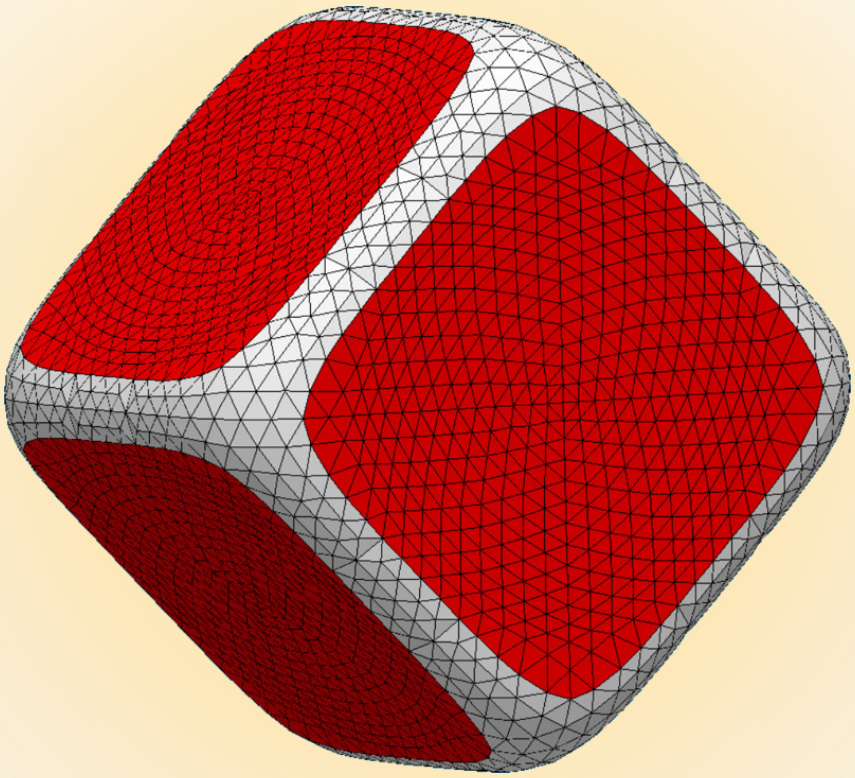
— fizika mekih čestica —

Kontaktne sile u mikrogelovima

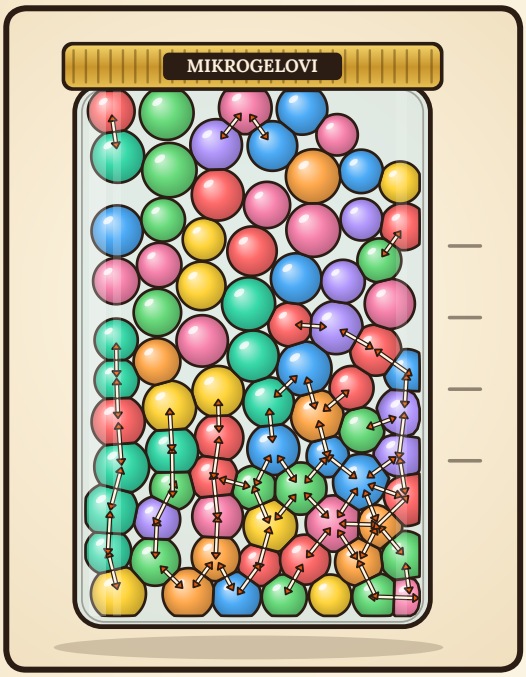
O radu **Frana Ivana Vrbana, Antonija Šibera i Primoža Ziherla**, *objavljenom u listopadu 2026. u časopisu* **Physical Review Letters**



Jeste li ikad razmišljali o sferama koje stisnemo sa šest strana pa postanu slične kockama?

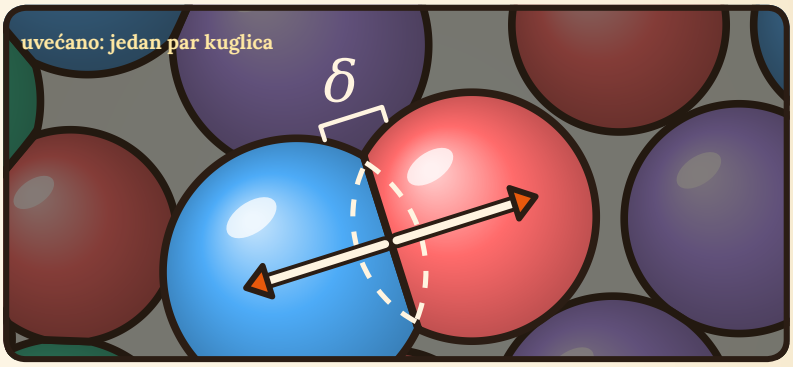
Niste, naravno.

1 Staklenka puna kuglica



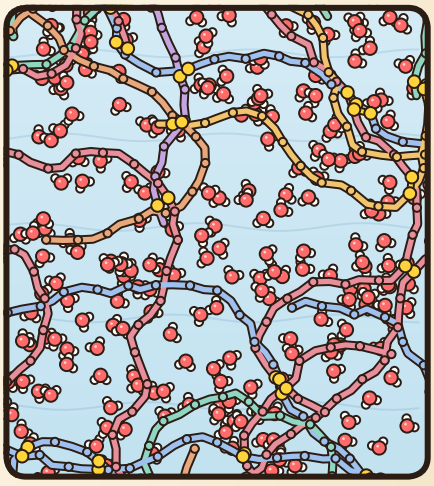
Zamislite staklenku punu sićušnih, mekanih želatinoznih kuglica. Protresete li staklenku, kuglice se guraju, gnječe i spljošćuju jedna o drugu.

Bilo bi korisno imati jedno jednostavno pravilo koje opisuje koliko se snažno takve kuglice opiru deformaciji kada ih stiskamo. Rad **Frana Ivana Vrbana**, **Antonija Šibera** i **Primoža Ziherla**, objavljen u listopadu 2026. u časopisu **Physical Review Letters**, pronašao je takvo pravilo, a ono se pokazalo razmjerno jednostavnim.



2 Upoznajte mikrogelove

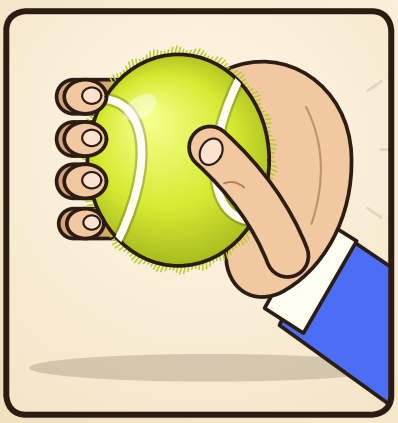
Kuglice o kojima je riječ zovu se **mikrogelovi**. To su sićušne, mikrometarske "spužvice" od isprepletenih polimernih lanaca ispunjene vodom. Nalazimo ih u bojama, kremama i sustavima za dostavu lijekova. Kako bi objasnio njihovo ponašanje, rad se oslanja na makroskopske koncepte: površinu, volumen, i efektivne interakcije.

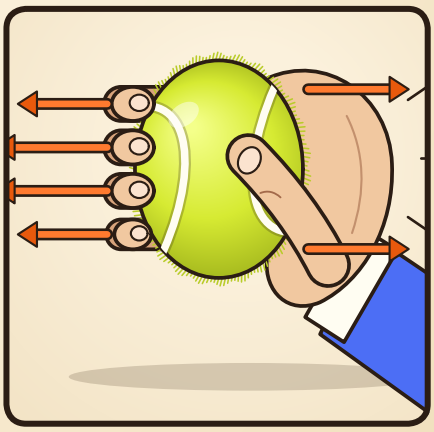


3 Odzum-zumirajmo!

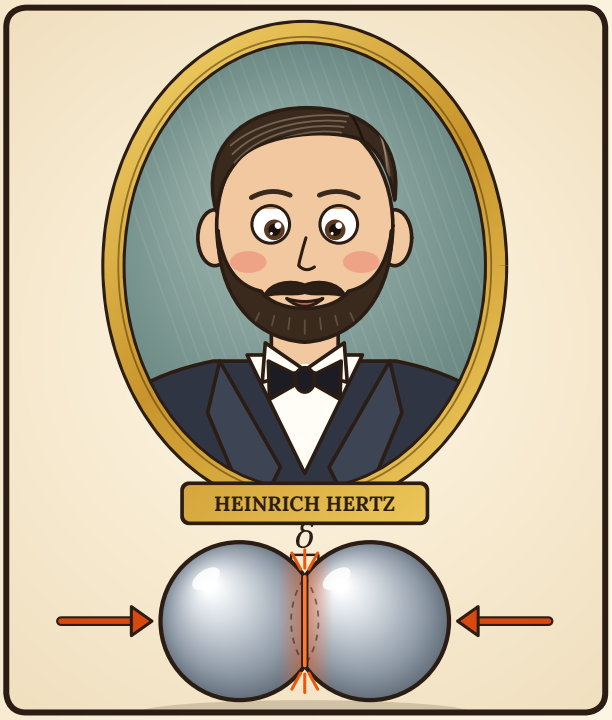
Jedan mikrogel sadrži milijune atoma u isprepletenim lancima, kroz koje se probija more molekula vode. Pratiti svaki atom nemoguće je čak i superračunalu. Zato fizičari „odzumiravaju" sustave i traže njihova efektivna međudjelovanja. Svi to činimo svakodnevno.

Kada stisnete tenisku lopticu, ne razmišljate o molekulama gume, nego: **„što je jače stisnem, to se jače opire"**. To pravilo je efektivno međudjelovanje. Dobra i upotrebljiva fizika često se svodi na odabir prave razine detalja. Zanemarite i „zamaglite" atome, zadržite površinu i unutrašnjost (volumen), i neuredna i kompleksna spužvica postaje kapljica koja se pokorava zakonu zapisanom u jednom retku.





Od Hertza do kapljica



$$F = \frac{4}{3} Y^* \sqrt{R}\, \delta^{3/2}$$

Hertzov zakon (samo za mala udubljenja)

Tradicionalna teorija kontakta potječe iz fizike čvrstih tijela. Heinrich Hertz je 1882. izračunao kako se dvije elastične kugle međusobno udubljuju. Već gotovo 150 godina Hertzov zakon standardni je opis dvaju oblih tijela pritisnutih jedno uz drugo, a za mikrogelove se često koristi i danas. On, međutim, zanemaruje efekte površine i vrijedi samo za mala udubljenja.

Morse i Witten su 1993. razradili inačicu problema za kapljice u pjenama i emulzijama te otkrili da je to međudjelovanje izrazito višečestično. Novi rad povezuje ove dvije slike: u duhu se slaže s Hertzom, ali se razlikuje u fizici koja leži u podlozi, a egzaktno reproducira i Morseovu i Wittenovu teoriju, u režimu u kojem ona vrijedi – rezultati rada primjenjivi su i u režimu bitno većih deformacija.

Kapljice, oblici i simulacije

Vrban, Šiber i Ziherl modeliraju mikrogelove kao stlačive tekuće kapljice čije ponašanje određuje napetost površine, a ne elastičnost svojstvena čvrstim tijelima. Egzaktnim računalnim proračunima određuju kako takve kapljice mijenjaju oblik kada se stisnu.

Njihovi rezultati daju čvrsto teorijsko uporište jednostavnim zakonima sila među parovima čestica, koje mnoge simulacije mekih čestica već pretpostavljaju, i pokazuju gdje ti zakoni vrijede, a gdje prestaju vrijediti. Rezultati također omogućuju simulaciju tisuća čestica odjednom. Time se otvara put proučavanju načina na koji emulzije, mikrogelne paste i suspenzije kapsula teku, zaglavljuju se i kristaliziraju.

PROČITAJTE CIJELI RAD

Contact Forces in Microgel Suspensions

Fran Ivan Vrban, Antonio Šiber, and Primož Ziherl

Phys. Rev. Lett. 137, 178202

https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/8bxr-cfnl