

## TEOREETTINEN FYSIIKKA

Internet-kotisivu: <http://www.physics.helsinki.fi/oppiaineet/teoreettinen.html>, josta löytyvät opintoneuvontaa antavien henkilöiden yhteystiedot. Opintoneuvontaa antavat myös kaikki luennoitsijat ja kurssiassistentit erityisesti omaan kurssiinsa liittyvissä kysymyksissä.

Teoreettisen fysiikan opinnot antavat valmiudet toimia asiantuntijana tehtävissä, joissa tarvitaan fysiikan teorioiden ja mallien käyttöä ja kehittämistä. Teoreettisella fysiikalla on luonnollinen ja läheinen yhteys kokeelliseen fysiikkaan, matematiikkaan ja tietojenkäsittelytieteeseen. Niin kokeellisen kuin teoreettisenkin fysiikan perustutkimuksessa joudutaan soveltamaan pitkälle kehitettyjä matemaattisia menetelmiä. Nykyaikainen numeerinen tietojenkäsittely puolestaan sallii sellaisten ongelmien yksityiskohtaisen tarkastelun, joita aiemmin ei ole luultu voitavan ratkaista.

### Oppiainekohtaiset opinto-ohjeet

Teoreettisen fysiikan opiskelijoille kokeelliseen fysiikkaan tutustuminen on ensiarvoisen tärkeää. Teoreettisen fysiikan opinto-ohjelmaan sisältyvätkin pakolliset sivuaineopinnot ja ne kannattaa aloittaa jo ensimmäisenä vuonna. Fysiikassa käytettyjen matemaattisten menetelmien suhteen teoreettisen fysiikan tutkintovaatimukset muodostavat oman kattavan kokonaisuutensa. Sivuaineopinnot matematiikassa syventävät kuitenkin matematiikan ominaispiirteiden ymmärtämistä, mikä on katsottava välttämättömyydeksi teoreettisen fysiikan perustutkimukseen ryhtyvälle. Käytännön valmiuksiin tähtäävistä sivuaineista tärkein on tietojenkäsittelytiede, muita hyödyllisiä ovat esim. tähtitiede, geofysiikka, meteorologia, tilastotiede ja biotieteet.

Teoreettisen fysiikan **perus- ja aineopinnoissa** opitaan laajat yleistiedot fysiikan perusteorioista, niiden ilmiöistä sekä niiden käytännön soveltamisesta. Teoreettisen fysiikan osalta ei opintojen tässä vaiheessa ole valinnaisuutta. Hyvin tärkeä osa opintojen tätä vaihetta on omaksua vahva matemaattinen työkalupakki: kurseilla matemaattiset apuneuvot I,II ja Fysiikan mate-

maattiset menetelmät I,II opetetaan ne matemaattiset tiedot ja taidot, joita sovelletaan kaikilla teoreettisen ja muunkin fysiikan kurseilla syventäviin ja mahdollisiin jatko-opintoihin saakka. Perus- ja aineopinnoissa opitaan vankka fysiikan perusteiden hallinta, mitä voidaan jo käyttää useisiin soveltuksiin ammattimaisesti ja se tarjoaa pohjan erikoistumiseen jonkin fysiikan alan syventävissä opinnoissa.

**Syventävissä opinnoissa** opiskelija erikoistuu syvällisemmin valitsemaansa fysiikan alaan. Ydinaineksen kurseilla hän oppii teoreettiseen fysiikkaan suuntautuvan fyysikon ammattipätevyuden vaatimat tiedot ja taidot teorian käyttämisessä ja sen kehittämisessä edelleen fysiikan ongelmien tutkimuksessa. Opiskelija kykenee seuraamaan erikoistumisalansa tieteellistä kirjallisuutta ja ratkaisemaan itsenäisesti alaan liittyviä fysiikan ongelmia. Teoreettisen fysiikan syventävien opintojen syventävässä ja erikoistavassa aineksessa opiskelija perehtyy kattavammin valitsemaansa erikoisalaa teoreettisiin menetelmiin ja niiden käyttöön. Samalla kehittyvät taidot itsenäiseen asiantuntijuuteen teoreettisen fysiikan menetelmien soveltamisessa erityyppisissä tilanteissa ja ongelmissa.

**Laskuharjoitukset** ovat välttämätön osa teoreettisen fysiikan opiskelua, sillä luennoilla esitetyn teorian voi katsoa omakseen vasta sitten, kun pystyy soveltamaan sitä konkreettisiin esimerkkeihin. Useimmilla kurseilla viikon kotilaskut palautetaan pari päivää ennen harjoitusta. Harjoitusten pitäjä tarkastaa ja pisteyttää ne ja käy osallistujien kanssa tehtävät läpi harjoitustilaisuudessa.

**Kurssit suoritetaan normaalisti osallistumalla niihin liittyviin laskuharjoituksiin ja välikokeisiin.** Välikokeita on yleensä kaksi kurssia kohti. Yhden periodin kestäväillä kurseilla ja useimmilla syventäviin opintoihin kuuluvilla kurseilla on yksi kuulustelu.

**Loppuentit** on ensisijaisesti tarkoitettu opiskelijoille, jotka ovat osallistuneet kurssin harjoituksiin ja kuulusteluihin, mutta eivät ole menestyneet kuulusteluissa, tai ha-

luavat parantaa niissä saamaansa arvosanaa. Opiskelijat, jotka ovat suorittaneet matematiikan perusopinnot oppimäärään oikeuttavat opinnot tai vastaavan määrän matematiikan aineopinnot, saavat suorittaa kurssit Matemaattiset apuneuvot I ja II suoraan loppukuulusteluilla osallistumatta kurssiin liittyviin kokeisiin ja harjoituksiin.

Loppuenttuoikeuden perusteista ilmoitetaan verkkosivuilla. Kurssin luennoitsija tai teoreettisen fysiikan professori voi myöntää poikkeuksia. Valinnaisia syventäviä kursseja saa myös sopimuksen mukaan tenttiä suoraan osallistumatta luento-opetukseen.

Laskuharjoituspisteet eivät vaikuta loppuentillä saatavaan arvosanaan.

Väli- ja loppukokeissa ei saa käyttää taulukkokirjoja tai muuta kirjallista materiaalia, jollei jollakin yksittäisellä kurssilla ole sovittu toisenlaisesta käytännöstä. Kurssien Matemaattiset apuneuvot I ja II tenteissä ei saa käyttää myöskään laskinta.

Kuulusteluihin on ilmoitauduttava ilmoittautumisajan puitteissa. Kesällä järjestettävissä tenteissä voi olla tavanomaisesta poikkeavat ilmoittautumisajat, jotka voi tarkistaa verkosta (erityisesti elokuun tenttiin kesäkuussa). Ilmoittautuminen tapahtuu Web-Oodissa ja ohjeet julkaistaan laitoksen Internet-sivuilla. Ilmoittautuessa on mainittava, miten ja milloin on saanut tenttuoikeuden.

### **Teoreettisen fysiikan opintojen ajoitusmalli**

Teoreettisen fysiikan pääaineopinnot kannattaa aloittaa heti ensimmäisenä vuotena. Kurssi **Matemaattiset apuneuvot (I–II)** antaa myöhemmillä kursseilla tarvittavia matemaattisia tietoja, joten se olisi suoritettava ensimmäisenä opiskeluvuotena. Kurssit Suhteellisuusteorian perusteet ja Moderni fysiikka (jotka eivät edellytä Matemaattisten apuneuvojen suorittamista) antavat yleiskuvan teoreettisen fysiikan perusajatuksista aineopintojen ja syventävien kurssien taustaksi, joten nekin on syytä sijoittaa opintojen alkuun. Ns. muiden opintojen pakolliset kurssit suositellaan suoritettaviksi opintojen

alussa. Valinnaiset opintojaksot voi ohjella sijoittaa täysin vapaasti.

Teoreettisen fysiikan pääaineopiskelijoiden tulisi aloittaa Fysiikan matemaattiset menetelmät -kurssisarja toisen opiskeluvuoden syksyllä. Muiden aineopintojen sijoitus opiskeluohjelmassa riippuu sivuainevalinnoista ja yksilöllisestä opiskelutahdista. LuK-seminaarin sijoitus on kandidaatin opintojen loppussa.

Kandidaatintutkielman ja pro gradu -tutkielman aiheesta sovitaan jonkun teoreettisen fysiikan professorin kanssa.

Seuraavassa esitetään opintojen mahdollinen ajoitusmalli, joka johtaa LuK-tutkintoon kolmessa vuodessa.

#### **1. opiskeluvuosi**

Matemaattiset apuneuvot I–II, 16 op  
Suhteellisuusteorian perusteet ja Moderni fysiikka, 9 op  
Fysiikan perusopinnot, 25 op  
Fysikaalisten tieteiden esittely, 3 op  
TVT-ajokortti, 3 op  
Kielipinnot, 3 op  
Henkilökohtainen opintosuunnitelma (HOPS) alkaa

#### **2. opiskeluvuosi**

Fysiikan matemaattiset menetelmät I–II, 20 op  
Klassinen mekaniikka, 10 op  
Elektrodynamiikka, 10 op  
Tieteellinen laskenta I, 3 op  
Kielipinnot, 4 op  
Sivuaine- ja muita opintoja, 14 op

#### **3. opiskeluvuosi**

Kvanttimekaniikka I, 10 op  
Termofysiikka, 8 op  
Statistinen fysiikka I, 7 op  
Sivuaine- ja muita opintoja, 25 op  
Henkilökohtainen opintosuunnitelma (HOPS) valmis, 1 op  
Seminaari, 3 op  
LuK-tutkielma ja kypsyysnäyte, 6 op

*teoreettinen fysiikka***Teoreettinen fysiikka sivuaineena**

Sivuaineperusopinnot, -aineopinnot tai syventävät opinnot suoritetaan valitsemalla tarvittava määrä teoreettisen fysiikan kursseja, kuten tutkintovaatimuksissa määrätään. Oppimäärää voi korottaa suorittamalla tarpeellisen määrän lisäkursseja. Opintoja suunniteltaessa on kuitenkin huomioitava, että tietyt kurssit edellyttävät joillakin toisilla kursseilla hankittuja tietoja, mistä ilmoitetaan etukäteen esimerkiksi kurssikuvauksissa, jotka ovat nähtävissä laitoksen Internet-sivuilla.

**TUTKINTOVAATIMUKSET, TEOREETTINEN FYSIIKKA**

Näiden tutkintovaatimusten mukaan opiskelevat 1.8.2010 tai myöhemmin opintonsa aloittaneet opiskelijat. Ennen 1.8.2010 opintonsa aloittaneet voivat suorittaa tutkintonsa opintojen aloittamisvuonna voimassa olleiden vaatimusten mukaan tai siirtyä opiskelemaan uudempien vaatimusten mukaan. Mikäli opinnot on aloitettu ennen 1.8.2005, tutkinto suoritetaan 1.8.2005 voimaan tulleiden tai uudempien tutkintovaatimusten mukaan.

**LUONNONTIETEIDEN KANDIDAATIN TUTKINTO (180 OP)****1. Pääaineopinnot (96 op)**

Mikäli joku pakollisista kursseista on jo sisällytetty jonkun muun aineen opintokokonaisuuteen, on se korvattava muulla kursilla.

**53708 TEOREETTISEN FYSIIKAN PERUSOPINNOT (25 OP)**

- 53704 Matemaattiset apuneuvot I, 8 op
- 53705 Matemaattiset apuneuvot II, 8 op
- 530000 Suhteellisuusteorian perusteet, 4 op
- 53703 Moderni fysiikka, 5 op

**53748 TEOREETTISEN FYSIIKAN AINEOPINNOT (71 OP)****Pakolliset opinnot (71 op)**

- 53723 Fysiikan matemaattiset menetelmät Ia, 5 op
- 53724 Fysiikan matemaattiset menetelmät Ib, 5 op

- 53725 Fysiikan matemaattiset menetelmät IIa, 5 op
- 53726 Fysiikan matemaattiset menetelmät IIb, 5 op
- 53714 Klassinen mekaniikka, 10 op
- 53715 Elektrodynamiikka, 10 op
- 53716 Kvanttimekaniikka I, 10 op
- 53014 Termofysiikka, 8 op
- 53727 Statistinen fysiikka I, 7 op
- 53740 Kandidaatin tutkielma, 6 op
- 50036 Kypsyysnäyte

**2. Sivuaaineopinnot (vähintään 50 op)**

Sivuaineopintojen tulee koostua joko kahden eri aineen perusopinnoista (25 + 25 op) tai yhden aineen perus- ja aineopinnoista (25 + 35 op). Jos sivuaaineopintoja suoritetaan yli 50 op, muihin opintoihin kuuluvia vapaasti valittavia opintoja tarvitaan vastaavasti vähemmän. Sivuaineisiin tulee kuulua fysiikka. Muita suositeltavia sivuaineita ovat muut fysikaaliset tieteet, matematiikka, tietojenkäsittelytiede ja kemia. Sivuaine voi olla myös monitieteinen kokonaisuus kuten menetelmätieteiden perusopintokokonaisuus, jonka sisällöstä sovitaan erikseen.

**3. Muut opinnot (34 op)****50042 LUK MUUT OPINNOT (VÄHINTÄÄN 20 OP)****Pakolliset opinnot (20 op)**

- 53001 Työelämään orientoivat opinnot: Fysikaalisten tieteiden esittely, 3 op
- 530147 Henkilökohtainen opintosuunnitelma (HOPS), 1 op
- Tieto- ja viestintätekniikan opinnot (6 op), jotka koostuvat opinnoista:
  - 530148 TVT-ajokortti, 3 op
  - 53398 Tieteellinen laskenta I, 3 op
- Kieliopinnot (10 op), jotka koostuvat opinnoista:
  - 530168 Äidinkieli (seminaari), 3 op
  - Toinen kotimainen kieli 3 op (CEFR-taso B1)
  - Vieras kieli, 4 op (englannissa CEFR-taso B2, muissa kielissä B1)

**Vapaasti valittavat opinnot (14 op)**

Vapaasti valittavia opintoja tulee suorittaa siten, että tutkinnon laajuus 180 op täyttyy. Vapaasti valittaviin opintoihin voidaan hyväksyä myös vähimmäisvaatimukset ylittä-

viä pääaineen tai sivuaineen opintoja. Tässä tapauksessa ne voidaan kirjata joko pääaineen ja sivuaineen kokonaisuuksiin tai muihin opintoihin.

## FILOSOFIAN MAISTERIN TUTKINTO (120 OP)

### 1. Pääaineopinnot (85–105 op)

53729 **TEOREETTISEN FYSIIKAN SYVENTÄVÄT OPINNOT (VÄHINTÄÄN 85 OP)**

#### Pakolliset opinnot (45 op)

53738 Teoreettisen fysiikan syventävien opintojen seminaari, 5 op  
50114 Pro gradu-tutkielma, 40 op  
50039 Kypsytysnäyte

#### Valinnaiset opinnot (40 - 60 op)

Valinnaiset opinnot valitaan seuraavista kursseista tai erikseen sopien muista kursseista. Suositellaan valittavaksi syventävien opintojen suuntautumisen, erikoistumis- tai sovelusalan mukaan esimerkiksi seuraavasti: AF = Avaruusfysiikka, HF = Hiukkas- ja ydinfysiikka, K = Kosmologia, LM = Laskennallinen ja materiaalfysiikka. Huomattakoon, että muutkin yhteydet ovat mahdollisia. Ilman koodia olevat kurssit sopivat hyvin kaikille.

#### A. Ydinaineksen kurssit

53713 Fysiikan matemaattiset menetelmät III, 10 op  
53717 Kvanttimekaniikka II, 10 op  
53230 Johdatus hiukkasfysiikkaan I, 5 op (HF)  
53250 Johdatus hiukkasfysiikkaan II, 5 op (HF)  
53251 Hiukkasfysiikan teorat, 10 op (HF)  
53765 Plasmafysiikka, 5 op (AF)  
53769 Plasmafysiikan avaruussovelluksia, 5 op (AF)  
53757 Kosmologia I, 5 op (K)  
53758 Kosmologia II, 5 op (K)  
53731 Jatkuvan aineen mekaniikka, 5 op (AF, LM)

#### B. Syventävät kurssit

53766 Avaruusfysiikan jatkokurssi, 10 op (AF)

53736 Yleinen suhteellisuusteoria, 10 op (K)  
53369 Tieteellinen laskenta III, 10 op  
53733 Tiiviin aineen teoria, 5 op (LM)  
53728 Statistinen fysiikka II, 10 op (LM)  
530057 Johdatus kvanttikenttäteoriaan, 10 op (HF)  
53376 Hydrodynamiikka, 5 op (AF)

#### C. Erikoistumiskurssit

53743 Auringon fysiikka, 5 (AF)  
530224 Säieteoriat, 5 – 10 op (HF)  
53784 Kvanttikenttäteorian sovelluksia, 10 op (HF)  
53797 Supersymmetria, 7 op (HF)  
53741 Higgsin fysiikka, 7 op (HF)  
53046 Ydinfysiikka, 5 – 10 op (HF)  
53753 Kosmisen mikroaaltotaustasäteilyn fysiikka, 10 op (K)  
530006 Monte Carlo-simulointien perusteet, 5 op (LM, HF)  
530153 Monte Carlo-simuloinnit fysiikassa, 5 op (LM, HF)

### 2. Muut opinnot (15–35 op)

50034 **FM MUUT OPINNOT (15-35 OP)**

530150 Henkilökohtainen opintosuunnitelma (HOPS), 1 op  
Työharjoittelua tai työelämään orientoivia opintoja (integroituna aineopintoihin)

Näihin voi sisältyä aikaisempien sivuaineiden opintoja tarvittava määrä tai uusi vähintään 25 op sivuainekokonaisuus.

## JATKO-OPINNOT TEOREETTISESSA FYSIIKASSA

Jatkotutkintoja ovat Filosofian lisensiaatin ja Filosofian tohtorin tutkinto. Molempiin tutkintoihin kuuluu 60 opintopisteen laajuiset pää- ja sivuaineen opinnot, jotka määritellään jatko-opintojen henkilökohtaisessa opintosuunnitelmassa (J-HOPS). Pääaineen opintojen on oltava pääsääntöisesti oman tutkimusalan erikoiskurssien opintoja (C-kurssit). Muut opinnot voivat olla sivuaineen aineopintoja tai syventäviä opintoja, tai muiden yliopistojen vastaavan tasoisia opintoja. Näiden opintojen on muodostetta-

*teoreettinen fysiikka*

va pääaineopintoja ja tutkimustyötä tukeva kokonaisuus.

Jatko-opinnot koostuvat oman tutkimusalan jatko-opinnoista (50 op) ja yleisistä jatko-opinnoista (10 op).

53760 TEOREETTISEN FYSIIKAN  
JATKO-OPINNOT (60 OP)

**53750 Tutkimusalan (teoreettinen fysiikka) opinnot (50 op)**

Tutkimusalan jatko-opintoihin tulee sisältyä kurssit:

- 53180 Jatko-opintojen seminaari, 5 op  
53762 Monen kappaleen ilmiöt, 15 op  
53717 Kvanttimekaniikka II, 10 op (ellei kuulu perustutkintoon)

Muiden kurssien kuin *Jatko-opintojen seminaarin* osalta tästä voidaan poiketa vain opiaineen vastuuprofessorin kanssa sovitun ja J-HOPSiin kirjatun mukaisesti.

**53000 Yleiset jatko-opinnot (10 op)**

Yleisiin jatko-opintoihin tulee sisältyä opetusharjoittelua, tieteenfilosofian, tutkimusetiikan ja yleiseen asiantuntijuuteen valmistavia opintoja sekä kansainvälistä tieteellistä toimintaa. Kurssitarjonnasta vastaavat yliopisto, matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta ja sen laitokset. Tarkemmasta sisällöstä sovitaan jatko-opintosuunnitelmaa tehtäessä.

TEOREETTISEN FYSIIKAN OPINNOT  
SIVUAINEOPISKELIJOILLE

537081 TEOREETTISEN FYSIIKAN  
PERUSOPINNOT (SIVUAINE)  
(VÄH. 25 OP)

Valinnan mukaan vähintään 25 op teoreettisen fysiikan perus- ja aineopintoihin kuuluvia opintojaksoja, ei kuitenkaan seminaaria. Mikäli Suhteellisuusteorian perusteet sisältyy fysiikan opintoihin, sitä ei voi sisällyttää teoreettisen fysiikan perusopintoihin.

537091 TEOREETTISEN FYSIIKAN  
AINEOPINNOT (SIVUAINE)  
(VÄH. 35 OP)

Kuten perusopinto-oppimäärä, mutta opintopisteitä vähintään 35.

537291 TEOREETTISEN FYSIIKAN  
SYVENTÄVÄT OPINNOT  
(SIVUAINE) (VÄH. 60 OP)

**Pakolliset opinnot (20 op)**

53739 Tutkielma, 20 op

**Valinnaiset opinnot (40 op)**

Valinnan mukaan yhteensä vähintään 40 op teoreettisen fysiikan syventäviin opintoihin kuuluvia opintojaksoja.

**Matemaattinen fysiikka**

Matemaattinen fysiikka on tutkimusala, jossa sovelletaan matemaattista lähestymistapaa tai matemaattisia menetelmiä fysiikan ongelmiin. Matemaattisesta fysiikasta kiinnostunut opiskelija voi suorittaa FM-tutkinnon joko matematiikka tai teoreettinen fysiikka pääaineenaan. Alaa sivuavia kursseja löytyy sekä Matematiikan ja tilastotieteen laitoksen että Fysiikan laitoksen kurssitarjonnasta, ja niitä so-pivasti yhdistelemällä voi rakentaa tutkinto-kokonaisuuksia, joissa painotus on enem-män joko matematiikkaan tai fysiikkaan päin suuntautunut. Suositeltavia kursseja tutkin-toon sisällytettäväksi ovat esim. seuraavat:

PERUS- JA AINEOPINNOT

**Matematiikka:** Vektorianalyysi, Mitta ja integraali, Topologia I, Reaalianalyysi I, Johdatus todennäköisyyslaskentaan

**Teoreettinen fysiikka:** Matemaattiset apuneuvot I ja II, Fysiikan matemaattiset menetelmät Ia–IIb, Statistinen fysiikka I

**VALINNAISET SYVENTÄVÄT  
OPINNOT**

**Matematiikka:** Johdatus matemaattiseen fysiikkaan, Funktioanalyysin peruskurssi, Funktioteoria I, Osittaisdifferentiaaliyhtälöt, Differentiaaligeometria, Todennäköisyysteoria, Stokastiset prosessit, Abstraktinen topologia, Topologia II, Lineaarialgebra II, Algebra III, Funktioteoria II, Reaalianalyysi II, Riemannin geometria, Pääsätekimpuista ja Yang-Mills-teoriasta

**Teoreettinen fysiikka:** Fysiikan matemaattiset menetelmät III, Yleinen suhteellisuusteoria, Kvanttimekaniikka II, Statistinen fysiikka II, Introduction to quantum field theory, Path integrals, Theoretical particle physics (Hiukkasfysiikan teoriat), Introduction to supersymmetry (Johdatus supersymmetriaan), String theory I, Quantum information and computing

**PRO GRADU -TUTKIELMA**

Matemaattiseen fysiikkaan liittyviä pro gradu -tutkielman aiheita ja/tai ohjaajia etsivän suositellaan ottavan yhteyttä pääainelaitoksensa matemaattisen fysiikan yhdyshenkilöön, joka opastaa etsinnässä.