:

$$F_D = \frac{1}{2} C \rho A v^2$$

Yhdistetään nämä:

$$a = -g - \frac{1}{2} \cdot \frac{C \rho A v^2}{m}$$

Ratkaistaan tästä C:

$$C = \frac{2m(a+g)}{\rho A v^2}$$

Käytetään keskimääräistä nopeutta aikaväliltä 0.01–0.09 s ja sijoitetaan kaikki arvot.

```
import numpy as np
from scipy.stats import linregress

# Rajataan aikaväli, jossa nopeus on likimain vakio (0.01 s - 0.09 s)
```

```
subset = df[(df["t"] >= 0.01) & (df["t"] <= 0.09)]

# Suoran sovitus
slope, intercept, r_value, p_value, std_err
    = linregress(subset["t"], subset["v"])

# Sovitettu suora
subset["v_fit"] = slope * subset["t"] + intercept

# Plottaus
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(subset["t"], subset["v"], label="Mitattu nopeus", s=50)
plt.plot(subset["t"], subset["v_fit"], label=f"Sovitus:
    v = {slope:.2f}t + {intercept:.2f}", color='orange')
plt.title("Suoran sovitus aikavälillä 0.01 s -- 0.09 s")
plt.xlabel("Aika (s)")
plt.ylabel("Nopeus (m/s)")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()

# Näytetään suoran kulmakerroin (kiihtyvyys)
slope
```

Laskettu ilmanvastuskerroin C sulkapallolle on noin –0,56.

Koska C ei voi fysikaalisesti olla negatiivinen, tämä viittaa siihen, että käytetty aikaväli ei vielä ole puhtaasti ilmanvastuksen hallitsemaa – sulkapallo on todennäköisesti yhä nousemassa ylös, ja ilmanvastus ei täysin tasapainota painovoimaa. Tämä tekee tuloksesta vähemmän luotettavan ilman suurempaa erotusta voimista.

—

Yhteenveto:

- Korkein kohta: noin t = 0.21 s
- Nopeus vakioimaisimmillaan: aikavälillä 0.01 – 0.09 s

- Sovitettu kiihtyvyys: noin –142,7 m/s^2
- Arvioitu ilmanvastuskerroin C: ≈ 0.56 (ottaen huomioon etumerkin virheen)

Haluatko, että tarkastellaan laskevaa liikettä (t > 0.21 s), jossa ilmanvastus voi olla merkittävämpi ja antaa paremman arvion C:lle?

Lisäkysymys ja vastaus B.2

Edellisen vastauksen jälkeen ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Tarkastele edellistä vastaustasi kriittisesti ja etsi siitä virheitä tai ristiriitaisuuksia. Muodosta sitten uusi vastaus.

—

Hyvä huomio – tarkastellaanpa edellistä vastausta kriittisesti ja korjataan mahdolliset virheet tai ristiriidat.

—

Kriittinen tarkastelu aiemmasta analyysistä

1. Virheellinen oletus liiketilasta

Edellinen analyysi käytti aikaväliä 0.01–0.09 s, jolloin sulkapallo oli vielä menossa ylöspäin. Tässä tilanteessa paino ja ilmanvastus vaikuttavat samaan suuntaan (alaspäin), ja kiihtyvyys on suurempi kuin pelkkä painovoima.

Tässä vaiheessa:

$$ma = -mg - F_D \Rightarrow a = -g - \frac{F_D}{m}$$

Tämä osuus oli sinänsä oikein johdettu, mutta ilmanvastus ei vielä ollut tasapainottamassa painoa – joten ei voida käyttää tätä osuutta yksin C:n laskemiseen ilman lisätietoa siitä, kuinka suuri osa kokonaiskiihtyvyydestä johtuu ilmanvastuksesta.

2. Ilmanvastuskertoimen negatiivisuus

Aiemmin saatu ilmanvastuskerroin oli negatiivinen, mikä on fysikaalisesti mahdotonta. Tämä johtuu siitä, että käytetty kiihtyvyys oli liian suuri ja negatiivinen, koska sekä paino että ilmanvastus vetävät sulkapalloa alaspäin ylöspäin mentäessä.

Ilmanvastus vaikuttaa aina liikettä vasten – mutta laskukaavassa tarvitaan vain sen suuruus, ei suunnan mukana tulevaa miinusmerkkiä.

3. Parempi lähestymistapa

Sulkapallon ollessa laskeutumassa, tilanne on fysikaalisesti käyttökelpoisempi, koska silloin painovoima vetää alaspäin ja ilmanvastus vastustaa liikettä ylöspäin. Jos sulkapallo on jo saavuttanut terminaalinopeuden, kokonaiskiihtyvyys on nolla, ja tällöin:

$$F_D = mg \Rightarrow \frac{1}{2}C\rho Av^2 = mg \Rightarrow C = \frac{2mg}{\rho Av^2}$$

Tätä voidaan käyttää, jos löytyy aikaväli, jolloin nopeus on vakio → tämä tarkoittaa, että nettokiihtyvyys = 0.

—

Korjattu lähestymistapa:

1. Tarkastellaan aikaväliä laskevan liikkeen aikana (noin t = 0.25–0.35 s).
2. Etsitään kohta, jossa nopeus on likimain vakio (pieni muutosnopeus).
3. Lasketaan C käyttäen edellä mainittua tasapainotilaa: $\frac{1}{2}C\rho Av^2 = mg$

Jatketaanko tällä korjatulla menetelmällä ja etsitään se sopiva aikaväli laskemiseksi?

Lisäkysymys ja vastaus B.3

Edellisen vastauksen jälkeen ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Mieti vielä tarkemmin, miten nopeuden etumerkki, suuruus ja liikkeen suunta liittyvät toisiinsa. Tulkitse tämän jälkeen kuvaajaa uudelleen ja muotoile vastauksesi uudelleen.

—

Tämä on erinomainen hetki pysähtyä ja tarkastella asiaa fysikaalisesti ja loogisesti johdonmukaisesti – erityisesti suhteessa nopeuden etumerkkiin, suuntaan ja siihen, mitä kuvaajasta todella voidaan päätellä. Muodostetaan nyt eheä, virheetön ja hyvin perusteltu vastaus.

—

Liikkeen suunta, nopeus ja etumerkki

Sulkapallon nopeus on esitetty ajan funktiona. Tässä:

- Nopeus on positiivinen, kun sulkapallo liikkuu ylöspäin (koska alussa lyödään se ylös).
- Nopeus muuttuu ajan myötä – pienenee, menee nollaan ja alkaa sitten negatiiviseksi, kun pallo alkaa tulla alas.
- Hetki, jolloin nopeus on nolla, on sulkapallon korkein kohta.
- Nopeuden etumerkki kertoo suunnan, suuruus kertoo liikenopeuden.

—

Tulkinta kuvaajasta (uudelleen)

Kuvaajasta voidaan nähdä:

1. Alkuvaihe (0.01–0.21 s)

Nopeus positiivinen mutta laskee jyrkästi → pallo nousee, mutta hidastuu → vaikutuksessa paino + ilmanvastus alaspäin.

2. Kohta t ≈ 0.21 s:

Nopeus on lähellä nollaa → liike vaihtuu → pallo on korkeimmillaan.

3. Aikaväli n. 0.23–0.33 s:

Nopeus negatiivinen ja likimain vakio → pallo putoaa alaspäin vakionopeudella → tasapainotila, jossa paino = ilmanvastus.

—

Ilmanvastuskertoimen C määritys oikealla aikavälillä

Tarkastellaan siis laskevaa liikettä (nopeus negatiivinen ja vakio) aikavälillä 0.23–0.33 s.

Lasketaan C tilanteessa, jossa:

$$F_D = mg \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{2}C\rho Av^2 = mg \quad \Rightarrow \quad C = \frac{2mg}{\rho Av^2}$$

Tässä käytetään nopeuden itseisarvoa, koska ilmanvastus riippuu nopeuden suuruudesta, ei suunnasta.

—

Tarvittavat arvot:

- $m = 4.8\,\mathrm{g} = 0.0048\,\mathrm{kg}$
- $g = 9.81\,\mathrm{m/s^2}$
- $\rho = 1.22\,\mathrm{kg/m^3}$
- $A = 0.0030\,\mathrm{m^2}$
- $v =$ nopeuden itseisarvon keskiarvo välillä 0.23–0.33 s

Lasketaan seuraavaksi.

Korjattu ja fysikaalisesti oikein johdettu vastaus

Korkein kohta: Sulkapallo saavuttaa korkeimman kohdan hetkellä t $\approx$ 0.21 s, jolloin nopeus on nolla ja liike vaihtuu ylöspäin suuntautuneesta alaspäin.

Nopeuden vakio-osuus: Aikavälillä 0.23–0.33 s sulkapallon nopeus on negatiivinen ja likimain vakio, mikä tarkoittaa että se putoaa vakionopeudella $\rightarrow$ ilmanvastusvoima ja painovoima ovat tasapainossa.

—

Ilmanvastuskertoimen laskenta

Käytetään tilannetta, jossa:

$$F_D = mg = \frac{1}{2} C \rho A v^2 \Rightarrow C = \frac{2mg}{\rho A v^2}$$

Sijoitetaan:

- $m = 0.0048\,\mathrm{kg}$
- $g = 9.81\,\mathrm{m/s^2}$
- $\rho = 1.22\,\mathrm{kg/m^3}$
- $A = 0.0030\,\mathrm{m^2}$
- $v = 9.73\,\mathrm{m/s}$ (itseisarvon keskiarvo)

Tuloksena:

$$C \approx \boxed{0.272}$$

—

Yhteenveto

- Sulkapallon huippukohta: $t \approx 0.21\,\text{s}$
- Nopeus likimain vakio: $t \in [0.23\,\text{s}, 0.33\,\text{s}]$
- Arvioitu ilmanvastuskerroin C: $\boxed{0.27}$

Tämä arvo on realistinen sulkapallolle, joka on aerodynaamisesti suunniteltu hidastumaan nopeasti. Haluatko vielä tarkastella liikeyhtälöä numeerisesti tai simuloida sulkapallon liikettä koko ajan alueella?

```
# Rajataan laskeva liike, jolloin nopeus on negatiivinen ja melko vakio
falling_subset = df[(df["t"] >= 0.23) & (df["t"] <= 0.33)]

# Lasketaan nopeuden itseisarvon keskiarvo
v_fall_mean = falling_subset["v"].abs().mean()

# Vakioita
m = 0.0048  # kg
g = 9.81  # m/s^2
rho = 1.22  # kg/m^3
A = 0.0030  # m^2

# Lasketaan ilmanvastuskerroin C
C_corrected = (2 * m * g) / (rho * A * v_fall_mean**2)
v_fall_mean, C_corrected
```

Lisäkysymys ja vastaus B.4

Edellisen vastauksen jälkeen ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Miten mittausaineisto perustelee, että nopeus muuttaa etumerkkiä 0,2 sekunnin kohdalla?

—

Todella hyvä kysymys – käydään tämä huolellisesti ja perustellusti läpi mittausaineiston pohjalta.

—

Miten nähdään nopeuden etumerkin muutos aineistosta?

Nopeuden etumerkin muutos (positiivisesta negatiiviseen) tarkoittaa, että kappale vaihtaa liikkeen suuntaa. Tässä tapauksessa sulkapallo ensin nousee ylöspäin ja sitten alkaa pudota → eli nopeus kulkee nollan kautta.

Tarkastellaan mittauspisteitä 0,19 s – 0,23 s:

Aika (s)	Nopeus (m/s)
0.19	+2.158
0.21	+0.373
0.23	–1.629

Mitä tästä nähdään:

- 0.19 s: nopeus on positiivinen → pallo yhä nousee.
- 0.21 s: nopeus on edelleen positiivinen, mutta hyvin lähellä nollaa → hidastuu.
- 0.23 s: nopeus on negatiivinen → liike on jo kääntynyt alaspäin.

Päätelmä:

Koska nopeus on:

- positiivinen ennen 0.21 s
- ja negatiivinen jälkeen 0.21 s

→ nopeuden täytyy olla täsmälleen nolla jossain välillä 0.21 s – 0.23 s.

Näin ollen:

- Etumerkin muutos tapahtuu noin kohdassa $t \approx 0.21\,\text{s}$, mikä on myös hetki, jolloin sulkapallo on korkeimmillaan.

—

Fysikaalinen perustelu:

- Kun nopeus on nolla, mutta kappaleella on edelleen painovoima, se alkaa liikkua toiseen suuntaan.
- Tämä hetki on liikkeen kääntymispiste, eli huippukohta liikkeessä.
- Mittausaineisto tukee tätä tarkasti.

Haluatko, että piirretään tästä tarkempi kaavio tai interpoloidaan tarkempi nollakohta?

Lisäkysymys ja vastaus B.5

Edellisen vastauksen jälkeen ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Oletko ottanut huomioon mahdollisuuden, että tuloksissa voi olla yksittäisiä virheellisiä mittapisteitä?

—

Tosi hyvä huomio! Fysikaalisten ilmiöiden analysointi mittausdatan perusteella vaatii aina kriittistä suhtautumista yksittäisiin mittapisteisiin. Tarkastellaanpa tätä tarkemmin.

—

Voiko yksittäinen mittapiste vääristää tulkintaa?

Mahdollinen ongelma:

Jos yksi mittapiste poikkeaa merkittävästi ympäröivistä pisteistä (esim. mittausvirheen tai häiriön takia), se voi:

- Antaa väärän kuvan liikkeen suunnan muutoksesta,
- Vaikuttaa esim. suoran sovitukseen,
- Johtaa harhaan vaikkapa huippukohdan ajoituksen arvioinnissa.

—

Tarkastellaan epäilyttävää pistettä

Katsotaan kriittistä väliä uudelleen:

Aika (s)	Nopeus (m/s)	
0.17	4.207	
0.19	+2.158	
0.21	+0.373	← mahdollinen epäilyttävä piste?
0.23	–1.629	
0.25	–3.765	

Näkyykö hyppäyksiä?

- Nopeuden muutos 0.17 → 0.19 s: n. –2.05 m/s (johdonmukainen)

- Nopeuden muutos 0.19 → 0.21 s: n. –1.79 m/s (ok)
- Nopeuden muutos 0.21 → 0.23 s: n. –2.00 m/s
- Nopeuden muutos 0.23 → 0.25 s: n. –2.14 m/s

Nämä kaikki muutokset ovat suuruudeltaan melko samanlaisia → ei näyttöä siitä, että 0.21 s olisi poikkeuksellinen virhe.

Graafinen analyysi

Aiemmassa kuvaajassa nopeuden trendi oli johdonmukaisesti laskeva eikä 0.21 s piste erottunut muista merkittävästi.

—

Johtopäätös

- Ei ole viitteitä siitä, että 0.21 s mittapiste olisi selvästi virheellinen.
- Nopeuden muutos on tasaista ja asteittaista, joten etumerkin muutos tulkitaan edelleen luotettavasti tapahtuvan juuri 0.21 s kohdalla ±0.01 s tarkkuudella.
- Mutta: Fysikaalisessa analyysissä aina hyvä käytäntö on myös tarkastella datan suuntaa useamman pisteen trendinä eikä perustaa johtopäätöksiä vain yhteen pisteeseen.

—

Haluatko, että tarkistamme vielä regressiolla tai interpoloinnilla eksaktimman nolla-kohdan arvioidun ajan?

Lisäkysymys ja vastaus B.6

Edellisen vastauksen jälkeen ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Miksi käytät analyysissä nopeuden muutosta, kun aineisto sisältää nopeuden arvot sellaisenaan?

—

Erittäin terävä kysymys – ja täysin aiheellinen!

Miksi puhuin nopeuden muutoksesta, vaikka aineisto antaa nopeuden suoraan?

Analyysiä tehtäessä saatoin hetkellisesti siirtyä tarkastelemaan nopeuden muutoksia ($\Delta v/\Delta t$) sen varmistamiseksi, että etumerkin muutos ei ole seurausta yksittäisestä

mittausvirheestä vaan osa johdonmukaista trendiä.

Mutta kuten aivan oikein huomautat:

—

Nopeus on jo annettu aineistossa – suoraan ja eksplisiittisesti

Eli:

- Ei tarvitse päätellä nopeuden suuntaa nopeuden muutoksesta (kiihtyvyydestä).
- Riittää, että katsotaan, milloin nopeuden arvo vaihtaa etumerkkiä:
- Positiivisesta (ylöspäin) → negatiiviseen (alaspäin).
- Tämä kertoo liikkeen suunnan muutoksesta → eli korkeimman kohdan.

—

Miksi tämä on tärkeä ero?

Analyysi pysyy tarkkana ja selkeänä, kun:

- Käytetään suoraan sitä suuretta, joka on mitattu.
- Ei johdeta lisäsuureita (esim. kiihtyvyyttä), ellei niitä oikeasti tarvita.

Tässä tapauksessa:

- Meille riittää nopeuden etumerkin seuraaminen, koska nopeus on mitattu suoraan ajan funktiona.
- Nopeuden muutosnopeus (eli kiihtyvyys) olisi tarpeen vain, jos analysoitaisiin voimia tai tehtäisiin mallisovitusta.

—

Täsmällinen johtopäätös:

- Mittausaineistosta voidaan päätellä liikkeen suunnan muutos (eli huippukohta) suoraan nopeuden etumerkin muutoksesta ilman, että tarvitsee analysoida nopeuden muutosta tai kiihtyvyyttä.

Kiitos tarkasta havainnosta – juuri tämänkaltaiset kysymykset tekevät analyysistä vahvemman! Haluatko nyt, että interpoloimme vielä tarkemmin ajan, jolloin nopeus on täsmälleen nolla?

Lisäkysymys ja vastaus B.7

Edellisen vastauksen jälkeen ChatGPT:lle annettiin seuraava kehote:

> Käytä nyt tätä tietoa ja suorita koko tehtävä uudelleen

kuvaaja suoran sovittamisesta tuloksiin on esitetty kuvassa 4.10 (sivu 65).

—

Suoritetaan nyt koko tehtävä alusta loppuun huolellisesti ja johdonmukaisesti, hyödyntäen kaikkea edellä tehtyä pohdintaa.

—

Tehtävän kuvaus tiivistettynä

- Sulkapalloa lyödään voimakkaasti ylöspäin.
- Siihen vaikuttaa painovoima ja ilmanvastus ($F_D = \frac{1}{2} C \rho A v^2$).
- Mitattu nopeus ajan funktiona on annettu.
- Tehtävät:
  1. Piirrä graafinen esitys nopeudesta ajan funktiona (ilman murtoviivaa).
  2. Päättele, milloin pallo on korkeimmillaan.
  3. Etsi aikaväli, jolloin nopeus on likimain vakio.
  4. Laske ilmanvastuskerroin C.

—

Annetut arvot

- Massa: $m = 4.8\,\mathrm{g} = 0.0048\,\mathrm{kg}$
- Poikkipinta-ala: $A = 0.0030\,\mathrm{m}^2$
- Ilman tiheys: $\rho = 1.22\,\mathrm{kg/m}^3$
- Painovoima: $g = 9.81\,\mathrm{m/s}^2$

—

1. Graafinen esitys: nopeus ajan funktiona

```
# Näytetään koko datakehys uudelleen tehtävän uudelleenanalysointia varten
df
```

Graafi näyttää:

- Alussa nopeus on suuri ja positiivinen → pallo nousee.
- Nopeus pienenee, menee nollan läpi, muuttuu negatiiviseksi → pallo alkaa pudota.
- Myöhemmin nopeus lähestyy vakioarvoa → terminaalinopeus.

—

2. Milloin pallo on korkeimmillaan?

Pallo on korkeimmillaan siinä hetkessä, kun nopeus muuttuu positiivisesta negatiiviseksi, eli nopeus = 0.

Tarkastellaan tarkasti tätä kohtaa datasta.

```
# Piirretään graafinen esitys nopeudesta ajan funktiona (vain pisteet)
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(df["t"], df["v"], s=40, label="Mittauspisteet")
plt.axhline(0, color="gray", linestyle="--", linewidth=1)
plt.title("Sulkapallon nopeus ajan funktiona")
plt.xlabel("Aika (s)")
plt.ylabel("Nopeus (m/s)")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()
```

Korkein kohta:

- Sulkapallo on korkeimmillaan hetkellä t ≈ 0.959 s, → jolloin sen nopeus käy täsmälleen nollassa ja liike kääntyy.

—

3. Millä aikavälillä nopeus on likimain vakio?

Tämä tarkoittaa, että nopeus ei juuri muutu → kiihtyvyys on lähellä nollaa → mahdollinen terminaalinopeus on saavutettu.

Tarkastellaan datapisteitä, joissa nopeus on negatiivinen ja melko vakio – eli pallon laskeva liike loppupuolella. Sovitetaan suora ja arvioidaan, milloin muutos on pieni.

```
# Etsitään peräkkäiset rivit, joissa nopeus vaihtaa merkkiä
# positiivisesta negatiiviseen
sign_change_index = df[(df["v"] > 0) & (df["v"].shift(-1) < 0)].index[0]

# Otetaan nämä kaksi pistettä interpolointia varten
point1 = df.loc[sign_change_index]
point2 = df.loc[sign_change_index + 1]

# Lineaarinen interpolointi: millä t nopeus olisi täsmälleen 0?
t1, v1 = point1["t"], point1["v"]
t2, v2 = point2["t"], point2["v"]

t_zero = t1 - v1 * (t2 - t1) / (v2 - v1)
t_zero
```

Vakionopeuden aikaväli:

- Aikavälillä 2.2–2.8 s sulkapallon nopeus on melko vakio.
- Suoran kulmakerroin on noin –0.38 m/s^2, eli kiihtyvyys on hyvin pieni → käytännössä terminaalinopeus on saavutettu.

—

4. Ilmanvastuskertoimen C laskeminen

Käytetään tilannetta, jossa:

$$F_D = mg = \frac{1}{2} C \rho A v^2 \Rightarrow C = \frac{2mg}{\rho A v^2}$$

Otetaan nopeudeksi itseisarvon keskiarvo aikavälillä 2.2–2.8 s.

```
# Tarkastellaan loppuosaa, jossa nopeus näyttää asettuvan
# (noin 2.2 s eteenpäin)
steady_subset = df[(df["t"] >= 2.2) & (df["t"] <= 2.8)]

# Sovitetaan suora
slope, intercept, *_ = linregress(steady_subset["t"], steady_subset["v"])

# Sovitettu nopeus
steady_subset["v_fit"] = slope * steady_subset["t"] + intercept

# Piirretään havainnollistava kuvaaja
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(steady_subset["t"], steady_subset["v"], label="Mittauspisteet")
plt.plot(steady_subset["t"], steady_subset["v_fit"],
   label=f"Sovitus: v = {slope:.3f}t + {intercept:.2f}", color='orange')
plt.title("Sulkapallon nopeus laskevassa liikkeessä (vakio?)")
plt.xlabel("Aika (s)")
plt.ylabel("Nopeus (m/s)")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()

slope
```

Ilmanvastuskertoimen lasku

- Terminaalinopeuden itseisarvo:

$$v \approx 6.53\,\mathrm{m/s}$$

- Sijoittamalla saadaan ilmanvastuskerroin:

$$\boxed{C \approx 0.60}$$

Tämä on täysin järkevä arvo sulkapallolle, jonka muoto tuottaa huomattavaa ilmanvastusta.

—

Lopullinen yhteenveto

Kohta	Vastaus
Graafinen esitys	Piirretty – kertoo selvästi suunnan muutoksen
Korkein kohta	$t \approx \boxed{0.96\,\mathrm{s}}$
Vakionopeuden aikaväli	$t \in [2.2\,\mathrm{s}, 2.8\,\mathrm{s}]$
Ilmanvastuskerroin	$\boxed{C \approx 0.60}$

Jos haluat, voin laatia vielä kirjallisen vastauksen esimerkiksi raporttipohjaan.

```
# Lasketaan nopeuden itseisarvon keskiarvo
v_terminal = steady_subset["v"].abs().mean()

# Lasketaan ilmanvastuskerroin
C_terminal = (2 * m * g) / (rho * A * v_terminal**2)
v_terminal, C_terminal
```