Aula 8: os dados do CERN, múons e massa invaria

04/12/2026, on-line. O que não couber entra na aula seguinte.

1. Revisão das aulas 6 e 7

de memória: o autograd, NumPy contra PyTorch, o limiar da taxa, treino, validação e test
o fio do curso, da aula 1 à 10; hoje, a 8

2. O LHC, o CMS e o múon

27 km, 7 TeV em 2010; o CMS, 14 mil toneladas, câmaras de múons por fora
o múon: 105,66 MeV, 207 vezes o elétron; eV, MeV, GeV, TeV

3. Os dados e a massa invariante

registro 303: 100 mil eventos, as colunas; vídeo: pt, eta e phi
px = pt cos phi, py = pt sen phi, pz = pt senh eta; o múon 1 do evento 3 confere
$M^2 = (E1 + E2)^2 - |p1 + p2|^2$; o evento 3 à mão: 213,284 − 203,554, M = 3,119 GeV
vídeo: a massa não depende de quem mede; a fórmula confere em 99,6%, 413 eventos
vídeo: do evento ao histograma; os picos J/psi, Upsilon e Z; de perto, 67 MeV contra 93 k

4. De onde vem

o que é cada pico: charm, bottom, a força fraca
1974, o J/psi; 1977, o Upsilon; 1983, o Z

5. Uma rede aprende a fórmula?

8 entradas, 256, 256, ln M; vídeo: a compressão por asinh(x/5)
padronizar pelo treino; ln M cobra o erro em porcentagem
a curva do treino, a melhor época 80; vídeo: o treino, época a época
no teste, 1,88% de erro mediano; onde a rede erra: o pico do J/psi e o Z

6. O código

dimuon.py e mlp_massa.py; o laço do treino em PyTorch
a entrega: o histograma com os picos e o erro da rede contra a fórmula

7. Fechamento

3Blue1Brown, 2017; Sohl-Dickstein, 2024
a seguir: aula 9, o fractal; aula 10, a apresentação