Kvantumugrások a felhőben

Nagyléptékű kvantumszimulációk a C++QED keretrendszerrel

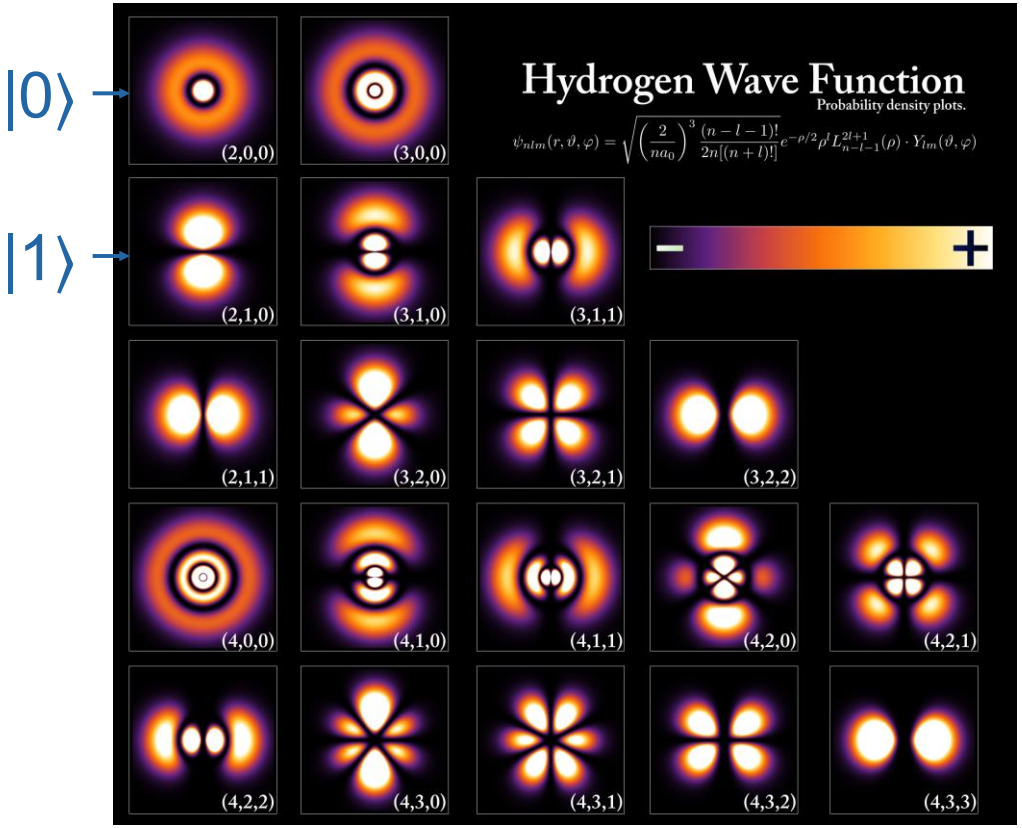


Vukics András

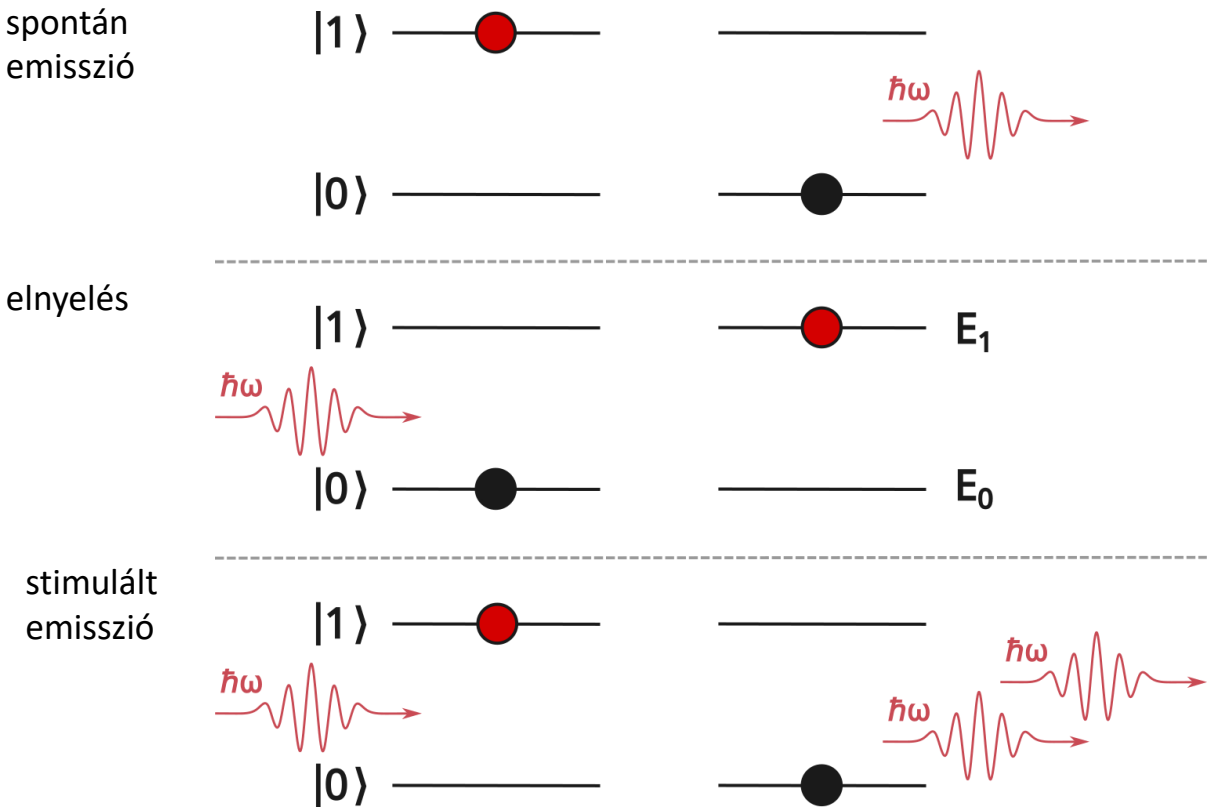
HUN-REN Wigner FK

Kvantumtechnológia Osztály

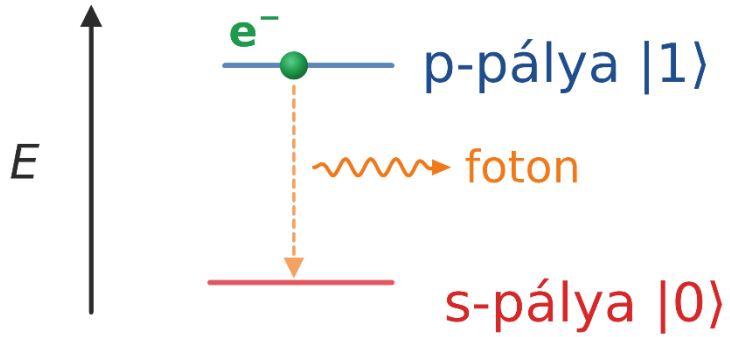
A fény és az anyag energiát cserél



Egy atom és a sugárzási tér:
három alapfolyamat



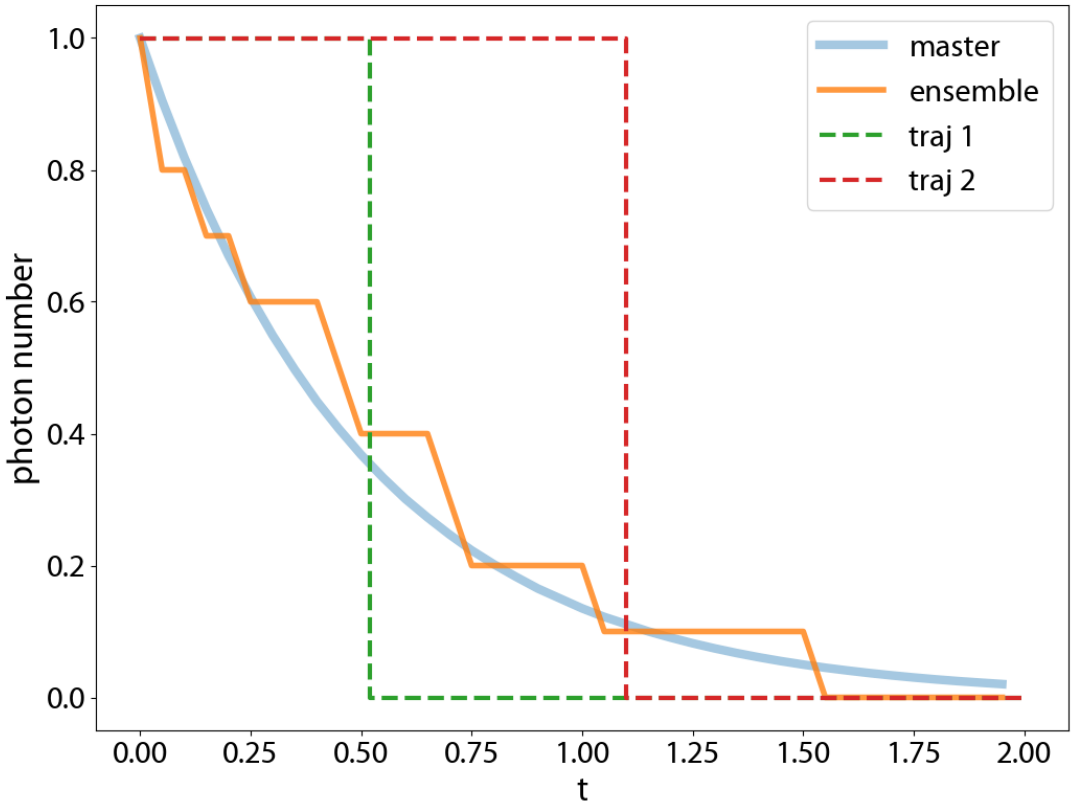
Kétállapotú atom: spontán emisszió



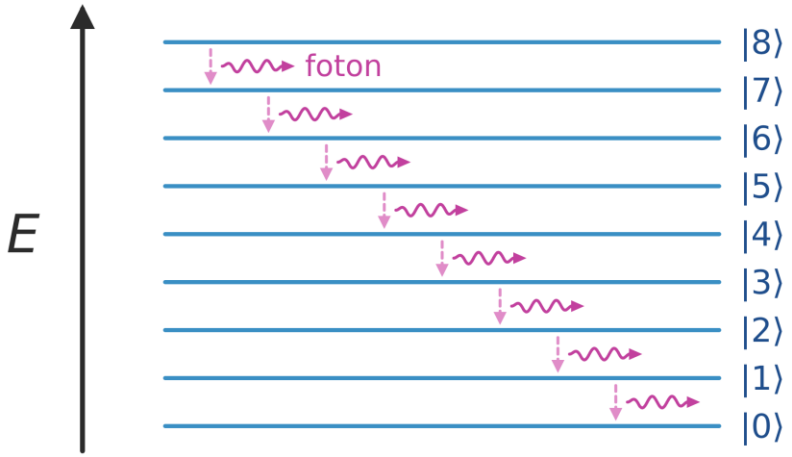
Kezdetben: gerjesztett állapot, $|1\rangle$

Egy futás: egy ugrás, véletlen időpontban

Sok futás átlaga: sima lecsengés



Egyedi ugrásokból áll össze az átlag

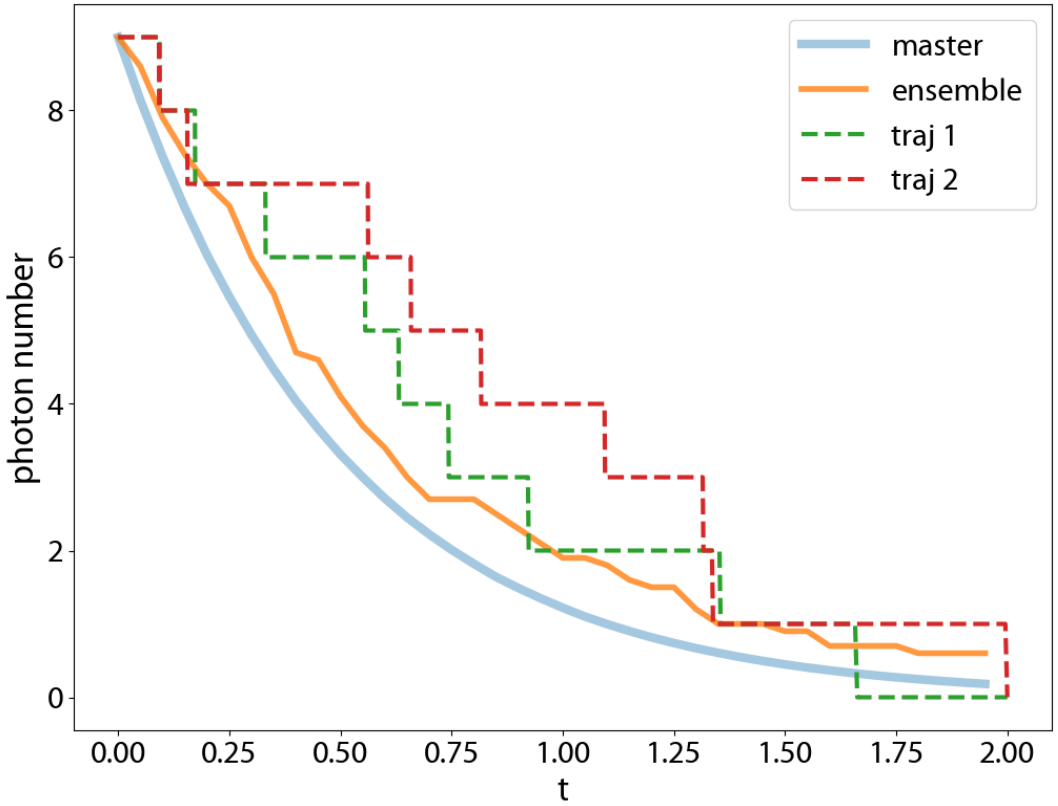


Kezdetben: 9 foton a rezonátorban

Egy futás: véletlenszerű ugrások

Sok futás átlaga: sima lecsengés

Kvantumtrajektória: folytonos időfejlődés, véletlenszerű ugrásokkal.



Független futások párhuzamosan a felhőben

Master-egyenlet: közvetlenül az átlagot számoljuk

Az állapot leírásához ~D^2 dimenziószám szükséges.

Kvantumtrajektória: egy lehetséges megvalósulást számolunk

Egy állapotvektorhoz ~D dimenziószám szükséges; az átlaghoz sok futás kell.

A független trajektóriák külön gépeken is futhatnak.

1 feladat = 1 véletlenszám-generátor-mag (seed)

C++QED: szimuláció építőelemekből

Fizikai építőelemek

Qubit, rezgési módus, spin, részecskemozgás

Kölcsönhatások

Az elemek összekapcsolásával összetett modell épül

Időfejlődés

Adaptív integrálás, kvantumugrások, megfigyelhető mennyiségek (kvantum várhatóérték)

Újrahasznosítható szimulációk

Új kutatási kérdéshez nem kell mindent újraírni

github.com/WignerQuantumOptics/cppqed

Fotonblokád-áttörés

Hajtott, veszteséges Jaynes–Cummings-modell

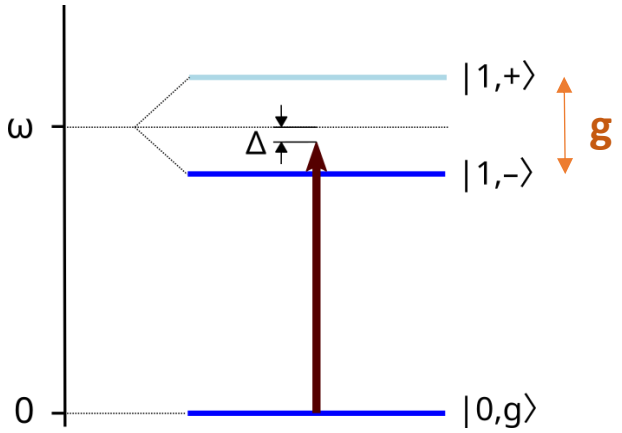
$$H = -\Delta_A \sigma^\dagger \sigma - \Delta_M a^\dagger a + g\left(a^\dagger \sigma + \sigma^\dagger a\right)$$ + meghajtás + veszteségek

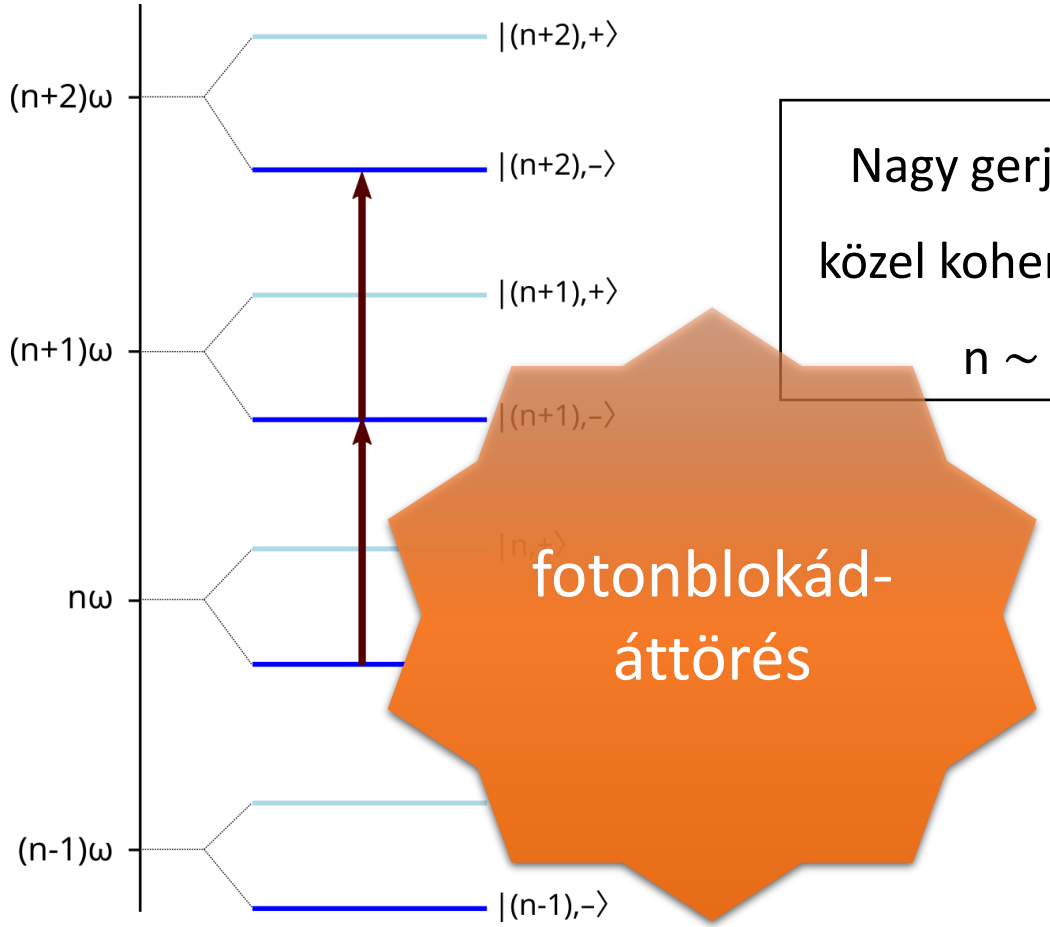
- rezonátor κ
- atom γ

Kis gerjesztésnél:

fotonblokád

ha g≫κ,γ





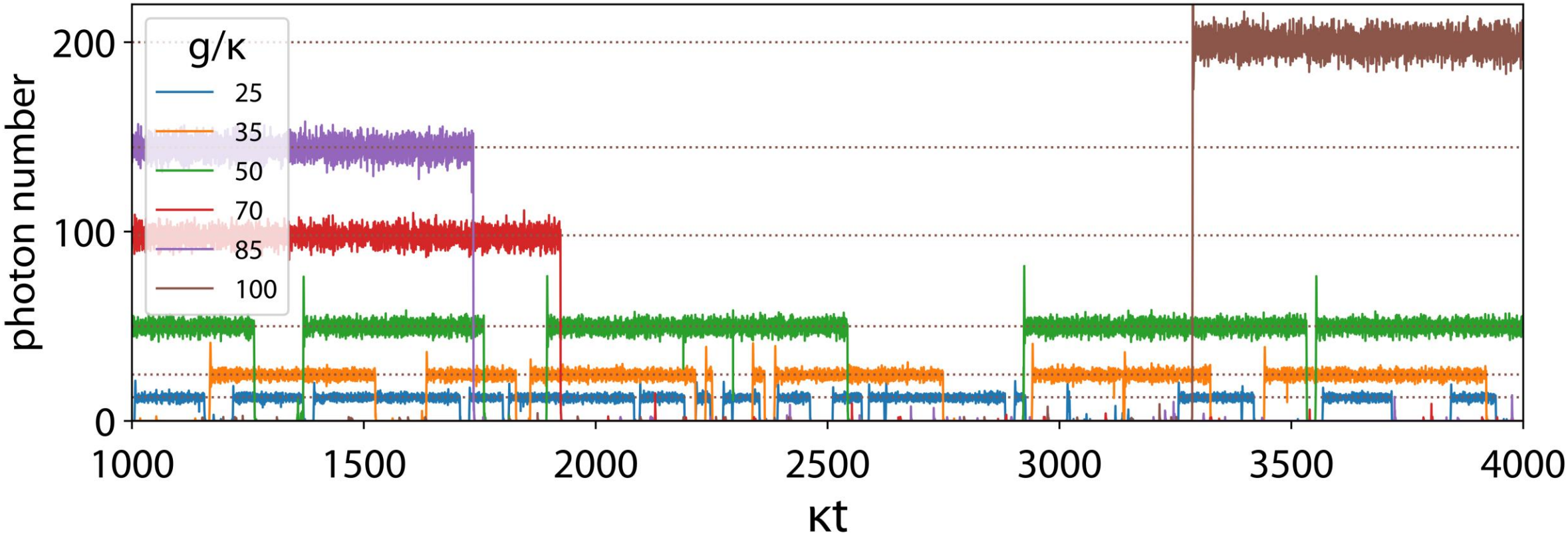
Nagy gerjesztésnél:

közel koherens állapot

$n \sim g^2/\Delta^2$

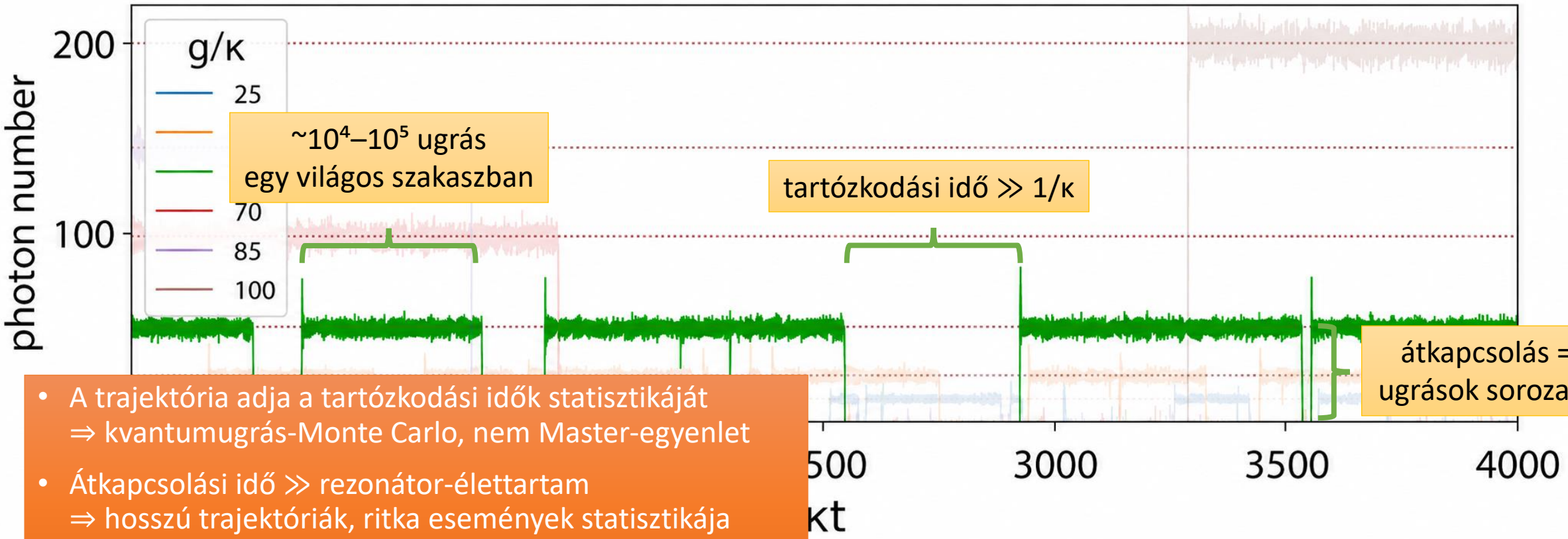
Fotonblokád-áttörés

bistabilitás és termodinamikai határeset



Fotonblokád-áttörés

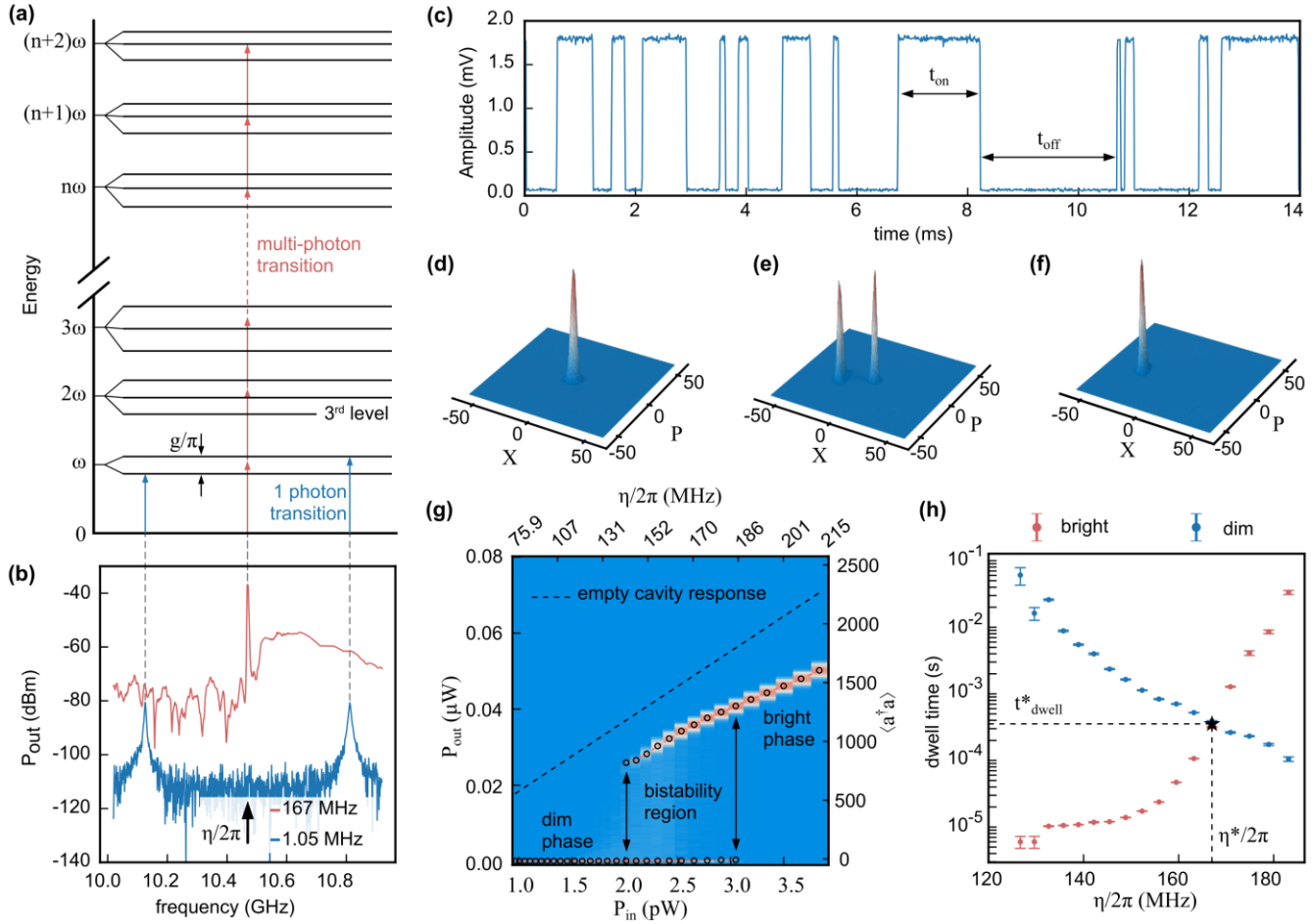
ritka átkapcsolások, hosszú szimulációk

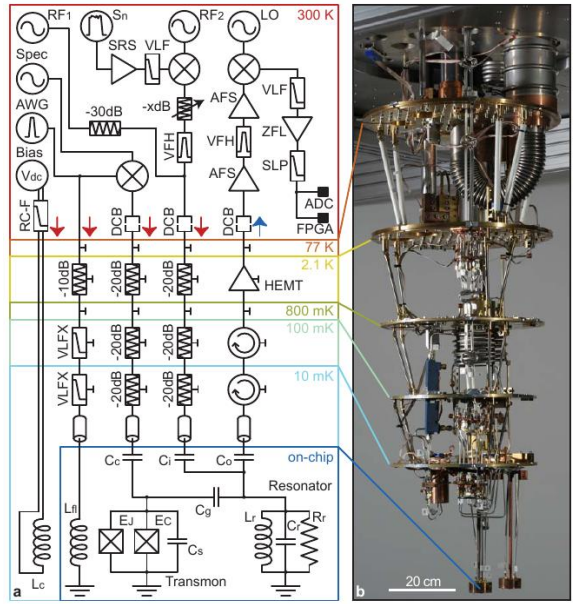


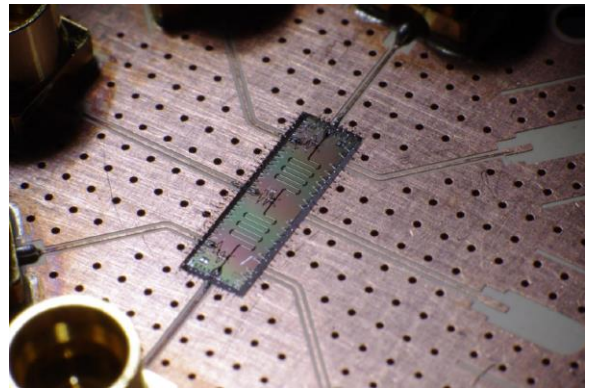
- A trajektória adja a tartózkodási idők statisztikáját
  ⇒ kvantumugrás-Monte Carlo, nem Master-egyenlet
- Átkapcsolási idő ≫ rezonátor-élettartam
  ⇒ hosszú trajektóriák, ritka események statisztikája
- Növekvő dimenziószám × paraméter-scan
  ⇒ 10^3–10^4 független, hosszú futás

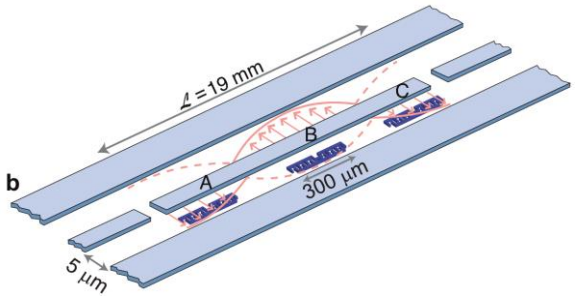
Kísérleti megvalósítás szupravezető kvantumáramkörökön

analóg kvantumszámítás / -szimuláció

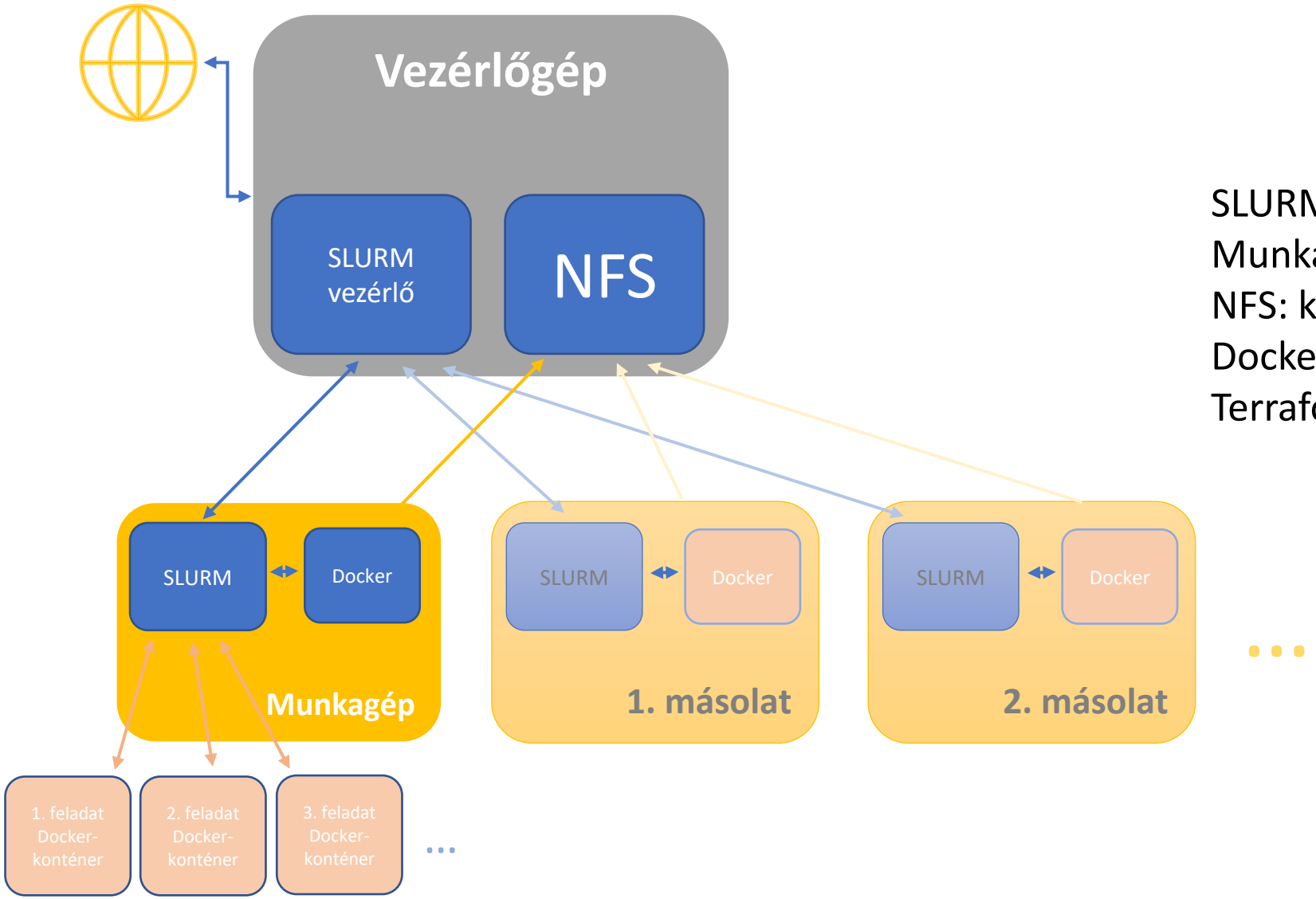








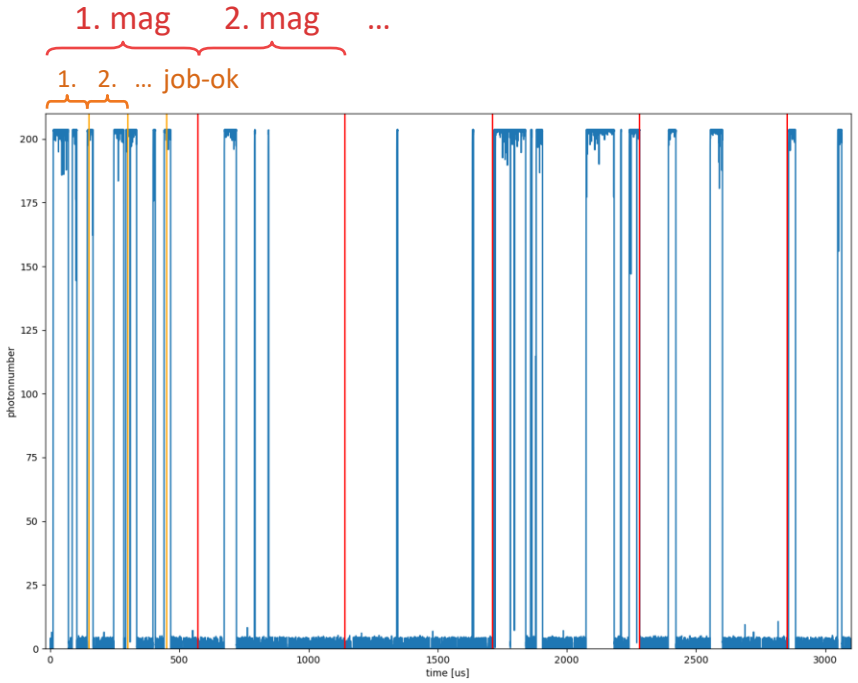
Virtuális klaszter a HUN-REN Cloudban



SLURM: a független futások ütemezése
Munkagépek: párhuzamos futtatás
NFS: közös adatok és állapotmentések
Docker: konténerizált futási környezet
Terraform: a klaszter létrehozása

A hosszú számítás folytatható

A ritka átkapcsolások statisztikájához hosszú trajektóriák kellenek.



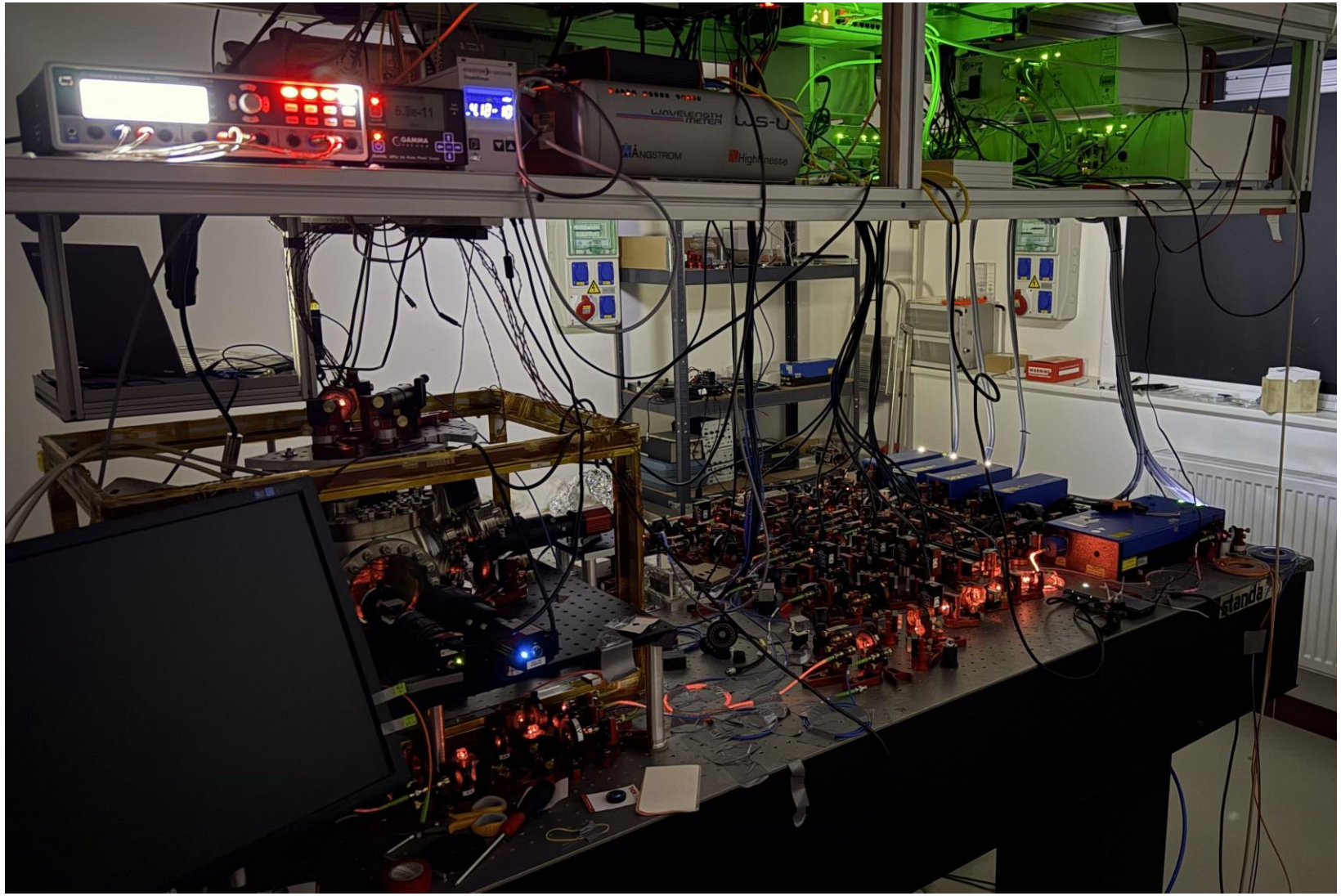
- Különböző magok → párhuzamos futások
- Azonos mag → egymást követő szakaszok
- A teljes állapotot mentjük:
  - kvantumállapot
  - differenciálegyenlet-integrátor
  - véletlenszám-generátor
- Nem kell elölről kezdeni a számítást (vö. relaxációs idő).

Ma a legjobb kísérletek már feloldják az egyedi kvantumugrásokat

A kvantumos kísérleti technológia fejlődése tette ezt lehetővé.

Nemcsak az átlagot, az egyedi ugrásokat is követhetjük.

A kvantumtrajektória a kísérleti jel leírásává válik!



Köszönöm a HUN-REN Cloud munkatársainak

a sok segítséget az évek során,

Önöknek pedig a figyelmet!