

# Kvantové tunelování v komplexním čase

8. července 2020

Physical Review Letters publikoval článek autorů z ÚČJF MFF UK a ÚFP AV ČR, který se věnuje popisu kvantového tunelování v komplexním čase. Teoretická práce zakládá východisko pro pokročilé experimentování v oblasti attosekundové metrologie.

**WIKIPEDIE :** *Tunelový jev (též kvantové tunelování) je [kvantový jev](#) známý z [kvantové mechaniky](#), při němž [částice](#) porušuje principy [klasické fyziky](#) tím, že prochází [potenciálovou bariérou](#), která je vyšší než [energie](#) částice.*

*Pokud je energie částice menší než výška bariéry, pak by se podle klasické mechaniky měla částice od takové bariéry odrazit zpět. Klasická mechanika neumožňuje průchod takové částice skrz bariéru. Kvantová mechanika však částici umožňuje, aby s určitou [pravděpodobností](#) prošla skrz potenciálovou bariéru (odtud také pochází označení tunelování).*

**Kvantové tunelování** – tedy průchod kvantové částice **oblastmi prostoru**, → ( Já to chápu tak, že na malých velikostních škálách je prostoročas „kvantován“ proto, že se takto projevuje časoprostor **jako pěna**, ( což jsou shluky střídajících se křivostí dimenzí ) čili zmuchlaný časoprostor, čili „topologické křivosti dimenzí délkových“. Proto v takové „pěně“ může být v cestě částici „lokalita“ s „malou křivostí“ a tou částice projde, ( neb potenciálová bariéra je menší než energie částice ) anebo „lokalita - bariéra“ s „velkou křivostí“ a tou částice neprojde..což se „předvádí“ tou pravděpodobností že se v pěně najde 99% lokalit s vyšší bariérou a 1% s nižší bariérou kterou částice projde – to je to kvantové tunelování = že pěna vykazuje i 1% lokalit kde křivost je menší než „křivost“ energie částice ) které by pro ni podle jednoduchých energetických relací klasické fyziky měly zůstat nedostupné – hraje klíčovou roli jak v mnoha fundamentálních procesech mikrosvěta, tak v řadě současných kvantových technologií. Jako příklad můžeme zmínit tunelový mikroskop nebo různé na tunelovém jevu založené elektronické struktury. Tunelování se uplatňuje při radioaktivních rozpadech atomových jader a možná sehrálo významnou roli i při formování základní podoby našeho vesmíru těsně po Velkém Třesku.

Tunelování je přímým důsledkem **kvantové neurčitosti**, které vyplývá z vlnové povahy **hmoty**, proto se jakákoliv snaha popsat jej v rámci klasické fyziky zdá být již předem odsouzena k fatálnímu neúspěchu. Přesto se ukazuje – a nový článek je pro to silným podpurným argumentem – že semiklasický popis tunelování je možný. Je však nutné jej založit na klasické mechanice **zobecněné do oboru komplexních čísel**. ( To vyrábíte „svůj“ Vesmír tomu Vesmíru v reálu.., anebo jste tu proto, aby jste hledali fyzikální realitu ve Vesmíru ? ) Konkrétně na představě, že **čas pro tunelující částici neubíhá po reálné ose, ale je komplexní!** ( Prostě za každou cenu - i za cenu devastování reality - znásilňujete **veličinu Čas** = fenomén Čas, aniž by jste ho probádali. Aniž by jste věnovali trochu rozumu **k možnosti, že Čas-veličina-**

**fenomén má také tři dimenze jako Délka má x,y,z, čili prostor.** Proč by měl běžet čas jen na jedné ose ? ...?...? [http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c\\_012.jpg](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_012.jpg) Proč by se měl rozpínat Vesmír do tří dimenzí délkových a neměl se také rozpínat do tří časových dimenzí, proč ne ??? [http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c\\_005.jpg](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_005.jpg) Proč ??????????)

Idea komplexního času není nová. ( Jistě. A proč je **nová** idea 3+3 dimenzionálního časoprostoru ?, nepobádaná to idea !! ) **Do fyziky byla** v podobě tzv. instantonových řešení a různých zobecnění Feynmanova dráhového integrálu **zavedena** (...a proč nebyla Bohem zavedena do Vesmíru ? Proč si Vesmír sám nezavedl „komplexní čas“ ?, anebo „instantonové“ řešení ? Proč vy – fyzikové tomu vesmíru něco zavádíte namísto vyhledání reality ? ) již začátkem 70. let minulého století. Současný článek však tuto **představu posouvá** o krok dál. Ukazuje, ( **ten článek ukazuje opět představu nikoliv realitu** ) že pohyb kvantové částice v klasicky zakázané oblasti, tj. uvnitř bariéry potenciální energie, si **lze představit** tak, **jako by** se odehrával v potenciálu s opačným znaménkem, tedy v povolené oblasti, ale **s časem běžícím podél imaginární osy, kdy reálný čas stojí.** ( Lze si ovšem představit také jinou ideu, tj. jak jsem výše naznačil, že jde v mikrosvětě o „pěnovitou strukturu prostoru“ ( nějaká pěna málo křivá „plave“ v jiné pěně více křivé a ta zase v jiné křivější pěně atd. atd. – čp není homogenní se střídáním lokalit více či méně křivých ) a tak v prostředí s vyšší křivostí čp ( vy to nazýváte „potenciálová energetická bariéra“ ) může energetická částice narazit na 98% vyšší energ. Bariery = vyšší křivosti dimenzí a 2% lokality s nižší energetickou bariérou a by si to „matematicky“ označíte za „potenciál s opačným znaménkem“ . . . ) **Lze představit** tak, **jako by** se odehrával v potenciálu s opačným znaménkem, tedy v povolené oblasti, ale **s časem běžícím podél imaginární osy, kdy reálný čas stojí.** →

( Nejdříve by jste museli vědět „*co to je když čas běží*“..; „čas neběží“ !!!, ale objekty hmotové se p o s o u v a j í po čase, po dimenzi časové ( po třech dimenzích Času ) a ukrajují tím posunem po té dimenzi intervaly. Ukrojené intervaly „na dimenzi“ času pak vnímáme my – hmotové objekty jako tok plynutí času. *Takže čas neplyne nám, ale my jemu.*

Z jiného zorného pohledu na tutéž „věc“ lze říci že čas ( jak vnímáme to-ono plynutí času ) plyne proto, **že se počáteční stav 3+3D časoprostoru rozbaluje**, protože po Třesku se „vynořil“ „náš“ Vesmír z předešlého stavu plochého 3+3D jakožto „zmuchlaný“- extrémně zkřivený časoprostor.., jakožto pěnovitý stav dimenzí 3+3D, [http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c\\_221.jpg](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_221.jpg) tedy jakoby „vřící vakuum“.., jako „kvantová pěna“ 3+3 dimenzionální. A tato pěna = plazma extrémně křivých dimenzí se v genezi vývojové začne **nééé rozpínat, ale rozbalovat** . Ono „rozbalování křivostí dimenzí času znamená - z tohoto pohledu - jakoby čas „běžel“ - pro objekty s  $m \cdot v = m_0 \cdot c$  . Na fotonu čas neběží...  $c = 1/1$  .

Tohle byl jen skromný zestručněný výklad z HDV „o plynutí času“ v časoru, - to je slovo – novotvar ke slovu prostor, tj. na třech časových dimenzích. ) Jakmile částice vystoupí z bariéry ( což je pro vás ta imaginární osa času, **matematický čas** ) do navazující klasicky povolené oblasti, ( což je pro vás tem obyčejný čas **fyzikální** ) čas se opět rozběhne v obvyklém směru podél reálné osy. Při **průchodu** částice přes **tunelovou strukturu tvořenou několika navazujícími bariérami** ( **při průchodu na papíře, průchod matematický, ale nikdy v realitě** ) a údolími potenciální energie (jako např. v některých složitějších molekulách nebo v rezonanční tunelové diodě) se tak postupně načítá jak reálný čas (přelet přes údolí), tak imaginární čas (tunelování skrz

bariéry). „Stáří“ takové částice se bude měřit komplexním číslem. ( Stáří částice se může měřit - což neděláte - i pomocí zabalení-sbalení-zamotání dimenze časové do klubiček v pěnivém mikrosvětě... )

Hlavním přínosem nového článku je popis na papíře singularit komplexního tunelovacího času, které se objevují ( ovšem jen na papíře ) při energii částice blízké lokálním maximům a minimům tunelového potenciálu. ( Na papíře, nikoliv v reál chování ) Např. při přechodu nad lokálním maximem potenciální energie v povolené oblasti se částice zpomaluje ( to jakože má malou rychlost ?? ) a reálný čas jejího průchodu oblastí narůstá. ( ? narůstá reálná doba = interval na „vaší časové ose“ ? anebo co ? ) Pro energii přesně rovnou energii maxima se částice na vrcholu čeho ? zastaví ( to jako má  $v = 0$  ?? ) a reálná doba průchodu ( čím ? - na papíře ? ) se stane nekonečnou. Totéž bude platit pro imaginární čas v souvislosti s lokálními minimy tunelového potenciálu (maximy otočeného potenciálu) v zakázané oblasti. Právě takové singularity reálné a imaginární komponenty času byly v článku teoreticky analyzovány pro několik jednoduchých tunelových potenciálů, přičemž byla demonstrována jejich přímá souvislost s tzv. hustotou hladin spojitého energetického spektra (jakousi váhou kvantových stavů obsažených v jednotkovém energetickém intervalu). Zajímavé je, že analogické singularity, také související se stacionárními body klasické dynamiky, jsou již řadu let studovány v hustotách diskrétních energetických hladin vázaných kvantových systémů (jako jsou např. molekuly, jádra nebo uvězněné atomy), v nichž je pohyb částic omezen na konečnou oblast prostoru. V článku popsané komplexní rozšíření umožňuje zobecnění těchto singularit do systémů s neomezeným pohybem a spojitou energií, tedy na procesy kvantového tunelování a rozptylů částic.

Protože celkový komplexní čas tunelování přímo ovlivňuje amplitudu a fázi kvantové vlny ( z čeho to je ta „kvantová vlna“ ?? ) prošlé tunelovou strukturou, jsou výše zmíněné efekty v principu měřitelné pomocí dnes již dostupných, „na míru“ připravovaných tunelových nanostruktur. ( Co to je ? a „z čeho“ to je ? ta nanostruktura ) Měření nezvyklých časových relací při kvantovém tunelování se navíc stává horkou oblastí současného výzkumu v souvislosti s nástupem tzv. attosekundové metrologie. Lze tedy doufat, že teoretické předpovědi obsažené v novém článku se v dohledné době stanou předmětem pokročilého experimentování.

Článek publikoval časopis [Physical Review Letters](#). Jeho autoři, dr. Pavel Stránský, dr. Michal Kloc a prof. Pavel Cejnar působí v Ústavu částicové a jaderné fyziky MFF UK, další autor dr. Milan Šindelka pracuje v Ústavu fyziky plazmatu AV ČR.

*[prof. Pavel Cejnar](#)*

JN, kom 27.04.2022

[stransky@ipnp.troja.mff.cuni.cz](mailto:stransky@ipnp.troja.mff.cuni.cz)  
[Michal.Kloc@mff.cuni.cz](mailto:Michal.Kloc@mff.cuni.cz)  
[sindelka@ipp.cas.cz](mailto:sindelka@ipp.cas.cz)

dr. Pavel Stránský  
dr. Michal Kloc  
dr. Milan Šindelka