



PRIOPĆENJE ZA MEDIJE

KONTAKT: Petra Buljević Zdjelarević / Ured za odnose s javnošću
Institut Ruđer Bošković / +385 99 267 9514 / @pr@irb.hr

Znanstvenici su razvili novi pristup kvantnim baterijama s poboljšanom učinkovitošću i stabilnošću

Ovi rezultati donose važne uvide u načine na koje kvantne baterije mogu poboljšati pohranu energije, posebno za tehnologije koje zahtijevaju brz i učinkovit prijenos energije.

ZAGREB, 18. listopada 2024. – Međunarodni istraživački tim, predvođen znanstvenicima s Instituta Ruđer Bošković (IRB), razvio je novi pristup kvantnim baterijama – naprednim uređajima za pohranu energije koji se oslanjaju na principe kvantne fizike, kako bi omogućili učinkovitiju pohranu i oslobađanje energije. U istraživanju je sudjelovao međunarodni tim fizičara iz Hrvatske, Francuske i Italije, koji su u novom radu predstavili poboljšani dizajn za sprječavanje gubitka energije. Ovime je otvoren put prema prvom eksperimentalnom ciklusu rada baterije namijenjene napajanju tehnologija poput kvantnih računala, kvantnih simulatora i kvantnih senzora.

Istraživanje, koje je vodio **Alberto Giuseppe Catalano**, doktorand na IRB-u i Sveučilištu u Strasbourgu, pod mentorstvom dr. sc. **Fabija Franchinija** i dr. sc. **Salvatorea Marca Giampaola** s IRB-a, u suradnji s dr. sc. **Oliverom Morschom** (Nacionalno istraživačko vijeće Italije) i dr. sc. **Vittoriom Giovannettijem** (NEST Pisa, Italija), objavljeno je [u prestižnom časopisu PRX Quantum - Physical Review Journals](#) te se fokusira na fenomen "frustriranih" kvantnih baterija.

"Naš fokus je na jednom od najmodernijih područja kvantne tehnologije - kvantnim baterijama. Poput običnih baterija, one pohranjuju i oslobađaju energiju, ali umjesto da se oslanjaju na gibanje elektrona pod djelovanjem elektromagnetskih sila, koriste principe kvantne mehanike. Zbog toga imaju potencijal znatno nadmašiti tradicionalne baterije, posebno u pogledu performansi kao što su kapacitet pohrane energije i brzina punjenja koje ovise o veličini baterije", objasnio je dr. **Fabio Franchini**, autor i viši znanstveni suradniku Grupi za kondenziranu tvar i statističku fiziku na IRB-u.

"Tehnologija kvantnih baterija još uvijek je u ranoj fazi razvoja. U tom kontekstu, naš rad pokazuje kako je moguće pretvoriti izazove koje postavljaju zakoni kvantne mehanike u resurse koji mogu otkriti nove putove prema inače nedostižnim ciljevima", izjavio je dr. **Salvatore Marco Giampaolo**, autor na radu te viši znanstveni suradnik na IRB-a.

"Naše istraživanje usredotočilo se na sposobnost kvantnih baterija da sačuvaju energiju nakon punjenja, što predstavlja značajan napredak u upravljanju kvantnom energijom," istaknuo je doktorand **Alberto Giuseppe Catalano**, prvi autor na radu. "Iskoristili smo kvantnu interakciju između čestica kako bismo značajno unaprijedili učinkovitost baterije. Posebno smo osmislili novi, jednostavan i učinkovit način punjenja baterije te dokazali da naš dizajn učinkovito sprječava gubitak energije u okolinu, što je čest problem kod kvantnih sustava."

Dizajn kvantne baterije: osnovni koncepti

U srži svake tehnologije, bilo da se radi o vjetrenjačama, parnim strojevima, nuklearnim podmornicama ili električnim automobilima, nalazi se potreba za pohranom i prijenosom energije. Nalazimo se na pragu druge kvantne revolucije, koja obećava iskoristiti neobičnosti kvantne mehanike kako bi omogućila skok u



razvoju novih tehnologija. U tom kontekstu, ključno je razumjeti kako najbolje napajati te nove uređaje, a kvantne baterije predstavljaju konkretno rješenje za ovaj izazov jer funkcioniraju na kvantnoj razini.

U središtu ovog istraživanja nalazi se koncept kvantnog spinskog lanca. U takvom sustavu, magnetske komponente čestica, zvane spinovi, raspoređene su u krug. Ti spinovi međusobno interagiraju, omogućujući sustavu da unutar sebe raspodjeli energiju. Manipuliranjem spinova moguće je pohraniti i prenositi energiju, slično kao i kod obične baterije.

Kako bi "napunili" bateriju, znanstvenici su iskoristili postupak nazvan kvantni skok, koji podrazumijeva naglu promjenu vanjskog magnetskog polja. Ova promjena izbacuje sustav iz ravnoteže, što dovodi do upumpavanja energije u lanac, čak i nakon što se magnetsko polje vrati na početno stanje.

Jedan od najvećih izazova kod kvantnih baterija je upravljanje dekoherencijom, budući da neizbježne interakcije sa okolinom uzrokuju gubitak energije iz sustava. Znanstvenici su u tom slučaju mjerili performanse baterije koristeći koncept ergotropije, koji se odnosi na maksimalnu količinu korisne energije koju sustav može pružiti. Što je ergotropija viša, baterija učinkovitije isporučuje iskoristivu energiju.

Ali što uopće znači da su baterije "frustrirane"?

Jedno od ključnih otkrića u istraživanju odnosi se na fenomen poznat kao topološka frustracija. U fizici, baš kao i u životu, sustav je "frustriran" kada ne može postići sve što želi. U ovom slučaju, kvantna baterija teži tome da svi susjedni spinovi budu usmjereni u suprotnim smjerovima, no kada se radi o zatvorenom lancu s neparnim brojem spinova, to je nemoguće. Tako dolazi do topološke frustracije. Istraživački tim je otkrio da ta frustracija zapravo povećava učinkovitost baterije. U kvantnim sustavima, "frustracija" nije nepoželjna, naprotiv, ona čini bateriju prilagodljivijom, otpornijom na gubitak energije te stabilnijom i učinkovitijom u cjelini.

Znanstvenici su, također, istraživali kako kvantna baterija oslobađa pohranjenu energiju. Otkrili su da samo "frustrirana" konfiguracija spinova može prenijeti energiju kao korisni rad, a ne samo kao toplinu. Ta sposobnost učinkovitog oslobađanja energije ključna je za praktičnu primjenu kvantnih baterija.

Korak po korak prema primjeni

Jedan od najzanimljivijih aspekata ovog istraživanja je njegov potencijal za primjenu u stvarnim uvjetima. Autori sugeriraju da bi kvantna baterija mogla biti realizirana korištenjem Rydbergovih atoma, koji su već predmet istraživanja zbog svojih kvantnih svojstava. Tako dizajn baterije dolazi na korak bliže eksperimentalnoj provjeri i budućoj primjeni u naprednim tehnologijama.

"Kako napredujemo u razvoju tehnologija poput kvantnih računala, koja traže precizno i učinkovito upravljanje energijom, ključno je pronaći pouzdane načine za pohranu i prijenos energije na kvantnoj razini. Naš rad postavlja temelje za buduću primjenu kvantnih baterija u tim naprednim sustavima," zaključio je dr. sc. **Fabio Franchini**.

Glavnina ovog rada provedena je na IRB-u, a prihvaćanje studije za objavu u prestižnom časopisu PRX Quantum potvrđuje spremnost hrvatskog sustava da odgovori na izazove i prilike nadolazeće kvantne revolucije. Istraživanje je primarno financirano kroz europsku Marie-Curie stipendiju.



Researchers Develop a New Approach to Quantum Batteries with Improved Efficiency and Stability

The findings offer valuable insights into how energy can be stored and transferred through the power of quantum mechanics, with applications in the emerging field of quantum technologies.

ZAGREB, 18 October 2024 - An international research team, led by scientists from the Ruđer Bošković Institute (RBI), has developed a new approach to quantum batteries - advanced energy storage devices that utilize quantum physics for more efficient energy storage and release. The study involved an international team of physicists working in Croatia, France, and Italy, presenting a better design for preventing energy loss, paving the way for the first experimental realization of a complete battery-work cycle to power technologies like quantum computers, quantum simulators, or quantum sensors.

The research, led by **Alberto Giuseppe Catalano**, a Marie-Curie Phd fellow at the RBI and Université de Strasbourg, under the guidance of Dr. **Fabio Franchini** and Dr. **Salvatore Marco Giampaolo** from the RBI, alongside, Dr Oliver Morsch (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italy), and Dr Vittorio Giovannetti (NEST Pisa, Italy), published in [PRX Quantum - Physical Review Journals](#), focuses on frustrating quantum batteries.

"Our focus is on one of the cutting-edge areas of quantum technology - quantum batteries. Like regular batteries, they store and release energy, but instead of relying on the movement of electrons through electromagnetism, they use quantum mechanics. This gives them the potential to significantly outperform traditional batteries, especially when it comes to how much energy they can store and how quickly they can charge as the battery size increases," explained Dr. **Fabio Franchini**, the corresponding author and senior researcher in the Condensed Matter and Statistical Physics Group at the RBI.

"Quantum battery technology is still taking its first steps. In this context, our work shows how it is possible to transform the difficulties induced by quantum mechanics into resources able to disclose new paths towards otherwise unattainable goals," added Dr. **Salvatore Marco Giampaolo** the second senior researcher of the RBI Group.

"Our research focused primarily on the resilience of quantum batteries in preserving their energy once charged and marks an exciting advancement in quantum energy management", said **Alberto Giuseppe Catalano**, the study's first author. "By employing the quantum interactions between particles, we significantly improved the battery's efficiency. In particular, we proposed a new, simple, and efficient way to charge the battery and showed that our design resists losing its energy to the environment, which is a common issue with quantum systems."

Quantum Battery Design: The Basics

At the core of any technology, from windmills to steam engines, from nuclear submarines to electric cars, there is the necessity of storing and transfer energy. We are at the verge of the second quantum technology revolution, which promises to harvest the weirdness of quantum mechanics to deliver a leap forward in new technologies. In this respect, a key aspect is understanding how to best power the new devices and quantum batteries are a concrete solution to this challenge, as they fundamentally operate at a quantum level.

At the heart of this research is a concept known as a quantum spin chain. In this system, the magnetic components of particles, called spins, are arranged on a circle. These spins interact with one another, allowing the system to internally organize its energy. By manipulating the spins it is possible to store and transfer energy, like a battery.

To "charge" the battery, the team used a process called a quantum quench, which amounts to a sudden change in the external magnetic field. This shift pushes the system out of equilibrium, resulting in energy being pumped into the chain even after the magnetic field is brought back to its original value.



A key challenge with quantum batteries is managing decoherence, as inevitable interactions with the surroundings cause a loss of energy from the system. The researchers measured the battery performance using a concept called ergotropy, which refers to the maximum amount of useful energy the system can provide. The higher the ergotropy, the more effective the battery is in delivering usable energy.

But what does it mean that batteries are frustrated?

One of the key findings involved a phenomenon called topological frustration. In physics, not unlike real life, a system is said to be frustrated when it cannot accomplish everything it would like to do. In this case, the battery would like for all neighboring spins to point in opposite directions but, by closing the chain into a loop with an odd number of spins, this is impossible and the battery becomes topologically frustrated. The team discovered that in this way the battery became more efficient. For quantum systems, "frustration" is not undesirable, to the contrary it makes the battery more adaptable and able to withstand energy loss, making it more stable and effective overall by increasing its ergotropy.

The team also explored how the quantum battery can release its stored energy. They found that only the "frustrated" spin chain configuration could transfer energy as useful work, rather than just heat. This ability to efficiently discharge energy is crucial for practical applications of quantum batteries.

Moving Toward Real-World Applications

One promising aspect of this research is its potential for real-world testing. The authors suggest that the quantum battery could be realized using Rydberg atoms, which are already being studied for their quantum properties. This brings the battery design closer to experimental validation and eventual use in future technologies.

"As we look toward the development of technologies like quantum computers, which need precise and efficient energy management, finding reliable ways to store and transfer energy at the quantum level is essential. Our work lays some of the groundwork for future applications of quantum batteries in these advanced systems," said Fabio Franchini, the study's corresponding author.

These results provide important insights into how quantum batteries can be developed to improve energy storage, particularly for technologies that demand fast and efficient energy transfer.

The core of this work was conducted at RBI, and its acceptance for publication in the prestigious PRX Quantum is a testament to the readiness of the Croatian system to meet the opportunities and challenges of the advancing quantum revolution. The research, however, was primarily funded externally, in the form of a European Marie-Curie fellowship.