

# Matavimo neapibrėžtumų koreliacijų įtaka matavimo ir modeliavimo rezultatų palyginimo kiekybiniam įvertinimui

## Effect of uncertainty correlations to the quantitative comparison of measurement and simulation results

Andrius Juodagalvis ir Marijus Ambrozas

Teorinės fizikos ir astronomijos institutas, Fizikos fakultetas, Vilniaus universitetas, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius  
[andrius.juodagalvis@tfai.vu.lt](mailto:andrius.juodagalvis@tfai.vu.lt)

Ekperimentiniu būdu nustatytų dydžių pasiskirstymo artumą modeliavimu gautoms vertėms dažnai įvertiname skaičiuodami  $\chi^2$  vertę:

$$\chi^2 = (y_{\text{exp}} - y_{\text{mc}})^T (V_{\text{exp}} + V_{\text{mc}})^{-1} (y_{\text{exp}} - y_{\text{mc}}). \quad (1)$$

Čia  $y_{\text{exp}}$  ir  $y_{\text{mc}}$  yra nagrinėjamo dydžio išmatuotų ir sumodeliuotų centrinių verčių vektoriai, o  $V_{\text{exp}}$  ir  $V_{\text{mc}}$  yra to dydžio centrinių verčių neapibrėžtumų (kovariacijos) matricos. Jei skirtingą indeksą turinčios vertės nėra koreliuotos, neapibrėžtumų matricos yra diagonalios, ir  $\chi^2$  formulė gali būti užrašyta paprasčiau:

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(y_{\text{exp},i} - y_{\text{mc},i})^2}{\sigma_{\text{exp},i}^2 + \sigma_{\text{mc},i}^2}, \quad (2)$$

Čia  $\sigma_{a,i}$  yra  $y_{a,i}$  neapibrėžtumas (paklaida).

CERN Didžiojo hadronų greitintuvo (LHC) pagalba vykdomi didelių energijų fizikos eksperimentai ATLAS ir CMS savo straipsniuose paskelbtus matavimo rezultatus pateikia ir elektronine forma HepData internetiniame portale [1], kuris specializuojasi paskelbtų eksperimento duomenų kaupime. Šio portalo naudą didina kita Durhamo universiteto iniciatyva – Rivet procedūrų rinkinys [2], kuris leidžia teoretikams perrinkti sumodeliuotus protonų susidūrimų įvykius išrenkant reikalingus fizikinius dydžius ir pritaikant eksperimente naudotus įvykių atrankos kriterijus (pvz., susidariusių dalelių skersinio impulso apatinės ribas įvykio įskaitymui). Tiesa, dalį modeliavimui taikytų pataisų kartais tenka pritaikyti atskirai, jei jos nėra įdiegtos į Rivet aplinkai parengtą kompiuterinę procedūrą. Šios dvi Durhamo universiteto iniciatyvos – HepData ir Rivet – leidžia išsaugoti eksperimente gautą naudingą informaciją tolesniam naudojimui (pvz., vertinant teorinių modelių teisingumą), o didėjant saugojimo paslaugos populiarumui, pasidaro svarbi ir saugomos informacijos kokybė bei jos detalumas. Jei anksčiau buvo siekiama kokybiškai įvertinti teorijos ir eksperimento atitikimą, lyginant centrines vertes paklaidų ribose, tai didėjant Didžiojo hadronų greitintuvo eksperimentų matavimo tikslumui ir mažėjant išmatuotų dydžių statistiniam neapibrėžtumui, teoretikams ir fenomenologams svarbu galėti modeliuoti sisteminių paklaidų įtaką išmatuotų centrinių verčių tikėtinumui, todėl svarbu saugoti ne tik centrines vertes, bet ir jų neapibrėžtumų kovariacijas. Jei sisteminių paklaidų šaltinių yra daug, nėra paprasta pateikti tinkamą informaciją.

CERN LHC Elektrosilpnųjų procesų darbo grupės „Vektorinių bozonų ir džetų“ pogrupis studijuoja

ATLAS ir CMS eksperimentuose išmatuotą džetų susidarymo diferencialinį reakcijos skerspjūvį, kai pilna protonų susidūrimo energija yra 13 TeV [3, 4]. VU grupės nariai modeliuoja situaciją, kai tuos duomenis nori panaudoti teoretikas ir vertina pasiekiamos informacijos pilnumą, tikslumą ir patogumą naudoti. Tam jie naudoja viešose publikacijose, HepData ir Rivet bazėse užregistruotą informaciją, o paskelbtus matavimo rezultatus lygina su tinkamais CMS kolektyvo sukurtais protonų susidūrimų įvykiais, modeliuotais Pythia8 generatoriumi. ATLAS ir CMS eksperimentai matavimo neapibrėžtumų kovariacijas pateikia skirtingais būdais, kas leidžia palyginti naudojimo patogumą. Apskaičiavus  $\chi^2/n$  (čia  $n$  žymi centrinių verčių pasiskirstymo laisvės laipsnių skaičių), galima prasmingai palyginti dviejų eksperimentų matavimo rezultatų panašumą į pasirinktu modeliavimo parametrų rinkiniu sugeneruotus dydžius. Kadangi darbas yra atliekamas LHC darbo grupėje, į kurią įeina ir ATLAS, ir CMS eksperimentų atstovai, atrandami viešų duomenų naudojimo keblumai gali būti aptarti ir ištaisomi. Taip pat yra vertinama ir Rivet aplinka, ieškant optimalaus būdo panaudoti HepData pateikiamas duomenų lenteles. Tiriamasis darbas turėtų baigtis arXiv portale paskelbtomis rekomendacijomis eksperimentatoriams.

Konferencijos pranešime bus pristatytas VU grupės atliekamas darbas bei jos gauti rezultatai, rodantys, kad matavimo neapibrėžtumų koreliacijų įskaitymas stipriai įtakoja matavimo ir modeliavimo rezultatų kiekybinį panašumo įvertimą naudojant  $\chi^2/n$  vertę.

*Reikšminiai žodžiai: elementariųjų dalelių fizika, matavimo paklaidų koreliacijos.*

### Literatūra

1. E. Maguire, L. Heinrich, and G. Watt, „HEPData: a repository for high energy physics data“, *J. Phys. Conf. Ser.* 898 (2017) 102006 [1704.05473]. HEPData portalas <https://www.hepdata.net>.
2. C. Bierlich *et al.*, Robust independent validation of experiment and theory: Rivet version 3, *SciPost Phys.* 8 (2020) 026 [1912.05451]. Rivet portalas <https://rivet.hepforge.org>.
3. CMS collaboration, A. Tumasyan et al., Measurement and QCD analysis of double-differential inclusive jet cross sections in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV, *JHEP* 02 (2022) 142 [2111.10431]; HepData collection <https://doi.org/10.17182/hepdata.115022>.
4. ATLAS collaboration, M. Aaboud et al., Measurement of inclusive jet and dijet cross-sections in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV with the ATLAS detector, *JHEP* 05 (2018) 195 [1711.02692]; HepData collection <https://doi.org/10.17182/hepdata.79952>.