

Junior

Hiukkaset hukassa Osa 2

Tänään

- Analysoidaan hiukkasfysiikka-aiheista dataa koodaamalla (Pythonilla Jupyter notebookissa)
- Työpaja on kaksiosainen:
 - Oletamme, että olette kaikki käyneet läpi työpajan osan 1 Esitiedot ennen työpajaa.
 - Tänään käydään läpi osa 2: diat ja koodaustehtävä.



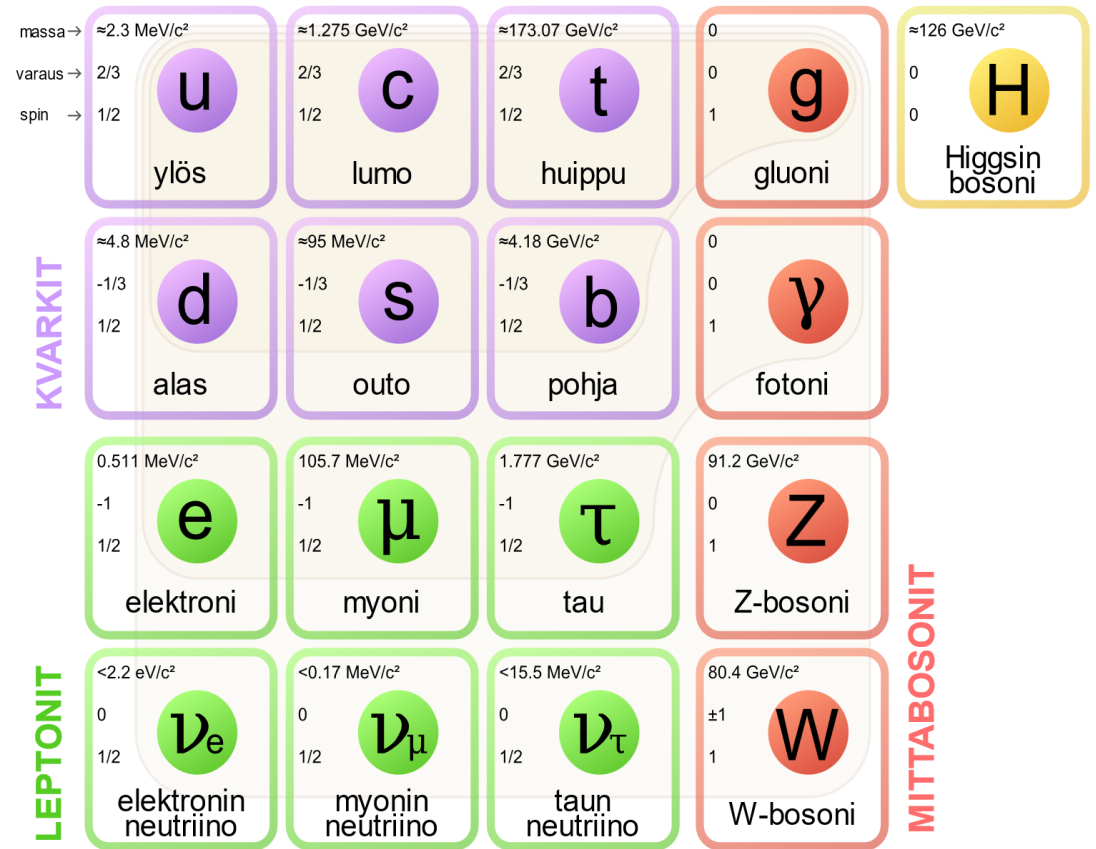
Ajankohtaista Cernistä

- Vuonna 2022 tuli 10 vuotta Higgsin bosonin löytymisestä.
- Cernin LHC-kiihdytin aloitti kolmannen ajonsa heinäkuussa 2022 pitkän huoltotauon jälkeen.
- Cernissä on aloitettu uusi tutkimus (marraskuu 2023), jossa tutkitaan mahdollisuutta hypoteettisen dark photon -partikkelin syntymiselle Higgsin bosonien hajotessa detektorilla.

Standardimalli

<https://home.cern/science/physics/standard-model>

- Matemaattinen malli, joka kuvaa:
 - tunnetut alkeishiukkaset
 - heikon ja vahvan vuorovaikutuksen
 - sähkömagneettisen vuorovaikutuksen
- Hiukkasilla erilaiset ominaisuudet (esim. spin, varaus, massa...)
- Ominaisuuksia tutkitaan hiukkaskiihdyttimellä törmäyttämällä



Kuva:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg

Hiukkasfysiikan tutkiminen – Yksiköistä (1/2)

Planckin vakio:
luonnonvakio, joka yhdistää taajuuden ja energian yksiköt toisiinsa
 $E = hf$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

$$= 1.055 * 10^{-34} Js$$

- Nopeudet lähestyvät valonnopeutta, $v \sim c$
- Energia ja liikemäärä ovat paljon massaa suurempia, $E \gg mc^2$, $p \sim E/c$
- Tavallista onkin tehdä seuraava oletus: $\hbar = c = 1$ jossa c = valonnopeus ja $\hbar$ = pelkistetty Planckin vakio
 - Valonnopeus (tyhjiössä) on vakio ja numeerinen arvo riippuu valitusta esitysyksiköstä
 - Nopeudesta tulee dimensioton, eli sillä ei ole yksikköä
 - Myös liikemäärän ja energian yksiköt muuttuvat:

$$p = m * v \rightarrow p = m$$

$$E = m * v^2 \rightarrow E = m$$

- Oletuksella $c = 1$ saadaan myös useita kaavoja siistinpään muotoon (esim. $E = mc^2 \rightarrow E = m$)

Hiukkasfysiikan tutkiminen – Yksiköistä (2/2)

- Säilymislarit pitävät edelleen paikkaansa!
- Liikemäärästä ja energiasta lasketaan invariantti massa, m_0

$$m_0 = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - \|p_1 + p_2\|^2}$$

→ Invariantti massa säilyy hiukkasen hajotessa uusiksi hiukkasiksi

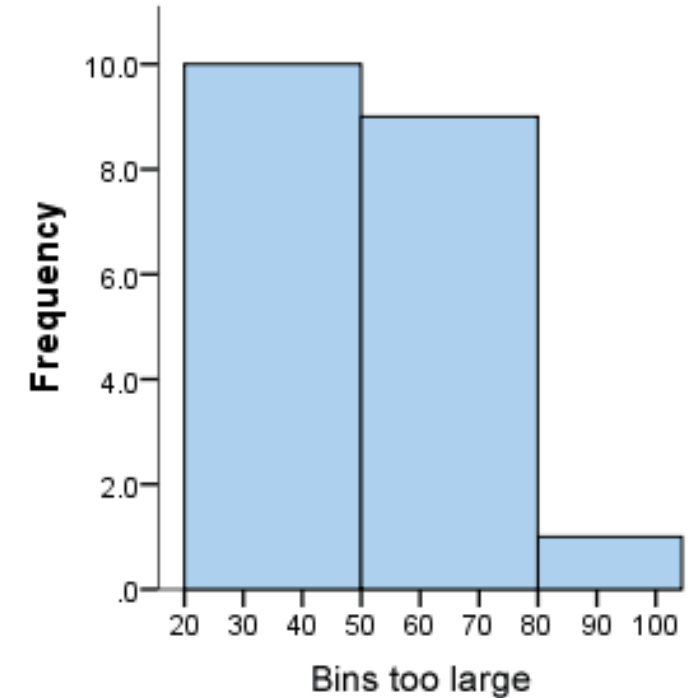
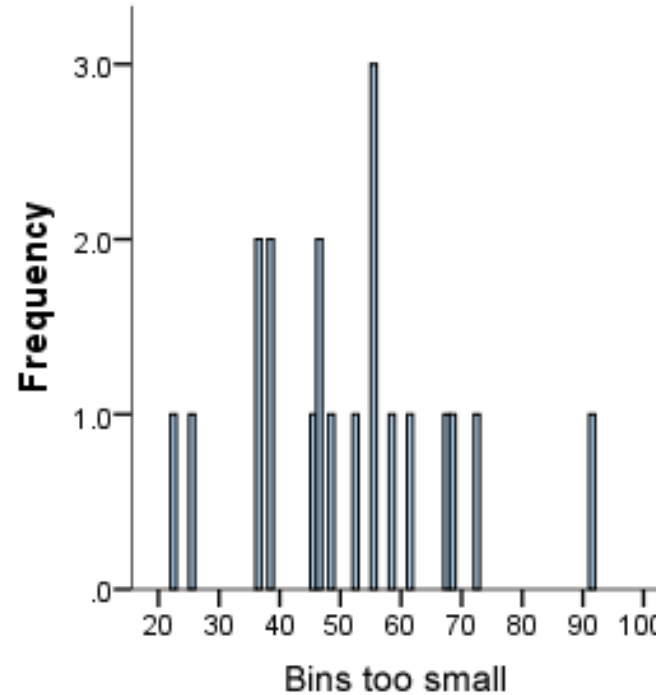
- Hiukkaset ovat hajonneet samasta emohiukkasesta
→ tytärhiukkasista laskettu m_0 = emohiukkasen massa
- Hiukkaset eivät liity toisiinsa → laskettu m_0 = taustakohinaa
- Energiaa, liikemäärä ja invariantti massa ilmaistaan tutussa energian yksiköissä elektronivoltti, $\text{eV} = 1.602176634 \times 10^{-19}$ Joulea

Esimerkki: Histogrammi eri datamäärillä

Kokeillaan, miten datan määrä vaikuttaa tuloksiin.

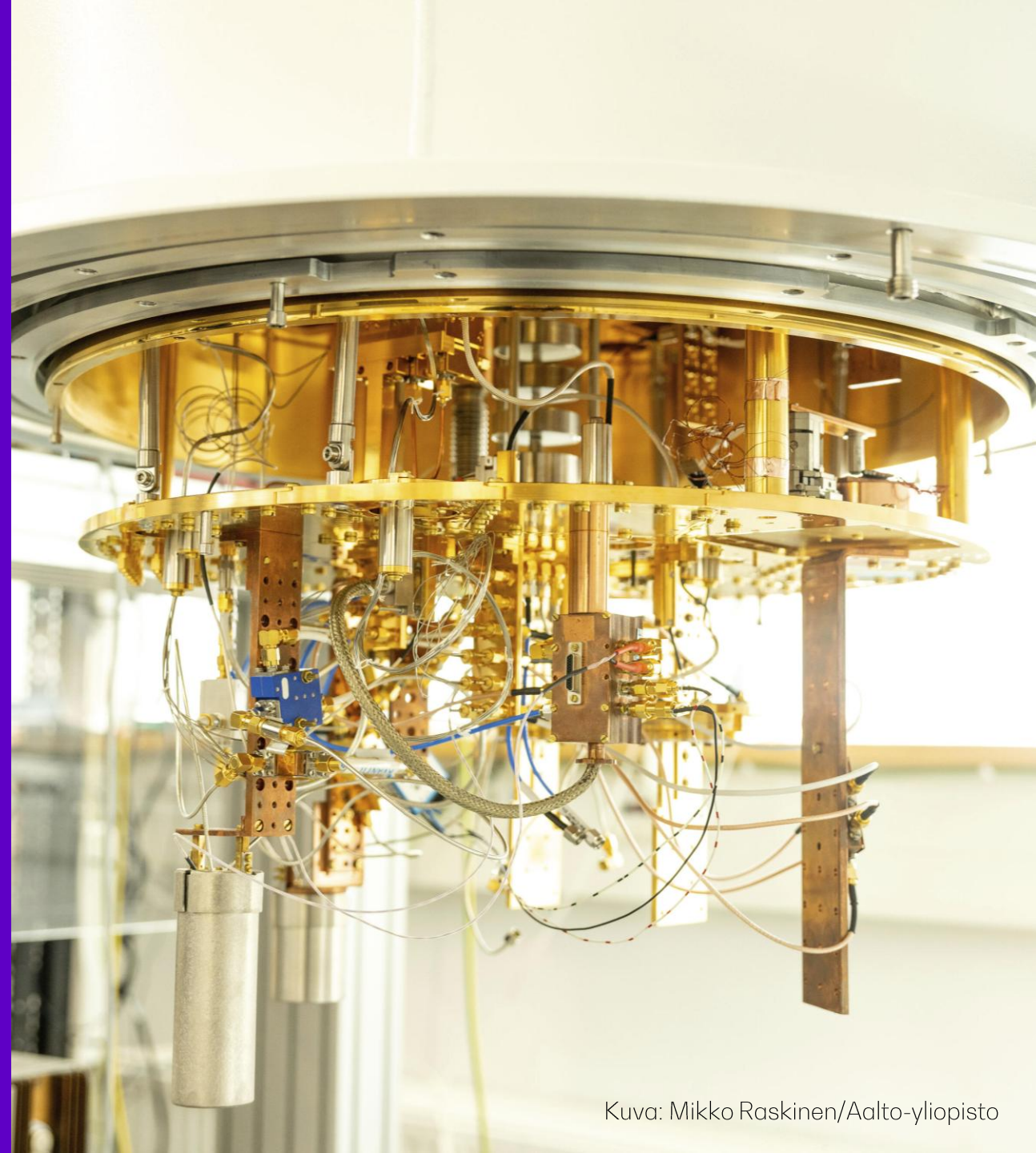
Ajetaan koodi, joka piirtää annetulla datamäärällä (4 kertaa) histogrammin kahden suurienergisien myonin invariantista massasta.

Aloitetaan tutkimalla pieniä lukuja 0–20 ja kasvatetaan datan määrää vähitellen.



Tutkimus Aalto-yliopistossa

- Aalto-yliopiston tutkijat kehittävät haloskooppeja, erittäin herkkää kvantti-ilmaisinta osana pimeän aineen tutkimusta Dark Quantum –hankkeessa.
- Aallossa toimii myös kvanttiteknologian keskus CQE, joka tuo yhteen alan teoreettisen, kokeellisen ja soveltavan osaamisen Aallossa.



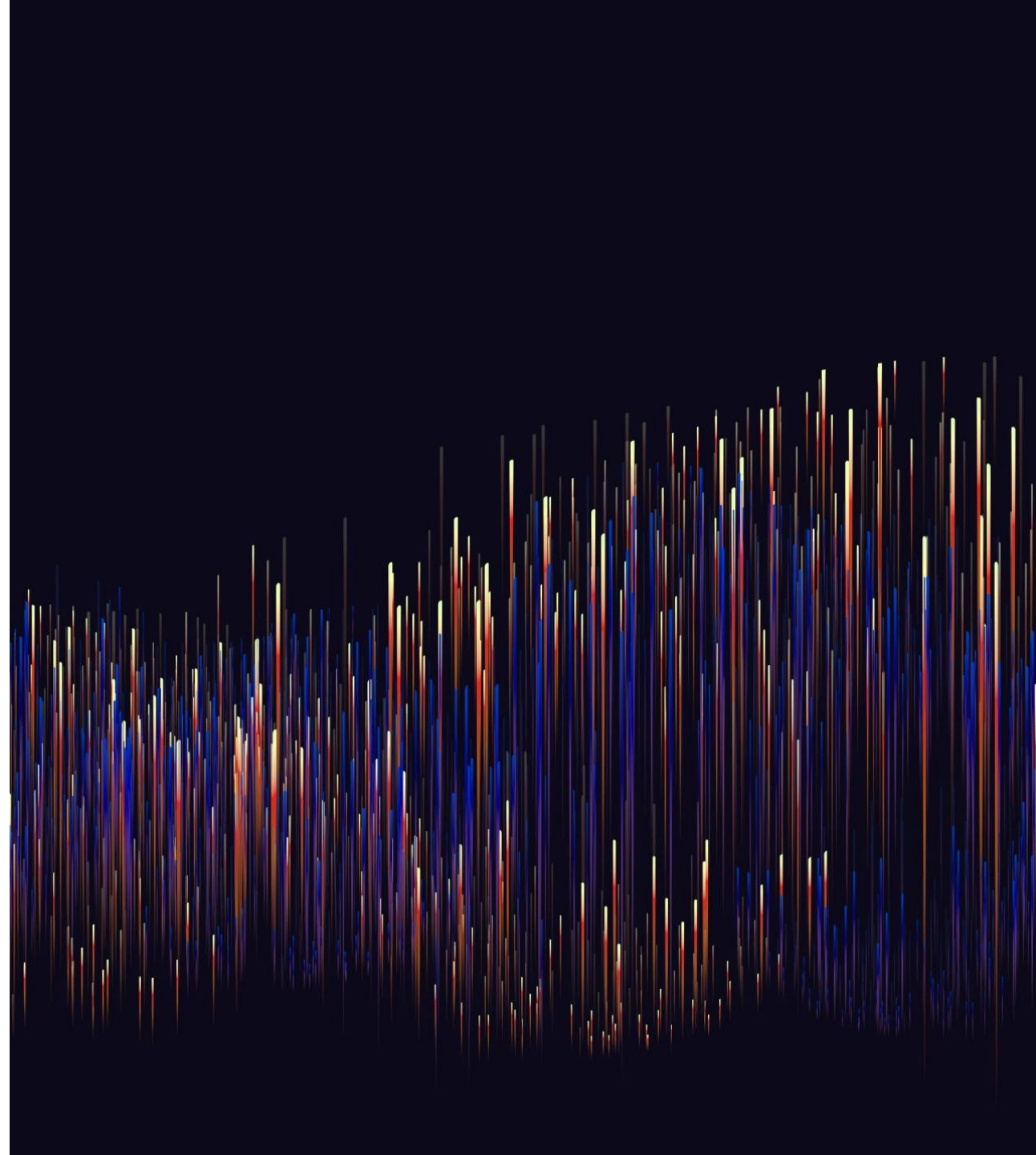
Kuva: Mikko Raskinen/Aalto-yliopisto

Taustaa tehtävälle 1/2

CERN:in kesäopiskelija on saanut tehtäväkseen tutkia CMS:n mittaamaa tutkimusdataa vuoden 2011 ajoilta.

Dataan on valikoitu tapahtumia, joissa hiukkasilmäisin on havainnut kaksi myonia.

Aikaisempien tutkimusten perusteella tiedetään, että moni hiukkanen voi hajota juuri kahdeksi myoniksi ja ne voidaan tunnistaa invariantin massan avulla.

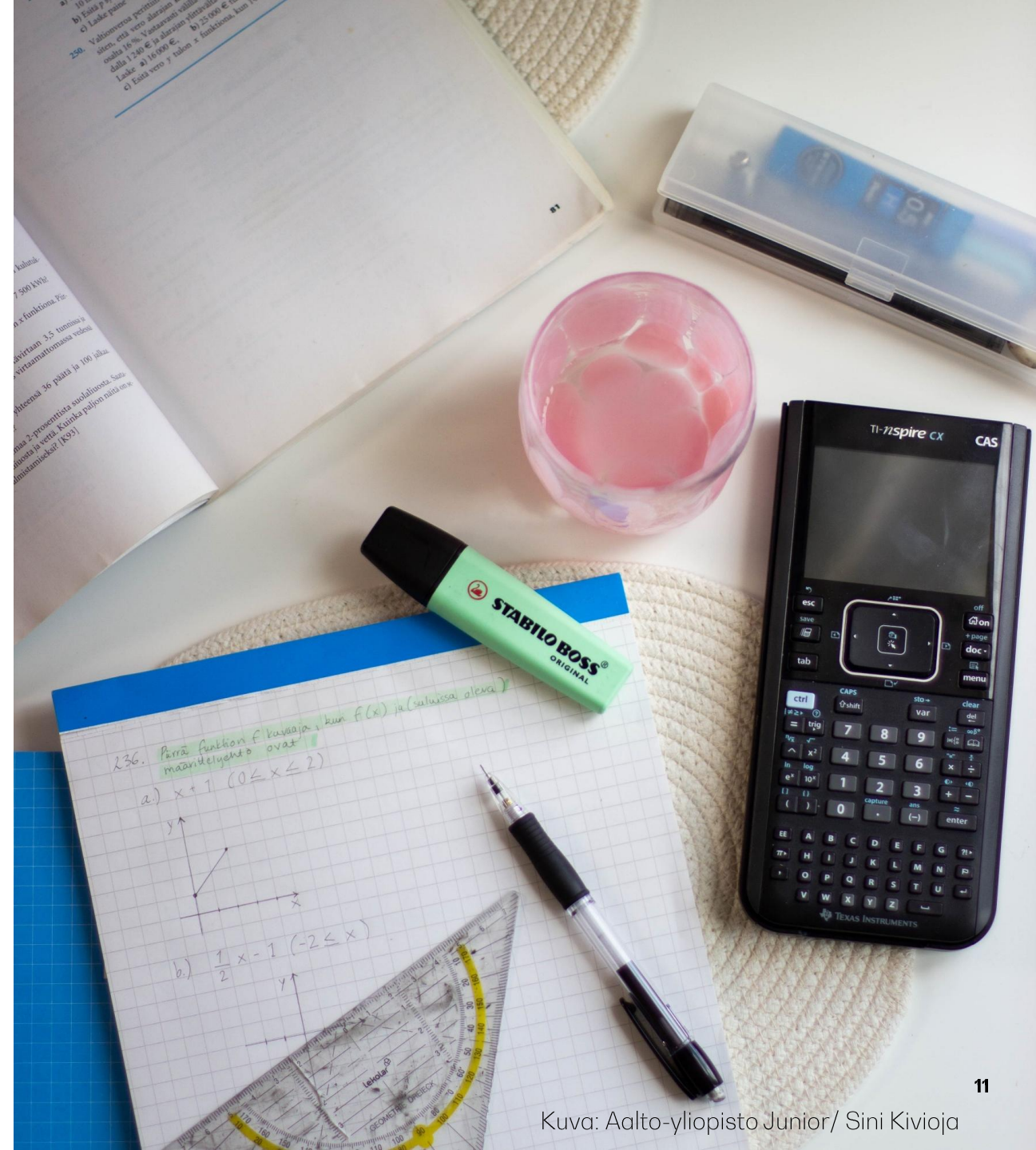


Taustaa tehtävälle 2/2

Kiireinen kesäopiskelija on unohtanut pitää tärkeän mittausdatan järjestyksessä.

Nyt hänellä on käsissään kuusi oudosti nimettyä tiedostoa CMS:n mittausdataa.

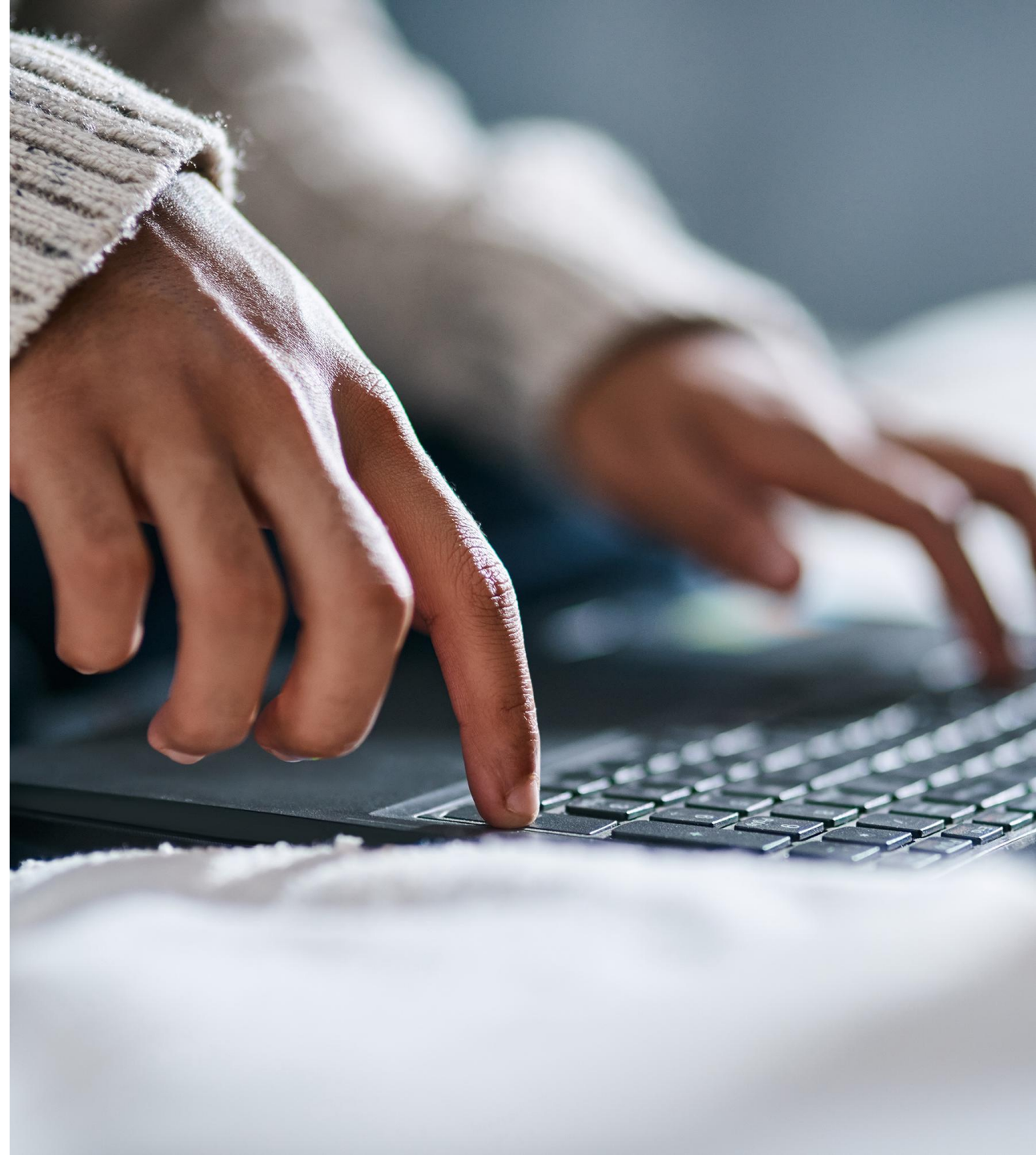
Jokaisessa tiedostossa on mitattuja arvoja kahdesta myonista, jotka ovat kenties peräisin jonkun hiukkasen hajoamisesta.

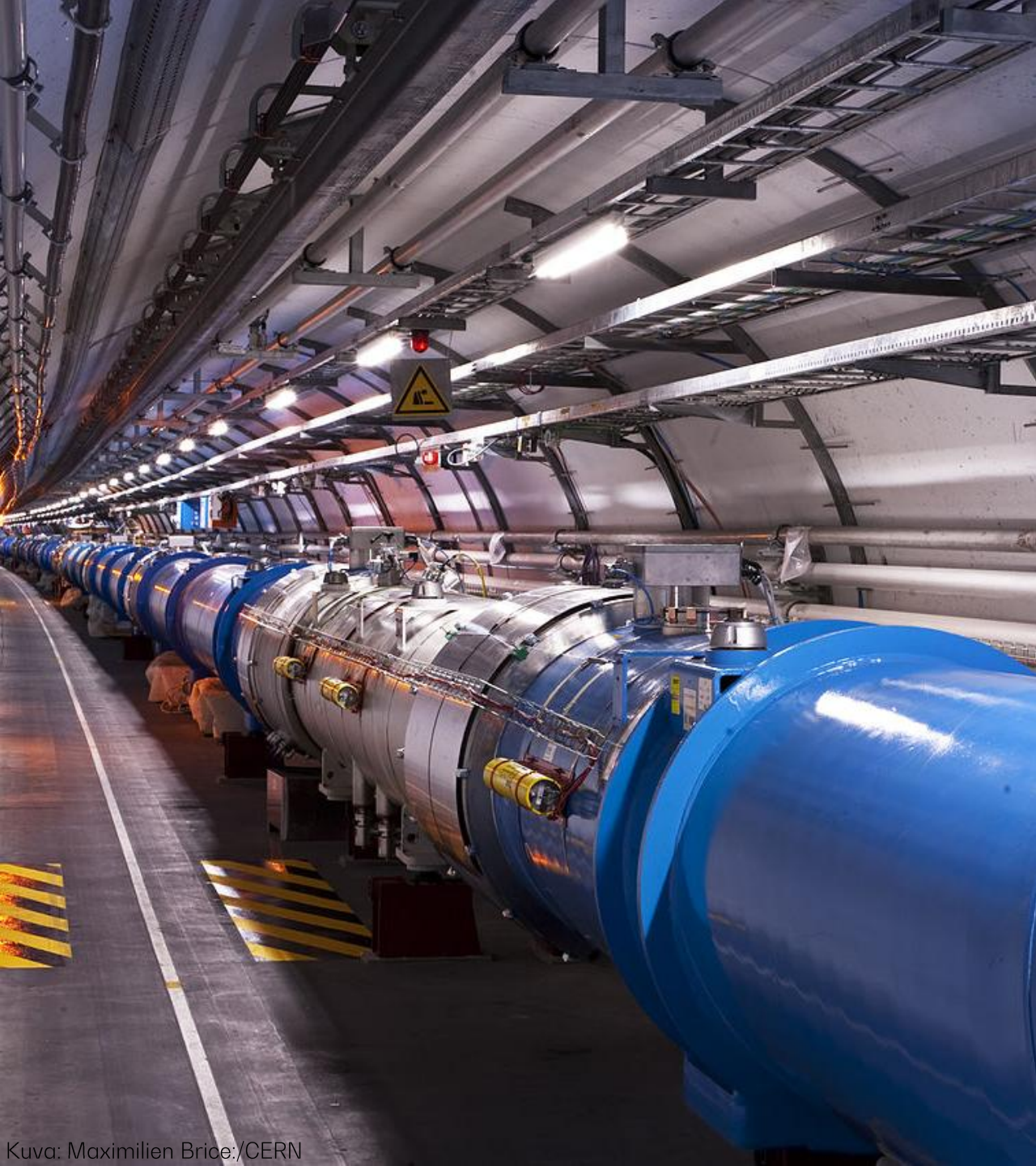


Tehtävä teille

Kesäopiskelija pyytää teidän apuanne tiedostojen sisällön tutkimisessa.

Hypoteesi: Emohiukkasten massat voidaan selvittää invariantin massan arvojen avulla ja näin löytää hiukkaset, jotka voivat hajota kahdeksi myoniksi.





Työn toteutus

AMUL ROIMU
JUNIOR

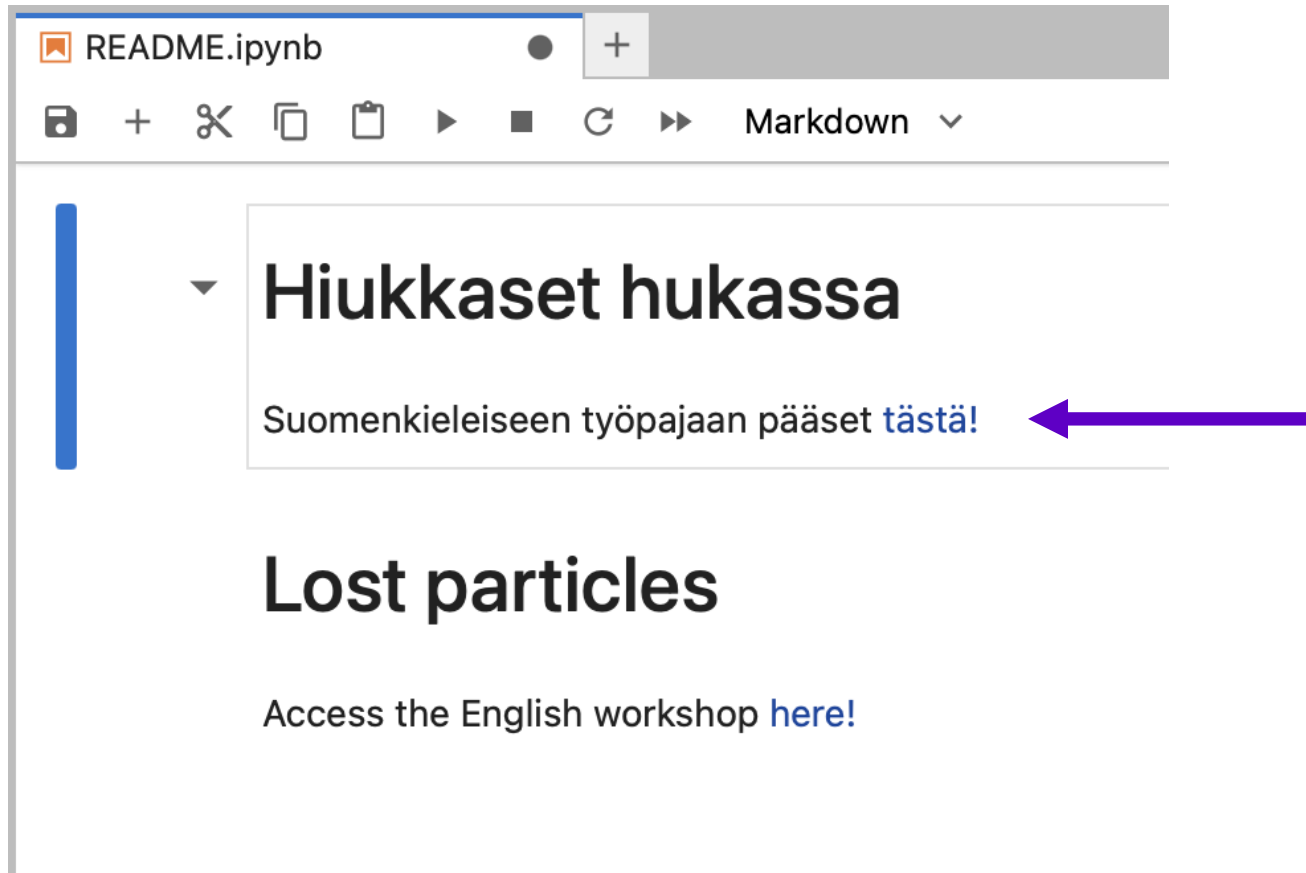
- Suoritetaan työ 2-3 hengen ryhmissä.
- Jokainen ryhmä saa analysoitavaksi piikkidatan numerolla 1-6.
- Seuratkaa tarkasti työohjetta ja kokeilkaa rohkeasti kirjoittaa omaa koodia.

Työpajan tiedoston käyttäminen

1. Seuraa tiedoston ohjeita järjestyksessä.
2. Tiedosto on Jupyter Notebook –tiedosto, joka yhdistää normaalia tekstiä ja Python-ohjelmointikielellä kirjoitettua koodia.
3. Tiedostossa koodi ja tekstisisältö on jaoteltu lohkoittain.
4. Lohkoja ”ajetaan” painamalla shift + enter.
5. Muista edetä järjestyksessä, koska osa koodista on riippuvaista aiempaan lohkoon kirjoitetusta koodista ja jos jotain jää välistä ajamatta, ei koodi toimi.
6. Piikkidataa on 6 kpl. Työtä voi suorittaa yhtäaikaaisesti 6 ryhmää. Valitkaa ryhmää vastaava tiedosto!

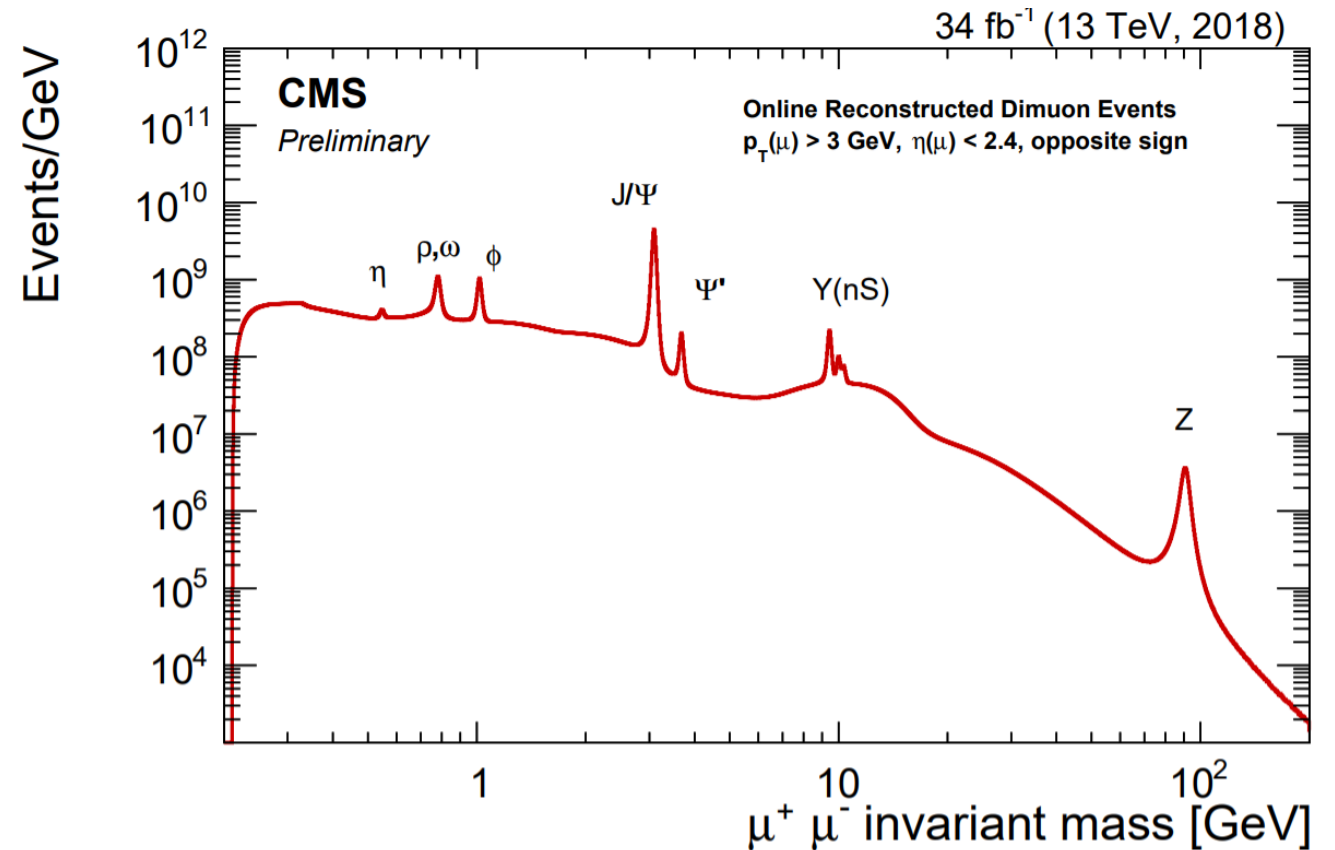
Työn aloittaminen

1. Avaa jaettu linkki: <https://aaltojunior.github.io/Hiukkaset-Hukassa-Standalone/lab/index.html?path=notebooks/README.ipynb>
2. Klikkaa tekstiä ”tästä!” päästäksesi suomenkieliseen työpajaan!



Yhteenveto

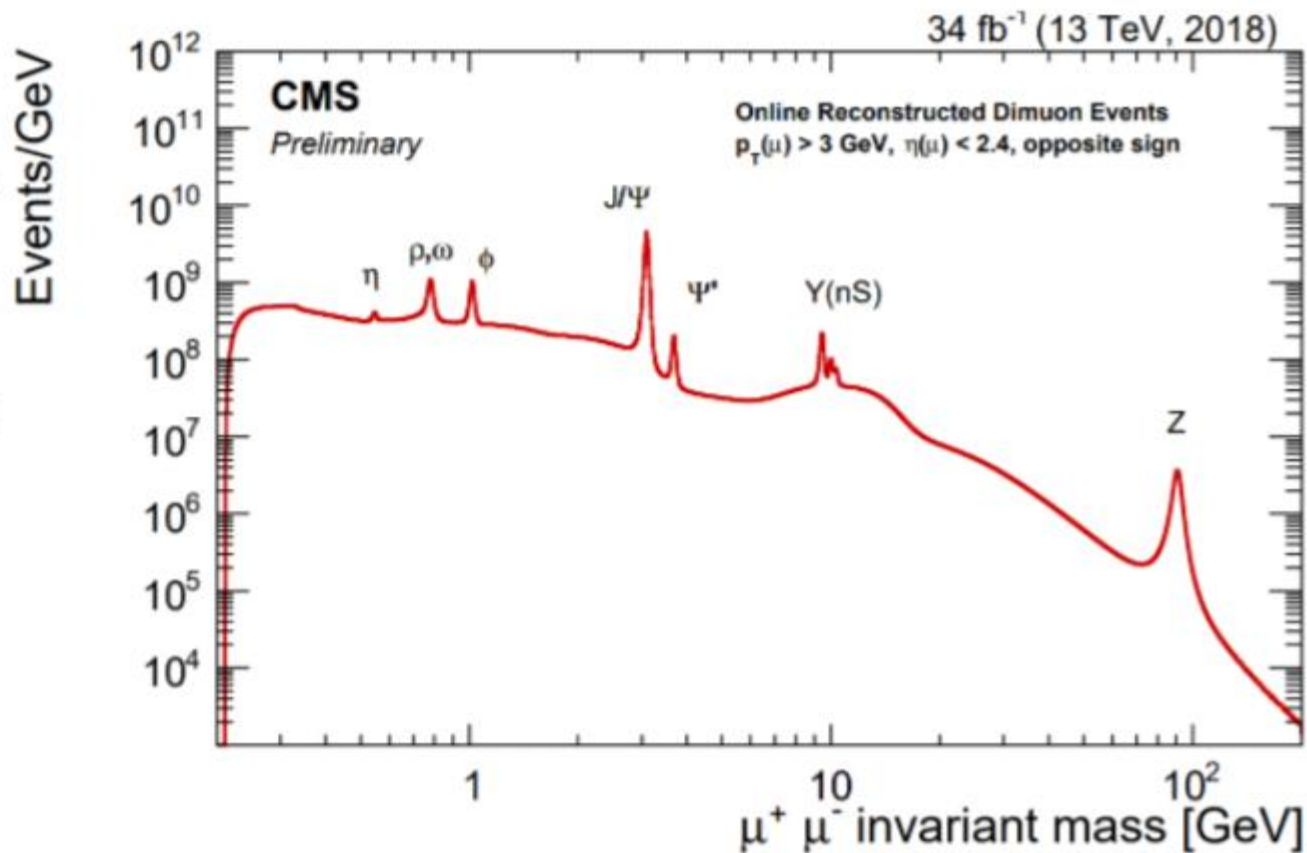
- *Mitä hyötyä tällaisesta analyysistä voisi olla?*
- *Miten uusia hiukkasia löydetään?*
- *Löydättekö uudesta tiedostosta kohdan joka vastaa ryhmänne piikkidataa?*
- *Voisiko piikkidata olla peräisin tästä suuremmasta tiedostosta?*



Lataamanne tiedosto on CMS:n mittausdataa vuodelta 2011.

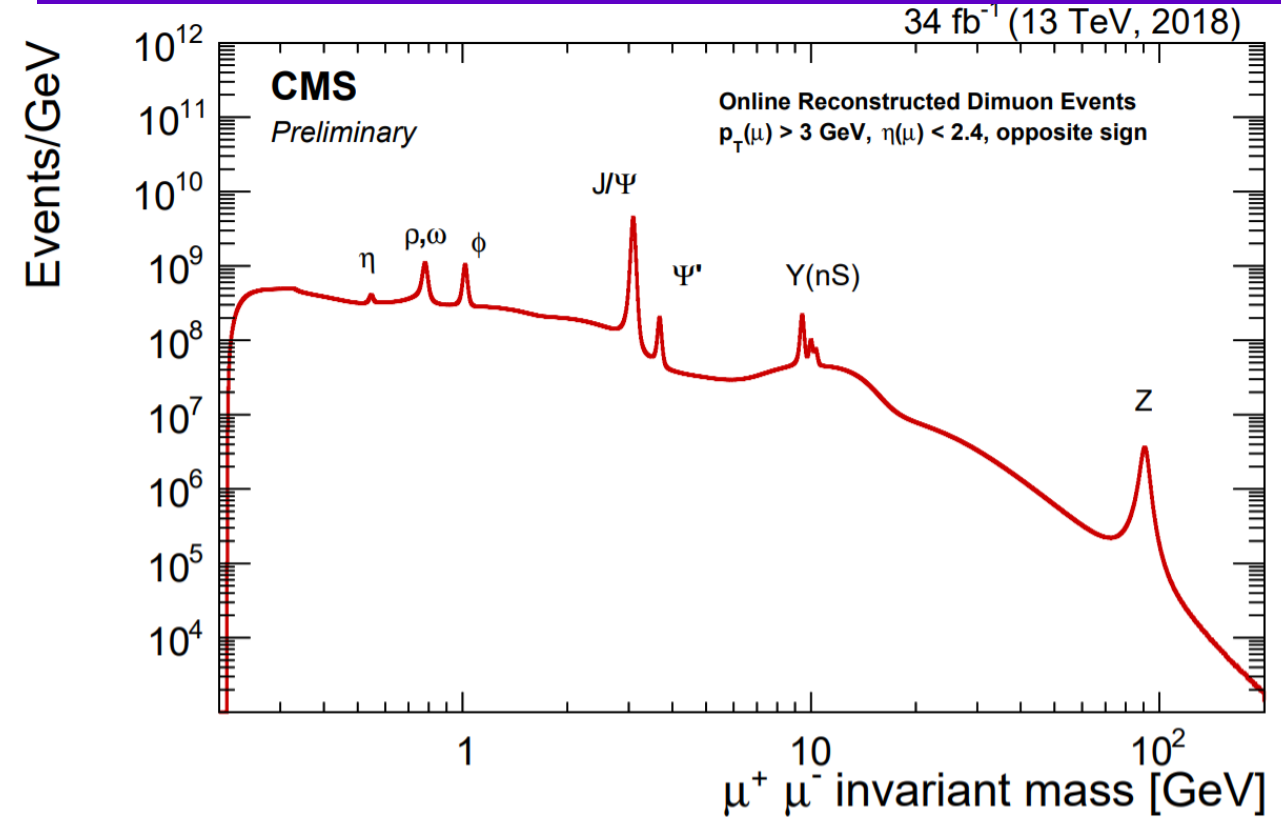
Tiedostoon on valittu vain ne tapahtumat joista on syntynyt kaksi myonia. Kahden myonin data on kiinnostavaa, koska se voi olla peräisin monen eri hiukkasen hajoamisesta.

Viereisessä kuvassa on esitetty kahden myonin invariantin massan jakauma. Jakaumasta erottaa selvästi niiden hiukkasten piikit jotka voivat hajota kahdeksi myoniksi. Oikeassa tutkimuksessa vastaavat ennusteet ovat teoreettisten fyysikoiden tekemiä ja niiden perusteella voidaan päätellä piikin liittyvän tietyn tyyppiseen hiukkaseen.



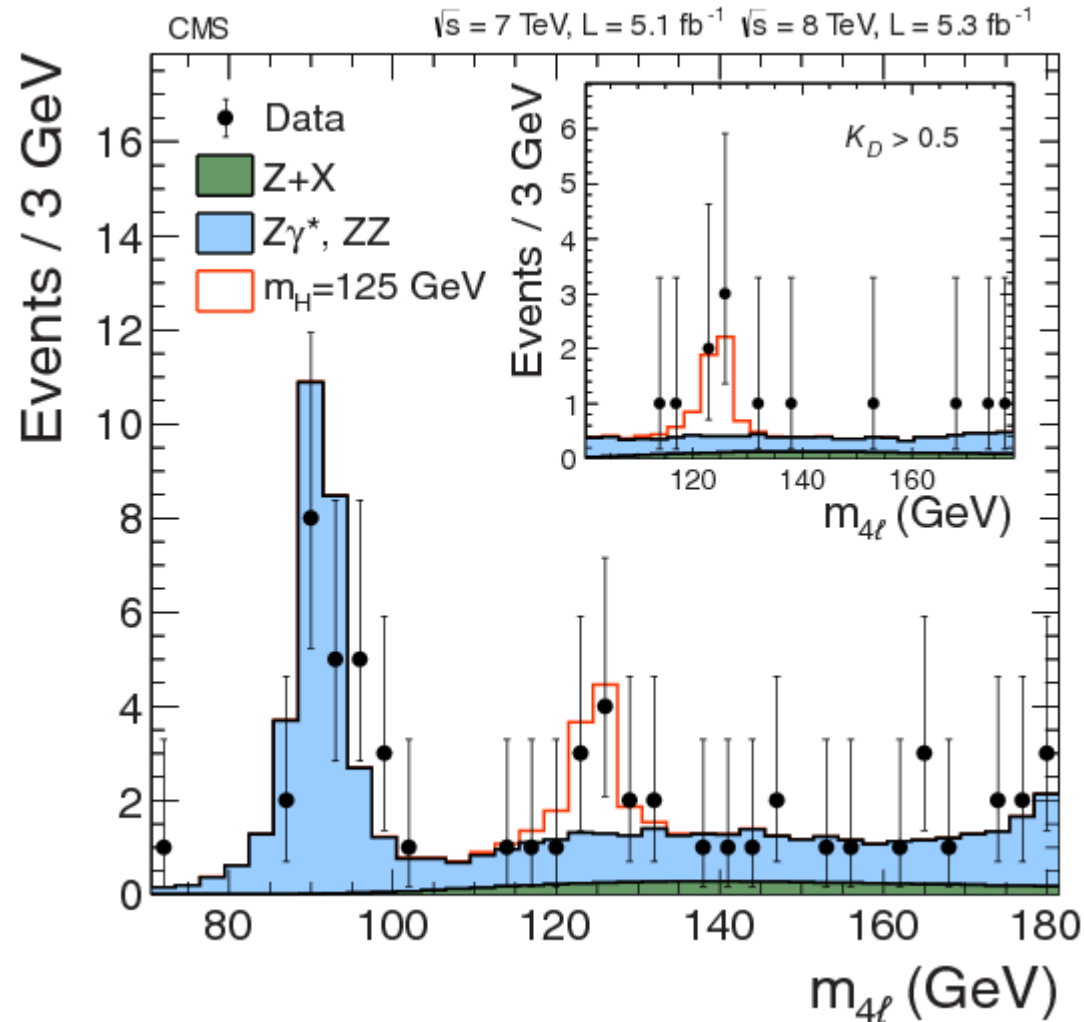
- *Vastaako mikään kuvan piikeistä piikkidatan piikkiä?*
- *Jos vastaa, niin mistä hiukkasesta on kyse?*

Hiukkanen	Massa [GeV]
η (eta)	0.548
ρ , (rho)	0.775
ω (omega)	0.782
ϕ (phi)	1.019
J/ψ (J/psi)	3.097
ψ' (psi)	3.686
Y (ypsilon)	9.460
Z-bosoni	91.188



Higgsin bosonin löytäminen

- Teoria asetti hypoteesin Higgsin massalle ja sen hajoamistuotteille.
- Hypoteesin perusteella luotiin ennuste.
- Dataa kerättiin vuosia ja LHC ajoi lähes vuorokauden ympäri.
- Verrattiin saatuja tuloksia ennusteeseen.
- Tietyn invariantin massan arvolle muodostui piikki, joka on todennäköisin peräisin Higgsin bosonin hajoamisesta.



Piikkidatatiedot

Taulukko

Datasetti	Hiukkanen	Datan alue [GeV]	Eventtien lkm.	max(E) [GeV]	min(E) [GeV]
piikkidata1	J/ψ (J/psii)	2.50001 - 3.59982	48223	249.377	2.66819
piikkidata2	Z-bosoni	70.0069 - 109.999	33177	1131.56	4.01271
piikkidata3	Y (ypsilon)	9.00001 - 9.6999	19519	165.27	2.67178
piikkidata4	ϕ (fii)	0.90003 - 1.12998	7915	202.921	2.66267
piikkidata5	ρ, ω (rhoo, oomega)	0.650063 - 0.899988	8270	308.698	2.85848
piikkidata6	ψ' (psii)	3.50017 - 3.89928	4106	221.887	2.57612

Työpaja materiaalit



Työpajan luoja: Linda Hemmann

Lähteet:

<https://github.com/AaltoJunior/Hiukkaset-Hukassa>

A BRIEF INTRODUCTION TO PARTICLE PHYSICS by Nari Mistry, Laboratory for Elementary Particle Physics, Cornell University

https://www.classe.cornell.edu/rsrc/Home/Outreach/TeachingResources/Brief_Intro_to_HEP1.pdf

Muokkaajat

- Petra Ekroos, 2022
- Heidi Sillanpää ja Jussi Roos 2025

MULTIMEDIAALINEN