

Driving a Macroscopic Oscillator with the Stochastic Motion of a Hydrogen Molecule

Christian Lotze,¹ Martina Corso,¹ Katharina J. Franke,¹ Felix von Oppen,^{1,2} Jose Ignacio Pascual^{1,3,4*}

Energy harvesting from noise is a paradigm proposed by the theory of stochastic resonances. We demonstrate that the random switching of a hydrogen (H_2) molecule can drive the oscillation of a macroscopic mechanical resonator. The H_2 motion was activated by tunneling electrons and caused fluctuations of the forces sensed by the tip of a noncontact atomic force microscope. The stochastic molecular noise and the periodic oscillation of the tip were coupled in a concerted dynamic that drives the system into self-oscillation. This phenomenon could be a way for enhancing the transfer of energy from incoherent sources into coherent dynamics of a molecular engine.

Nanofizika szeminárium

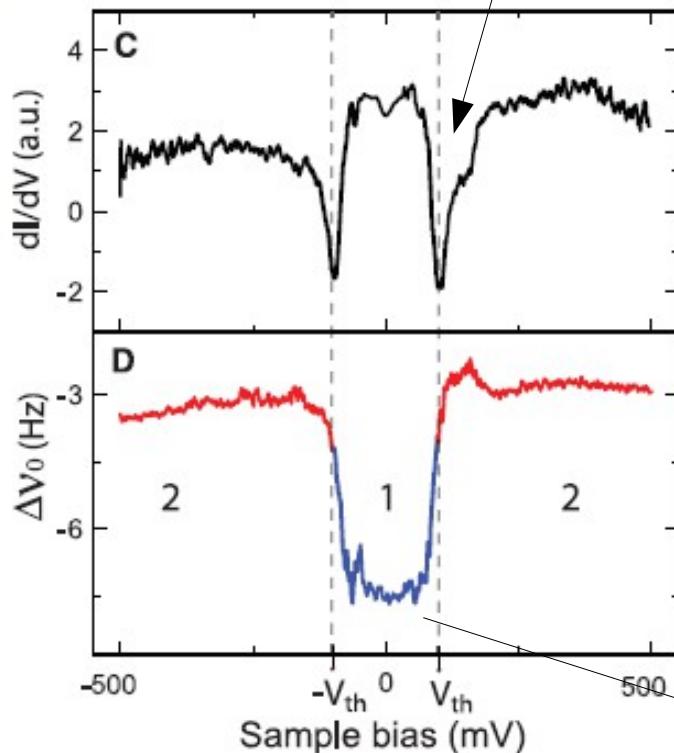
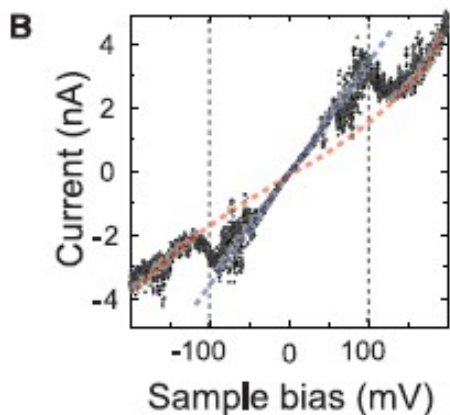
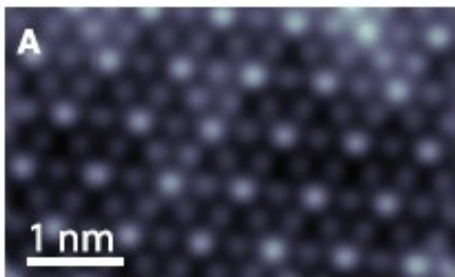
Journal Club 2013.03.01.
Balogh Zoltán

STM elrendezés (5K)

Cu(111) szubsztrát és Cu tú quartz tuning fork-on (magas Q faktor, qPlus)

Hidrogén jele a dI/dV görbén (~vibrációs jelleg)

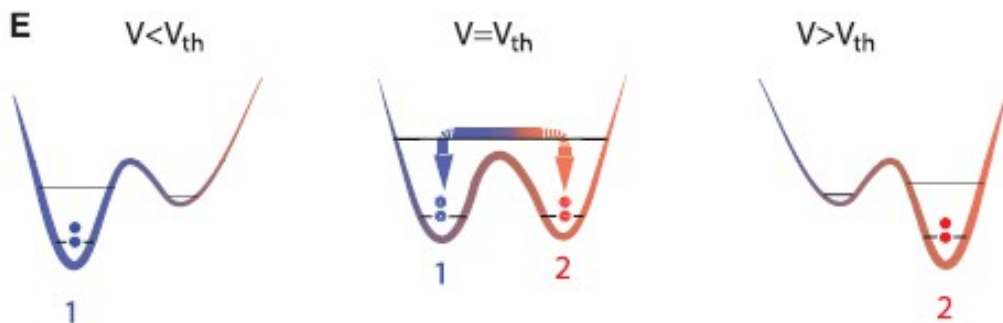
UHV \rightarrow H₂ bejuttatás



Tuning fork frekvencia eltolódása \rightarrow a kontaktus „merevsége” mérhető (erő)

Lépcső jellegű ugrás V_{th} -nál, változik a kontaktus merevsége

Erősebb vonzó erő, a két állapot különbsége több, mint 150pN



$$A_{osc} = 50 \text{ pm}, f_0 = 20.609 \text{ kHz}$$

Tű-szubsztrát távolság változtatása

X_0 az 5nS-es kontaktusnál

Kisebb elektróda
távolság erősebb csúcs
és kisebb V_{th}

Nagyobb E tér, TLS
könnyebben
gerjeszthető

V_{th} körül a H_2 sztohasztikus
mozgása miatt az erő
nemkonzervatív és
nemlineáris

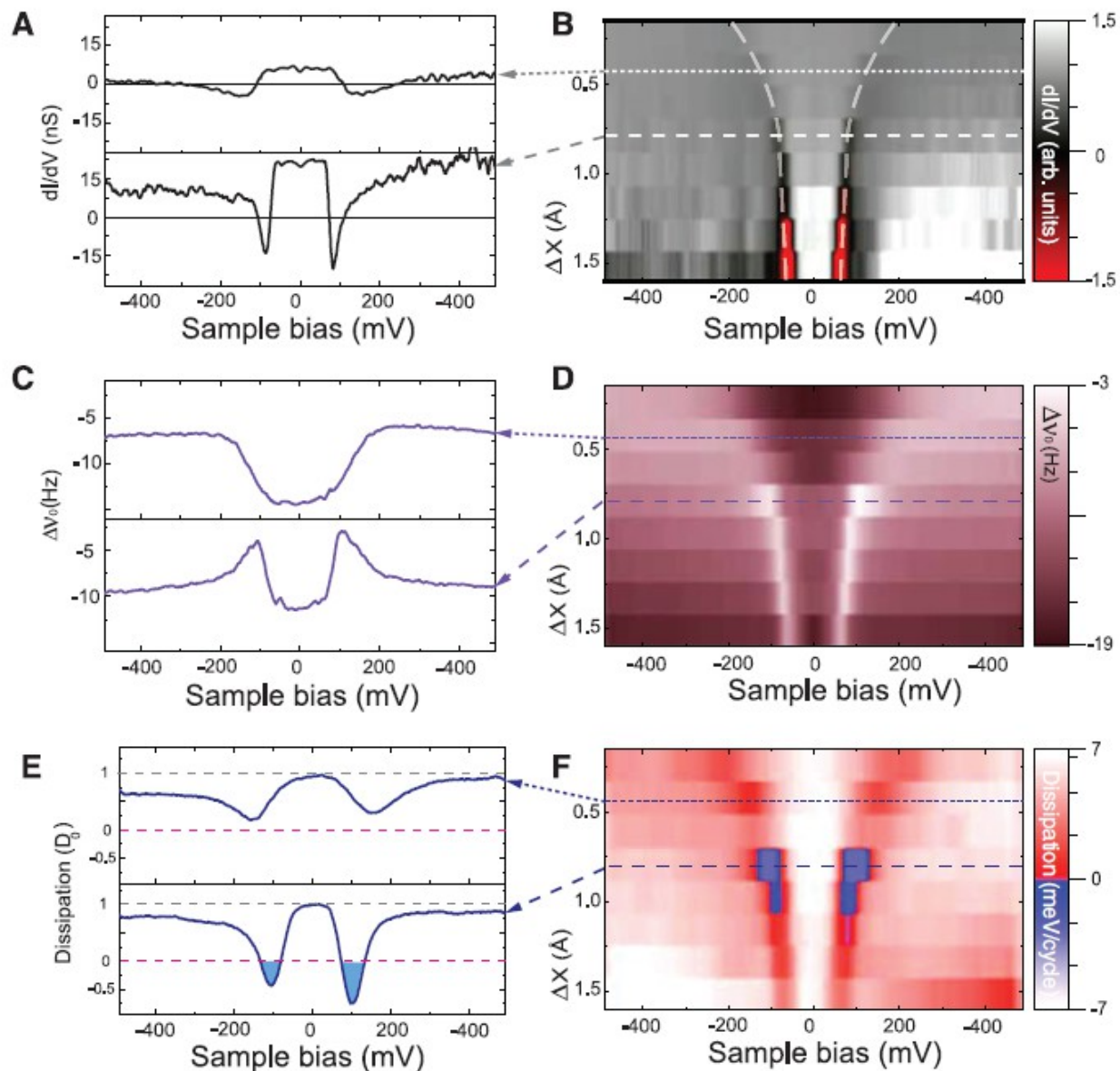
Csökkenő távolság

Disszipáció vizsgálata

Minimum a V_{th} körül, ez utal a H_2
hozzájárulására a villa
oszillációjában

A tű közelítésével egyre élesebb
minimum, majd negatív érték →
SO tartomány

Itt a H_2 fluktuációja hajtja a tű
rezgését



Tű-szubsztrát távolság változtatása

X_0 az 5nS-es kontaktusnál

Disszipáció vizsgálata

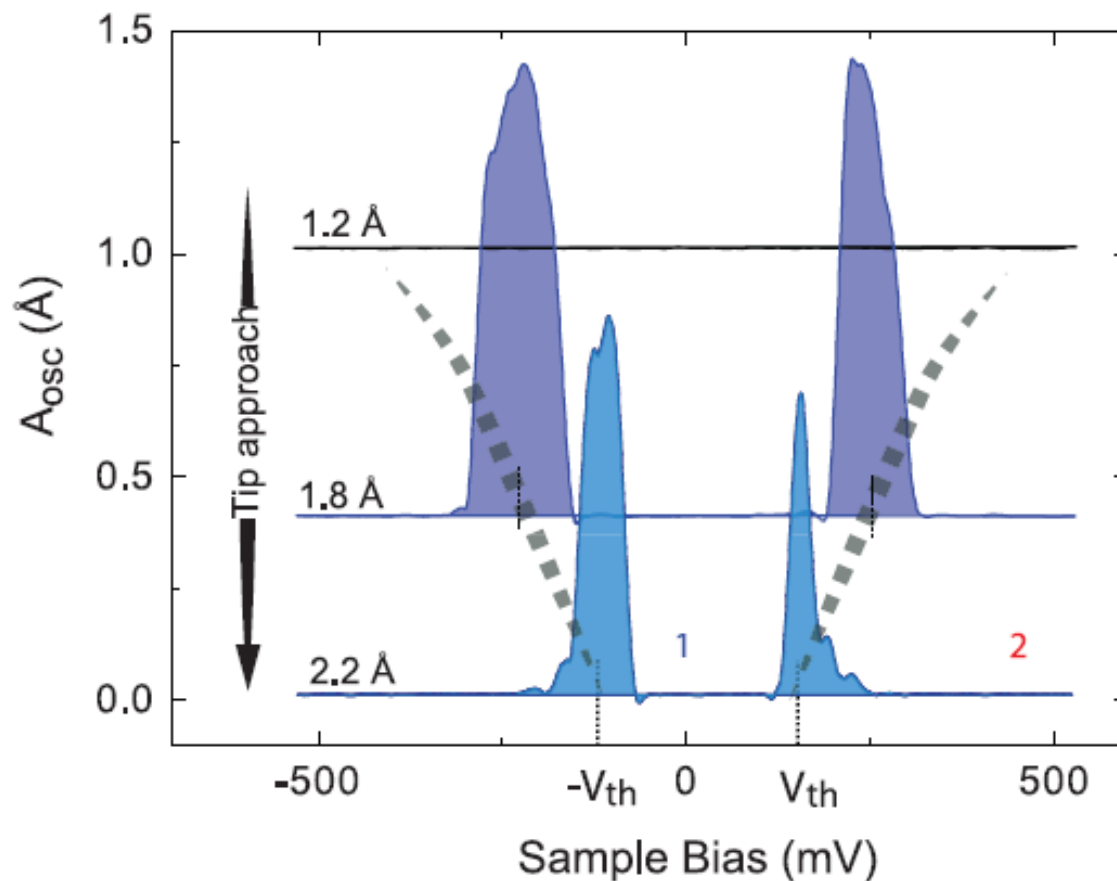
Minimum a V_{th} körül, ez utal a H_2 hozzájárulására a villa oszcillációjában

A tű közelítésével egyre élesebb minimum, majd negatív érték \rightarrow SO tartomány

Itt a H_2 fluktuációja hajtja a tű rezgését

További mérés: meghajtó amplitúdó kikapcsolása

Az oszcilláció amplitúdója csak V_{th} -nál nem nulla, ott viszont jelentőss mértékű ($\sim 1A$)



A tű valóban a H_2 által hajtott SO tartományban van

Modell: TLS sztohasztikus jelleg → széles spektrum, ha van a rezontor sajátfrekvenciájába eső része oszcillációt okoz

$$\langle (X(t))^2 \rangle^{1/2} \simeq \frac{|\Delta f|}{4\sqrt{2} \omega_0^{3/2} \gamma^{1/2} M}$$

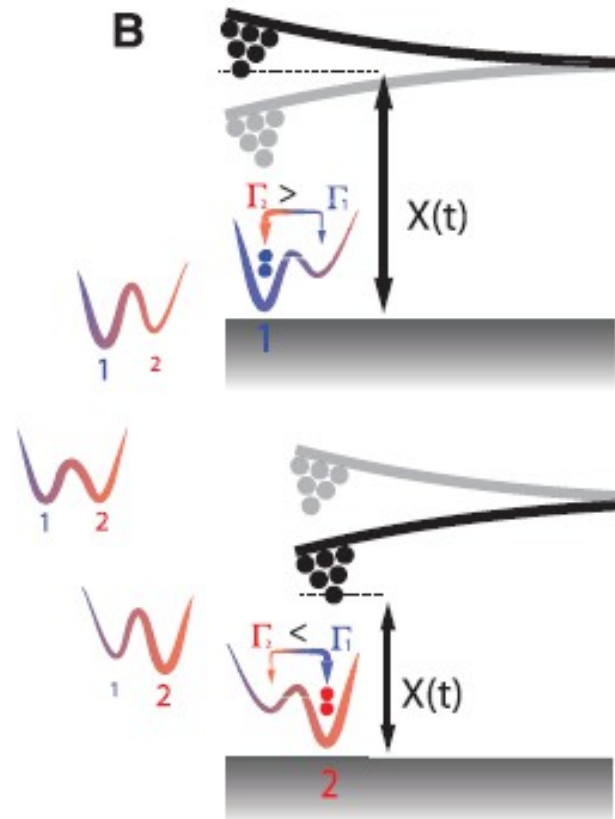
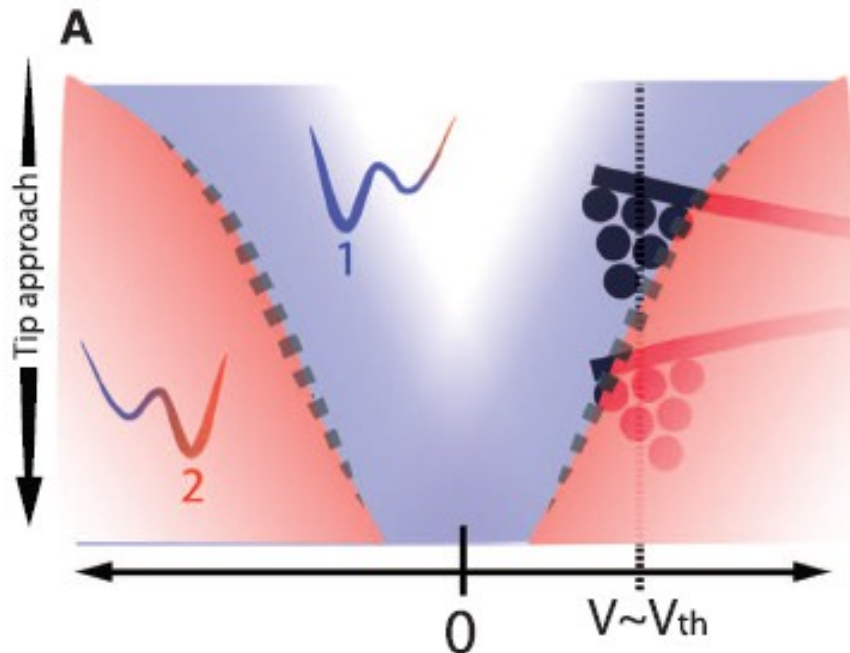
Csatolás a két állapot között függ a felület-tű távolságtól:

→ az alagútáram és így a csatolás változik a tű közelítésével

→ a küszöb feszültség változik, így a két állapot relatív stabilitása (ellentétesen)

$$f(t) = f_1 \langle n_1(t) \rangle + f_2 \langle n_2(t) \rangle$$

A kísérleti értékekre ez kb. 1pm



Az erő arányos a tű kitérésével és sebességével, az együtttható renormalizálódik. Amikor a csatolás a rezonancia frekvencia körüli tartományban van elérhető az SO tartomáyn

$$\gamma_{eff} \sim -|\Delta f| \frac{\Gamma_1}{M \omega_0^2}$$