

Rania Mattila

SUURET KIELIMALLIT FYSIIKAN TEHTÄVISSÄ

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: FT Inkeri Kontro
Toukokuu 2025

TIIVISTELMÄ

Rania Mattila: Suuret kielimallit fysiikan tehtävissä
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniikan ja luonnontieteiden kandidaattiohjelma
Toukokuu 2025

Suuriin kielimalleihin perustuvat sovellukset, kuten ChatGPT ja Copilot, ovat kasvavassa roolissa opiskelijoiden ja opettajien arjessa. Tekoälytyökalut pystyvät muun muassa ratkaisemaan fysiikan tehtäviä, auttamaan ongelmatilanteissa ja opettamaan fysiikkaa. Työkalut ovat ottaneet oman paikkansa fysiikan opetuksessa ja muuttavat varmasti fysiikan opetusta tulevaisuudessa. Ongelmakohtia unohtamatta kielimalleihin perustuvista tekoälytyökaluista on paljon apua ja ne voivat lisätä tehokkuutta. Käyttöön sisältyy kuitenkin myös suuri energiankulutus, eettiset ongelmat, tekijänoikeusrikkomukset ja tietoturvaongelmat. Tärkeää on lisätä tietoa tekoälyn kehityksestä sekä sen vastuullisesta käytöstä.

Tässä kandidaatintyössä tutustuttiin siihen, miten viestibotit ChatGPT sekä Copilot vastaavat eritasoisiin fysiikan tehtäviin suomen kielellä. Työssä tutkittiin kahta tehtävää, joista toinen oli lukiotason tehtävä ja toinen yliopistotason tehtävä. Molemmat tehtävät syötettiin samassa muodossa kerran viitenä eri päivänä. Aineiston keruu jaettiin useammalle päivälle käyttörajoitusten vuoksi. Useampi aineiston keräämispäivä mahdollisti myös erilaisten ratkaisujen saannin ja näytti, eroavatko vastaukset ajan kuluessa. Tehtävän syöttämisen jälkeen työkaluille annettiin lisäkysymyksiä, jotta ratkaisuja voitiin analysoida monipuolisemmin. Lisäsyötteiden avulla pyrittiin myös ohjaamaan työkalu oikeaan ratkaisuun, jos vastaus oli väärin tai puutteellinen. Ennen tehtävien ratkaisujen läpikäyntiä käsiteltiin sitä, miten tekoälytyökalut näkyvät fysiikan opetuksessa sekä tehtävissä. Työssä käytiin läpi hieman taustatietoa käytettävistä tekoälytyökaluista sekä niiden toiminnasta. Tehtävien malliratkaisut esiteltiin laajasti, jotta työkalujen ratkaisut ovat ymmärrettävämpiä.

Tekoälytyökalujen ratkaisuja verrattiin keskenään ja selvitettiin eroavatko vastaukset toisistaan. Tuloksissa esiteltiin kaksi taulukkoa, joiden perusteella Copilotin ratkaisut ovat ChatGPT:hen verrattuna tasaisempia ja useammin oikein. ChatGPT:n ratkaisuissa oli kuitenkin useammin kattavammat perustelut, enemmän välivaiheita sekä vastaukset olivat pidempiä. Yliopistotason pellehyppytehtävässä ChatGPT teki kolmannella kerralla virheen, jolloin tehtävä meni väärin. Muilla kerroilla ChatGPT ja Copilot ratkaisivat tehtävän oikein. Lukiotason maanvyörytehtävän a-kohdassa molemmat työkalut saivat kaikilla kerroilla 2 pistettä, kun täydet pisteet olivat 8 pistettä. Maanvyörytehtävän b-kohdassa Copilot sai aina täydet 7 pistettä. Puolestaan ChatGPT sai ensimmäisellä kerralla 2 pistettä ja kolmannella kerralla 5 pistettä. Muilla kerroilla myös ChatGPT sai b-kohdassa täydet pisteet. Ratkaisujen perusteella työkaluista Copilot suoriutui tehtävistä paremmin. Tulosten perusteella voidaan todeta, että tässä kandidaatintyössä tekoälytyökalut pärjäsivät paremmin yliopistotason tehtävässä.

ChatGPT ja Copilot ovat edistyneitä työkaluja, mutta siitä huolimatta ne eivät osaa kaikkea. Etenkin voimakuvioiden piirtäminen tuottaa vaikeuksia. Tulevaisuudessa fysiikan tehtävissä voitaisiin huomioida se, että ihminen osaa lukea rivien välistä eri tavalla kuin tekoälytyökalut. Tehtäviä suunnitellessa voisi miettiä sitä, millaisilla tehtävänannoilla saataisiin tehtävä suunnattua juuri opiskelijalle. Jatkossa voisi tutkia esimerkiksi sitä, miten ChatGPT pärjäisi yliopiston fysiikan kursilla tai ylioppilaskokeissa. Tällaisen tiedon avulla voitaisiin löytää keinoja erottaa tekoälytyökalulla tehdyt tehtävät ihmisen tekemistä tehtävistä. Voisi myös tutkia sitä, kuinka moni fysiikan opiskelija hyödyntää opinnoissaan tekoälytyökaluja ja parantaako työkalujen käyttö heidän oppimistaan. Tärkeää on kuitenkin muistaa tekoälytyökalujen ympäristövaikutukset ja miettiä, onko tutkimuksista enemmän hyötyä vai haittaa.

Avainsanat: suuret kielimallit, tekoälytyökalut, ChatGPT, Copilot, fysiikan tehtävät

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

- Ei
- Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmanprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:

Tekoälysovellusten nimet ja versiot: [Listaa tähän kaikki tekoälysovellukset ja niiden versiot, joita olet käyttänyt tutkielmanprosessin aikana.]

ChatGPT-4o ja Copilot (GPT-4o). Työkalujen asetuksia ei ole muokattu, vaan käytössä on ollut sovellusten automaattiset asetukset.

Käyttötarkoitus: [Kuvaa tähän yksityiskohtaisesti, mihin tarkoitukseen ja miten tekoälyä on sovellettu opinnäytteeseen tutkielmanprosessin aikana.]

Tekoälytyökaluja on käytetty tuottamaan aineistoa eli ratkaisuja annettuihin tehtäviin. Työssä ChatGPT:lle ja Copilotille annetaan yliopistotason sekä lukiotason tehtävät. Tehtävistä saatuja ratkaisuja on tässä työssä käytetty aineistona.

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty: [Luettele tähän kaikki opinnäytteen vaiheet ja osiot, joissa tekoälyä on tutkielmanprosessin aikana käytetty.]

Tekoälyn tuottamia ratkaisuja on käytetty aineistona luvussa 4 ja alaluvuissa 4.1 sekä 4.2.

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. SUURET KIELIMALLIT	3
2.1 Suuret kielimallit fysiikan tehtävissä	4
2.2 Suuret kielimallit fysiikan opetuksessa	5
2.3 Suuriin kielimalleihin perustuvat sovellukset	6
3. TUTKITTAVAT TEHTÄVÄT	8
3.1 Yliopistotason tehtävä	9
3.2 Lukiotason tehtävä	12
4. TULOKSET	15
4.1 Tulosten vertailu	15
4.2 Tulosten analyysi	19
5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	27
LÄHTEET	29
LIITE A: MALLIRATKAISU	32
LIITE B: TEKOÄLYTYÖKALUJEN RATKAISUJA	33

LYHENTEET JA MERKINNÄT

GPT	uutta luova ennalta koulutettu muuntaja (engl. generative pre-trained transformer)
LLM	suuri kielimalli (engl. large language model)
α	kaltevuuskulma
a	kiihtyvyys
C	integraalivakio
E	liike-energia
F_{μ}	kitkavoima
F	voima
G	painovoima
g	putoamiskiihtyvyys
h	korkeus
m	massa
μ	liukukitkakerroin
N	pinnan tukivoima
s	matka
t	aika
v	nopeus
x	paikka

1. JOHDANTO

Suurien kielimallien (engl. large language models, LLM) rooli fysiikan opetuksessa on kasvanut viime vuosina. Yhä useampi opiskelija hyödyntää omissa opinnoissaan suuriin kielimalleihin perustuvia työkaluja. Työkalut toimivat opiskelijalle ilmaisena tukiopettajana, materiaalipankkina ja tehtävien ratkaisijana. Opettajat voivat hyödyntää näitä työkaluja esimerkiksi arvioinnin tai tuntien suunnittelun tukena. Suuriin kielimalleihin perustuvien sovellusten, kuten ChatGPT sekä Copilot, yleistyessä on tärkeää jakaa tietoa siitä, mihin kaikkeen ne pystyvät. Fysiikan opetuksen kannalta mielenkiintoista on tietää, millaisia tehtäviä työkalut osaavat ratkaista ja millaiset tehtävät tuottavat haasteita. Tällaisen tiedon avulla opetuksessa voidaan ehkäistä tehokkaammin virhekäsitysten muodostumista, ja fysiikan tehtävät voidaan suunnata juuri ihmisille, ei tekoälylle.

ChatGPT:n vastauksia fysiikan tehtäviin ovat tutkineet aikaisemmin esimerkiksi Gregoric ja Pendrill (2023) sekä Yeadon ja Hardy (2024). Aiempien tutkimusten sekä tämän kandidaatintyön pohjalta voidaan tarkastella sitä, millaisia fysiikan tehtävien tulisi olla tulevaisuudessa. Tekoälytyökalut kehittyvät jatkuvasti, mutta se ei välttämättä tarkoita sitä, että fysiikan tehtävien tulisi olla haastavampia. Tehtävissä on hyvä huomioida eritasoiset opiskelijat, jotta opiskelija ei koe tarvetta turvautua tekoälytyökaluihin. Tehtävät voisivat olla monipuolisempia, luovempia ja mielenkiintoisempia.

Tekoälytyökalujen luomat mahdollisuudet jättävät usein niiden huonot puolet varjoon. Työkalujen käyttö tuo yhteiskunnalle uudenlaisia haasteita. Ongelmakohtia ovat muun muassa energian kulutus ja mahdollinen tahallinen disinformaatio (Järvilehto, 2025, s. 205). Suuri energiankulutus vie myös valtavat määrät rahaa. Tekijänoikeusrikkomukset ja tietoturva kuuluvat myös työkalujen ongelmiin.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää miten suuriin kielimalleihin perustuvat työkalut vastaavat eritasoisiin fysiikan tehtäviin suomeksi. Tehtävät syötetään tekoälytyökaluille kerran viitenä eri päivänä. Aineiston keruun jakaminen useammalle päivälle mahdollistaa sen, että voidaan tarkastella sitä, onko ajan kulumisella vaikutusta ratkaisuihin. Useammalla päivällä saatiin erilaisia ja monipuolisempia ratkaisuja. Työssä tutustutaan siihen, eroavatko tekoälytyökalujen vastaukset toisistaan. Työssä käsitellään myös sitä, onko fysiikan opetus muuttunut työkalujen myötä, ja mitä tämän tutkimuksen pohjalta voidaan sanoa kielimallien käytöstä fysiikan opetuksessa.

Tässä työssä luvussa 2 käydään läpi yleistä teoriaa suurista kielimalleista. Alaluvuissa 2.1, 2.2 ja 2.3 käsitellään kielimalleja fysiikan tehtävissä ja opetuksessa sekä kerrotaan työssä käytetyistä tekoälysovelluksista. Lukiotason ja yliopistotason tehtävien malliratkaisut sekä tehtävänannot käsitellään luvussa 3. Lopuksi luvussa 4 käydään läpi tarkemmin ratkaisuja ja tuloksia sekä niiden vertailua.

2. SUURET KIELIMALLIT

Tekoäly on ollut käytössä jo vuosikymmenien ajan. Tekoäly-sanaa käytetään tarkoittamaan sitä, kun koneet tai teknologia pyrkivät jäljittelemään ihmisen älykkyyttä (Brozović ym., 2024). Tässä työssä tekoäyllä tarkoitetaan suuriin kielimalleihin perustuvia tekoälytyökaluja. Suuret kielimallit ovat yksi tekoälyn tyyppi (Brozović ym., 2024). Suuret kielimallit ovat kielten käsittelyyn kehitettyjä syväoppimisjärjestelmiä (Blank, 2023). Syväoppimisella tarkoitetaan sitä, että tekoälyjärjestelmän neuroverkko rakenne päivittyy laajasti saamansa palautteen sekä harjoitusaineiston perusteella (Järvilehto, 2025). Kielten käsittelyn lisäksi kielimalleja voi käyttää, kun käsitellään ohjelmointikieliä tai matematiikan symbolisia merkintöjä (Polverini & Gregorcic, 2024). Suurilla kielimalleilla on käytössä suuria määriä tekstiä, ja niiden toiminta perustuu seuraavan sanan ennustamiseen lauseessa tai kappaleessa (Blank, 2023). Esimerkki suuriin kielimalleihin perustuvasta sovelluksesta on OpenAI:n GPT-sarjan ChatGPT (generative pre-trained transformer). Suuri osa aikaisimmista kielimalleista suunniteltiin syötteen koodaamiseen (Polverini & Gregorcic, 2024). Syötteen koodaamisella tarkoitetaan sitä, kun ohjelma muuntaa syötteen toiseen muotoon määriteltyjen sääntöjen mukaan. Kielimallit eivät pysty käsittelemään syötettä sellaisenaan, vaan syöte täytyy muuttaa numeroiksi (Wong ym., 2023). Tokeneiksi kutsutaan syötteen pienempiä osia kuten muuttujia tai symboleita, jotka on saatu tokenisaation tuloksena (Wong ym., 2023).

Yksi suurien kielimallien rajoitteista on arki ajattelun puute (Briganti, 2024). Kielimallit ennustavat seuraavaa sanaa tai tokenia perustuen todennäköisyyksiin, jolloin ihmisen kaltaisen ajattelu jää pois. Suuret kielimallit pystyvät antamaan uskottavia sekä johdonmukaisia vastauksia laajaan valikoimaan kehoitteita (Briganti, 2024). Useasti kielimalleilla on vaikeuksia ymmärtää keskustelujen asiayhteyksiä tai pääsanomaa (Briganti, 2024). Gregorcic ja Pendrill (2023) huomasivat tutkimuksessaan ChatGPT:n vastauksen kohden olevan ristiriidassa keskenään, mikä ei ole tyypillistä opiskelijoilla. Viestibotilla on hyvät kielitaidot ja se kykenee käyttämään fysiikan tieteenalan sanastoa sekä tuottamaan johdonmukaiselta vaikuttavia vastauksia (Gregorcic & Pendrill, 2023). Viestibotilla tarkoitetaan tietokoneohjelmaa, joka kykenee viestilaatikon avulla vuorovaikuttamaan ihmisen kanssa (Gregorcic & Pendrill, 2023). Viestibotti ei ajattele tai usko asioihin samalla tavalla kuin opiskelijat, mutta pystyy tuottamaan vastauksia kuten sillä olisi ajatuksia ja uskomuksia (Gregorcic & Pendrill, 2023).

Alaluvussa 2.1 käsitellään suurien kielimallien merkitystä sekä käyttöä fysiikan tehtävissä. Suurien kielimallien merkitystä fysiikan opetuksessa käsitellään alaluvussa 2.2.

Suuriin kielimalleihin perustuvia viestibotteja (engl. chatbot) ChatGPT ja Copilot käsitellään alaluvussa 2.3.

2.1 Suuret kielimallit fysiikan tehtävissä

Suuria kielimalleja voidaan hyödyntää eritasoisten fysiikan tehtävien ratkaisemisessa. Yhdistyneessä kuningaskunnassa tehdyssä Yeadonin ja Hardyn (2024) tutkimuksessa todetaan, että tekoälyn tuottamat oikeat vastaukset fysiikan koetehtävissä vähenevät, kun kouluaste on korkeampi. Tekoäly sai toisen asteen laajemmasta päättökokeesta (engl. General certificate of secondary education, GCSE) 83,4 %, ylioppilaskoetta vastaavasta kokeesta 63,8 % (engl. Advanced level, A level) ja 37,4 % yliopistotason kysymyksistä (Yeadon & Hardy, 2024). Tutkimuksessa GPT-4 sai kaikissa kokeissa lähes 50 % oikein, kun taas GPT-3.5 pärjäsikin jatkuvasti huonommin (Yeadon & Hardy, 2024).

Suurien kielimallien käytössä fysiikan tehtävien ratkaisussa voi olla joitakin ongelmakohtia. Matematiikassa suureet ovat useasti vain symbolisia toisin kuin fysiikassa, jossa suureet yhdistetään todellisen maailman ilmiöihin (Liang ym., 2023). Matematiikassa sanallisissa tehtävissä muuttujat voivat käsitellä vain määrää, kun taas fysiikassa halutaan useasti ilmaista suuruutta sekä suuntaa käyttämällä vektoreita (Liang ym., 2023). Tekoälyn nopeaan kehitykseen liittyy useita eettisiä ongelmia, esimerkiksi sen mahdollinen väärinkäyttö akateemisessa ympäristössä (Yeadon & Hardy, 2024). Väärinkäyttö akateemisessa ympäristössä voi olla esimerkiksi tekoälytyökalulla tehdyn työn tai tutkimusartikkelin esittämistä omanaan. Opiskelijat voivat myös syöttää työkalulle esimerkiksi kurssin oppimateriaaleja tai muita tietoja, joita ei ole tarkoitettu jaettavaksi.

Järvilehto (2025) on esitellyt käyttötavat, joissa tekoäly toimii hyvin sekä huonosti. Hyvin toimivat käyttötavat ovat sparrailu, ideointi, musiikkikappaleiden luominen, tekstin selittäminen ja valokuvan sekä maalauksen luominen (Järvilehto, 2025, s. 196). Sparrailulla tarkoitetaan tässä sitä, että tekoälytyökalulta voi kysyä neuvoa tai suuntaa antavia kysymyksiä. Sparrailu voi auttaa löytämään uusia ideoita sekä näkökulmia. Huonosti toimivat käyttötavat ovat puolestaan tiedonhaku, matemaattinen sekä looginen päättely ja tarkkojen graafien luominen (Järvilehto, 2025). Järvilehto (2025) painottaa, että tämä on ollut tilanne elokuussa 2024. Nykyiset tekoälysovellukset kehittyvät koko ajan ja tulevat paremmiksi näissä huonosti toimivissa käytännöissä.

López-Simó ja Rezende (2024) totesivat tutkimuksessaan, että ChatGPT antaa kelvollisia vastauksia peruslaskutoimituksissa, kun tarvittavat tiedot on esitelty syötteessä. Syötteen muotoilu on keskeisessä roolissa, kun halutaan hyödyntää tekoälytyökaluja. Vaikka syöte olisi muotoiltu täydellisesti, vastaus ei aina ole täydellinen. Virheiden määrä

voi olla suurempi peruslaskutoimituksissa, jos tehtävä on monivaiheinen ja vaatii useita laskuja sisältäen erilaisia fysiikan käsitteitä sekä ratkaisumenetelmiä (López-Simó & Rezende, 2024).

Kortemeyerin (2023) tutkimuksessa ChatGPT olisi saanut arvosanaksi 1,5 tavallisesta fysiikan johdantokurssista, kun korkein arvosana kurssilla oli 4. ChatGPT olisi saanut kurssista arvosanan 1, jos arvosana olisi määräytynyt vain koesuorituksen perusteella (Kortemeyer, 2023). Arvosanalla 1,5 kurssista saa opintopisteet, mutta arvosana on huomionnampi kuin kandidaatin tutkinnon suorittamiseen vaadittava keskiarvo kyseisessä yliopistossa (Kortemeyer, 2023). Täytyy kuitenkin huomioida, että tekoälytyökalut ovat kehittyneet tähän päivään mennessä, jolloin nykyään työkalut voisivat pärjätä kurssilla paremmin.

2.2 Suuret kielimallit fysiikan opetuksessa

Tekoälytyökalujen yleistyessä ja vaikuttaessa eri aineiden opetukseen sekä oppimiseen, on tärkeää laajentaa opettajien ymmärrystä siitä, miten suuret kielimallit toimivat sekä mitä kaikkea ne osaavat. ChatGPT pystyy tuottamaan tekstiä ihmisen lailla, jolloin oppilaat voivat käyttää tätä esimerkiksi esseissä tai vastauksissa (Kortemeyer, 2023). Tämä voisi vähentää tutkinnon arvoa tai koulutussysteemin luotettavuutta (Kortemeyer, 2023). Viestibotit, kuten ChatGPT, voivat tarjota suoraa palautetta ja nopeaa apua opiskelijoille edistämällä aktiivista oppimista sekä vähentämällä turhautumista (Henderson, 2023). Opiskelijat voivat kysyä lisäkysymyksiä sekä selityksiä kunnes ymmärtävät asian (Liang ym., 2023). Tällä tavoin opiskelijat voivat itse säädellä opiskelutahtia ja -sisältöä, mikä lisää opiskelijoiden oppimismotivaatiota (Liang ym., 2023). Tällainen aina saatavilla oleva tuki voi auttaa opiskelijoita oppimaan käsitteitä tehokkaasti, mikä parantaa muistamista sekä ymmärtämistä (Henderson, 2023). Kuitenkin pahimmassa tapauksessa tekoäly voi johtaa samankaltaiseen älylliseen surkastumiseen kuin auton nykyihmiselle aiheuttama lihaskunnan muutos (Järvilehto, 2025). Toisaalta parhaassa tapauksessa tekoäly voi jopa lisätä ihmisten kriittistä lukutaitoa (Järvilehto, 2025).

Koulun ulkopuolella itsenäinen opiskelu auttaa opiskelijaa hankkimaan tietoa, mutta se voi puolestaan johtaa koulun ja akateemisen yhteydenpidon puuttumiseen (Al-Tkhayneh ym., 2023). Sosiaalisten vuorovaikutusten puuttuminen voi johtaa syrjäytymiseen tai heikentää vuorovaikutustaitoja. Tiedon hankkiminen ChatGPT:n avulla voi olla nopeaa, mutta samalla haitallista. Gregorcic ja Pendrill (2023) totesivat tutkimuksessaan, että ChatGPT ei ole kovin hyvä opettamaan tehtävienratkaisua. Hyväuskoisille opiskelijoille ChatGPT:n viimeistelty kieli sekä johdonmukaiset päättelyketjut voivat aiheuttaa huomattavaa vahinkoa opettamalla virheellistä fysiikkaa (Gregorcic & Pendrill, 2023).

Tekoälytyökalujen, kuten ChatGPT, avulla opiskelijat voivat oppia fysiikkaa silloin kun heille parhaiten sopii. Vaikka työkalu vähentäisi turhautumista, se voi kuitenkin olla jopa liian helposti saatavilla ja vähentää opiskelijoiden omaa ajattelua. Fysiikan monimutkaisessa maailmassa on kuitenkin tärkeää opiskelijan oppimisen kannalta ymmärtää, missä tehty virhe on sekä saada vahvistusta oikeasta päättelystä (Liang ym., 2023). Tekoälytyökalut voivat auttaa etsimään virheen, mutta työkalut eivät aina ole luotettavia. ChatGPT luo turvallisen oppimisympäristön, jossa jokainen kysymys on pätevä ja tuomitsemiselle ei ole tilaa (Liang ym., 2023). Puolestaan perinteisessä oppimisympäristössä tuomitsemisen pelko voi estää opiskelijaa ilmaisemasta epäilyksiään (Liang ym., 2023). Oppimisen kannalta on olennaista luoda ympäristö, jossa jokainen uskaltaa kysyä apua ja esittää kysymyksiä.

Opetuksessa tekoälytyökaluista voidaan hyötyä monella tapaa. Tekoälytyökalut voivat auttaa kehittämään saavutettavampia materiaaleja eri oppijoille. Saavutettavammalla materiaaleilla voidaan sisältää erilaisia ominaisuuksia, kuten teksti puheeksi -toiminto ja monikielinen tuki. Nämä ominaisuudet voivat auttaa pienentämään koulutuksen aukkoja sekä tarjoamaan kattavamman oppimisympäristön. Tekoälytyökalut pystyvät käsittelemään suuria määriä opiskelijadataa, jolloin niiden avulla voidaan tunnistaa oppimismalleja sekä vaikeita osa-alueita. Tällainen tieto antaa opettajille oivalluksia siitä, miten parantaa omia opetusmalleja tai tehdä tehokkaampia opetussuunnitelmia. Tekoälytyökalut, kuten ChatGPT, voivat helpottaa luonnollisen kielen vuorovaikutusta opiskelijoiden ja oppimateriaalien välillä. Tämä auttaa opiskelijoita ilmaisemaan monimutkaisia ja abstrakteja fysiikan käsitteitä. (Henderson, 2023)

Liangin ym. (2023) tutkimuksessa todetaan, että käytettäessä ChatGPT:tä fysiikan kursien suunnittelussa opettajan tulisi selkeästi määrittää oppimistavoitteet. Ennen syötteen luomista opettajalla tulisi olla täydellinen ymmärrys siitä, mitä hän haluaa opiskelijoiden oppivan. Tämän jälkeen opettaja voi käyttää ChatGPT:tä luomaan oleellisia kysymyksiä syöttämällä tiettyjä aiheita tai fysiikan käsitteitä. Opettajan on kuitenkin tärkeä muistaa, että vaikka ChatGPT on kehittynyt työkalu, se voi silti tehdä virheitä. Tekoälytyökalujen kehittyessä, opettajien pitäisi olla ajan tasalla viimeisimmistä päivityksistä sekä jatkuvasti muokata omaa lähestymistapaa hyötyäkseen uusista ominaisuuksista ja kyvyistä. (Liang ym., 2023)

2.3 Suuriin kielimalleihin perustuvat sovellukset

OpenAI:n marraskuussa vuonna 2022 julkaisema viestibotti ChatGPT (López-Simó & Rezende, 2024) on yksi esimerkki suuriin kielimalleihin perustuvista työkaluista. Tunnetuiksi tulleilla kielimalleilla, kuten OpenAI:n GPT-3:lla ja GPT-4:llä, on kyky luoda tekstiä

tulosteena (Polverini & Gregorcic, 2024). GPT-3 ja GPT-4 tulostavat tekstiä perustuen niiden koulutukseen sekä käyttäjän syöttämään kehoitteeseen (Polverini & Gregorcic, 2024). ChatGPT omaa laajat kyvyt tuottaa informaatiota: se osaa muun muassa kirjoittaa koodia, esseitä ja runoja sekä ratkaista tehtäviä. ChatGPT:n ilmaisversio on saatavissa kaikille, mutta on olemassa myös maksullisia versioita.

GPT-3:n ja GPT-4:n edeltäjä GPT-2 luotiin tarinoiden jatkamiseen (Kortemeyer, 2023). Kun systeemille annetaan pätkä tekstiä, se määrittää uskottavan jatkon tekstille (Kortemeyer, 2023). Osittain samalla periaatteella toimii tekstiviestiä kirjoittaessa oleva automaattinen tekstinsyöttö (Kortemeyer, 2023). ChatGPT purkaa syötetyn tekstin numeroiksi ja päättelee, mikä sana sopii parhaiten syötteen jatkoksi (Järvilehto, 2025). Työkalu muodostaa todennäköisiä sanajoukkoja ja valitsee lopuksi yhden todennäköisimmistä sanoista, jonka jälkeen analysoi koko sanajoukon uudelleen (Järvilehto, 2025). Analysoinnissa ChatGPT tarkastelee sekä ihmisen antamaa syötettä että tulosteeseen valittuja sanoja ja jatkaa analysointia, kunnes tuloste on valmis. ChatGPT ei ole siis hakukone vaan se on sananarvauskone (Järvilehto, 2025). Kielimalleilla voi olla taipumusta hallusinaatioihin, eli väittää todeksi valheellista informaatiota. Hallusinointia tapahtuu, koska työkalun toiminta perustuu todennäköisyyksien laskentaan, jolloin tekstiä ei tarkisteta.

GPT-4:llä on pääsy internettiin, mikä mahdollistaa sen pysymisen ajan tasalla viimeisimmistä tiedoista ja uutisista (Briganti, 2024). Näin ollen se voi tarjota myös olennaisia ja ajankohtaisia vastauksia. GPT-4 pystyy vastaamaan kysymyksiin, jotka on syötetty kuvamuodossa sekä luomaan kuvia tekstin perusteella (Briganti, 2024). Tässä työssä hyödynnetään ChatGPT-4o mallia, jonka käyttö on rajoitettua ilmaisversiossa. GPT-4o ("o" tarkoittaa sanaa "omni") hyväksyy syötteenä sekä pystyy luomaan minkä tahansa tekstin, äänen, kuvan tai videon yhdistelmän (OpenAI, 2024). GPT-4o malli on edellisiin malleihin verrattuna parempi etenkin kuvan ja äänen ymmärtämisessä (OpenAI, 2024).

Microsoft Copilot Chat on toinen esimerkki suuriin kielimalleihin perustuvista työkaluista. Microsoft Copilot voi muun muassa tehdä haun Microsoft Edgeen, vastata puhuttuun tai kirjoitettuun kehoitteeseen, luoda tekstiä, tehdä yhteenvetoja ja analysoida dataa (Özdemir, 2024). ChatGPT sekä Copilot sisältävät samankaltaisia ominaisuuksia ja niitä voidaan hyödyntää samoilla tavoilla (Jedrzejcak & Kochanek, 2024). Microsoft Copilot hyödyntää GPT-4o mallia (Microsoft, 2025).

3. TUTKITTAVAT TEHTÄVÄT

Työssä tutkitaan kahden tekoälysovelluksen tuottamia ratkaisuja eritasoisin fysiikan tehtäviin. Tehtävistä ensimmäinen on vuoden 2024 fysiikan syksyn ylioppilaskokeesta ja toinen on yliopistotason tehtävä Helsingin yliopiston vuorovaikutukset ja kappaleet -kursilta. Lukiotason maanvyörytehtävä ja yliopistotason pellehyppytehtävä ovat fysiikan mekaniikan tehtäviä. Luvuissa 3.1 ja 3.2 käsitellään tehtävien malliratkaisut ja tehtävänänot.

Tarkastellaan yliopistotason tehtävän yhteyttä Helsingin yliopiston vuorovaikutukset ja kappaleet -kurssin osaamistavoitteisiin, koska kyseinen tehtävä on tältä kurssilta. Kurssin osaamistavoitteisiin sisältyy muun muassa fysikaalisen systeemin mallintaminen tunnistamalla vuorovaikutuksia ja tekemällä liikeyhtälöitä. Opintojakson suorittanut kykenee myös tarkastelemaan systeemin käytöstä energiaperiaatteen avulla sekä osaa derivoida ja integroida vektorimuotoisen funktion komponenttimuodossa. (Helsingin yliopisto, 2025)

Käsitellään seuraavaksi lukiotason tehtävän yhteyttä lukion opetussuunnitelman asettamiin tavoitteisiin moduulille voima ja liike (FY4). Tavoitteena on muun muassa, että opiskelija osaa tuottaa ja analysoida graafisia esityksiä mittausaineistosta (Opetushallitus, 2019). Moduulin keskeisinä sisältöinä mainitaan esimerkiksi tasainen ja tasaisesti kiihtyvä suoraviivainen liike, kappaleiden vuorovaikutus, Newtonin lait, voimakuvio, liikeyhtälö, paino sekä kitka (Opetushallitus, 2019). Voimakuviot ovat keskeinen osa fysiikan mekaniikan tehtävien ratkaisua. Voimakuviolla hahmotellaan tutkittavaa tilannetta ja siinä esitellään kappaleeseen vaikuttavat voimat sekä niiden suunnat. Voimakuvion avulla tutkittavasta tilanteesta voidaan muodostaa liikeyhtälö. Fysiikassa liikeyhtälöllä kuvataan kappaleeseen vaikuttavia voimia. Liikeyhtälön muodostamisessa käytetään Newtonin lakeja. Liikeyhtälö annetaan usein muodossa $\sum \vec{F} = m\vec{a}$, jos kappale on kiihtyvässä liikkeessä ja $\sum \vec{F} = \vec{0}$, jos kappale on paikallaan tai tasaisessa liikkeessä. Vapaa-kappalekuva on ikään kuin yksinkertaisempi voimakuvio ja siinä kappaletta mallinnetaan pistemäisenä. Vapaa-kappalekuvaan piirretään kaikki vaikuttavat voimat, mutta ne piirretään alkaviksi samasta pisteestä.

Lisäksi moduulille FY4 ominaisia tieto- ja viestintäteknologisia taitoja ovat piirto-ohjelmien tarkoituksenmukainen käyttö, voimakuvion piirtäminen ja toisen asteen polynomin sovittaminen mittauspisteisiin (Opetushallitus, 2020). Lukiotason maanvyörytehtävän

voisi ajatella olevan kyseisen kurssin keskeinen tehtävä. Puolestaan yliopistotason tehtävä sisältää keskeisiä asioita vuorovaikutukset ja kappaleet -kurssilta. Työssä tutkittavista tehtävistä molemmat sisältävät fysiikan ydinasioita.

3.1 Yliopistotason tehtävä

Käydään ensin läpi yliopistotason pellehyppytehtävän tehtävänanto ja malliratkaisu (Svedström, 2016). Tehtävänanto: ”Pellehyppääjä pudottautuu vesitynnyriin hyppytornista, joka on 10 m:n korkeudella veden pinnasta mitattuna. A) Laske millä nopeudella pelle osuu veteen. B) Tarkastele seuraavaksi mitä tapahtuu veden alla. Voit olettaa nyt, että sukeltajaan vaikuttava noste on yhtä suuri kuin painovoima. Veden sukeltajaan kohdistamaa vastusvoimaa kuvaa nyt puolestaan lauseke: $F = -bv^2$, missä b on vakio ja v on sukeltajan nopeus vedessä. Kirjoita pellen liikeyhtälö veden alla. C) Huomaa liikeyhtälössä, että $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dx} v$. Mikä on pellen nopeus vedessä paikan funktiona? D) Jos pellen massa on 75 kg ja $b = 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$, niin kuinka syvä tynnyrin täytyy olla, jotta pellen nopeus olisi tynnyrin pohjaan osuessa enää $\frac{1}{10}$ veteenosumisnopeudesta?”

Yliopistotason tehtävässä pellehyppääjä pudottautuu vesitynnyriin hyppytornista. A-kohdassa on tarkoitus ratkaista nopeus, jolla pelle osuu veteen. Tiedossa on vain korkeus, jossa pellehyppääjä on vedenpinnasta mitattuna. Tehtävässä voidaan olettaa ilmanvastus pieneksi tällä putoamismatkalla, jolloin pellen vaikuttaa vain painovoima. A-kohdan voi ratkaista joko käyttäen energiaperiaatetta tai differentiaaleja. Suunnat voidaan valita niin, että positiivinen suunta on alaspäin. Energiaperiaatteen mukaan pelle osuu veteen nopeudella

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = mg\Delta h, \quad (3.1)$$

missä m on pellen massa, v_1 on pellen nopeus, g on putoamiskiihtyvyys, Δh on korkeuden muutos. Ratkaistaan yhtälöstä (3.1) nopeus v_1

$$v_1 = \sqrt{2g\Delta h}. \quad (3.2)$$

Sijoittamalla lukuarvot yhtälöön (3.2) saadaan nopeudeksi, jolla pelle osuu veteen $v_1 = 14,01 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Toinen vaihtoehto on ratkaista nopeus käyttämällä differentiaaleja. Putoamiskiihtyvyys g voidaan esittää muodossa

$$g = \frac{dv}{dt}, \quad (3.3)$$

missä t on aika. Separoidaan ja integroidaan yhtälö (3.3)

$$\int_0^t g dt = \int_0^{v_1} dv$$

$$gt = v_1. \quad (3.4)$$

Nopeus voidaan esittää differentiaalina

$$v_1 = \frac{ds}{dt}, \quad (3.5)$$

missä s on matka. Sijoitetaan yhtälöön (3.4) yhtälö (3.5) ja saadaan

$$gt = \frac{ds}{dt}. \quad (3.6)$$

Separoidaan ja integroidaan yhtälö (3.6)

$$\int_0^t gtdt = \int_0^s ds$$

$$\frac{1}{2}gt^2 = s. \quad (3.7)$$

Sijoitetaan yhtälöön (3.7) aika $t = \frac{v_1}{g}$

$$\frac{1}{2}g\left(\frac{v_1}{g}\right)^2 = s. \quad (3.8)$$

Ratkaistaan yhtälöstä (3.8) pellen nopeus v_1

$$v_1 = \sqrt{2gs}, \quad (3.9)$$

missä $s = \Delta h$, jolloin yhtälö (3.9) on sama kuin yhtälö (3.2).

B-kohdassa ratkaistaan pellen liikeyhtälö veden alla oletuksena, että pellen vaikuttava noste on yhtä suuri kuin painovoima. Pelleen vaikuttaa painovoima \bar{F}_G positiiviseen suuntaan, noste \bar{N} negatiiviseen suuntaan sekä turbulenttinen veden vastusvoima \bar{F} negatiiviseen suuntaan. Tehtävänannossa on annettu vastusvoiman suuruudeksi $\bar{F} = -bv^2\hat{v}$, missä b on vakio ja v on sukeltajan nopeus vedessä. Saadaan

$$\bar{F} = -bv^2\hat{v},$$

missä \hat{v} on nopeuden yksikkövektori. Siirrytään skalaareihin, jolloin

$$ma = -bv^2. \quad (3.10)$$

Kiihtyvyys voidaan esittää differentiaalina

$$a = \frac{dv}{dt}, \quad (3.11)$$

sijoitetaan yhtälö (3.11) yhtälöön (3.10) ja saadaan lopulliseksi liikeyhtälöksi

$$\frac{dv}{dt} = \frac{-bv^2}{m}. \quad (3.12)$$

C-kohdassa selvitetään pellen nopeus paikan funktiona differentiaaleja käyttäen. Tehtävässä yhtälö täytyy separoida sekä integroida. Hyödynnetään ketjusääntöä $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} =$

$\frac{dv}{dx}v$, jolloin saadaan

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dx}v &= \frac{-bv^2}{m} \\ \frac{dv}{dx} &= \frac{-bv}{m}. \end{aligned} \quad (3.13)$$

Separoidaan ja integroidaan yhtälö (3.13)

$$\begin{aligned} \frac{1}{v} dv &= \frac{-b}{m} dx \\ \int_{v_1}^{v_2} \frac{1}{v} dv &= \frac{-b}{m} \int_0^x dx \\ \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) &= \frac{-b}{m} x \\ e^{\frac{-b}{m}x} &= \frac{v_2}{v_1}, \end{aligned}$$

josta saadaan vedessä pellen nopeudeksi paikan funktiona

$$v_2 = v_1 e^{\frac{-b}{m}x}. \quad (3.14)$$

Yllä oleva yhtälö (3.14) on ratkaistu määrättyllä integraalilla, mutta tehtävän voi ratkaista myös käyttämällä vakion C arvoa.

Kohdassa d tarkoitus on laskea tynnyrin syvyys, kun pellen nopeus osuessa pohjaan on kymmenesosa veteenosumisnopeudesta. Pellen massa sekä vakion b arvo on annettu. Ratkaistaan yhtälöstä (3.14) paikka x

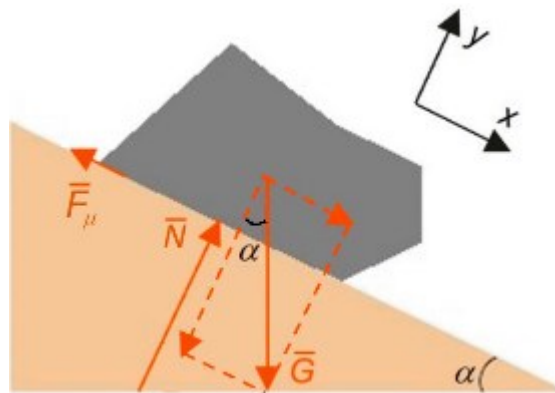
$$x = -\frac{m}{b} \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right). \quad (3.15)$$

Sijoitetaan yhtälöön (3.15) arvot $m = 75 \text{ kg}$, $b = 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ ja $v_2 = \frac{1}{10} v_1$, jolloin tynnyrin syvyydeksi saadaan $x = 6,908 \text{ m}$.

3.2 Lukiotason tehtävä

Seuraavaksi esitellään lukiotason maanvyörytehtävän tehtävänanto ja malliratkaisu. (Ylioppilastutkintolautakunta, 2024) Tehtävänanto: ”Kalliosta on irronnut lohkare, jonka massa on 2 200 kg. Se lähtee liikkeelle ja liukuu kallionrinnettä alaspäin. Rinteen kaltevuuskulma on 28° . Lohkareen ja kallionrinteen välinen liukukitkakerroin on 0,40. A) Määritä lohkareen kiihtyvyyden. B) Johda lauseke, joka esittää lohkareen liike-energiaa ajan funktiona. Laadi johtamasi lausekkeen avulla graafinen esitys liike-energiasta ajan funktiona välillä 0–10 s.”

Lukiotason maanvyörytehtävässä kalliosta irronnut lohkare lähtee liikkeelle ja liikkuu kallionrinnettä alaspäin. Tehtävän malliratkaisu on otettu Ylioppilastutkintolautakunnan sivuilta (Ylioppilastutkintolautakunta, 2024). Tehtävänannossa on kerrottu lohkareen massa, rinteen kaltevuuskulma ja lohkareen sekä kalliorinteen välinen liukukitkakerroin. Tehtävän a-kohdassa määritetään lohkareen kiihtyvyyden. Tehtävän ratkaisemiseksi täytyy piirtää voimakuvio, jossa näkyy kolme oikeaan suuntaan olevaa sekä nimettyä voimantuolta. Kuvassa 3.1 on esitelty hyvänvastauksen piirteiden mukainen voimakuvio. Kuvaan 3.1 on merkitty vektoreilla lohkareeseen vaikuttava painovoima \vec{G} , pinnan tukivoima \vec{N} ja kitkavoima \vec{F}_μ .



Kuva 3.1. Maanvyörytehtävän hyvänvastauksen piirteiden mukainen voimakuvio. (Ylioppilastutkintolautakunta, 2024)

Lohkareen kiihtyvyyden määrittämiseksi tarkastellaan kuvaa 3.1 komponentteittain x - sekä y -suunnassa. Newtonin toisen lain mukaan kirjoitetaan yhtälöt molemmille suunnille. Vaakasunnassa saadaan yhtälö

$$ma = G \sin \alpha - F_\mu, \quad (3.16)$$

missä m on lohkareen massa, a on lohkareen kiihtyvyyden, α on kalliorinteen kaltevuuskulma, $G = mg$ on lohkareeseen vaikuttava painovoima ja F_μ on kitkavoima. Ratkaistaan yhtälöstä (3.16) kiihtyvyyden

$$a = \frac{1}{m} (G \sin \alpha - F_\mu). \quad (3.17)$$

Saadaan y -suunnan yhtälö ja ratkaistaan siitä pinnan tukivoima

$$N - G \cos \alpha = 0$$

$$N = G \cos \alpha$$

$$N = mg \cos \alpha. \quad (3.18)$$

Kitkavoima on

$$F_\mu = \mu N, \quad (3.19)$$

missä μ on lohkareen ja kalliorinteen välinen liukukitkakerroin. Sijoitetaan yhtälöön (3.19) yhtälö (3.18), jolloin saadaan

$$F_\mu = \mu mg \cos \alpha. \quad (3.20)$$

Sijoitetaan yhtälö (3.20) ja $G = mg$ yhtälöön (3.17), jolloin

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha). \quad (3.21)$$

Sijoitetaan yhtälöön (3.21) putoamiskiihtyvyyttä $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, kaltevuuskulma $\alpha = 28^\circ$ ja liukukitkakerroin $\mu = 0,40$. Saadaan lohkareen kiihtyvyydeksi $a = 1,141 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 1,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Tehtävän b-kohdassa johdetaan yhtälö lohkareen liike-energiälle ajan funktiona. Lisäksi tehtävässä laaditaan johdetun yhtälön avulla graafinen esitys liike-energiasta ajan funktiona.

Lohkareen liike muuttuu tasaisesti, jolloin sen nopeus on muotoa

$$v(t) = v_0 + at, \quad (3.22)$$

missä t on aika ja v_0 on lohkareen alkunopeus eli $v_0 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Lohkareen liike-energiaksi E_k ajan funktiona saadaan

$$E_k(t) = \frac{1}{2} m (v(t))^2. \quad (3.23)$$

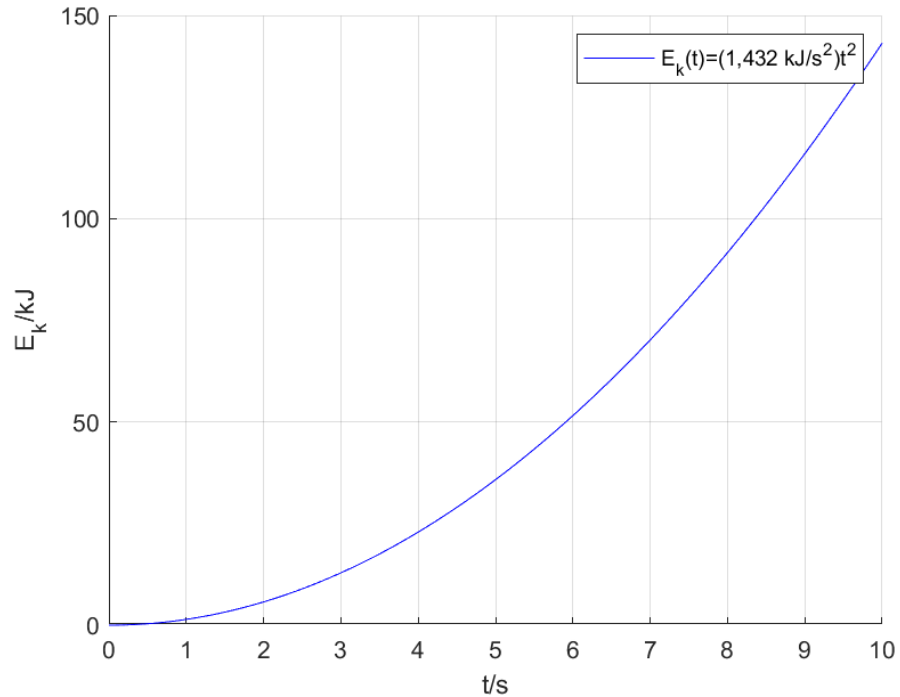
Sijoitetaan yhtälö (3.22) yhtälöön (3.23), jolloin saadaan lohkareen liike-energiälle yhtälö

$$E_k(t) = \frac{1}{2} m a^2 t^2. \quad (3.24)$$

Sijoitetaan tiedetyt lukuarvot ja saadaan

$$E_k(t) = \left(1,432 \frac{\text{kJ}}{\text{s}^2}\right) t^2. \quad (3.25)$$

Piirretään kuvaaja hyödyntäen yhtälöä (3.25). Lohkareen liike-energian kuvaaja on esitelty kuvassa 3.2.



Kuva 3.2: Johdetun lausekkeen (3.25) mukainen liike-energian kuvaaja ajan funktiona. Mukailtu lähteestä (Ylioppilastutkintolautakunta, 2024).

Kuvassa 3.2 on esitelty maanvyörytehtävän b-kohdassa pyydetty yhtälön (3.25) mukainen liike-energian kuvaaja. Y-akselilla on liike-energia kilojouleina ja x-akselilla on kulunut aika sekunteina. Tarkka hyvänvastauksen piirteiden mukainen liike-energian kuvaaja on esiteltyä kuvassa A.1 liitteessä A.

4. TULOKSET

Luvussa 3 esiteltiin malliratkaisut molempiin tehtäviin. Tässä luvussa tarkastellaan tekoälytyökalujen ratkaisuja, yksityiskohtia ja lisäsyötteitä. Alaluvussa 4.1 tutkitaan sekä vertaillaan ratkaisuja ja alaluvussa 4.2 analysoidaan ratkaisuja tarkemmin sekä verrataan niitä aiempiin tutkimuksiin.

4.1 Tulosten vertailu

Tässä alaluvussa vertaillaan ChatGPT:n ja Copilotin ratkaisuja keskenään. Tarkoituksena on esitellä työkalujen ratkaisuja ja katsoa vastauksia vielä hieman tarkemmin. Tässä alaluvussa esitellään ensin ratkaisuja taulukoiden avulla ja sen jälkeen yksittäin.

Tutustutaan ensin tarkemmin kaikkiin pellehyppytehtävän saatuihin ratkaisuihin. Pellehyppytehtävän d-kohdan vastaukset ovat koottuna taulukoon 1. Taulukossa 1 on huomioitu vain d-kohdan vastaukset, koska se kertoo laajasti myös koko tehtävästä ja mahdollisista virheistä. Jos tehtävässä olisi virheitä aiemmissa kohdissa, niin d-kohdassa ne näkyisivät virheellisenä tynnyrin syvyytenä.

Taulukko 1: ChatGPT:n ja Copilotin vastaukset pellehyppytehtävän d-kohtaan, kun oikea vastaus tynnyrin syvyydeksi oli 6,91 m.

Kerta	Tynnyrin syvyys (m)	
	ChatGPT	Copilot
1	6,91	6,91
2	6,91	6,91
3	1,93	6,91
4	6,91	6,91
5	6,91	6,91

Taulukossa 1 ensimmäinen kerta tarkoittaa päivää 25.2.2025, toinen 28.2.2025, kolmas 1.3.2025, neljäs 3.3.2025 ja viides 5.3.2025. Kun tekstissä puhutaan kerroista, tarkoitetaan näitä kertoja vastaavia päivämääriä. Nähdään, että Copilot vastaa kaikilla kerroilla oikein, mutta ChatGPT vastaa kolmannella kerralla väärin. Molemmat työkalut vastaavat tehtävään taulukon perusteella hyvin. Tulosten analyysissä käsitellään kolmannella kerralla tapahtunutta huolimattomuusvirhettä tarkemmin.

Pisteytetään ChatGPT:n ja Copilotin ratkaisut maanvyörytehtävään ylioppilaskokeen hyvänvastausten piirteiden mukaisesti. Hyvänvastausten piirteissä (Ylioppilastutkintolautakunta, 2024) on annettu maanvyörytehtävälle pisteytysohjeet. Maanvyörytehtävässä

täydet pisteet ovat 15 pistettä, a-kohdasta saa enintään 8 pistettä ja b-kohdasta 7 pistettä. A-kohdan voimakuviosta annetaan kaksi pistettä, jos se on esitetty ja siinä on kolme oikeaan suuntaan olevaa sekä nimettyä voimanuolta. Ilmanvastusta kuvaava nuoli sallitaan, jos se on pieni. Voimakuviosta annetaan nolla pistettä, jos voimanuoli on irti lohkarreesta tai lohkarreeseen on piirretty ylimääräisiä voimia. Nolla pistettä annetaan myös siinä tapauksessa, jos voimia ei ole nimetty tai nimeäminen ei ole yksikäsitteinen. Seuraavat kaksi pistettä annetaan, jos lohkarreelle on esitetty liikeyhtälö muodossa $ma = G_x \dots$, $ma = G \sin \alpha \dots$ tai $ma = mg \sin \alpha \dots$ oikein rinteeseen suuntaan. Kaksi pistettä annetaan, jos lohkarreelle on esitetty rinnettä vastaan kohtisuorassa suunnassa oikea liikeyhtälö tai tasapainoyhtälö. Viimeiset kaksi pistettä annetaan, jos kiihtyvyyden suhteen on ratkaistu oikea suureyhtälö sekä arvo on annettu 2–3 merkitsevän numeron tarkkuudella.

Käydään läpi seuraavaksi maanvyörytehtävän b-kohdan pisteytysohjeet. Tehtävästä annetaan kaksi pistettä, jos liike-energian suureyhtälö ajan ja kiihtyvyyden avulla on esitetty joko suuresymboleilla tai lukuarvoilla oikeita yksiköitä käyttäen. Viisi pistettä annetaan, jos liike-energiasta ajan funktiona on piirretty kuvaaja. Kuvaajassa liike-energian arvot tulee olla luettavissa oikein kaikilla ajanhetkillä. Piirretyn kuvaajan tulee olla johdetun lausekkeen mukainen. Kuvaajasta ei saa pisteitä, jos funktio ei ole paraabeli. Taulukossa 2 on esitetty ChatGPT:n ja Copilotin maanvyörytehtävän pisteytys a- ja b-kohdissa.

Taulukko 2: ChatGPT:n ja Copilotin pisteet maanvyörytehtävässä, kun a-kohdassa mahdollista on saada 8 pistettä ja b-kohdassa 7 pistettä.

Kerta	Pisteet a-kohdassa		Pisteet b-kohdassa	
	ChatGPT	Copilot	ChatGPT	Copilot
1	2	2	2	7
2	2	2	7	7
3	2	2	5	7
4	2	2	7	7
5	2	2	7	7

Taulukosta 2 nähdään, että ChatGPT ja Copilot suoriutuvat a-kohdassa saman tasoisesti. B-kohdassa työkalujen välillä huomataan eroavaisuuksia. ChatGPT:n vastausten pisteet b-kohdassa vaihtelevat, kun taas Copilotin pisteet ovat tasaisesti aina täydet 7 pistettä.

Taulukon perusteella kyseisille tekoälytyökaluille a-kohta on ollut haastavampi kuin b-kohta. A-kohdassa 2 pisteitä jäi saamatta, koska työkalut eivät piirtäneet voimakuviota automaattisesti. Lisäksi liikeyhtälöistä oli mahdollista saada yhteensä 4 pistettä, mutta niitä ei ollut merkattu selkeästi ratkaisuun. Saadut 2 pistettä tulivat oikeasta kiihtyvyyden

yhtälöstä ja arvosta. Kiihtyvyyden arvo oli siis aivan oikein, vaikka taulukosta 2 voisi ajatella tehtävän a-kohdan menneen väärin. A-kohdan vastauksista voisi todeta, että ChatGPT ja Copilot eivät aivan osaa vastata tehtäviin samalla tavalla kuin Ylioppilastutkintolautakunta olettaa lukiolaisen vastaavan. Vaikka kiihtyvyyden arvo on oikein, ratkaisujen välivaiheissa on puutteita. Arvioinnissa ei anneta täysiä pisteitä vain oikeasta vastauksesta, vaan oleellista on myös se, miten ratkaisuun on päästy.

Maanvyörytehtävän b-kohdassa ChatGPT:n vastaukset ensimmäisellä sekä kolmannella kerralla poikkeavat muista kerroista. Ensimmäisellä kerralla ChatGPT antoi ratkaisussa vain liike-energiakuvaajan koodin, joten kuvaajasta jäi 5 pistettä saamatta. Saadut 2 pistettä tulivat oikein johdetusta liike-energian lausekkeesta, mutta lauseke oli symbolisen esitystavan lisäksi laskettu auki. Symboleilla esitetty lauseke oli aivan oikein, mutta lukuarvoilla laskettaessa yksiköt olivat jätetty merkkaamatta. Kolmannella kerralla ChatGPT:ltä jäi 2 pistettä saamatta, koska liike-energian lauseke oli annettu väärin. Lauseke oli ilmoitettu vain lukuarvoilla ja massa sekä kiihtyvyys oli merkattu ilman yksiköitä. Lisäksi kiihtyvyydeksi oli sijoitettu tarkan arvon sijasta pyöristetty lukuarvo. Lohkareen liike-energiaksi ChatGPT antaa kolmannella kerralla $E_k(t) \approx 1429,56t^2$. Vaikka liike-energian arvo on laskettu pyöristetyllä arvolla, kuvaaja oli kuitenkin oikein ja siitä tulivat saadut 5 pistettä. Muilla kerroilla ChatGPT ja Copilot saivat 2 pistettä oikeasta liike-energian suureyhtälöstä ja 5 pistettä oikein tehdystä liike-energian kuvaajasta.

Tarkastellaan tehtävien ratkaisuja vielä tarkemmin. Alla käydään ensin ChatGPT:n vastaukset pellehyppytehtävään ja sitten maanvyörytehtävään. Tehtävät syötetään viestibotille tekstimuodossa. Jos sovellus ei ymmärrä tehtävää tai jos se vastaa väärin, sitä pyritään avustamaan oikeaan ratkaisuun. Avustamiseen liittyvät kysymykset on mietitty tilannekohtaisesti. Lisäkysymyksiä sekä niihin liittyviä ratkaisuja käsitellään alaluvussa 4.2. Tehtävätyypit ovat monivaiheisia ja ne syötetään yhdellä kertaa kokonaisuudessaan. Molemmissa tehtävissä käytetään ChatGPT:n ilmaisversiota. Malli, jota ChatGPT käyttää on GPT-4o. Koska GPT-4o-mallin käyttö on rajoitettu, aineiston kerääminen on jaettu useammalle päivälle. Tehtävät syötettiin kerran viitenä eri päivänä. Aineiston keräämisen jakaminen useammalle päivälle antaa monipuolista dataa, jota voidaan tarkastella perusteellisesti. Taulukoista huomataan, jos aineistoa olisi kerätty vain kerran, se ei antaisi kokonaisvaltaista kuvaa tekoälytyökalujen osaamisesta. Vaikka työkalu osaisi tehtävät ensimmäisellä kerralla, se ei välttämättä osaa niitä toisella kerralla.

ChatGPT:lle annettu syöte oli aina muodossa: ”Ratkaise tehtävä suomeksi: Pellehyppääjä pudottautuu vesitynnyriin hyppytornista, joka on 10 m:n korkeudella veden pinnasta mitattuna. A) Laske millä nopeudella pelle osuu veteen. B) Tarkastele seuraavaksi mitä tapahtuu veden alla. Voit olettaa nyt, että sukeltajaan vaikuttava noste on yhtä suuri

kuin painovoima. Veden sukeltajaan kohdistamaa vastusvoimaa kuvaa nyt puolestaan lauseke: $F = -bv^2$, missä b on vakio ja v on sukeltajan nopeus vedessä. Kirjoita pellen liikeyhtälö veden alla. C) Huomaa liikeyhtälössä, että $dv/dt = (dv/dx)(dx/dt) = (dv/dx)v$. Mikä on pellen nopeus vedessä paikan funktiona? D) Jos pellen massa on 75 kg ja $b = 25 \text{ kg/m}$, niin kuinka syvä tynnyrin täytyy olla, jotta pellen nopeus olisi tynnyrin pohjaan osuessa enää 1/10 veteenosumisnopeudesta?”

Kaikilla kerroilla ChatGPT päätyi a-kohdassa yhtälöön (3.2) sekä sai pellen nopeudelle oikean vastauksen. Nopeuden yhtälölle ei esitetty välivaiheita yhtä kertaa lukuun ottamatta. Yhdessä ratkaisussa pohjana oli annettu energian säilyminen ja tämän jälkeen esitelty yhtälö (3.2). B-kohdassa ChatGPT antoi kaikilla kerroilla oikean liikeyhtälön. Yhtälö oli yhtälön (3.12) mukainen, mutta massa oli useasti jätetty yhtälön vasemmalle puolelle. Pellen nopeuden yhtälöksi c-kohdassa ChatGPT antoi lähes poikkeuksetta yhtälön (3.14) mukaisen vastauksen. Välivaiheita oli esitelty ja yhtälöön päädyttiin integraalien avulla käyttämällä integroimisvakioita C . Kolmannella kerralla viestibotti päätyi yhtälöön

$$v(x) = \frac{1}{\frac{b}{m}x + \frac{1}{v_0}}, \quad (3.26)$$

missä x on kysytty tynnyrin syvyys ja v_0 on pellen veteenosumisnopeus. Yhtälö johti d-kohdassa arvoon $x = 1,93 \text{ m}$. Muina kertoina ChatGPT ratkaisi tehtävän oikein ja sai tuloksen, että tynnyrin on oltava vähintään 6,91 metriä syvä.

Seuraavaksi käsitellään ChatGPT:n ratkaisuja maanvyörytehtävään. ChatGPT:lle annettu syöte oli aina muodossa: ”Ratkaise tehtävä suomeksi: Kalliosta on irronnut lohkare, jonka massa on 2 200 kg. Se lähtee liikkeelle ja liukuu kallionrinnettä alaspäin. Rinteen kaltevuuskulma on 28° . Lohkareen ja kallionrinteen välinen liukukitkakerroin on 0,40. A) Määritä lohkareen kiihtyvyyden. B) Johda lauseke, joka esittää lohkareen liike-energiaa ajan funktiona. Laadi johtamasi lausekkeen avulla graafinen esitys liike-energiasta ajan funktiona välillä 0–10 s.”

A-kohdassa ChatGPT antoi vastaukseksi oikean kiihtyvyyden jokaisella kerralla eli $a = 1,141 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Painovoima, rinteen suuntainen painovoiman komponentti sekä liukukitka oli esitelty ratkaisuihin. Yhtälön (3.21) mukainen välivaihe oli saatu oikein, mutta havainnollistavaa kuvaa ei ollut piirretty. B-kohdassa liike-energian lauseke oli ratkaistu lähes aina oikein ja vastaus oli yhtälön (3.24) mukainen. Kolmannella kerralla liike-energian lauseke oli annettu vain lukuarvoilla ja välivaiheissa ei ollut yksiköitä. ChatGPT antoi energian kuvaajan kerran koodimuodossa, mutta muulloin kuvaaja oli piirretty. Piirretyt

kuvaajat olivat keskenään samanlaisia ja kuvan 3.2 mukaisia. Yksi esimerkki ChatGPT:n piirtämästä kuvaajasta on esitelty kuvassa B.1 liitteessä B.

Käydään seuraavaksi läpi tarkemmin Copilotin ratkaisuja ensin pellehyppytehtävään ja sitten maanvyörytehtävään. Tehtävänannot on annettu samassa muodossa kuin ChatGPT:lle, ja Copilotin versio, jota työssä käytetään, hyödyntää GPT-4o:ta. Copilot päätyi a-kohdassa aina yhtälöön (3.2), mutta ilman kattavia välivaiheita. Ensimmäisellä kerralla yhtälö oli johdettu välivaiheineen käyttäen liike- sekä potentiaalienergiaa. A-kohdan kysyty nopeus oli poikkeuksetta haluttu $14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. B-kohdassa liikeyhtälö oli oikein ja samaa muotoa kuin yhtälö (3.12). Ensimmäisellä kerralla Copilot antoi c-kohdan yhtälön (3.14) oikein, mutta lyhyin perusteluin. Muina kertoina välivaiheita oli annettu enemmän. Integroinnissa oli esitelty vakio C , mutta ei ollut annettu perusteluja sille, miksi C on sama kuin a-kohdassa ratkaistu nopeus. D-kohdassa kysytyn tynnyrin syvyydeksi Copilot sai jokaisella syöttökerralla halutun $x = 6,91 \text{ m}$.

Maanvyörytehtävän a-kohdassa Copilot sai jokaisella kerralla kiihtyvyydeksi $a = 1,14 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Välivaiheita oli esitelty ratkaisuihin niukasti eikä voimakuviota ollut piirretty. Painovoima, rinteensuuntainen painovoiman komponentti ja kitka oli esitelty ratkaisuihin. Kiihtyvyyden lauseke oli jokaisella kerralla annettu muodossa

$$a = \frac{F_{\text{rinteellä}} - F_{\text{kitka}}}{m},$$

missä $F_{\text{rinteellä}} = mg \sin(\theta_{\text{rad}})$ ja $F_{\text{kitka}} = \mu(mg \cos(\theta_{\text{rad}}))$. B-kohdassa liike-energialle saatiin aina oikea yhtälö ja se oli laskettu auki yhtälön (3.25) mukaisesti. Muista kerroista poiketen vain kolmannella kerralla yhtälöä ei ollut laskettu auki. Graafinen esitys liike-energialle annettiin jokaisella kerralla samanlaisena ja mukaillen kuvaa 3.2.

4.2 Tulosten analyysi

Analyysi etenee niin, että ensin tutustutaan ChatGPT:n ratkaisuihin pellehyppytehtävässä ja sitten maanvyörytehtävässä. ChatGPT:n ratkaisujen käsittelystä siirrytään Copilotin ratkaisuihin ja samoin kuin edellä, ensin pellehyppytehtävä ja sen jälkeen maanvyörytehtävä.

Ensimmäisellä kerralla ChatGPT:lle annettiin pellehyppytehtävässä lisäkysymys. Syöte annettiin muodossa: ”Selitä välivaiheineen, miten a-kohdassa saatiin v:n kaava?” Tarkoituksena oli selvittää millaisilla välivaiheilla pellen veteenosumisnopeus oli saatu. Syötteeseen ChatGPT antoi vastaukseksi tasaisesti kiihtyvän liikkeen yhtälön

$$v^2 = v_0^2 + 2as, \tag{4.1}$$

missä v on pellen veteenosumisnopeus, v_0 on alkuperäinen nopeus eli nolla, a on painovoiman aiheuttama kiihtyvyys ja s on pudotuskorkeus. Seuraavassa syötteessä kysyttiin, miten edellä mainittu liikeyhtälö oli saatu. Syöte oli muodossa: "Selitä, miten sait liikeyhtälön $v^2=v_0^2+2*a*s$?" Ratkaisussa liikeyhtälö johdetaan tasaisesti kiihtyvän liikkeen perusyhtälöistä

$$v = v_0 + at$$

ja

$$s = v_0t + \frac{1}{2}at^2,$$

missä t on aika ja v on nopeus ajanhetkellä t . Ratkaisussa esiteltiin kaavan johtaminen ja lopputuloksena oli yhtälö (4.1). Kaavan johtaminen oli monivaiheinen ja voi antaa opiskelijalle sellaisen kuvan, että tämä on ainut tapa ratkaista tehtävä. Kaavojen ulkoa opettelu voi olla haastavaa, jolloin tämän tehtävän kohdalla hyödyllistä on oppia ratkaisemaan nopeuden yhtälö esimerkiksi energiaperiaatteen kautta.

Kun pellehyppytehtävä syötettiin ChatGPT:lle kolmannen kerran, päätyi se virheellisesti yhtälöön (3.26) ja tynnyrinsyvyyteen $x = 1,93$ m. ChatGPT oli saanut c-kohdassa välivaiheena yhtälön

$$v \frac{dv}{dx} = -\frac{b}{m} v^2,$$

jolloin seuraava välivaihe oli virheellisesti yhtälö

$$\frac{dv}{v^2} = -\frac{b}{m} dx.$$

Koska v oli jätetty supistamatta oikealta puolelta, tehtävän c- ja d-kohdissa päädyttiin virheelliseen vastaukseen. Seuraavaksi pyrittiin saamaan ChatGPT ratkaisemaan tehtävä oikein, joten esitettiin lisäkysymys: "Pitäisikö kohdassa c ennen integrointia yhtälön olla $dv/v=(-b/m) dx$?" ChatGPT korjasi edellisen ratkaisun ja sai yhtälön

$$\frac{dv}{v} = -\frac{b}{m} dx,$$

mutta korjauksesta huolimatta koko ratkaisu ei kuitenkaan ollut oikein. ChatGPT saa yhtälön

$$v(x) = e^c e^{-\frac{b}{m}x}, \quad (4.2)$$

jonka jälkeen se kertoo merkitsevänsä $e^c = v_0$, mutta päätyy silti yhtälöön (3.26). Koska vastaus oli jälleen väärin, esitettiin lisäkysymys siitä, pitäisikö yhtälön olla yhtälön (3.14)

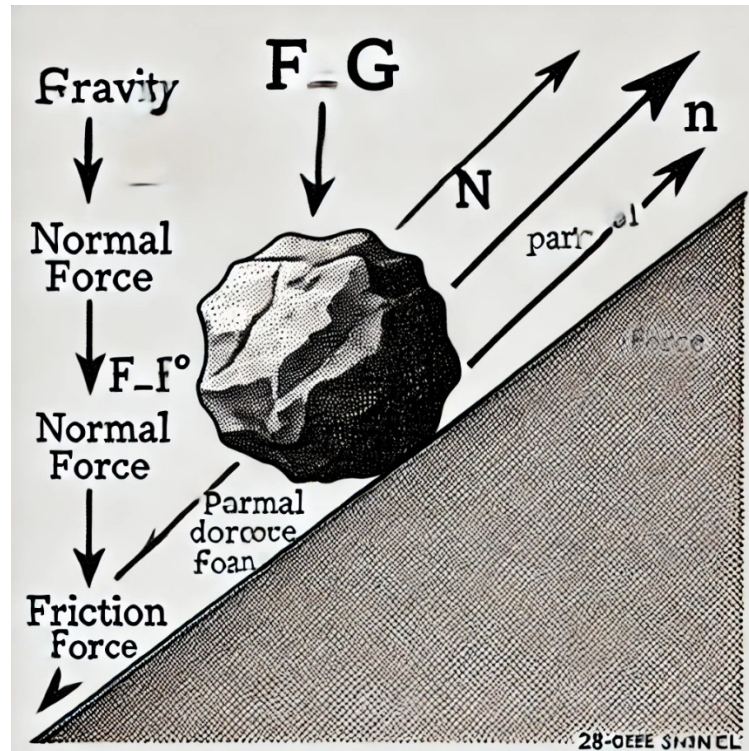
mukainen. Viimeisen lisäkysymyksen jälkeen ChatGPT sai oikean yhtälön (3.14) sekä tynnyrin syvyyden $x = 6,91$ m.

Mielenkiintoista on se, kun kolmannella kerralla syötteiden avulla pyrittiin saamaan oikea ratkaisu, tarvittiin kaksi lisäsyötettä ennen oikeaa vastausta. Ensimmäisen lisäkysymyksen jälkeen ChatGPT tarkisti vain pienen osan tehtävästä ja jatkoi virheellisesti loppuun. ChatGPT saa yhtälön (4.2) ja kertoo sijoittavansa arvon $e^C = v_0$, mutta ei tee sijoitusta. Jos ChatGPT tekisi niin kuin kertoo, päättyisi se yhtälön (3.14) mukaiseen ratkaisuun. Näin ei kuitenkaan käy, vaan ratkaisuna on ennen lisäsyötettä saatu yhtälö (3.25). Ratkaisu ei siis etene johdonmukaisesti, vaikka se saattaa nopeasti katsottuna näyttää siltä. Saatua tynnyrin syvyyttä $x = 1,93$ m ei kyseenalaisteta tai perustella, vaikka se ei ole järkevä. ChatGPT:n ratkaisusta poiketen opiskelija saattaisi perustella ja kyseenalaistaa omaa ratkaisuaan, jos se ei vaikuttaisi todenmukaiselta. Ratkaisu meni pieleen, koska ChatGPT oli jättänyt yhden v :n supistamatta. Virheeseen voi vaikuttaa se, että tehtävä on monivaiheinen. Esimerkiksi López-Simó ja Rezende (2024) tekivät havainnon siitä, että monivaiheisissa tehtävissä virheiden määrä peruslaskutoimituksissa voi olla suurempi. Vaikuttavana tekijänä saattaa olla myös se, että ChatGPT ratkaisi tehtävän erilliseen tiedostoon.

Pellehyppytehtävän merkinnöissä hieman erikoista on se, että a-kohdassa ChatGPT käyttää pellen veteenosumisnopeudelle symbolia v , mutta c-kohdassa antaa nopeuden yhtälön muodossa $v(x) = v_0 e^{-\frac{b}{m}x}$. Yhtälössä v_0 on sama nopeus kuin a-kohdassa, mutta merkintä on eri. Tämä voi olla hieman harhaanjohtavaa ja selkeyden vuoksi koko tehtävässä olisi hyvä käyttää samoja merkintöjä. ChatGPT merkitsee d-kohdassa kymmenesosan veteenosumisnopeudesta myös käyttäen symbolia v_0 . Tämä voi johtua siitä, että pellen nopeus paikan funktiona esitetään muodossa $v(x)$, jolloin a-kohdassa käytetty v täytyy nimetä eri tavalla. ChatGPT ei palaa takaisin tarkistamaan a-kohdan merkintää, jolloin se ei ole yhteensopiva lopun tehtävän kanssa. Gregorcicin ja Pendrillin (2023) tutkimuksessa havaittiin myös, että ChatGPT:n ratkaisun kohdat eivät aina ole yhteensopivia keskenään. Taulukon 1 perusteella voidaan kuitenkin todeta, että työkalut onnistuivat pellehyppytehtävässä, eikä oikeiden vastausten saaminen tuottanut suuria vaikeuksia.

Maanvyörytehtävässä ChatGPT:lle esitettiin neljänä kertana lisäkysymys: ”Piirrä kohdan a voimakuvio”. Ensimmäisellä kerralla ChatGPT antoi ratkaisussa selitykset kaikille voimille, jonka jälkeen piirsi pyydetyn kuvan. ChatGPT:n ratkaisussa kerrotaan painovoiman suuntautuvan alas, normaalivoiman olevan kohtisuorassa rinnettä vasten, rinnettä

alas suuntautuvan painovoiman komponentin vetävän lohkareta rinnettä alas ja liukukitkan olevan suunnattu rinnettä ylöspäin. ChatGPT:n ensimmäisellä kerralla piirtämä kuva on esitelty kuvassa 4.1.



Kuva 4.1: ChatGPT:n ensimmäisellä kerralla piirtämä voimakuvio maanvyörytehtävän a-kohdassa syötteeseen: "Piirrä a kohdan voimakuvio". Kuva luotu: (ChatGPT, 2025).

Kuvan 4.1 piirtämisen jälkeen ChatGPT kertoo kuvassa olevan merkittynä painovoima F_g , normaalivoima N , rinnettä alas suuntautuva painovoiman komponentti F_{\parallel} ja liukukitka F_f . Piirretty kuva 4.1 ja ChatGPT:n kuvan selitys ovat ristiriidassa keskenään, koska kuvan 4.1 voimat eivät vastaa selityksen voimia. Gregorcic ja Pendrill (2023) tekivät tutkimuksessaan havainnon siitä, että ChatGPT voi esittää vastauksissaan ristiriitaisia ja epäjohdonmukaisia perusteluita.

Piirretty kuva 4.1 ei vastaa haluttua voimakuviota, joka on esitelty kuvassa 3.1. Kuvassa 4.1 on merkittynä ylimääräisiä voimia ja kaikki voimat ovat irti lohkareesta. Voimakuviossa esimerkiksi nopeuden suunta voidaan merkitä irrallaan olevana vektorina, mutta kappaleeseen vaikuttavat voimat ovat kiinni kappaleessa. Kuvassa merkinnät F_G ja N ovat oikein, mutta voimanuolten pituudet sekä paikat ovat väärin. Tämän tehtävän tapauksessa voimakuviossa painovoiman F_G ja pinnan tukivoiman N tulisi olla yhtä suuret, koska lohkare ei liiku y -suunnassa.

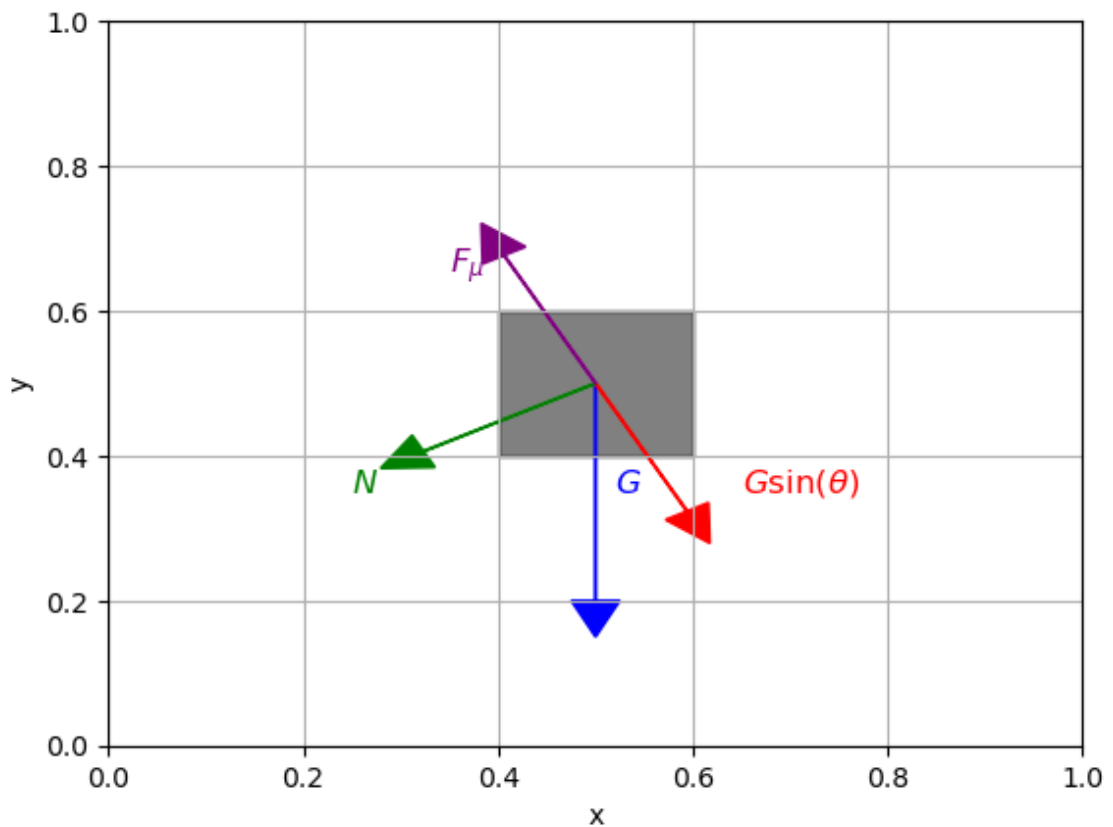
Kolmannella kerralla ChatGPT:lle annettiin syöte: "Näytä kohdan a välivaiheet komponentteittain y - sekä x -suunnassa". Ratkaisussa annettiin painovoima $F_g = mg$, normaaliavoima $N = F_g \cos \theta$, liukukitka $F_k = \mu_k N$ ja painovoiman rinteensuuntainen komponentti $F_{\parallel} = F_g \sin \theta$. Tämän jälkeen annettiin syöte: "Piirrä kohdan a voimakuvio". Piirretty voimakuvio on esiteltyä kuvassa B.2 liitteessä B. Voimakuviossa voimat ovat piirretty keskeltä alkavina erivärisinä suorina. Kuva vastaa enemmän lohkarresta piirrettyä vapaa-kappalekuvaa, kuin haluttua voimakuviota.

Siirrytään nyt tarkastelemaan Copilotin ratkaisuja pellehyppytehtävässä ja maanvyörytehtävässä. Ensimmäisellä kerralla Copilotilta kysyttiin, miksi c-kohdassa nopeuden yhtälössä paikan funktiona käytetään pellen veteenosumisnopeudelle symbolia v_0 . Ratkaisussa Copilot kertoo, että v_0 tarkoittaa samaa nopeutta kuin a-kohdassa laskettu nopeus $v = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, mutta merkintää v_0 käytetään korostamaan sitä, että se on alkuperäinen nopeus vedenpinnalla. Toisella kerralla Copilotille esitettiin pellehyppytehtävän a-kohdassa lisäkysymys. Syöte annettiin muodossa: "Näytä välivaiheet kohdan a lausekkeelle $v = \sqrt{2gh}$ ". Ratkaisussa Copilot johtaa yhtälön (3.2) potentiaalienergian ja liike-energian avulla. Energian säilymislaista Copilot ratkaisi nopeuden v ja sai yhtälön (3.2). Malliratkaisuissa yhtälö (3.2) on johdettu samantapaisesti. Copilotin tapa johtaa nopeuden yhtälö a-kohdassa on huomattavasti yksinkertaisempi kuin aiemmin esitelty ChatGPT:n johto samalle yhtälölle. Kokonaisuudessaan kaikilla kerroilla Copilotin vastaukset pellehyppytehtävään olivat suoraviivaisia, melko lyhyitä ja aina oikein.

Maanvyörytehtävä annettiin Copilotille samassa muodossa kuin ChatGPT:lle. Ensimmäisellä kerralla Copilotille annettiin lisäksi syöte: "Piirrä kohdan a voimakuvio". Koska voimakuvio ei vastannut tehtävänantoa, esitettiin jatkokysymys. Syöte oli muodossa: "Piirrä yksinkertaisempi voimakuvio kohdassa a. Voimakuviossa tulee olla merkittynä vektorein vain lohkareseen vaikuttavat painovoima, pinnan tukivoima ja kitkavoima. Merkitse kuvaan näkyviin myös rinteeseen kaltevuuskulma. Merkitse myös x -suunta ja y -suunta." Copilotin piirtämä voimakuvio on esitelty kuvassa B.3 liitteessä B. Copilotin ratkaisussa ei selitetty kuvaa auki, joten esitettiin jatkokysymys. Syöte annettiin muodossa: "Selitä mitä piirtämässäsi voimakuviossa tapahtuu, mitä vektorit ovat sekä miten ne kuuluvat merkitä voimakuvioon". Copilotin ratkaisussa oli esitelty lohkareseen vaikuttavat voimat ja niiden suunnat. Copilot antoi ohjeet voimakuvion piirtämiseen. Ensimmäisessä kohdassa neuvotaan piirtämään lohkar ja rinne sekä merkitsemään kaltevuuskulma θ . Seuraavaksi Copilot ohjeistaa piirtämään painovoiman alaspäin ja jakamaan sen rinteeseen suuntaiseen sekä rinnettä vasten kohtisuoraan olevaan komponenttiin. Pinnan tukivoima oh-

jeistetaan piirtämään kohtisuoraan rinnettä vasten ylöspäin ja kitkavoima rinnettä ylöspäin vastakkaiseen suuntaan kuin liike. Copilot antaa voimakuvion piirtämiseen oikeat ohjeet, mutta piirtää kuitenkin kuvan väärin.

Neljännellä kerralla kysyttiin jo aiemmin mainittu lisäkysymys: ”Piirrä kohdan a voimakuvio”. Copilot ilmoitti virheestä, joten kysymys muotoiltiin uudelleen. Syöte annettiin muodossa: ”Piirrä kohdan a voimakuvio, kun painovoima $G=m*g$, kitkavoima $F_{\mu} = \mu*N$ ja pinnan tukivoima $N=m*g*\cos\theta$ ”. Syötteen uudelleenmuotoilun jälkeen Copilot sai piirrettyä voimakuvion, joka on esitelty kuvassa 4.2.



Kuva 4.2: Copilotin neljännellä kerralla piirtämä voimakuvio maanvyörytehtävän a-kohdassa syötteeseen: ”Piirrä kohdan a voimakuvio”. Kuva luotu: (Copilot, 2025).

Kuvassa 4.2 on näkyvissä sinisellä painovoima G , vihreällä pinnan tukivoima N , violetilla kitkavoima F_{μ} ja punaisella painovoiman komponentti $G \sin \theta$. Harmaana näkyvä neliö kuvaa luultavimmin lohkarettä, mutta piirretty voimakuvio ei vastaa Ylioppilastutkintolautakunnan hyväntustauksen piirteiden mukaista voimakuviota. ChatGPT:n ensimmäisellä kerralla piirtämä kuva 4.1 eroaa huomattavasti Copilotin piirtämästä kuvasta 4.2, vaikka annettu syöte oli sama. Ensimmäisellä kerralla GhatGPT ja Copilot piirsivät samankal-

taiset voimakuviot, mutta toisella kerralla voimakuvion tyyli muuttui. Kerroilla 2–5 voimakuviot olivat tyyliiltään kuvan 4.2 mukaisia, kun taas ensimmäisellä kerralla kuvat olivat tyyliiltään kuvan 4.1 mukaisia.

Maanvyörytehtävän b-kohta sujui ChatGPT:ltä ja Copilotilta paremmin kuin a-kohta. Liike-energian lausekkeet olivat ilmoitettu symbolisessa muodossa aina oikein. Poikkeuksena kolmannella kerralla ChatGPT antoi liike-energian lausekkeen vain auki laskettuna. Tästä auki lasketusta muodosta ei annettu pisteitä, koska kiihtyvyyden arvona oli käytetty pyöristettyä muotoa eikä yksiköitä ollut merkattu välivaiheissa. Muilla kerroilla b-kohdassa ChatGPT ja Copilot esittivät symbolisen muodon lisäksi liike-energian myös auki lasketussa muodossa yhtälön (3.25) mukaisesti. Auki lasketun muodon välivaiheissa oli poikkeuksetta sijoitettu kiihtyvyys käyttäen pyöristettyä arvoa. Pyöristetyn kiihtyvyyden arvon takia tekoälytyökalujen lukuarvoilla laskettu liike-energian lauseke eroaa hieman malliratkaisuista. Useasti kiihtyvyydelle ja massalle ei ollut merkattu yksiköitä. Ensimmäisellä kerralla b-kohdassa Copilot syötti kiihtyvyyden sekä massan yksiköineen, mutta jätti sekuntin korottamatta toiseen potenssiin. Ratkaisussa välivaiheina annettiin

$$E_k(t) = \frac{1}{2} m(at)^2 = \frac{1}{2} * 2200\text{kg} * \left(1,14 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * t\right)^2 = 1429,32\text{kg} * \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} * t^2, \text{ jossa sekunti on jätetty korottamatta toiseen potenssiin. Lopuissa vastauksissa molemmat tekoälytyökalut antoivat auki lasketun liike-energian lausekkeen ilman yksikköä tai yksikkönä oli J, vaikka sen kuuluisi olla } J/s^2 \text{ tai } kJ/s^2. B-kohdassa Copilotin piirtämät energiankuvaajat olivat aina samanlaisia ja mukailivat kuvaa (3.2). Mielenkiintoista on se, että Copilotin sekä ChatGPT:n liike-energian kuvaajat olivat aina piirretty täsmälleen samalla tavalla, mutta voimakuviot olivat jokaisella kerralla erilaisia.}$$

Lopuksi voidaan todeta, että ChatGPT ja Copilot pärjäsivät yliopistotason tehtävässä paremmin kuin lukiotason tehtävässä. Puolestaan yhdistyneessä kuningaskunnassa tehdyssä Yeadonin ja Hardyn (2024) tutkimuksessa todetaan, että tekoälyn tuottamat oikeat vastaukset fysiikan koetehtävissä vähenevät, kun kouluaste on korkeampi. Se miten tekoälytyökalut pärjäävät fysiikan tehtävissä ei vain riipu siitä, mikä kouluaste on kyseessä, vaan myös siitä, millaisia tutkittavat tehtävät ovat. Aina ei voi siis olla varma, että työkalut pärjäävät huonommin yliopistotason kuin lukiotason tehtävissä. Tässä työssä täytyy ottaa huomioon, että tutkittavat tehtävät ovat tyyliiltään kuitenkin hieman erilaisia. Lukiotason tehtävä sisältää kuvaajan ja voimakuvion piirtämistä, kun taas yliopistotason tehtävässä mitään vastaavaa ei vaadita. Tulokset voisivat olla hyvin erilaisia, jos molemmat tehtävistä olisivat puhtaasti vain laskutehtäviä. Lukiotason tehtävä pisteytettiin myös vain hyvänvastauksen piirteiden mukaisesti, eikä Ylioppilastutkintolautakunta ole pisteyt-

tänyt työn tehtäviä. Työssä annettuja pisteitä ei siis voisi suoraan verrata esimerkiksi lukiolaisen saamiin pisteisiin. Työssä tutkittiin myös vain kahta tehtävää, jolloin ei saada kokonaisvaltaista käsitystä siitä, pärjäävätkö työkalut paremmin yliopistossa vai lukiossa.

5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tutkittiin, miten ChatGPT ja Copilot vastaavat eritasoiisiin fysiikan tehtäviin suomen kielellä. Maanvyörytehtävä oli lukiotason tehtävä ja pellehyppytehtävä oli yliopistotason tehtävä. Tekoälysovellukset ratkaisivat tehtävät viisi kertaa viitenä eri päivänä. Aineiston keruu useampana päivänä mahdollisti monipuolisten sekä erilaisten ratkaisujen saannin. Tehtävien syöte oli aina samassa muodossa, mutta lisäksi saatettiin antaa lisäkysymyksiä tehtävistä. Lisäkysymysten avulla pyrittiin myös ohjaamaan työkalu oikeaan ratkaisuun, jos vastaus oli väärin tai puutteellinen.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää, miten edellä mainitut tekoälytyökalut vastaavat maanvyöry- ja pellehyppytehtävään. Tavoite saavutettiin analysoimalla viitenä eri päivänä kerättyä aineistoa. Tarkoituksena oli myös vertailla ChatGPT:n ja Copilotin ratkaisuja keskenään. Copilotin huomattiin vastaavan useammin samalla tavalla, kun taas ChatGPT:n vastauksissa oli vaihtelua. Työssä vain ChatGPT teki virheen pellehyppytehtävässä, kun taas Copilot ratkaisi tehtävän aina oikein. Maanvyörytehtävän a-kohdassa molemmat työkalut pärjäsivät samalla tavalla, mutta b-kohdassa Copilot oli parempi. Maanvyörytehtävän a-kohdassa molemmat työkalut jättivät välivaiheissa useasti yksiköt merkkaamatta ja sijoittivat yhtälöön kiihtyvyyden pyöristetyn arvon. Kun maanvyörytehtävä pisteytettiin, a-kohdassa kiihtyvyys oli aina laskettu oikein, joten työkalut saivat 2 pistettä, kun täydet pisteet olivat 8 pistettä. Copilot sai maanvyörytehtävän b-kohdasta kaikilla kerralla täydet 7 pistettä. Puolestaan ChatGPT sai b-kohdassa ensimmäisellä kerralla 2 pistettä ja kolmannella kerralla 5 pistettä. Muilla kerroilla myös ChatGPT sai täydet 7 pistettä. Mielenkiintoista oli, että maanvyörytehtävän a-kohdassa piirretyt voimakuviot erosivat kaikki toisistaan, mutta b-kohdassa piirretyt energiankuvaajat olivat molemmilla työkaluilla aina samanlaisia.

Tulosten perusteella voidaan huomata, että tässä kandidaatintyössä tekoälytyökalut pärjäsivät paremmin yliopistotason pellehyppytehtävässä kuin lukiotason maanvyörytehtävässä. Johdannossa mainittiin siitä, että työkalujen kehittyminen ei välttämättä tarkoita sitä, että tehtävien vaikeustasoa täytyisi nostaa. Tämä työ osoittaa, että vaikeustason nostaminen tehtävissä ei aina ole oikea ratkaisu. Voitaisiin tutkia sitä, mikä tuottaa vaikeuksia tekoälytyökaluille. Työssä huomattiin, että etenkin voimakuviot ja liikeyhtälöt eivät kuulu tällä hetkellä työkalujen vahvuuksiin. Puolestaan puhdas laskeminen voi sujua työkaluilta yllättävän hyvin. Tekoälytyökalut voivat osata ratkaista tehtävän oikein, mutta välivaiheissa voi osoittautua huomattavia puutteita. Esimerkiksi maanvyörytehtävän a-kohdassa pyydetty kiihtyvyys osattiin aina ratkaista oikein, mutta välivaiheista puuttuivat

voimakuviot ja selkeät liikeyhtälöt. Lukiolainen tietää, mitä elementtejä hänen koevastauksessansa tulee olla, koska hän on opiskellut koetta varten. Puolestaan tekoälytyökalut eivät ole käyneet suomalaista lukiota. Työkaluilla on myös laajasti dataa käytössä, jolloin vastaus ei välttämättä ole juuri Ylioppilastutkintolautakunnan vaatimusten mukainen.

Opiskelijoille voi syntyä virhekäsityksiä, jos he eivät tiedä miten voimakuvio piirretään ja pyytävät siihen ChatGPT:ltä apua. Työn perusteella muita mahdollisia virhekäsityksiä voivat olla yksiköiden jättäminen merkkaamatta tai lukuarvojen sijoitus pyöristetynä. Tekoälytyökalujen ratkaisusta voisi saada sellaisen kuvan, ettei fysiikan laskuissa tarvitse merkata yksiköitä tai että sijoituksissa olisi oikein käyttää pyöristettyä lukuarvoa. Virhekäsitysten ehkäisemiseksi opettajan olisi hyvä välillä kokeilla millaisen ratkaisun tekoälytyökalu antaa tehtävästä.

Tekoälytyökalut ovat epäilemättä muuttaneet ja tulevat muuttamaan opetuksen malleja sekä käytänteitä. Opettajat varmasti ottavat tekoälytyökalut huomioon tarkistaessaan tai tehdessään tehtäviä. Opettajille syntyy todennäköisesti uusia kysymyksiä esimerkiksi siitä, milloin työkalujen käyttö sallitaan tai miten toimia, jos epäilee oppilaan tekevän tehtävät tekoälytyökalulla. Tulevaisuudessa voisi pohtia, millaisessa muodossa opiskelijoille annetut tehtävät ovat. Jos tehtävien muoto on täydellinen työkalulle, opiskelijan on helppo kopioida tehtävänanto syötelaatikkoon ja odottaa vastausta. Puolestaan, jos tehtävät sisältävät esimerkiksi voimakuvion piirtämistä, liikeyhtälöiden muodostamista ja taulukoiden analysointia, voi se nostaa kynnystä käyttää tekoälytyökalua. Tehtävät voisivat myös olla esimerkiksi paperilla tai videomuotoisia, jotta tehtävien syöttäminen työkalulle olisi entistä vaikeampaa. Fysiikan tehtävissä voitaisiin huomioida myös se, että ihminen osaa lukea rivien välistä ihan eri tavalla kuin tekoälytyökalut. Esimerkiksi kun tehtävänä on ratkaista lohkarkeen kiihtyvyyden, lukiolainen tietää, että ratkaisussa tulee piirtää voimakuvio, mutta tekoälytyökalu taas ei tiedä. Tehtäviä suunnitellessa voisi miettiä sitä, millaisilla tehtävänannoilla saataisiin samanlainen ilmiö tapahtumaan. Eli miten tehtävät voidaan suunnata juuri opiskelijoille.

Jatkossa voisi tutkia sitä, kuinka moni fysiikan opiskelija hyödyntää opinnoissaan tekoälytyökaluja ja parantaako työkalujen käyttö heidän oppimistaan. Tulevaisuudessa voisi myös selvittää, miten tekoälytyökalut pärjäisivät fysiikan ylioppilaskokeissa tai yliopiston fysiikan kurssilla. Tietenkin on tärkeää pitää mielessä tekoälytyökalujen ympäristövaikutukset ja punnita sitä, onko tutkimuksista enemmän hyötyä vai haittaa.

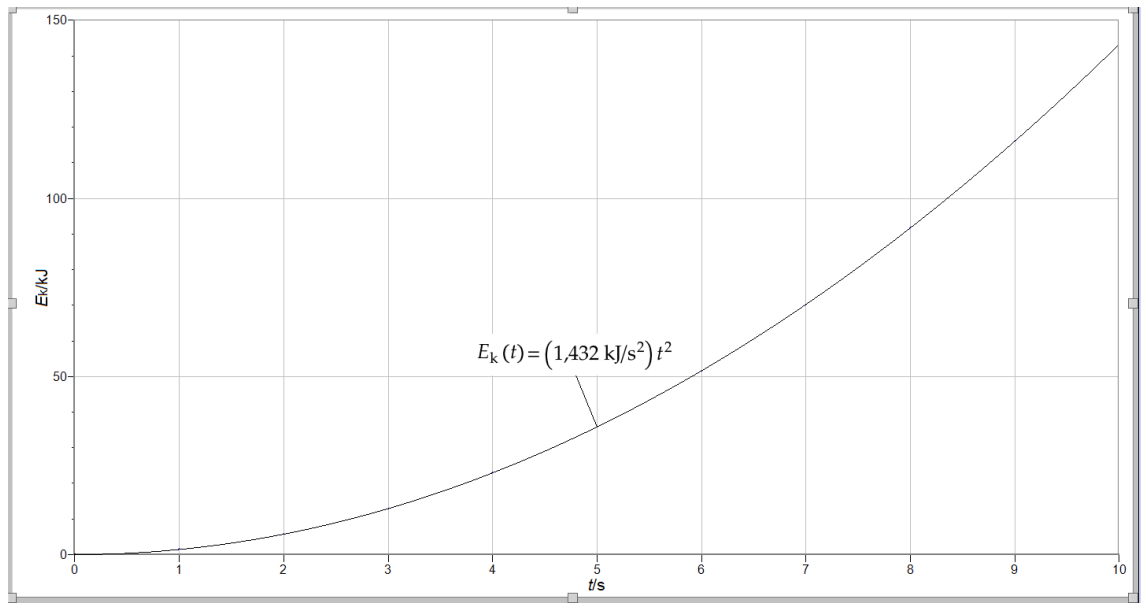
LÄHTEET

- Al-Tkhayneh, K. M., Alghazo, E. M., & Tahat, D. (2023). The Advantages and Disadvantages of Using Artificial Intelligence in Education. *Journal of Educational and Social Research*, 13(4), 105-. <https://doi.org/10.36941/jesr-2023-0094>
- Blank, I. A. (2023). What are large language models supposed to model? *Trends in Cognitive Sciences*, 27(11), 987–989. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2023.08.006>
- Briganti, G. (2024). How ChatGPT works: A mini review. *European Archives of Otorhino-Laryngology*, 281(3), 1565–1569. <https://doi.org/10.1007/s00405-023-08337-7>
- Brozović, J., Mikulić, B., Tomas, M., Juzbašić, M., & Blašković, M. (2024). Assessing the performance of Bing Chat artificial intelligence: Dental exams, clinical guidelines, and patients' frequent questions. *Journal of Dentistry*, 144, 104927–104927. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.104927>
- ChatGPT. (2025). *ChatGPT*. <https://chatgpt.com> (viitattu 29.4.2025)
- Copilot | Microsoft 365 Copilot. (2025). Noudettu 29. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://m365.cloud.microsoft/chat/?auth=2>
- Gregorcic, B., & Pendrill, A.-M. (2023). ChatGPT and the frustrated Socrates. *Physics Education*, 58(3), 35021-. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/acc299>
- Helsingin yliopisto. (2025). *Opintojakso FYS1001 Vuorovaikutukset ja kappaleet 2021–2023 | Kurssit | Opiskelu-palvelu | Helsingin yliopisto*. <https://studies.helsinki.fi/kurssit/opintojakso/hy-CU-117533168-2021-08-01/FYS1001?cpId=hy-lv-72> (viitattu 25.4.2025)
- Henderson, C. (2023). Editorial: Call for Papers for Focused Collection of Physical Review Physics Education Research : AI Tools in Physics Teaching and PER. *Physical Review. Physics Education Research*, 19(2), 020003-. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.020003>

- Jedrzejczak, W. W., & Kochanek, K. (2024). Comparison of the Audiological Knowledge of Three Chatbots: ChatGPT, Bing Chat, and Bard. *Audiology & Neurotology*, 29(6), 457–7. <https://doi.org/10.1159/000538983>
- Järvilehto, L. (2025). *Konemieli: Onko ajattelu ihmisen yksinoikeus?* (Ensimmäinen painos.). Tammi.
- Kortemeyer, G. (2023). Could an Artificial-Intelligence Agent Pass an Introductory Physics Course? *Physical Review Physics Education Research*, 19(1), 010132-. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010132>
- Liang, Y., Zou, D., Xie, H., & Wang, F. L. (2023). Exploring the potential of using ChatGPT in physics education. *Smart Learning Environments*, 10(1), 52–19. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00273-7>
- López-Simó, V., & Rezende, M. F. (2024). Challenging ChatGPT with Different Types of Physics Education Questions. *The Physics Teacher*, 62(4), 290–294. <https://doi.org/10.1119/5.0160160>
- Overview of Microsoft 365 Copilot Chat*. (2025, tammikuuta 15). <https://learn.microsoft.com/en-us/copilot/overview> (viitattu 10.2.2025)
- OpenAI. (2024, toukokuuta 13). *Hello GPT-4o*. <https://openai.com/index/hello-gpt-4o/> (viitattu 10.2.2025)
- Opetushallitus. (2019). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019*. ePerusteet. https://eperusteet.opintopolku.fi/#/_ftn3/lukiokoulutus/6828810/14/oppiaine/6832792/moduuli/6833231 (viitattu 25.4.2025)
- Opetushallitus. (2020). *Fysiikan ja kemian Lops-tukimateriaalit | Opetushallitus*. <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/fysiikan-ja-kemian-lops-tukimateriaalit> (viitattu 2.5.2025)
- Polverini, G., & Gregorcic, B. (2024). How understanding large language models can inform the use of ChatGPT in physics education. *European Journal of Physics*, 45(2), 025701. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ad1420>

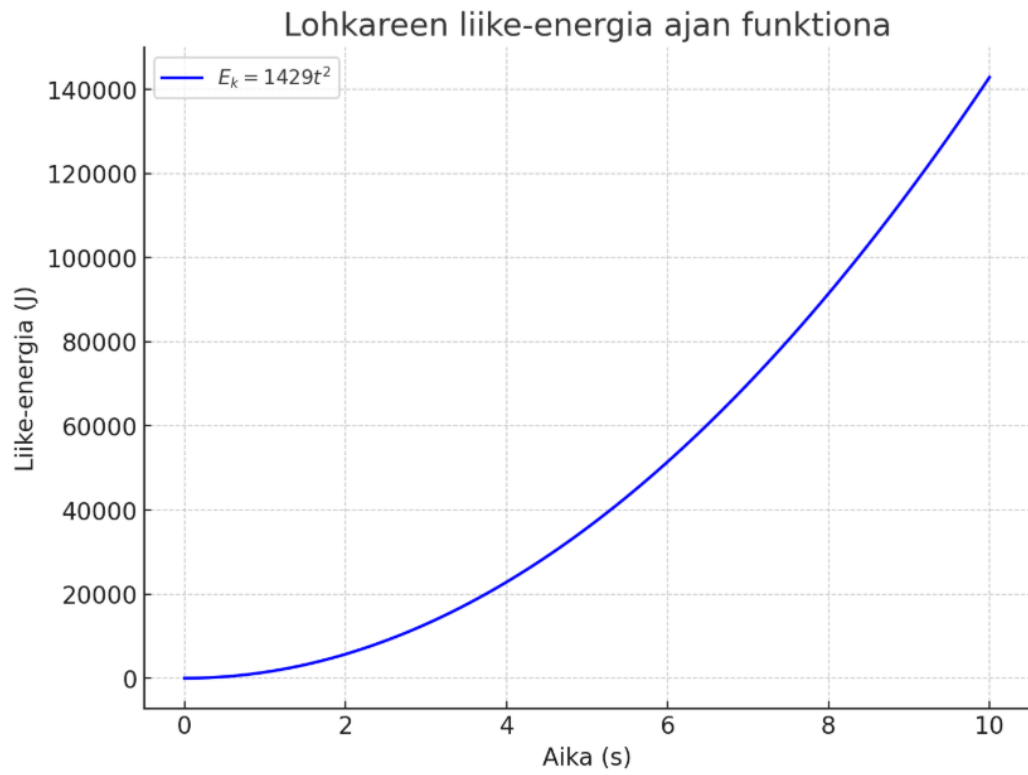
- Svedström, K. (2016). *Vuorovaikutukset ja kappaleet, Helsingin yliopisto, henkilökohtainen kommunikaatio.*
- Wong, M.-F., Guo, S., Hang, C.-N., Ho, S.-W., & Tan, C.-W. (2023). Natural Language Generation and Understanding of Big Code for AI-Assisted Programming: A Review. *Entropy (Basel, Switzerland)*, 25(6), 888-.
<https://doi.org/10.3390/e25060888>
- Yeadon, W., & Hardy, T. (2024). The impact of AI in physics education: A comprehensive review from GCSE to university levels. *Physics Education*, 59(2), 25010-.
<https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad1fa2>
- Lopulliset hyvän vastauksen piirteet kevät 2024 | Ylioppilastutkintolautakunta.* (2024).
<https://www.ylioppilastutkinto.fi/fi/tutkinnon-suorittaminen/hyvan-vastauksen-piirteet/lopulliset-hyvan-vastauksen-piirteet-kevat-2024> (viitattu 24.2.2025)
- Özdemir, S. (2024). GETTING SUPPORT FROM MICROSOFT COPILOT IN LESSON PLAN PREPARATION: PRE-SERVICE TEACHERS' EXPERIENCES AND OPINIONS. *Information Technologies and Learning Tools*, 104(6), 180–196.
<https://doi.org/10.33407/itlt.v104i6.5859>

LIITE A: MALLIRATKAISU

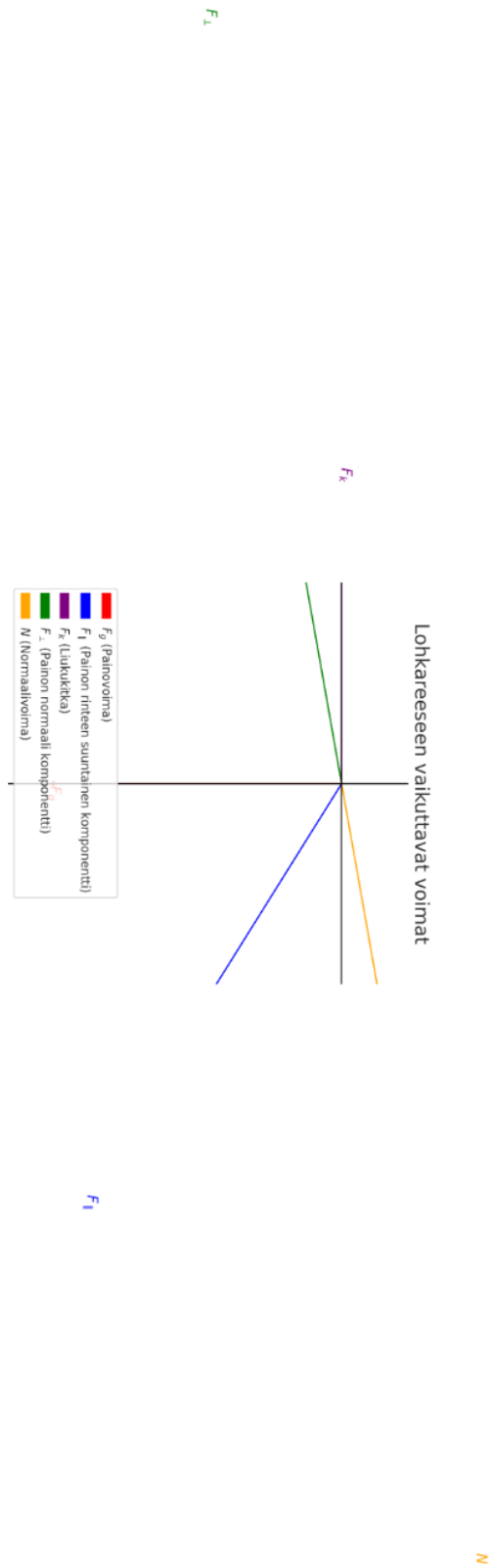


Kuva A.1: Maanvyörytehtävässä b-kohdassa hyvänvastauksen piirteiden mukainen liike-energian kuvaaja. (Ylioppilastutkintolautakunta, 2024)

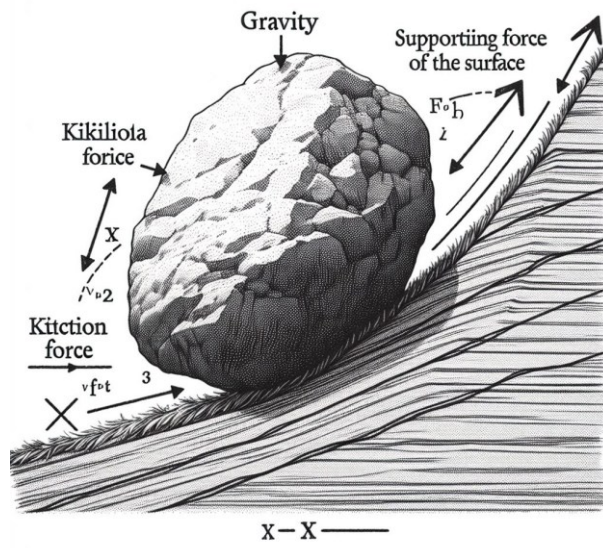
LIITE B: TEKOÄLYTYÖKALUJEN RATKAISUJA



Kuva B.1: Esimerkki maanvyörytehtävän b-kohdassa ChatGPT:n piirtämästä liike-energian kuvaajasta. Kuva luotu (ChatGPT, 2025).



Kuva B.2: GhatGPT:n kolmannella kerralla piirtämä voimakuvio a-kohdassa. Kuva luotu (ChatGPT, 2025).



Kuva B.3: Maanvyörytehtävässä Copilotin piirtämä voimakuvio ensimmäisellä kerralla.
Kuva luotu (Copilot, 2025).