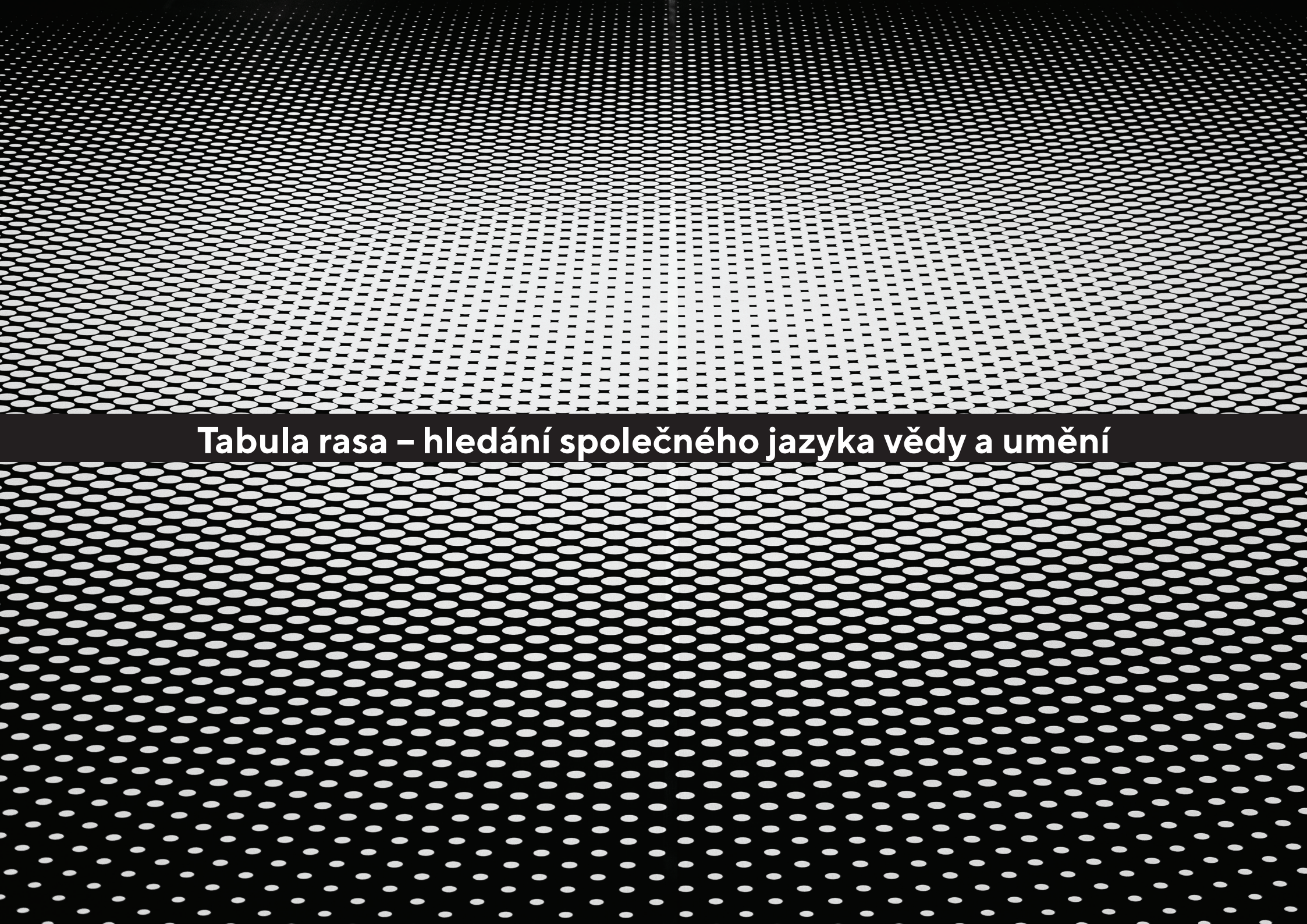




Tabula rasa – hledání společného jazyka vědy a umění

Tabula rasa – hledání společného jazyka vědy a umění

Tento text vznikl v rámci podprogramu Jazyk pro komunikaci VĚDA – UMĚNÍ – VEŘEJNOST projektu Centra pokročilých aplikovaných přírodních věd (CAAS), jako první ze čtyř částí popisujících genezi vývoje prvního ze čtyř uměleckých výstupů, které reflektují myšlenky a předmět výzkumu v oblasti částicové fyziky. Na základě příspěvků fyziků, designerů a inženýrů je zde popsán proces vznikající spolupráce, která vyústila v konečný návrh plastiky, a to navzdory zdánlivé rozdílnosti předmětu zájmu umělců a výzkumníků.

Předmluva

Spolupráca medzi skupinami prof. Karla, prof. Soukenku z Fakulty architektúry ČVUT, skupinou dr. Berky z Inštitútu Intermédií na Fakulte elektrotechnickej ČVUT a mojim tímom časticovej fyziky na FJFI ČVUT vznikla už pri príprave projektu Centra pokročilých aplikovaných prírodných vied. Cieľom projektu je vybudovať platformu, ktorá integruje výskumné aktivity v prírodných a technických vedách na ČVUT. Takáto platforma umožňuje stimulovať kontakty medzi excelentnými skupinami, ktoré sú špičkou vo svojich oblastiach výskumu a činnostiach a mala by viesť ku kvalitatívne novým medziodborovým výsledkom. Keďže ťažiskom práce skupín prof. Karla a prof. Soukenku je umenie, ktoré oslovuje verejnosť svojím vlastným jazykom, predpokladali sme, že by sme mohli nájsť tiež spôsob ako priblížiť základný výskum vlastností mikrosvetla ľuďom s umeleckým vnímaním. Týmto bude mať projekt dvojitý úžitok. Jednak v jeho rámci budeme tvoriť nové odborné výsledky a jednak budeme komunikovať naše výsledky novými spôsobmi.

Na začiatku našej vzájomnej spolupráce sme si uvedomili, že veľkú časť úsilia musíme venovať hľadaniu spoločného jazyka, zrozumiteľnej forme vyjadrovania. Podrobne sme sa zoznámili s našimi

odbornými cieľmi a našli sme spoločné prieniky nášho záujmu. Na základe tohto prieniku, vyklíčil strom našej činnosti, ktorý by mal priniesť ovocie – štyri druhy plodov spolupráce. Nazvali sme ich artefakt, udalosť, výstava a dielňa. Táto publikácia opisuje cestu k prvému artefaktu a našu prvotnú snahu o hľadanie spoločného jazyka pre vedu, umenie a verejnosť. Potešilo ma, keď sa architekti z ateliéru Karel – Šafařík prihlásili pri tvorbe artefaktu Tabula rasa k americkému architektovi Luisovi Kahnovi, ktorý pokladal hmotu okolo nás za spotrebované svetlo a význam prikladal rozhraniu ticha a svetla. Pripomenulo mi to veľkolepý dojem, ktorý na mňa v roku 2004, hneď pri prvej návšteve, urobila hra svetla a ticha v priestoroch Yale Center for British Art v New Havene, ktorú Luis Kahn navrhol. Domievam sa, že pri vkročení do Tabula rasa, by sa mohol človek ocitnúť tiež na rozhraní svetla a ticha. Na chvíľu sa stratí náhodnému pozorovateľovi v interferenčnom obraze, aby sa mu mohol za okamih opäť zhmotniť.

Cesta k Tabula rasa bola dobrodružná a tvorivá, viedla nepoznanými zákutiami poznania. Tento spôsob práce je napokon pre vedu a umenie bytostne vlastný.

Mezioborová komunikace obecně přináší výhody spočívající ve vzájemném obohacování komunikujících oborů a z dlouhodobého hlediska přispívá k jejich rozvoji. Z krátkodobého pohledu umožňuje často velmi efektivně řešit nové problémy a výzvy. Stejně je tomu i při ne zcela obvyklém spojení klasického vědního oboru, jakým je fyzika, s výtvarně orientovanými obory, kterými jsou v našem případě design a scénografie. Tato publikace postupně popisuje proces společného vývoje plastiky vyjadřující předmět zájmu výzkumníků abstraktní, a přitom čistou, a dokonce názornou formou s prvky autenticity. V průběhu tohoto, bezpochyby experimentálního, mezioborového spojení se však ukazuje dosud málo využívaný potenciál, který jeden obor může přinést druhému.

Během vzájemného poznávání vědců a umělců se postupně ukazuje, že odlišné pohledy a kreativní uvažování může vnášet do procesu poznávání nové způsoby interpretace a zobrazení fyzikálního světa, které budou využitelné nejen pro popularizaci vědy, ale, doufejme, i pro samotný způsob poznávání. Tato publikace vzniká na základě mnoha setkání výzkumníků týmu částicové fyziky z Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT, designérů z ateliéru průmyslového

designu Fakulty architektury ČVUT a vývojářů z Institutu intermédií při Fakultě elektrotechnické ČVUT. Vzniklo tak unikátní propojení, díky kterému mohou být objevovány nové možnosti v práci jednotlivých zúčastněných týmů a tím zvyšován jejich potenciál, a to pouze navázáním nových pracovních vztahů uvnitř jedné univerzity – ČVUT.

Svet kvantovej fyziky

Príroda sa na úrovni molekúl, atómov a ešte menších častíc riadi zákonmi kvantovej fyziky. Tie sú na prvý pohľad veľmi zvláštne. Častice mikrosвета sa správajú úplne inak, ako by sme to intuitívne očakávali. Z bežnej skúsenosti si pod časticami obvykle predstavujeme niečo ako kamienky či guľôčky, akurát mnohonásobne zmenšené. Pri takejto predstave nás prekvapí, ak pri experimentoch narazíme na javy, ktoré jasne naznačujú správanie veľmi podobné tomu, ktoré poznáme zo štúdia vln. Častice mikrosвета sa v niektorých aspektoch správajú tak, ako by sme to pre častice očakávali, ale v iných prípadoch vykazujú jednoznačne svoj vlnový charakter.

Čo to znamená, ak povieme, že častice sa správajú ako vlny?



Obrázok 1 – Interferencia s laserovým ukazovátkom a CD diskom. Ukazovátkom svietime na drážky CD disku. Na stene pozorujeme odrazený lúč v prvom interferenčnom maxime (stredný bod), ale aj v druhom (susedné body k strednému) a v treťom maxime (krajné body).

Interferencia

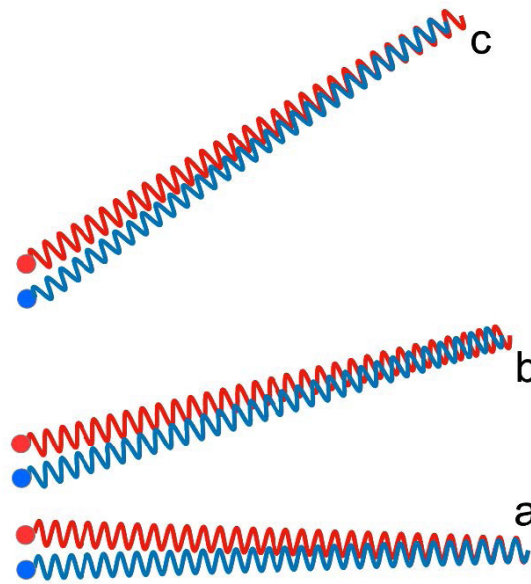
Typickým prejavom vlnenia je interferencia. Tento jav je známy napríklad z optiky alebo z akustiky. Jednu z obľúbených demonštrácií si môže každý vyskúšať sám. Zoberiete si laserové ukazovátko a zasvietite na povrch CD disku, ako je to na obrázku 1. Od disku sa bude odrážať nie jeden, ale hneď niekoľko lúčov. Toto je prejav interferencie. Ako vlastne vzniká?

Interferencia vzniká vtedy, ak sa rovnaké vlny šíria z dvoch alebo viacerých zdrojov. Pre vlnenie pritom platí princíp superpozície. To znamená, že ak sa do daného miesta šíria vlny z viacerých zdrojov, výsledné vlnenie je jednoducho súčtom vln zo všetkých zdrojov. Najjednoduchšia schéma interferencie je na obrázku 2. Dve vlny sa šíria z dvoch zdrojov. Na mieste, ktoré je od oboch zdrojov rovnako vzdialené, sa vlny stretávajú v rovnakej fáze. To znamená, že ak má maximum prvá vlna, má ho tam aj druhá vlna, a rovnako to platí aj pre ich minimum. Ak tieto dve vlny na tomto mieste spočítame, výsledná vlna bude dvakrát vyššia ako tie, ktoré sme skladali. To je najviac, ako pri sčítavaní dvoch vln môžeme dosiahnuť. V tomto mieste sme našli interferenčné maximum. Toto je ten smer lúča, ktorý vidieť pri pokuse s laserovým ukazovátkom. Ak sa teraz posunieme do strany, vlny sa už

nebudú skladať tak, že by maximum jednej zodpovedalo aj maximum druhej. V polohe b na obrázku 2 máme situáciu, kde maximum jednej vlny zodpovedá práve minimu druhej vlny. Ak vlny spočítame na tomto mieste, výsledkom nebude žiadna vlna, pretože obe vlny sa vzájomne vyrušia. Sme v mieste interferenčného minima. Ak sa posunieme ešte ďalej, nájdeme ďalší uhol, pri ktorom budú mať vlnenia rovnakú fázu (poloha c na obrázku 2). Našli sme ďalšie interferenčné maximum.

Z obrázku sa dá nahliadnuť aj to, že čím bližšie k sebe budú zdroje vlnení, tým väčší bude uhol, pod ktorým pozorujeme ďalšie interferenčné maximum.

Ako vlastne interferencia vzniká ?

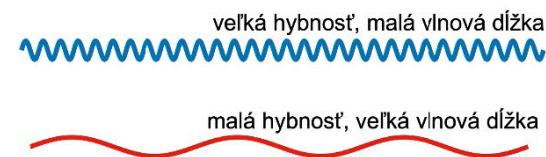


Obrázok 2 – Interferencia vln z dvoch zdrojov. a) vlny sa skladajú s rovnakou fázou, interferenčné maximum; b) vlny sa skladajú s opačnou fázou, interferenčné minimum; c) vlny sa skladajú s rovnakou fázou, interferenčné maximum.

Častice ako vlny

S myšlienkou, že častice majú aj vlnový charakter, prišiel Louis de Broglie v roku 1923 [2]. V tom čase už bolo známe, že svetlo je síce vlnenie, ale v niektorých prípadoch vykazuje aj vlastnosti častíc. De Broglie preto navrhol, že tento dualizmus je univerzálny: aj hmotné častice sa niekedy správajú ako vlny. Na základe analógie so svetlom stanovil, že vlnová dĺžka príslušných vln je daná vzťahom $\lambda = h/p$, kde h je univerzálna prírodná konštanta, pomenovaná podľa Maxa Plancka, a p je hybnosť častice.

Čo je to hybnosť? Dalo by sa povedať, že je to množstvo pohybu. Hybnosť rastie, ak sa rýchlosť častice zvyšuje. Pri rovnakej rýchlosti je väčšia pre ťažšiu časticu ako pre ľahšiu. Z de Broglieho vzťahu vidno, že hybnosť je v menovateli. To znamená, že čím je hybnosť častice väčšia, tým menšia bude vlnová dĺžka, ako na obrázku 3.



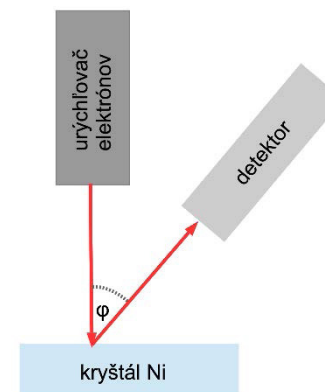
Obrázok 3 – Veľkým hybnostiam zodpovedajú vlny s malou vlnovou dĺžkou. Malým hybnostiam zodpovedajú vlny s veľkou vlnovou dĺžkou.

Experimentálny dôkaz vlnového charakteru častíc

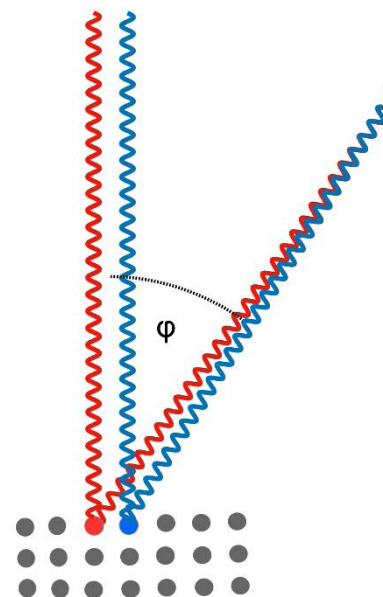
Akokoľvek zaujímavá je de Broglieho hypotéza, vo fyzike na jej prijatie potrebujeme experiment alebo aspoň pozorovanie, ktoré ju podporí. To sa prvýkrát podarilo Clintonovi Davissonovi a Lesterovi Germerovi z Bellových laboratórií v roku 1927 [1].

Davisson s Germerom urobili pokus, v ktorom kolmo na kryštál niklu strieľali elektróny, pričom boli schopní meniť ich energiu. Merali pritom, do akých smerov sa elektróny od kryštálu odrazili (obrázok 4). Ak by boli elektróny klasickými časticami, ktoré sa správajú ako guľôčky, potom by sme očakávali, že sa budú odrážať presne kolmo, teda späť do smeru, z ktorého na kryštál dopadli. Výsledky však boli iné. Z elektrónov urýchlených na energiu 54 elektrónvoltov (eV) sa nemalá časť po dopade odrazila od kryštálu pod uhlom 50° .

Tento jav, nepochopiteľný pre klasické častice, je možné prirodzene vysvetliť ako prejav vlnových vlastností elektrónov. Treba si uvedomiť, že elektróny sa odrážajú od jednotlivých atómov kryštálu niklu, ako vidíme na obrázku 5. Takže každý atóm na povrchu kryštálu môžeme považovať za zdroj rozptýleného vlnenia. V rôznych smeroch sa potom budú vlny, rozptýlené pod rôznymi uhlami, skladať rôzne. V smere kolmom na povrch kryštálu budeme mať prvé interferenčné maximum. Sem sa elektróny odrážajú s najväčšou pravdepodobnosťou. Ale ako sme to videli pri interferencii, máme aj ďalšie interferenčné maximá pri odraze pod inými uhlami. Energia elektrónov určuje ich hybnosť a tá zasa, podľa de Broglieho vzťahu, vlnovú dĺžku príslušnej vlny. Pri energii 54 eV je vlnová dĺžka taká, že ďalšie interferenčné maximum leží práve pod uhlom 50° .



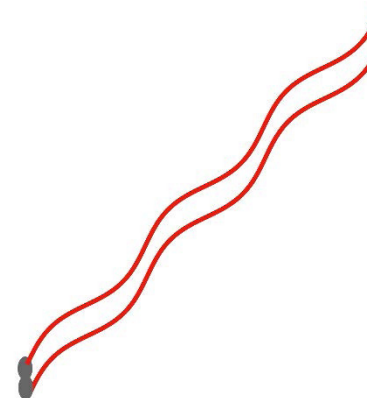
Obrázok 4 - Schéma experimentu Davissona a Germera. Malý urýchľovač elektrónov (elektrónové delo) strieľa elektróny kolmo na kryštál niklu. Detektor meria množstvo elektrónov odrazených pod uhlom.



Obrázok 4 - Schéma experimentu Davissona a Germera. Malý urýchľovač elektrónov (elektrónové delo) strieľa elektróny kolmo na kryštál niklu. Detektor meria množstvo elektrónov odrazených pod uhlom.

Rozlíšenie malých štruktúr

Interferencia vzniká vtedy, ak sú body, z ktorých sa šíria jednotlivé vlny, od seba vo vhodnej vzdialenosti. Vhodná vzdialenosť je približne rovnaká, ako je vlnová dĺžka použitých vln. Dôvod si môžeme vysvetliť na obrázku 6. Predstavme si, že by sme zdroje oboch vln umiestnili do oveľa kratšej vzdialenosti, ako na obrázku 2, ale vlnovú dĺžku by sme podstatne zväčšili. V takom prípade by okrem 0° neexistoval žiaden ďalší uhol, pod ktorým by sa vlny skladali maximálne kladne.



Obrázok 6. – Rozlíšenie malých štruktúr – vplyv vlnovej dĺžky a vzdialenosti zdrojov vln na vznik interferenčných maxim.

Pri interferencii sme si povedali, že vzájomná vzdialenosť dvoch zdrojov vln určuje uhly, v ktorých budeme pozorovať interferenčné maximá. Funguje to aj opačne. Ak poznáme uhly, pri ktorých pozorujeme maximá, dokážeme určiť vzdialenosť zdrojov. Ak by sme na obrázku 1 odmerali uhol medzi maximami, dokázali by sme vypočítať, v akom odstupe od seba sú na CD disku vypálené jednotlivé stopy.

Tento princíp sa dá matematicky zovšeobecniť, ale to tu robiť nebudeme. Dôležité je pre nás, že z interferenčného obrazca dokážeme poskladať informáciu o veľkosti a rozložení objektu, na ktorom interferujúce vlny vznikajú, alebo sa rozptyľujú. Vlnová dĺžka pritom musí byť porovnateľná s rozmermi tohto objektu. Menšie objekty vyžadujú kratšie vlnové dĺžky. Podľa de Broglieho vzťahu im zodpovedajú častice s väčšou hybnosťou.

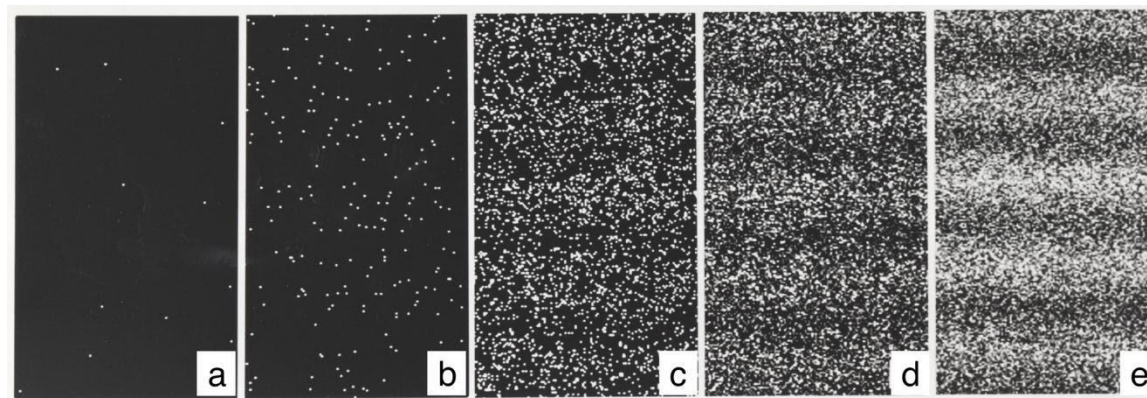
Rozptyl častíc na nejakom objekte sa často využíva na skúmanie štruktúry tohto objektu. Vidíme, že čím menšia je skúmaná štruktúra, tým väčšiu hybnosť musia mať častice použité na tieto experimenty. Vyššiu hybnosť pritom získame, ak častice urýchlíme na vyššiu energiu. Toto je jeden z dôvodov pre stavbu výkonnejších urýchľovačov.

Každá častica je vlnou samostatne

Vráťme sa ešte k tomu, ako vzniká interferencia v prípade častíc. Mohli by sme sa domnievať, že vlny interferujú preto, lebo každej častici zodpovedá jedna vlna, takže pozorovaná interferencia je efektom viacerých častíc. To však nie je pravda! Každá častica sa prejavuje vo všetkých interferujúcich vlnách!

Ukazuje to aj experiment, ktorý vykonali Akira Tomonura so spolupracovníkmi v roku 1987 [3]. Pomocou elektrónového mikroskopu posielali urýchlené elektróny cez dvojštrbinu a sledovali, kam dopadnú. Elektróny boli pritom posielané cez dvojštrbinu po jednom.

Výsledok je na obrázku 7. Každý elektrón je zaznamenaný v jednom konkrétnom bode. Z dopadu jedného elektrónu nie je možné povedať, či a ako sa prejavuje interferencia vln. To nevidíme ani po prechode malého počtu elektrónov. Ako ale počet prejdejších a zaregistrovaných elektrónov narastá, vidíme, že sa nám ukazuje interferenčný obrazec! Elektróny preferujú niektoré smery pred ostatnými. Keďže však každý elektrón prelietal aparátúrou osobitne, nemohol interferovať so žiadnou inou časticou. Každý elektrón sám „vie“, že do niektorých smerov má letieť s väčšou pravdepodobnosťou ako do iných tak, ako mu to diktuje práve interferencia!



Obrázok 7 – Zaznamenané polohy dopadu elektrónov po prechode dvojštrbinou. Počty elektrónov na jednotlivých paneloch sú: a) 11, b) 200, c) 6000, d) 40000, e) 140000. (CC BY-SA 3.0, s láskavým dovolením Dr. A. Tonomuru)

Záver

V tomto kratučkom článku sme si mohli predstaviť len minimálnu časť z mnohorakosti všetkých možných javov v kvantovej fyzike. Veľká časť vysvetlení sa dá vybudovať na analógii s vlnením. Tak, ako sa rôzne vlnenia môžu skladať, skladajú sa aj rôzne stavy častíc. To sa potom prejavuje v mnohých zaujímavých efektoch, napríklad pri previazaní kvantových stavov, v osciláciách neutrín, v elektrónových orbitaloch rôznych atómov, a tak ďalej.

Bohatosť kvantovej fyziky je nekonečná!

Literatúra

[1] Davisson, C., and Lester H. G. "The scattering of electrons by a single crystal of nickel." Nature 119.2998 (1927): 558–560.

[2] De Broglie, L. "Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, 177, 507–510." (1923).

[3] Tomonura, A., Endo, J., Matsuda, T., Kawasaki, T., & Ezawa, H.,
Demonstration of singleelectron buildup of an interference pattern (1989).
American Journal of Physics, 117–120.

Meranie v časticovej fyzike – Čo je to detektor a čo je urýchl'ovač

Pri štúdiu fyziky môže mladý človek nadobudnúť dojem, že fyzika to je niečo také ako „matematika v praxi“. Odborne povedané „veda o dosadzovaní do vzorcov“. Nemožno sa však viac mýliť. Fyzika je, podobne ako chémia, vedou experimentálnou a jej nedeliteľnou súčasťou je meracia aparátúra, ktorú v prípade časticovej fyziky tvoria detektor a urýchl'ovač.

Je načim zamyslieť sa, ako možno spoznávať veci vôkol seba. Možno sa na predmet pozrieť zvonka, možno ho rozbiť a skúmať, čo z neho vypadne a či ho vystaviť extrémnym podmienkam a dívať sa, ako sa správa. Vecou záujmu časticovej fyziky sú objekty mikrosвета a pomocou dvojice urýchl'ovač-detektor môžeme realizovať všetky vyššie spomenuté spôsoby, ako sa o nich dozvedieť čo najviac.

Urýchl'ovač je stroj, ktorý využíva zákony elektromagnetizmu, dokáže dodať nabitým časticám energiu a vyslať ich k zrážke buď s terčíkom, alebo s časticami pohybujúcimi sa v opačnom smere. Druhý prípad nazýva sa zrážacom (collider) a je modelom, ktorý hrá prím v súdobej časticovej fyzike.

Princípy, na ktorých je činnosť urýchl'ovača založená, sú obsiahnuté v Lorentzovej sile. Tá popisuje správanie sa náboja v elektromagnetickom poli a má dve zložky: Coulombovu elektrickú silu, ktorá sa používa na urýchlenie častice a Ampérovu magnetickú silu, ktorou sa ovplyvňuje dráha častice.

Elektrické pole je charakterizované potenciálovým rozdielom, napätím vo Voltoch. Náboj sa v takomto poli pohybuje v smere siločiar, pôsobí naň Coulombova sila. Tu je aj pôvod jednotiek energie, ktoré sa v časticovej fyzike používajú. Elektrón Volt: Častice majú náboj v jednotkách elementárneho náboja, náboja elektrónu a ak elementárny náboj urýchlíme napätím jedného voltu, získa častica

energiu 1 eV. Princíp teda, zdá sa byť triviálnym fyzikálnym zákonom z osemnásteho storočia, otázkou však zostáva, ako dosiahnuť vysokú energiu?

Existuje niekoľko spôsobov a usporiadaní, ako použiť elektrické napätie na urýchlenie častice. Najjednoduchší spôsob, ktorý sa v histórii používal ako prvý, je vytvoriť medzi dvoma miestami vysoké elektrostatické napätie. Objavilo sa viacero generátorov vysokého elektrostatického napätia, populárny je napríklad Van der Graafov, ale čoskoro sa ukázalo, že vyrobiť a udržať napätie vyššie ako 20 miliónov voltov, je úloha neľahká. Ako perspektívnejší prístup sa javí použitie striedavého napätia, kedy častica bude prechádzať buď sériou za sebou uložených urýchl'ovacích medzier, alebo bude jednou a tou istou urýchl'ovacou medzerou prechádzať niekoľkokrát za sebou. Bystrý čitateľ iste tuší, že v druhom prípade sa častica bude točiť v kruhu alebo špirále. Vznikli nám tu teda prirodzene dve skupiny urýchl'ovačov: lineárne a kruhové.

Lineárny urýchl'ovač je teda séria na priamke za sebou usporiadaných vodivých trubíc, medzi koncami ktorých kmitá s istou frekvenciou vysoké napätie. Častica obdrží v každej štrbine impulz, ktorý zvýši jej energiu o časť zodpovedajúcu amplitúde napätia. Napätie je striedavé, prílet častice teda musí byť synchronizovaný s budiacou frekvenciou, inak častica obdrží menší impulz. Rýchlosť častice sa na začiatku zvyšuje, dĺžka preletových trubíc teda musí rásť, aby doba príletu do ďalšej štrbiny zostala rovnaká. Častica sa za istú dobu stane relativistickou, jej rýchlosť sa priblíži rýchlosti svetla, potom už rýchlosť nestúpa, rastie iba energia častice a dĺžka preletových trubíc zostáva rovnaká. Energia, ktorú možno dosiahnuť na lineárnom urýchl'ovači, je obmedzená okrem veľkosti a frekvencie budiaceho napätia, ktoré majú vlastné technické limity, hlavne jeho dĺžkou. Lineárne urýchl'ovače používané v časticovej fyzike v nedávnej

minulosti mali dĺžku niekoľkých kilometrov. Tie, ktoré sú navrhované do budúcnosti, niekoľko desiatok kilometrov.

V kruhovom urýchlovači vstupuje na scénu druhá časť Lorentzovej sily spomínanej v úvode, a to sila magnetická, ktorá nám umožní zakrivit' dráhu častice a priviesť ju tak opäť do urýchlývacej medzery. Magnetická sila má zložitejšiu povahu ako elektrická sila, pretože sa jedná o interakciu magnetického poľa s pohybujúcim sa nábojom. Pre našu vec je podstatné to, že ak máme časticu, ktorá sa pohybuje s konštantnou energiou v rovine kolmej na siločiaru magnetického poľa, tak táto častica sa pohybuje v tejto rovine po kruhovej dráhe, pričom polomer kruhu závisí od sily magnetického poľa a energie častice: Ak narastá energia častice, polomer sa zväčšuje, ak rastie sila magnetického poľa, polomer klesá. Ak teda máme magnet s konštantnou indukciou a častica prejde v každej obrátke urýchlývajúcou medzerou, polomer jej dráhy bude rásť, častica sa bude pohybovať po špirále, až kým nevyletí z dosahu magnetického poľa, ktoré je ohraničené polomerom magnetu: Takýto urýchlovač sa volá cyklotrón a v súčasnosti sa bežne používa napríklad pri výrobe rádioizotopov v zdravotníctve.

Vášnivý čitateľ si určite všimol, že narastajúca energia častice sa dá kompenzovať nárastom indukcie magnetického poľa, tak že polomer kruhovej dráhy zostane rovnaký. Magnetické pole elektromagnetu závisí okrem iných vecí od veľkosti prúdu, ktorý tečie jeho vinutím, ak teda synchronizujeme rast energie častice nárastom prúdu, ktorý tečie vinutím magnetov, ktoré udržiavajú časticu na kruhovej dráhe, dospejeme k urýchlovaču, kde zväzok má konštantný polomer a takýto urýchlovač sa volá synchrotrón. Všetky najväčšie urýchlovače v posledných desaťročiach boli a sú synchrotróny.

Vo vysokoenergetickej zrážke protónov, alebo ťažkých iónov môžu

vzniknúť stovky až tisíce častíc. Experimentátor potrebuje zachytiť dráhu všetkých z nich a zároveň zistiť ich náboj, hybnosť, rýchlosť a následne identifikovať, o aké častice sa jedná. Všetky tieto úlohy zaisťuje detektor.

Detektor sa nachádza v blízkosti bodu zrážky, ktorý je známy s presnosťou na niekoľko centimetrov. Tvar tvorí buď valec, kedy sa bod zrážky nachádza v jeho strede, alebo, pokiaľ sa experiment sústreďuje na častice letiace z bodu zrážky dopredu alebo dozadu, ihlan v príslušnom smere. Výnimkou nie je ani kombinácia týchto dvoch geometrií. Detektor pri oboch geometriách tvorí niekoľko vrstiev, sub-detektorov, ktoré sú usporiadené za sebou v smere od bodu zrážky von. Jednotlivé sub-detektory slúžia k rôznym účelom a obsahujú rôzne technológie v závislosti od toho, čo chce experimentátor merať.

K zachyteniu dráh nabitých častíc detektor využíva procesy interakcie častice s hmotným prostredím. Takýmto prostredím môže byť plyn, v ktorom častica pozdĺž dráhy vytvára voľné elektróny a ióny, ktoré detektor pomocou vysokého napätia zbiera a identifikuje ich polohu. Ďalšia možnosť hojne využívaná v súčasnosti je postaviť častici do cesty niekoľko vrstiev kremíkových čipov, v ktorých častica zanecháva signál. Obe spomenuté metódy sú elektronické, to jest podliehajú strojovému spracovaniu, čo urýchlí analýzu dát. V nedávnej minulosti sa využíval fakt, že častica pri prechode kvapalinou, ktorá má špecifickú teplotu, vytvára pozdĺž dráhy bublinky. Bublínky sa fotili na kinofilm a analyzovali ručne.

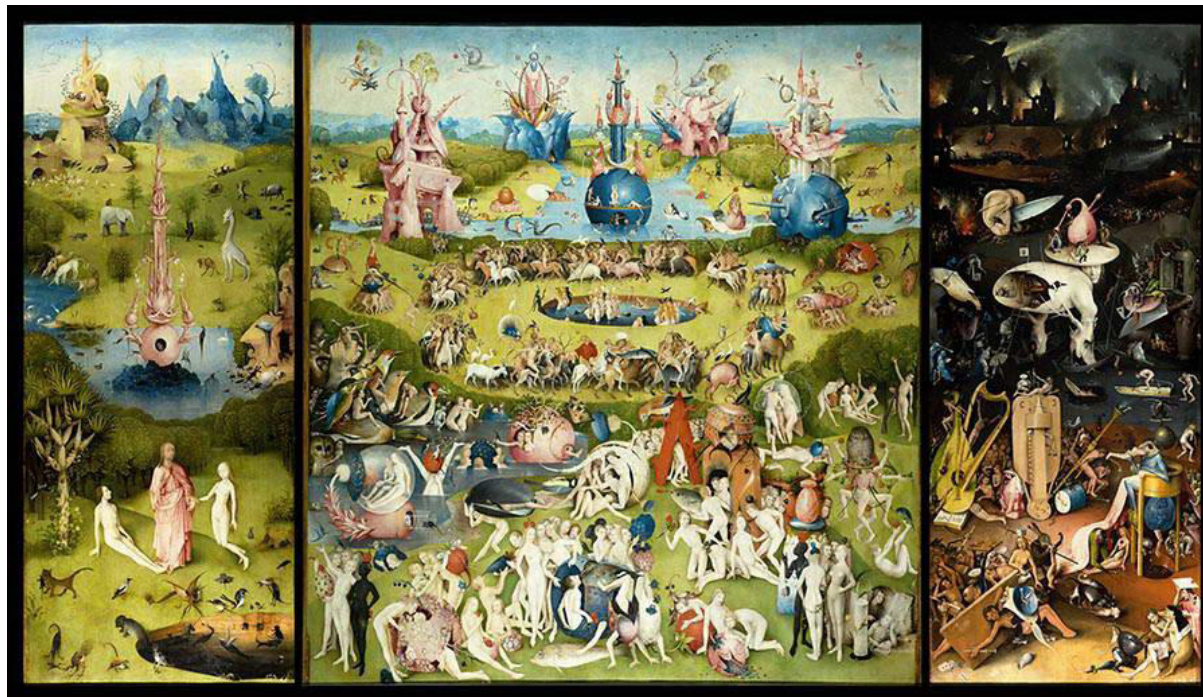
Povedzme, že vieme v detektore zrekonštruovať dráhy častíc. Čo ďalej? V pasáži o urýchlovačoch sme spomínali, že magnetické pole zakrivuje dráhu častice. Tento fakt sa používa nielen pri ich urýchlňovaní, ale aj pri detekcii. Polomer dráhy závisí od hybnosti častice a

směru, ktorým sa dráha zakrivuje od náboja. Súčasťou detektora je teda vždy magnet, ktorý nám odkryje tieto informácie o časticiach. Ako odhaliť identitu častice? Unikátnou vlastnosťou častice je jej hmotnosť. My už poznáme hybnosť zo zakrivenia dráhy. Ak zistíme aj rýchlosť, môžeme hmotnosť vypočítať. Rýchlosť častice možno určiť meraním doby letu z bodu zrážky k detektoru v istej vzdialenosti. Taktiež intenzita a smer niekoľkých druhov žiarenia, ktoré častica môže produkovať, závisí od jej rýchlosti. Detektorov na meranie rýchlosti je obvykle v experimente niekoľko, pokrývajúcich rôzne intervaly rýchlosti častice.

Poslednú, od interakčného bodu najvzdialenejšiu vrstvu detektora tvoria kalorimetre. Kalorimeter je detektor, ktorý vykonáva deštrukčné meranie energie častice. Detektor je tvorený hustým materiálom, v ktorom sa častica rozpadne na spršku sekundárnych častíc a tie sa v kalorimetre úplne absorbujú. Suma energií týchto častíc je to, čo kalorimeter odmeria a je rovná energii vstupujúcej častice. Kalorimetre na rozdiel od predošlých typov detektorov vidia aj nenabité častice.

Experiment v celku teda tvorí celá plejáda detektorov. Častica, ktorá vznikne v zrážke postupne, prechádza niekoľkými dráhovými detektormi, ktoré merajú jej rýchlosť a nakoniec skončí svoju cestu v kalorimetri, kde sa absorbuje, aby nám prezradila svoju energiu. Celý čas na ňu naviac pôsobí magnetické pole, ktoré odhalí jej náboj a hybnosť. Týmto spôsobom získame úplnú informáciu o tom, čo v zrážke nastalo.

Umělá fotosyntéza na povrchu přírodních materiálů (cyklus oxidu uhličitého)



Centrálním pilířem této studie, zaměřené na laboratorní syntézu biomolekul na základě spojení některých výjimečných vlastností vybraných přírodních materiálů s vlastnostmi běžně v přírodě existujících a všude přítomných plyných molekul, je alegorie obrazu Hieronymuse Bosche „Zahrada pozemských rozkoší“ (Garden of Earthly Delights). Tento triptych visící v madridském Pradu je po staletí pevně spojen s mýtickým příběhem křesťanské civilizace – stvořením světa.



Obrázek 2 – Deska triptychu po uzavření.

Stvořitel ze svého absolutního „neznáma“ řekl – přečetl příslušný příkazový řádek ze Zákona a ihned se samo stane (učiněno jest); Bůh odtamtud vzkázal (přikázal) a samo se utvoří (jest stvořeno), aniž by bylo zapotřebí jeho zásahu, dohlížení, či přítomnosti. Řeč obrazu je jasná: Stvořiteli stačí dát pokyn, aby stvoření povstalo, vznikalo a vzcházelo tak, jak to vidíme. Ikonografie vstupního výjevu zdůrazňuje, že tvůrčí schopnost byla delegována Zemi. Ta ji také bohatě využívá, jak vidno z roztodivně se rýsujících podob, jež povstávají z šedivé jednotvárně primordiální beztvarosti hmoty. Od této chvíle je svět nadán schopností samostatného vývoje a svébytného rozvoje. Tento přirozený řád skutečnosti jakožto probíhající děj proměny, sebevytváření, sebepřetváření a všepřecházení, tedy řád Přírody, je hlavním a vlastním obsahem celého triptychu a duchovní podstatou i našeho příběhu.

Podobně jako Bosch, který předjímá a ohlašuje svým obrazem, svou úchvatnou scénérii světa ve stavu třetího dne stvoření, i náš zájem je nasměrován do doby formování naší Sluneční soustavy, vzniku jednotlivých planet a jejich vývoje a laboratorního studia podmínek pro tvorbu života na jejich povrchu. Jako model jsme použili alegorii druhého velice známého Boschova obrazu „Sedm smrtelných hříchů“, který v našem podání nezachycuje „naše hříchy“, ale cyklus přeměny prvotní pozemské atmosféry, pravděpodobně složené pouze z plynů neredukčního typu (CO_2 , voda, N_2) na atmosféru redukční, obsahující převážně metan, amoniak a celou řadu dalších těžších uhlovodíků. Po jejich oxidaci se cyklus vrací do původní podoby a v historii se mnohokrát opakuje. Tento proces pravděpodobně není vázán pouze na podmínky panujících na jednotlivých planetách naší Sluneční soustavy, je obecný, a funguje i v případě exoplanetárních systémů, a probíhá dodnes.



Šest panelů postupně ukazuje uzavřený cyklus formování metanu z oxidu uhličitého za přítomnosti vody a vzniku složitějších organických molekul v laserové jiskře a jejich finální destrukce zpět na oxid uhličitý.

Obrázek 3 – Cyklus oxidu uhličitého zachycený a inspirovaný centrálním obrazem Zahrady rajských pokušení a obrazem Sedm smrtelných hříchů namalovaných vlámským malířem Hieronymem Boschem na přelomu 15. a 16. století.

Panely

Následující sekce individuálně vysvětlují jednotlivé panely zobrazené schematicky na obrázku 3.

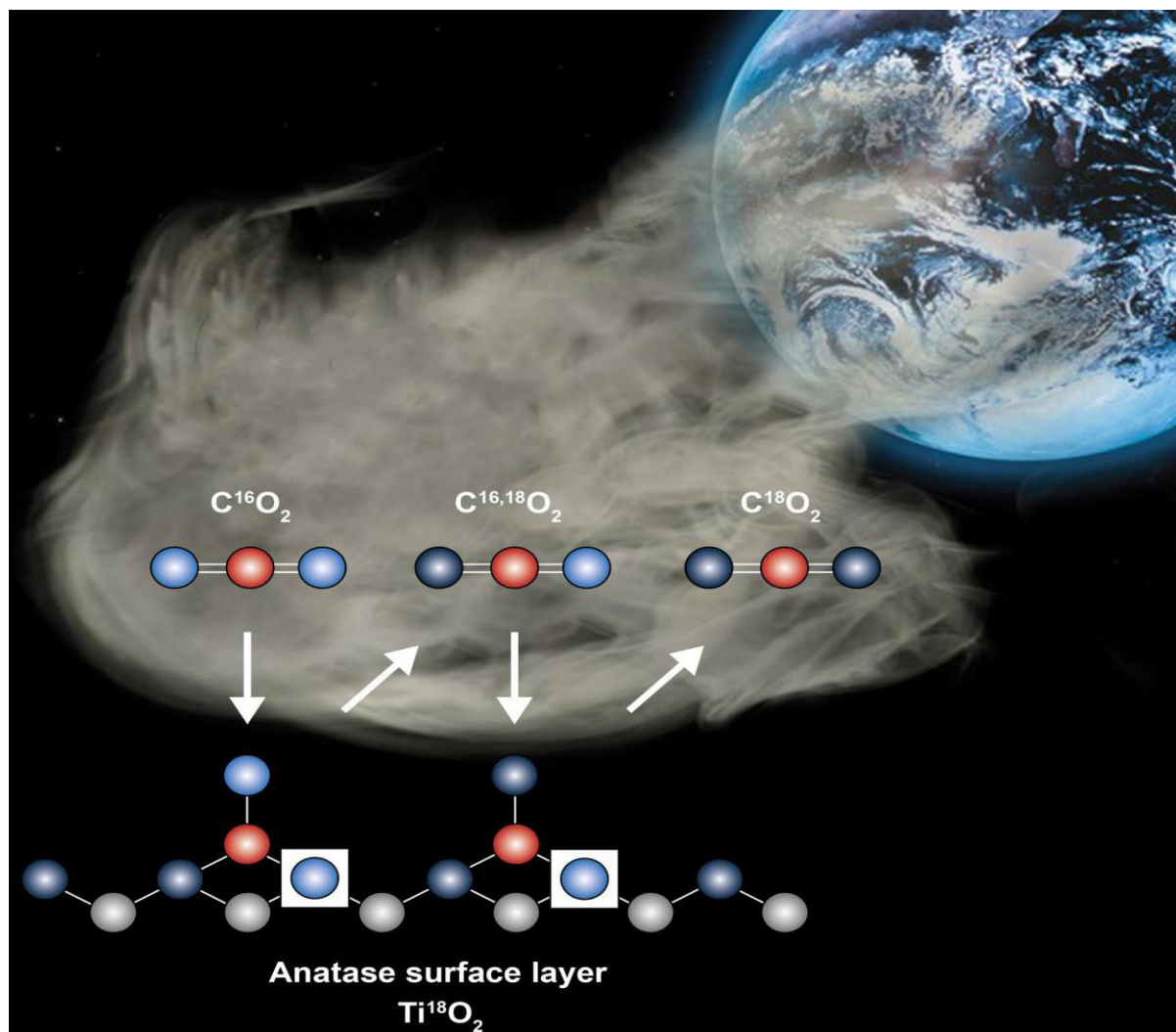
Panel I. – Výjimečné vlastnosti CO₂

V několika posledních letech jsme publikovali celou řadu odborných statí [1-10] zaměřených na studium interakce plynných molekul oxidu uhličitého s povrchem laboratorně syntetizovaných nebo i čistě přírodních materiálů. Tyto materiály vykazovaly různé stupně krystalinity – od nanočástic bez krystalového uspořádání až po několikacentimetrové monokrystaly (rutil TiO₂). Provedli jsme celou řadu laboratorních experimentů, které byly zaměřeny na studium vlastností různých typů nanočástic a nanomateriálů a na interakci jejich povrchu s CO₂ za různých laboratorních podmínek.

Pomocí infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací jsme na základě měření spekter plynných produktů reakce zjistili, že některé pevné laboratorně připravené minerály (anatas, rutil) spontánně vyměňují atomy kyslíku (např. Ti¹⁶O₂) s plynným oxidem uhličitým (C¹⁸O₂) a to i za pokojové teploty a za naprosté tmy, bez přítomnosti světla. Produkty této výměny jsou molekuly C^{16,18}O₂ a C^{16,16}O₂ detekovatelné pomocí našich vysoce rozlišitelných technik infračervené spektroskopie s vysokým rozlišením. Rychlost reakce této výměny silně závisí na charakteru a struktuře pevného vzorku.

Amorfní nekystalické nanočástice TiO₂ připravené z izopropoxidu titanu vykazují ještě mnohem rychlejší vzájemnou výměnu kyslíku s plynným oxidem uhličitým než polykrystalický nebo krystalický TiO₂ anatas. Srovnáním laboratorně připravených vzorků s přírodními minerály jsme zjistili, že některé přírodní vzorky reagují obdobným způsobem, a i na jejich povrchu dochází k dynamické výměně atomů kyslíku a plynnou molekulou CO₂. Na počátku jsme pouze testovali přírodní krystaly TiO₂: anatas z regionu Hordaland v Norsku a rutil z lokality Golčův Jeníkov v České republice. Vzhledem k vysoké reaktivitě (výměny kyslíku) mezi těmito minerály a CO₂ jsme se rozhodli studovat povrchovou aktivitu celé řady dalších minerálů a hornin – bazalt (Rožňava, Slovenská republika), montmorillonit (Sigma-Aldrich),

přírodní kalcit, siderit a oxid křemičitý. Na rozdíl od několika publikovaných studií, které se pokouší tyto děje vysvětlit na základě myšlenky izotopové frakcionace mezi dvěma molekulami C¹⁶O₂ a C¹⁸O₂ adsorbovaným na povrchu pevného substrátu, naše experimenty potvrdily přímou interakci pevného povrchu s plynným CO₂ a rychlou a dynamickou vzájemnou výměnu atomů kyslíku mezi oběma fázemi.



Obrázek 4 – Panel I. – výměna kyslíků mezi plynným oxidem uhličitým a kyslíkem vázaným v pevných minerálech (zde například izotopová výměna mezi povrchem $Ti^{18}O_2$ anatasu a $C^{16}O_2$) [8,9].

Panel II. – Raná Země a Mars

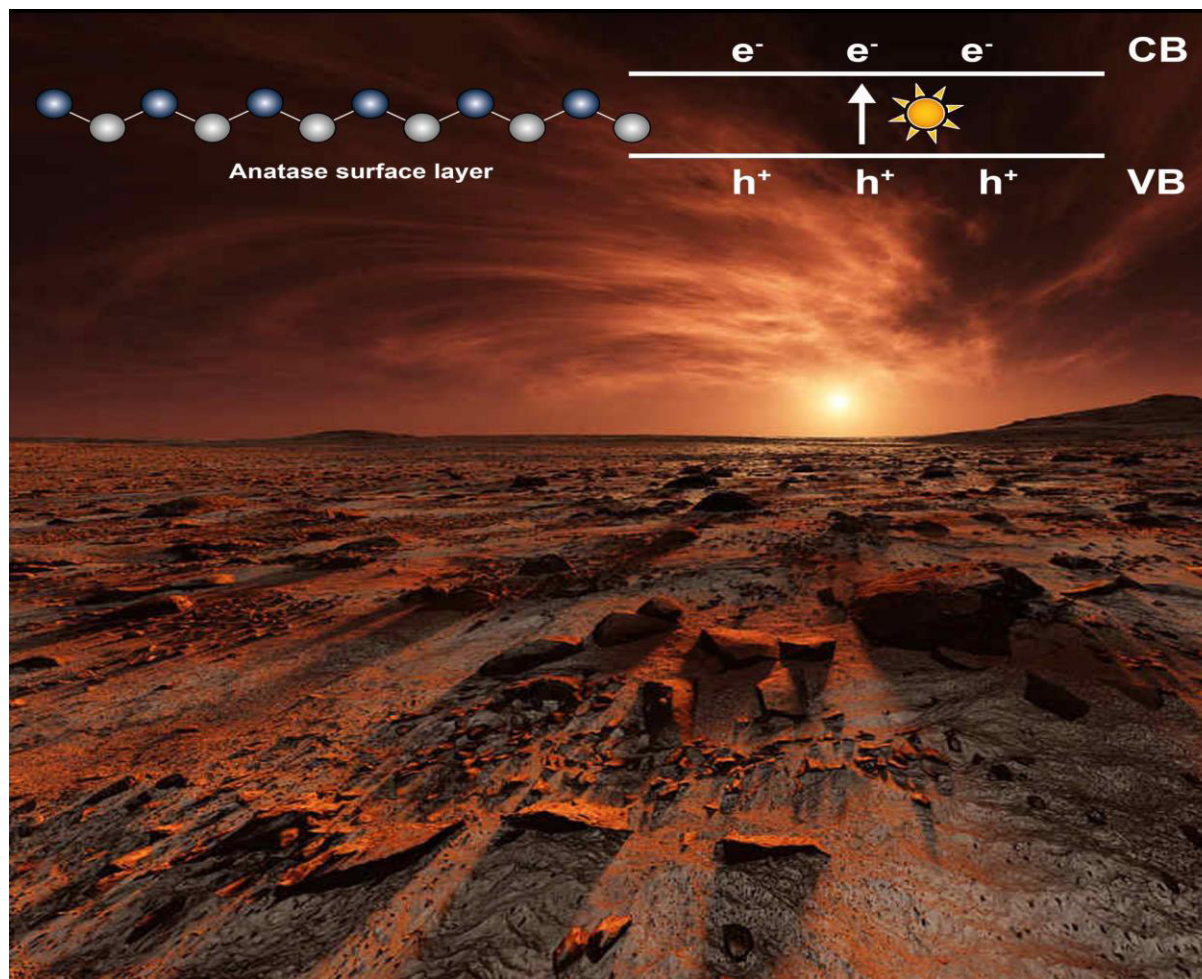
V literatuře lze nalézt celou řadu studií zaměřených na adsorpci oxidu uhličitého na povrch minerálů obsahujících kyslík [11] – půdy a uhličitánové minerály [12,13], různé typy oxidů [14–16], oxid titaničitý, vanadičnan hořečnatý [17], oxid hořečnatý [18], oxid hlinitý [19], jíly [20], bazaltické horniny včetně různých druhů minerálních substrátů, které do určité míry napodobují planetární půdní povrch Marsu (simulace martánského regolitu) [21–24]. Laboratorní měření sorpce CO_2 a H_2O na jejich povrchu naznačují, že takové minerály nebo horniny vykazují vysokou účinnost při skladování velkého množství adsorbovaného plynu.

V tomto bodě je třeba se zmínit o teoretických diskusích týkajících se vzniku života na Zemi a případně i mimo naši mateřskou planetu. Z nejbližších planet připadají v úvahu pouze Venuše a Mars. Protože Venuše má díky své pozici vůči Slunci vysokou povrchovou teplotu (více než 500°C) a hustou, skoro nepropustnou atmosféru složenou z oxidu uhličitého a dalších velice agresivních plynů jako HCl , H_2SO_4 , nepředpokládá se na Venuši život.

Naproti tomu se stále více diskutuje o tom, že Mars a Země měly ve svém raném stadiu vývoje rovnocenné podmínky. Obě planety měly povrch pokrytý oceány a planetární hustou atmosférou. Pouze vývoj obou planet se v době asi před 3,5 miliardami let rozdělil. Mars v době pozdního velkého bombardování dostal obrovskou spoustu zásahů velkými tělesy. Astronomové zmapovali více než 50 kráterů o průměru větším než 50 km a obrovské množství menších. Předpokládá se, že toto mělo zásadní vliv na další vývoj Rudé planety. Mars ztratil elektromagnetické pole, které asi na svém počátku měl, obdobné poli zemskému. Ztráta pole vedla k postupné ztrátě planetární vody, a také ke změně atmosféry a celkového klimatu. Dnes je atmosféra Marsu tvořena z 97 % oxidem uhličitým při tlaku asi 100x menším než na Zemi. Oba póly Marsu jsou pokryty ledovým příkrovem směsí

oxidu uhličitého a vody. Obrovská spousta oxidu uhličitého je nasorbovaná pod povrchem na minerálech a horninách celé planety.

V naší laboratoři jsme pozorovali proces, který nazýváme metanogenezi, to znamená fotochemický proces, kdy UV zářením dochází za přítomnosti katalyzátoru TiO_2 v kyselém prostředí (H^+ a H_2O) ke konverzi oxidu uhličitého na CH_4 . TiO_2 se chová jako polovodič. Měkké UV záření excituje elektron z valenčního pásu do vodivostního pásu. Elektron potom migruje po povrchu katalyzátoru, kde potom iniciuje kaskádu chemických reakcí vedoucích k produkci metanu, CO i složitějších organických molekul. [31–34].

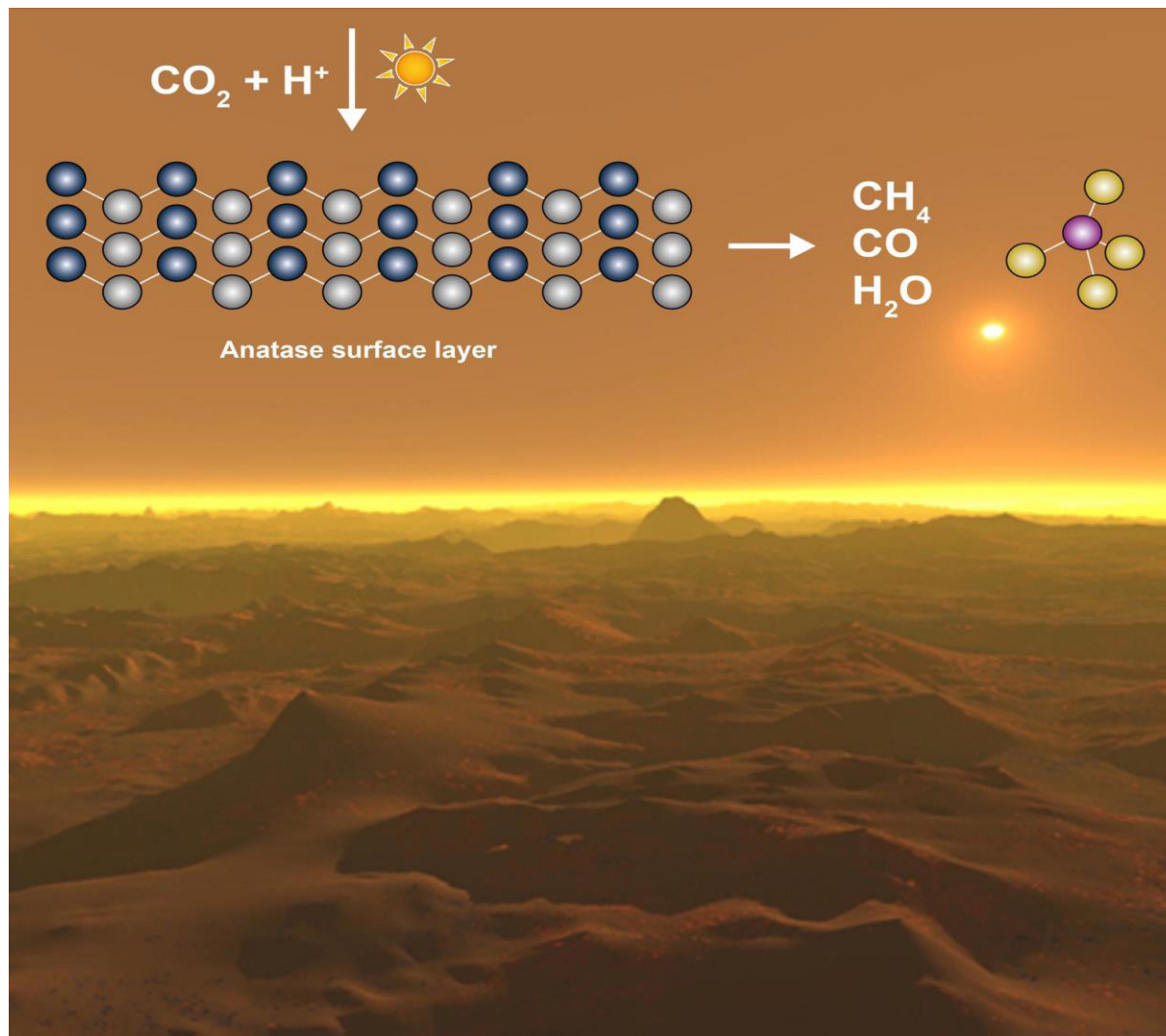


Obrázek 5 – Panel II. – povrch Marsu je převážně tvořen regolitem, který je složen z oxidů železa, ale též obsahuje v procentuálním množství TiO_2 .

Panel III. – Metan na Marsu

Původní prostředí a klimatické podmínky na Marsu, mohly být vhodné pro hostitelskou prebiotickou činnost a vznik života dříve, než planeta ztratila vnitřní magnetické pole, které ji chránilo před energetickými slunečními částicemi a kosmickými paprsky. Vzhledem k omezené tektonické aktivitě Marsu by mineralogické nebo organické důkazy této evoluce mohly být zachovány v martánském regolitu do současnosti. Detektory na marsovském vozítku Curiosity změřily sezónně kolísající koncentrace metanu od 0,7 ppb do 10 ppb. Jedno z možných vysvětlení přítomnosti metanu a jeho sezónní kolísání je i varianta biogenní produkce metanu bakteriemi pod povrchem Rudé planety.

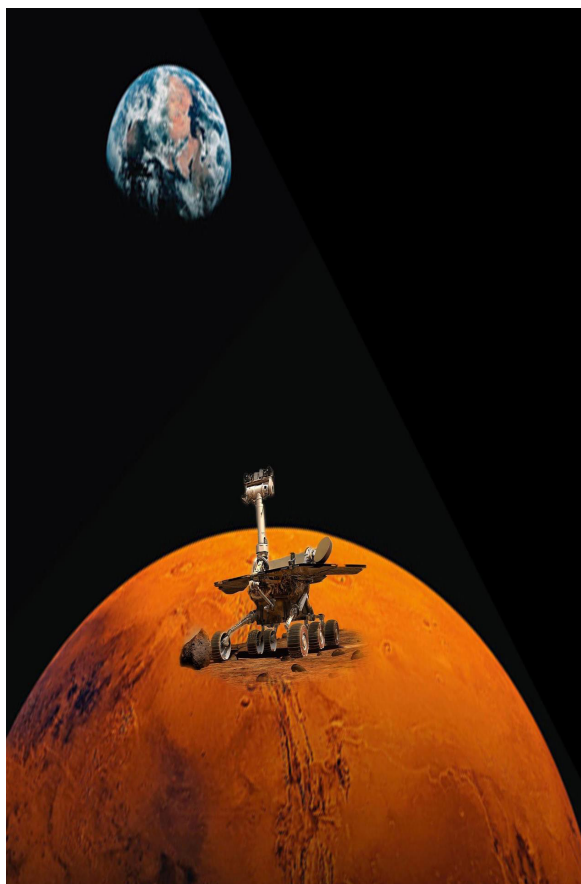
Nedávno mise Curiosity MSL potvrdila i přítomnost oxo-sloučenin chloru (chlorečnany a chloristany) v povrchovém regolitu Marsu a zjistila i stopy původních organických molekul. Znalost reaktivity martánského regolitu je nezbytná pro pochopení možné transformace, a nakonec i původu organických molekul.



Obrázek 6 – Panel III. – Mars i Země mohly mít v době formování naší Sluneční soustavy podobné složení atmosféry i povrchu, kde fotochemie a katalýza na povrchu minerálů mohla hrát důležitou roli při vzniku jednoduchých uhlovodíků [14, 20–26, 45].

Panel IV. – Mars Curiosity

Přítomnost metanu na Marsu byla nedávno vysvětlována [25] na základě tří testovatelných hypotéz. První scénář spočívá v tom, že regolit v Gale kráteru (místo přistání sondy Curiosity) adsorbuje metan v období sucha (zima), který je poté následně uvolňován do atmosféry v letním období společně s vodní parou.



Obrázek 7 – Panel IV. – V současnosti se vozítko Curiosity pohybuje na Marsu v oblasti kráteru Gale.

Pomocí diodového spektrometru byly detekovány všechny námi diskutované plynné složky: metan, voda a oxid uhličitý [51–53].

Druhý scénář je založen na myšlence existence života na Marsu. Půdní mikroorganismy přeměňují organické látky na metan, a to v obdobích, kdy je podpovrchová voda v kapalném skupenství. Tento scénář navrhuje teorii sorpce metanu na povrchu regolitu a jeho uvolňování v průběhu střídání ročních období. Naopak opírá se o existenci života ve formě půdních bakterií, které generují molekuly metanu.

Třetím scénářem je existence marsovských podpovrchových ložisek metanu, období metanu vázaného na Zemi v arktické tundře. Tyto výrony vytváří výtrysky metanu v teplých obdobích marťanského klimatu.

Na základě našich laboratorních studií přidáváme čtvrtou hypotézu, která je založena na principu fotochemické generace metanu v letních obdobích na Marsu.

V roce 1979 se Inoue a kol. [26] podařilo iniciovat UV zářením přímou fotokatalytickou redukci oxidu uhličitýho na povrchu polovodičového materiálu na metan. Ačkoli to bylo provedeno ve vodném roztoku s polovodičovým katalyzátorem, tato světlem iniciovaná reakce iniciovala celou škálu experimentů zabývajících se redukcí CO_2 v různých prostředích. Převážným cílem většiny těchto studií bylo vytvořit pár elektron–díra uvnitř katalyzátoru a nalézt způsob, jak přeměnit sluneční energii na chemickou. Použitím polovodičů ve fotokatalýze dochází k absorpci fotonů na povrchu polovodiče a vytvoření pár elektron–díra, jejich vzájemné následné oddělení. Přenos elektronu uvnitř katalyzátoru na absorbovanou molekulu iniciuje kaskádu chemických reakcí, které nakonec určují výsledek a účinnost celého fotokatalytického procesu.

Nedávno publikované studie [27,28] týkající se energetických pásů TiO_2 (titania) nebo in-dopovaného TiO_2 , či modifikovaného montmo-

rillonitu naznačují výrazné zlepšení redukce CO_2 a efektivní zvýšení celého fotokatalytického procesu. Fotochemická reakční cesta od CO_2 se skládá z několika reakčních kroků, které produkují stabilní i nestabilní molekulární meziprodukty.

Tvorba metanu z oxidu uhličitého ukázala, že do určité míry lze pracovat se systémy na rozhraní pevná látka–plyn a kapalina–plyn [29]. Jako zdroj energie pro tyto složité procesy na molekulární úrovni bývá použito ultrafialové nebo viditelné světlo. V případě redukce CO_2 na metan byly navrženy tři přijatelné reakční mechanismy, i když nebyly dosud zcela prokázány. Jsou nazývány podle procesů, ke kterým dochází na povrchu katalyzátoru. Jde o tzv. Formaldehydovou [30], karbinovou [31] nebo glyoxalovou cestu [32]. Ve všech těchto reakcích dochází k tvorbě různých molekulárních meziproduktů a jejich stabilních komponent. Všechny tyto procesy však ve finále produkuje metan nebo jeho směs s oxidem uhelnatým v závislosti na typu použitého katalyzátoru anebo jeho povrchu.

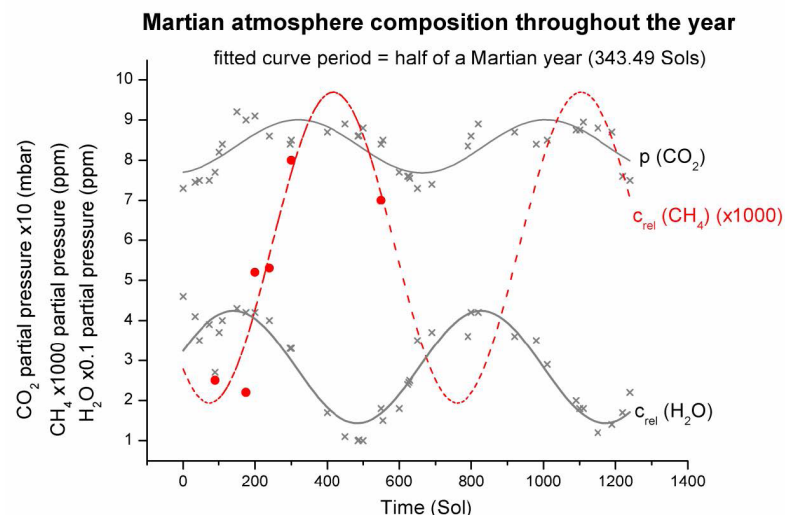
Na povrch Marsu a jeho chování bychom mohli pohlížet jako na planetární „fotoreaktor“, který za určitých podmínek rozkládá určité typy molekul na metan [33], nebo bychom mohli Mars nazvat „fotosyntetickou“ planetou, kde dochází k permanentní syntéze metanu z oxidu uhličitého na katalytických površích [32, 34].

Atmosféra Marsu představuje prostředí bohaté na oxid uhličitý, které se podobá podmínkám na Zemi v rané době jejího formování. Produkce metanu je ovlivněna množstvím adsorbované vody a adsorbovaného oxidu uhličitého na fotokatalytických površích minerálních katalyzátorů v kombinaci s dostatečným slunečním zářením.

Mars není v současné době chráněn před slunečním zářením ozónovou vrstvou. Procesy na této planetě nelze považovat za prototyp podmínek rané Země (jak předpokládá několik autorů v případě Titanu, největšího měsíce planety Saturn [35], ale mohou být použity jako model pro studium čisté fotochemie v planetární atmosféře v kontaktu s velkými aktivními povrchy přírodních minerálů. Tato aproximace může být využita pro další vývoj atmosférických modelů

v podmínkách rané Země.

Jak již bylo řečeno, abiotická syntéza metanu jako redukčního plynu v přírodní atmosféře bohaté na oxid uhličitý je velmi důležitá pro studium Země, Marsu i jiných planet v počátečních fázích atmosférické evoluce. Obě planety obsahovaly vodu jako zdroj vodíku a byly vystaveny významnému toku ultrafialového záření [36]. Přestože jsou jejich úrovně diskutovány, podle Chyby a Sagana [37] mohla být energie z UV záření na časně Zemi až o dva řády silnější (ne nutně účinnější) než zdroj energie ve formě nárazových, impaktivních zdrojů energie a možná až o čtyři řády silnější než energie ve formě elektrických výbojů).



Data jsou různě škálována, aby bylo možno jednotlivé křivky porovnat. Data byla získána vozítkem NASA Mars Curiosity Rover (2013/2014) a přístroje OMEGA na palubě Mars Express. Sinusoidní křivky naznačují jednotlivé trendy vynesných dat [50–53].

Panel V. – Vznik bází nukleových kyselin

V případě tvorby složitějších organických molekul, a zvláště biomolekul předpokládáme složitější dvoustupňový scénář jejich syntézy. Vycházíme z předpokladu katalytické tvorby metanu fotochemickými procesy na povrchích oxidických minerálů na jednotlivých planetách (např. Mars, časná Země). Námi popsáný mechanismus zahrnuje kontinuální fotokatalytickou (UV zářením indukovanou), minerálním prostředím zprostředkovanou abiotickou tvorbu CH_4 . Tvorbu složitějších biomolekul připisujeme v druhém kroku našeho scénáře impaktnímu prostředí v dobách před a po velkém bombardování těles našeho solárního systému před 3,8 miliardami let.

Na základě našich laboratorních experimentů byla ekvimolární směs redukčních plynů CH_4 a CO fotochemicky vytvořena z CO_2 na kyselých minerálních površích pomocí UV záření (365 nm) a následně byla vystavena impaktu v prostředí vysoce energetické jiskry pulzního laseru PALS (Prague Asterix Laser System). Tyto experimenty simulují efekty v planetárních atmosférách způsobenými dopadovými událostmi v raných fázích evoluce orbitálních trajektorií našeho Slunečního systému (Velké pozdní bombardování). V laserem ostřelovaných směsích metanu, oxidu uhličitého a dusíku byly pomocí analytických technik hledány a později i nalezeny základní báze ribonukleové kyseliny (RNA) [38–41].

Lze tedy shrnout, že dvěma vzájemně a současně probíhajícími procesy lze vysvětlit proces vzniku a existenci redukčních směsí planetárních atmosfér z původních atmosfér obsahujícím převážně neutrálních směsí plynů např. CO_2 , H_2O , N_2 .

Tento objev má obrovský význam a vysvětluje, jakým způsobem přejít od neredukční atmosféry k redukční a naopak. Tento proces je reversibilní, může probíhat po celou dobu evoluce planet našeho solárního systému i mimo něj, a to i v případě nově objevovaných exoplanet

a jejich atmosfér. Na stejných principech fotochemické redukce oxidu uhličitého lze vysvětlit i sezonní cyklus CH_4 na Marsu (obrázek 8).

Prague Asterix Laser Systém (PALS) je terrawattovým jodovým laserem, který je použit na simulaci dějů o velké energii. Laserové jiskry simulují impakty extraterestriálních těles do rané atmosféry Země (Late Heavy Bombardment period). Bylo dokázáno, že během tohoto procesu vznikají složité organické molekuly (báze nukleových kyselin) z jednoduchých výchozích molekul jako H_2O , CO_2 , CH_4 , CO , N_2 [37–41].



Obrázek 9 – Panel V. – Prague Asterix Laser Systém (PALS).

Panel VI. – Chemická evoluce

Chemický vývoj na rané Zemi a dalších planetách je dlouhotrvajícím diskusním tématem zaměřeným na otázky složení původní pozemské atmosféry a možnostmi vzniku prvních biomolekul.

Mnoho otázek týkajících se zdrojů energie [37], výchozích látek [42–44] a fyzikálních [45] a chemických podmínek [46] v procesech souvisejících s tvorbou prvních biomolekul a jejich polymerů před 3,8 miliardami let stále není zcela zodpovězeno [47–48].

V roce 1953 Harold Urey a Stanley Miller z Chicagské univerzity vybrali jako základ pro své experimenty v oblasti prebiotické chemie Země pravděpodobnou směs molekulárního vodíku, vodní páry, metanu a amoniaku. Jako zdroje energie používali elektrický výboj simulující atmosférické výboje. Po několika dnech cirkulace směsi v uzavřeném systému detekovali celou řadu aminokyselin nacházejících se v proteinech všech živých organismů. Nicméně, Miller a Urey nenalezli žádné známky základních podjednotek RNA (ribonukleové kyseliny), o kterých se nyní předpokládá, že předcházely dědičnému materiálu DNA jako depozitář a propagátor genetické informace. Svatopluk Civiš [40] a jeho kolegové z Akademie věd ČR v Praze nyní zopakovali a rozšířili klasickou strategii Millerových experimentů a dokázali, že za i za podmínek původních experimentů lze vygenerovat v jiskře laseru PALS všechny čtyři kanonické báze nukleových kyselin.

Nové experimenty tak zohledňují proces tzv. pozdního velkého bombardování (LHB) mezi 4 a 3,8 miliardami lety. Během tohoto období Země zažila periodu velkého množství dopadů mimoplanetárních těles do rané atmosféry, které mohly jednoznačně přispět k syntéze prvních stavebních kamenů života. Výsledky získané Civišem a kol. [49–51] skutečně poukazují na kritickou úlohu vysokoenergetických vstupů v prebiotické chemii. Pouze kombinace vysokoenergetické

laserové jiskry a elektrického výboje vede k tvorbě molekul kyano-vodíku (HCN) a formamidu (HCONH₂), jejichž disociace pomocí šokové rázové vlny vede k tvorbě bazí nukleových kyselin.

Poslední panel popisuje proces syntézy velkých molekul a zároveň jejich následný rozklad uvnitř atmosférických výbojů, při dopadu impaktních těles nebo sopečné činnosti na primární komponenty cyklu oxidu uhličitého. Jinými slovy, proces přeměny redukční atmosféry zpět na neredukční.

Námi navržený scénář vychází z endogenní syntézy atmosférických molekul, která vychází z evolučního vývoje atmosféry vhodné pro vznik biomolekul a končí jejich produkcí v chemii rázových vln jako vysoce pravděpodobný řetězec událostí v období vzniku života na Zemi, a i jinde ve vesmíru. Současné laboratorní experimenty podporují myšlenku, že fotokatalytická redukce mohla probíhat v podmínkách a prostředí rané Země stejně tak, jak probíhá v současnosti na Marsu a možná i na jiných zemi podobných planetách mimo naši Sluneční soustavu. Předchozí teorie vzniku života na Zemi vycházely z předpokladu existence silně redukčních atmosfér obsahujících převážně metan a amoniak. Tyto molekuly však lze slunečním silným slunečním zářením (podmínky rané Země) rychle fotolyticky rozkládat, takže lze mluvit prebiotické neutrální ne-li oxidované atmosféře. Na základě současných experimentů lze očekávat, že jakákoli atmosféra bohatá na oxid uhličitý může být alespoň částečně přeměněna za přítomnosti katalytických minerálů působením UV záření na metan.

Metan lze snadno spálit na původní oxid uhličitý a tímto celý cyklus uzavřít. Celý proces lze tedy mnohonásobně opakovat.

Závěr

Jedna z možných interpretací Boschova obrazu „Zahrada pozemských rozkoší“ může být chápána tak, jak bylo naznačeno v tomto článku. Myšlenka primordiální polévky stojící za vznikem života na Zemi byla vyslovena na začátku 20. století Oparinem a později rozvinuta pokusy Ureye s Millerem, může být tedy mnohem starší, než jsme si mysleli.

Tato úvaha byla přetransformována do vědecké teorie vycházející z principů v přírodě existujícího cyklu oxidu uhličitého, který mohl ovládat tvorbu biomolekul za původních podmínek panujících na Zemi nebo terestriálních planetách v okolí hvězd vyzařujících silné UV záření. Námi navržený cyklus vychází z redukce CO_2 na CH_4 a jeho následnou transformaci v podmínkách chemie vysokých energií na složitější organické biomolekuly, a nakonec i jejich následnou destrukci zpět na CO_2 . Tento cyklus mohl hrát a možná pořád i hraje důležitou roli při vzniku složitých organických molekul na naší planetě i kdekoli jinde ve vesmíru.

Chci poděkovat Antonínu Knížkovi, Dr. Martinu Ferusovi a Dr. Ondřeji Ivánkovi za věcné připomínky k textu, a za pomoc při formování obsahu tohoto článku.

Literatura

[1] S. Civiš, M. Ferus, P. Kubat, M. Zukalova, and L. Kavan, "Oxygen-Isotope Exchange between CO₂ and Solid (TiO₂)-O-18," J. Phys. Chem. C, vol. 115, no. 22, pp. 11156–11162, 2011.

[2] L. Kavan, M. Zukalova, M. Ferus, J. Kuerti, J. Koltai, and S. Civiš, "Oxygen-isotope labeled titania: (TiO₂)-O-18," Phys. Chem. Chem. Phys., vol. 13, no. 24, pp. 11583–11586, 2011.

[3] S. Civiš, M. Ferus, M. Zukalova, P. Kubat, L. Kavan, S. Civiš, M. Ferus, M. Zukalova, P. Kubat, L. Kavan, S. Civiš, M. Ferus, M. Zukalova, P. Kubat, and L. Kavan, "Photochemistry and gas-phase FTIR spectroscopy of formic acid interaction with anatase (TiO₂)-O-18 nanoparticles," J. Phys. Chem. C, vol. 116, no. 20, pp. 11200–11205, 2012.

[4] S. Civiš, M. Ferus, J. E. J. Sponer, J. E. J. Sponer, L. Kavan, M. Zukalova, S. Civiš, M. Ferus, J. E. J. Sponer, J. E. J. Sponer, L. Kavan, and M. Zukalova, "Room temperature spontaneous conversion of OCS to CO₂ on the anatase TiO₂ surface," Chem. Commun., vol. 50, no. 57, pp. 7712–7715, 2014.

[5] S. Civiš, M. Ferus, M. Zukalova, L. Kavan, Z. Zelinger, S. Civiš, M. Ferus, M. Zukalova, L. Kavan, and Z. Zelinger, "The application of high-resolution IR spectroscopy and isotope labeling for detailed investigation of TiO₂/gas interface reactions," Opt. Mater. (Amst)., vol. 36, no. 1, SI, pp. 159–162, 2013.

[6] S. Civiš, M. Ferus, M. Zukalová, A. Zukal, L. Kavan, K. D. Jordan, and D. C. Sorescu, "Oxygen atom exchange between gaseous CO₂ and TiO₂ nanoclusters," J. Phys. Chem. C, vol. 119, no. 7, pp. 3605–3612, 2015.

[7] M. Ferus, I. Matulkova, L. Juha, and S. Civiš, "Investigation of laser-plasma chemistry in CO-N₂-H₂O mixtures using O-18 labeled water," Chem. Phys. Lett., vol. 472, no. 1–3, pp. 14–18, 2009.

[8] M. Ferus, L. Kavan, M. Zukalová, A. Zukal, M. Klementová, and S. Civiš, "Spontaneous and photoinduced conversion of CO₂ on TiO₂ anatase (001)/(101) surfaces," J. Phys. Chem. C, vol. 118, no. 46, pp. 26845–26850, 2014.

[9] S. Civiš, A. Knižek, P. Kubelík, M. Ferus, M. Bouša, A. Zukal, A. Knižek, P. Kubelík, P. Rojik, J. Nováková, M. Ferus, M. Bousa, A. Zukal, A. Knižek, P. Kubelík, P. Rojik, J. Novakova, M. Ferus, S. Civiš, M. Bousa, A. Zukal, A. Knižek, P. Kubelík, P. Rojik, J. Novakova, and M. Ferus, "Spontaneous Oxygen Isotope Exchange between Carbon Dioxide and Oxygen-Containing Minerals: Do the Minerals 'Breathe' CO₂?, " J. Phys. Chem. C, vol. 120, no. 1, pp. 508–516, 2016.

[10] A. Knižek, M. Zukalová, L. Kavan, A. Zukal, P. Kubelík, P. Rojik, P. Skřehot, M. Ferus, and S. Civiš, "Spontaneous oxygen isotope exchange between carbon dioxide and natural clays: Refined rate constants referenced to TiO₂ (anatase/rutile)," Appl. Clay Sci., vol. 137, pp. 6–10, 2016.

[11] T. J. Udovic and J. A. Dumesic, "Adsorptive properties of magnetite surfaces as studied by temperature-programmed desorption - studies of O-2, NO, CO₂, and CO adsorption," J. Catal., vol. 89, no. 2, pp. 314–326, 1984.

[12] P. S. Hill, E. A. Schauble, A. Shahar, E. Tonui, and E. D. Young, "Ab initio and experimental studies of equilibrium isotopic fractionation in aqueous ferric chloride complexes," Geochim. Cosmochim. Acta,

vol. 70, no. 18, S, p. A251, 2006.

[13] J. M. Rosenbaum, D. Walker, and T. K. Kyser, "Oxygen isotope fractionation in the mantle," Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 58, no. 21, pp. 4767–4777, Nov. 1994.

[14] E. R. S. Winter, "Exchange Reactions of Oxides," J. Chem. Soc. A, no. 12, pp. 2889–2902, 1968.

[15] T. L. Thompson, O. Diwald, and J. T. Yates, "CO₂ as a probe for monitoring the surface defects on TiO₂(110) - temperature-programmed desorption," J. Phys. Chem. B, vol. 107, no. 42, pp. 11700–11704, 2003.

[16] L. F. Liao, C. F. Lien, D. L. Shieh, M. T. Chen, and J. L. Lin, "FTIR study of adsorption and photoassisted oxygen isotopic exchange of carbon monoxide, carbon dioxide, carbonate, and formate on TiO₂," J. Phys. Chem. B, vol. 106, no. 43, pp. 11240–11245, 2002.

[17] E. Asedegbega-Nieto, A. Guerrero-Ruiz, and I. Rodríguez-Ramos, "Study of CO chemisorption on graphite-supported Ru-Cu and Ni-Cu bimetallic catalysts," Thermochim. Acta, vol. 434, no. 1–2, pp. 113–118, Aug. 2005.

[18] C. A. Downing, A. A. Sokol, and C. R. A. Catlow, "The reactivity of CO₂ on the MgO(100) surface," Phys. Chem. Chem. Phys., vol. 16, no. 1, pp. 184–195, 2014.

[19] B. Krupay, "Alkali-promoted alumina catalysts *II. Chemisorption and oxygen exchange of carbon monoxide and carbon dioxide on potassium-promoted alumina catalysts," J. Catal., vol. 67, no. 2, pp. 362–370, Feb. 1981.

[20] F. P. Fanale and W. A. Cannon, "Mars - CO₂ adsorption and capillary condensation on days - significance for volatile storage and atmospheric history," J. Geophys. Res., vol. 84, no. SI, pp. 8404–8414, 1979.

[21] F. P. Fanale and W. A. Cannon, "Adsorption on Martian regolith," Nature, vol. 230, no. 5295, pp. 502–504, 1971.

[22] A. P. Zent, R. C. Quinn, and B. M. Jakosky, "Fractionation of nitrogen isotopes on Mars - the role of the regolith as a buffer," Icarus, vol. 112, no. 2, pp. 537–540, 1994.

[23] A. P. Zent, F. P. Fanale, and S. E. Postawko, "Carbon-Dioxide adsorption on Palagonite and Partitioning in the Martian Regolith," Icarus, vol. 71, no. 2, pp. 241–249, 1987.

[24] A. P. Zent and R. C. Quinn, "Simultaneous Adsorption of CO₂ and H₂O under Mars-like Conditions and Application to the Evolution of the Martian Climate," J. Geophys. Res., vol. 100, no. E3, pp. 5341–5349, 1995.

[25] R. Hu, A. A. Bloom, P. Gao, C. E. Miller, and Y. L. Yung, "Hypotheses for Near-Surface Exchange of Methane on Mars," Astrobiology, vol. 16, no. 7, pp. 539–550, 2016.

[26] T. Inoue, A. Fujishima, S. Konishi, and K. Honda, "Photoelectrocatalytic reduction of carbon-dioxide in aqueous suspensions of semiconductor powders," Nature, vol. 277, no. 5698, pp. 637–638, 1979.

[27] M. Tahir and N. S. Amin, "Indium-doped TiO₂ nanoparticles for photocatalytic CO₂ reduction with H₂O vapors to CH₄," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 162, pp. 98–109, Jan. 2015.

[28] M. Tahir, B. Tahir, and N. S. Amin, "Photocatalytic CO₂ reduction by CH₄ over montmorillonite modified TiO₂ nanocomposites in a continuous monolith photoreactor," *Mater. Res. Bull.*, vol. 63, pp. 13–23, Mar. 2015.

[29] S. N. Habisreutinger, L. Schmidt-Mende, and J. K. Stolarczyk, "Photocatalytic Reduction of CO₂ on TiO₂ and Other Semiconductors," *Angew. Chemie-Internation Ed.*, vol. 52, no. 29, pp. 7372–7408, 2013.

[30] I. A. Shkrob, N. M. Dimitrijevic, T. W. Marin, H. He, and P. Zapol, "Heteroatom-transfer coupled photoreduction and carbon dioxide fixation on metal oxides," *J. Phys. Chem. C*, vol. 116, no. 17, pp. 9461–9471, 2012.

[31] M. Anpo, H. Yamashita, Y. Ichihashi, and S. Ehara, "Photocatalytic reduction of CO₂ with H₂O on various titanium-oxide catalysts," *J. Electroanal. Chem.*, vol. 396, no. 1–2, pp. 21–26, 1995.

[32] I. A. Shkrob, T. W. Marin, H. He, and P. Zapol, "Photoredox Reactions and the Catalytic Cycle for Carbon Dioxide Fixation and Methanogenesis on Metal Oxides," *J. Phys. Chem. C*, vol. 116, no. 17, pp. 9450–9460, 2012.

[33] I. A. Shkrob, S. D. Chemerisov, and T. W. Marin, "Photocatalytic Decomposition of Carboxylated Molecules on Light-Exposed Martian Regolith and Its Relation to Methane Production on Mars," *Astrobiology*, vol. 10, no. 4, pp. 425–436, 2010.

[34] S. Civiš, M. Ferus, A. Knížek, P. Kubelík, L. Kavan, and M. Zúkalová, "Photocatalytic transformation of CO₂ to CH₄ and CO on acidic surface of TiO₂ anatase," *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 56, pp. 80–83, 2016.

[35] F. Raulin, C. McKay, J. Lunine, and T. Owen, "Titan's Astrobiology," in *Titan from Cassini-Huygens*, J. Brown, R. H. and Lebreton, J. P. and Waite, Ed. PO BOX 17, 3300 AA DORDRECHT, NETHERLANDS: Springer, 2009, pp. 215–233.

[36] W. T. Sullivan and J. Baross, *Palents and life: The Emerging science of astrobiology*. Cambridge University Press; 1 edition, 2007.

[37] C. Chyba and C. Sagan, "Endogenous Production, Exogenous Delivery and Impact-Shock Synthesis of Organic Molecules - an Inventory for the Origin of Life," *Nature*, vol. 355, no. 6356, pp. 125–132, 1992.

[38] S. Civiš, R. Szabla, B. M. B. M. Szyja, D. Smykowski, O. Ivanek, A. Knížek, P. Kubelík, J. E. Šponer, M. Ferus, J. E. Šponer, A. Knizek, P. Kubelik, J. J. E. Sponer, M. Ferus, and J. J. E. Sponer, "TiO₂-catalyzed synthesis of sugars from formaldehyde in extraterrestrial impacts on the early Earth (vol 6, 23199, 2016)," *Sci. Rep.*, vol. 6, 2016.

[39] M. Civiš, M. Ferus, A. Knížek, P. Kubelík, M. Kamas, P. Španěl, K. Dryahina, V. Shestivska, L. Juha, P. Skřehot, V. Laitl, and S. Civiš, "Spectroscopic investigations of high-energy-density plasma transformations in a simulated early reducing atmosphere containing methane, nitrogen and water," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 18, no. 39, 2016.

[40] M. Ferus, F. Pietrucci, A. M. Saitta, A. Knížek, P. Kubelik, O. Ivanek, V. Shestivská, and S. Civiš, "Formation of Nucleobases in a Miller-Urey Reducing Atmosphere," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. Wi, 2017.

[41] M. Ferus, A. Knížek, and S. Civiš, "Meteorite-catalyzed synthesis of nucleosides and other prebiotic compounds," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 112, no. 23, 2015.

[42] J. D. Sutherland, "The Origin of Life-Out of the Blue," *Angew. Chemie-Internation Ed.*, vol. 55, no. 1, pp. 104–121, 2016.

[43] R. Saladino, C. Crestini, S. Pino, G. Costanzo, and E. Di Mauro, "Formamide and the origin of life," *Phys. Life Rev.*, vol. 9, no. 1, pp. 84–104, 2012.

[44] T. M. McCollom, "Miller-Urey and Beyond: What Have We Learned About Prebiotic Organic Synthesis Reactions in the Past 60 Years?," in *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 41, vol. 41, 2013, pp. 207–229.

[45] J. I. Lunine, "Physical conditions on the early Earth," *Philos. Trans. R. Soc. B - Biol. Sci.*, vol. 361, no. 1474, pp. 1721–1731, 2006.

[46] J. Jortner, "Conditions for the emergence of life on the early Earth: summary and reflections," *Phylosophical Trans. B*, vol. 1474, no. 361, pp. 1877–1891, 2006.

[47] L. E. Orgel, "Prebiotic chemistry and the origin of the RNA world," *Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.*, vol. 39, no. 2, pp. 99–123, 2004.

[48] E. A. Bell, P. Boehnke, T. M. Harrison, and W. L. Mao, "Potentially biogenic carbon preserved in a 4.1 billion-year-old zircon," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 112, no. 47, pp. 14518–21, Nov. 2015.

[49] M. Ferus, S. Civis, A. Mladek, J. E. J. Sponer, L. Juha, and J. E. J. Sponer, "On the Road from Formamide Ices to Nucleobases: IR-Spectroscopic Observation of a Direct Reaction between Cyano Radicals and Formamide in a High-Energy Impact Event," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 134, no. 51, pp. 20788–20796, 2012.

[50] S. Civis, A. Knizek, O. Ivanek, P. Kubelik, M. Zukalova, L. Kavan, M. Ferus, "The origin of methane and biomolecules from a CO₂ cycle on terrestrial planets", *Nature Astronomy*, Vol.1 Issue: 10, Pp 721–726, 2017.

[51] M. Ferus, D. Nesvorný, J. Sponer et al., High-energy chemistry of formamide: A unified mechanism of nucleobase formation, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Volume: 112, Issue: 3, Pages: 657–662, Published: JAN 20 2015.

[52] M. Peplow, ASTROCHEMISTRY Mars rover studies organics and methane Two papers report data from Curiosity's search for signs of martian life, *CHEMICAL & ENGINEERING NEWS*, Volume: 96, Issue: 24, Pages: 4–4, Published: JUN 11 2018.

[53] R. Ch. Webster, Mahaffy, R. Paul, Atreya, Sushil K. et al., Background levels of methane in Mars' atmosphere show strong seasonal variations, *SCIENCE*, Volume: 360, Issue: 6393, Pages: 1093, Published: JUN 8 2018.

prof. RNDr. Svatopluk Civiš CSc.
vědecký pracovník v týmu PartPhys

Inspirace ze světa a první představy

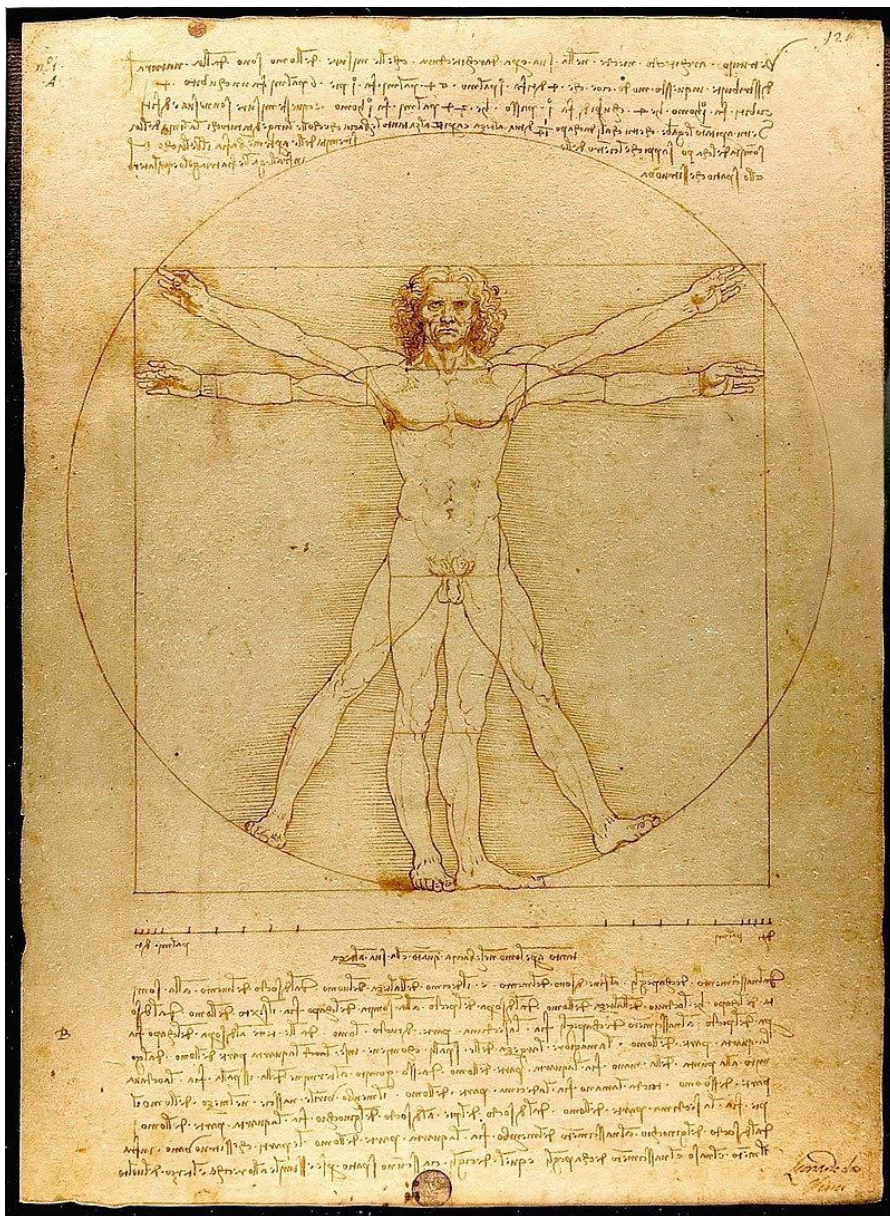
Už od počátku bylo cílem tohoto projektu iniciovat aktivní dialog mezi umělci a vědci a zároveň vytvořit mezifakultní propojení a platformu, která může představovat (nabízet) výsledky takovéto spolupráce širšímu publiku. V době, kdy se složité sociální, ekonomické a kulturní procesy a témata stávají předmětem každodenního života, je nepochybné, že moderní svět je ve velké míře založen na nových technologiích, estetice současných medií a komunikaci požadovaného obsahu. Hlavním cílem tohoto projektu bylo tedy inovativní propojení současného vědeckého výzkumu a stávajících postupů a praxe v oblasti vizuálního umění.

Prvním krokem ke zdárnému konci bylo vytvoření prostoru pro setkávání všech stran, kde mohlo dojít k tomuto dialogu. Tento prostor vznikl primárně z iniciativy IIM na FEL na několika společných workshopech. Zde se diskutovalo nad možnostmi spolupráce vědních a uměleckých oborů, nad formou, jakou může tato spolupráce probíhat a jaká je její primární funkce. Součástí tohoto dialogu byl i pohled do minulosti a současnosti vědecko-umělecké kooperace.

Pohled do minulosti

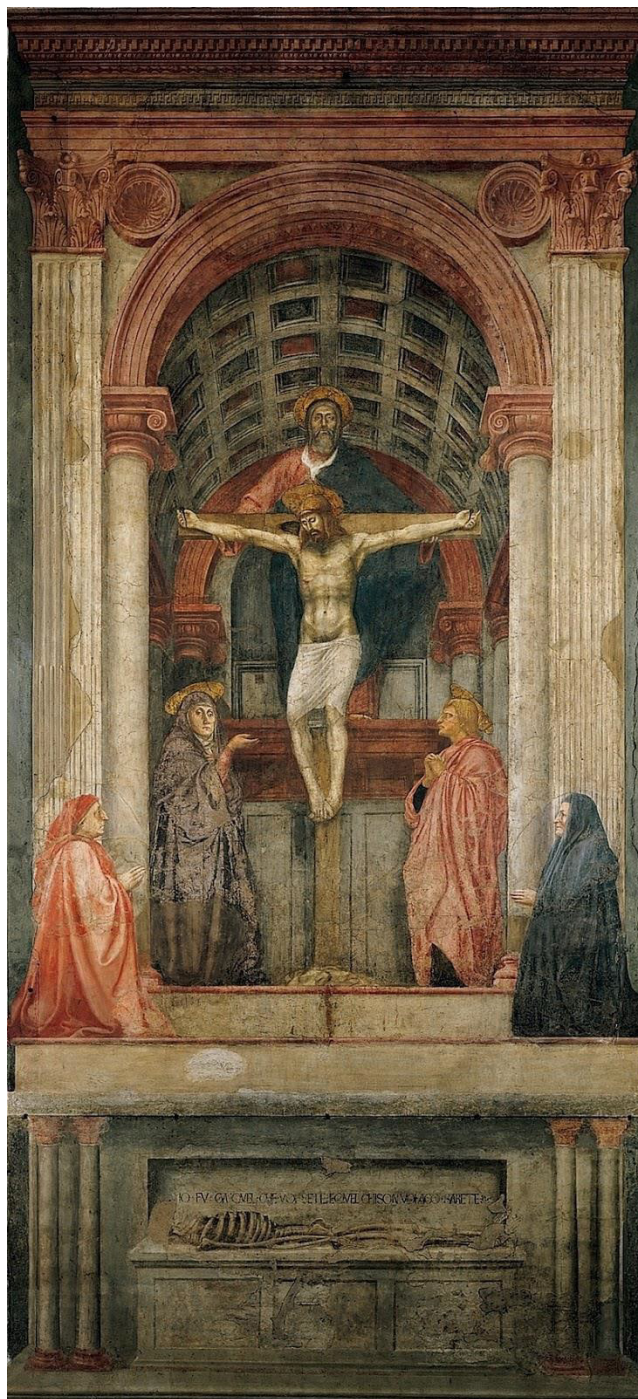
Na první pohled se může zdát, že propojení či spolupráce vědy a umění je věcí novodobé historie. Při pohledu blíže však můžeme pozorovat tyto tendence mnohem dříve. Z části se jedná o inspiraci různými vědními obory, zejména matematikou, geometrií či biologií, jindy o využití fyzikálních zákonů nebo nových technologií při tvorbě uměleckého díla.

Fascinace vědou se do umění začíná výrazně promítat v průběhu renesance. V tomto období dochází k výraznému kulturnímu, společenskému i ekonomickému rozvoji. Úroveň obecné vzdělanosti stoupá, pohled se obrací více k člověku a rozvíjejí se přírodní vědy. Objevuje se nově vědecký základ v umění, kdy se řada umělců zabývala anatomií, optikou a technologiemi, které pak užívali ve své tvorbě. Typickým příkladem je užití perspektivy v malbě a kresbě či odlévání soch z bronzu.



Díky znovuobjevení perspektivy umělci v čele s Masacciem experimentují s perspektivou, zobrazují prostor a vytvářejí iluzi hloubky. Příkladem může být freska Svatá trojice od Masaccia nebo Rafaelova Athénská škola.

Obrázek 1 - Vitruviánský muž, Leonardo da Vinci, credit: Luc Viatour, <https://Lucnix.be>.



Obrázek 2 - Svatá trojice, Masaccio, 1425-1427, credit: wikipedia.org.

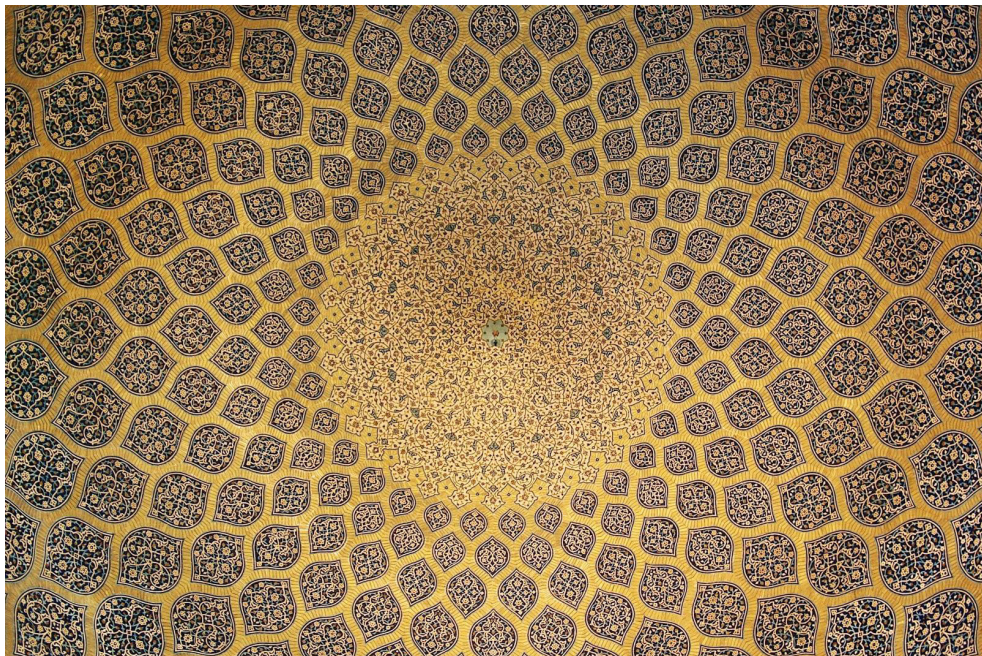


Zajímavým způsobem s prostorem pracoval i jeden z nejznámějších nizozemských renesančních malířů Jan van Eyck. Čím dále se objekt na jeho obrazech nachází, tím jemnější lineární hrany má. Vytvořením atmosférického efektu dává prostoru kontinuitu a vzniká tak prostor, který připomíná skutečný svět tak, jak ho vidí oko. Jeho obraz Svatba manželů Arnolfiniových je považován za jeden z nejoriginálnějších a nejsložitějších v západním umění. Použitím geometrické ortogonální perspektivy a rozšířením obrazového prostoru použitím zrcadla vzniká do té doby nevídaná iluze prostoru.

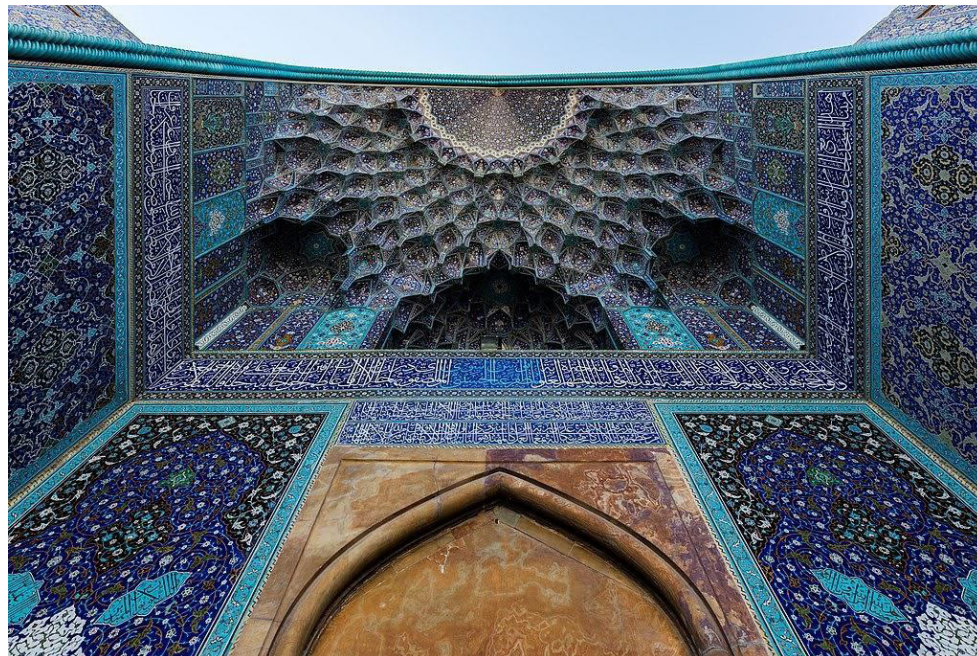


Jiným příkladem, který se historicky objevuje ještě před renesancí, je islámské umění. Inspirace vědeckými, zejména matematickými a geometrickými poznatky pramení ze zákazu vyobrazování živých bytostí. Islámští umělci a řemeslníci proto často využívali symetrie a vytvářeli tak komplikované, fascinující ornamenty, ale i stavební prvky. Jako příklad mohou sloužit ornamentální výzdoby či architektonické prvky mešit.

Obrázek 4 - Svatba manželů Arnolfiniových, Jan van Eyck, 1434, credit: wikipedia.org.



Obrázek 5 – Strop v mešitě Sheikh Lotfollah v Íránu. credit: Phillip Maiwald (Nikopol) – Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8716638>.



Obrázek 6 – Diego Delso. credit: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mezquita_Shah_Isfah%C3%A1n_Ir%C3%A1n_2016-09-20_DD_64.jpg

Současné vědecko-umělecké projekty



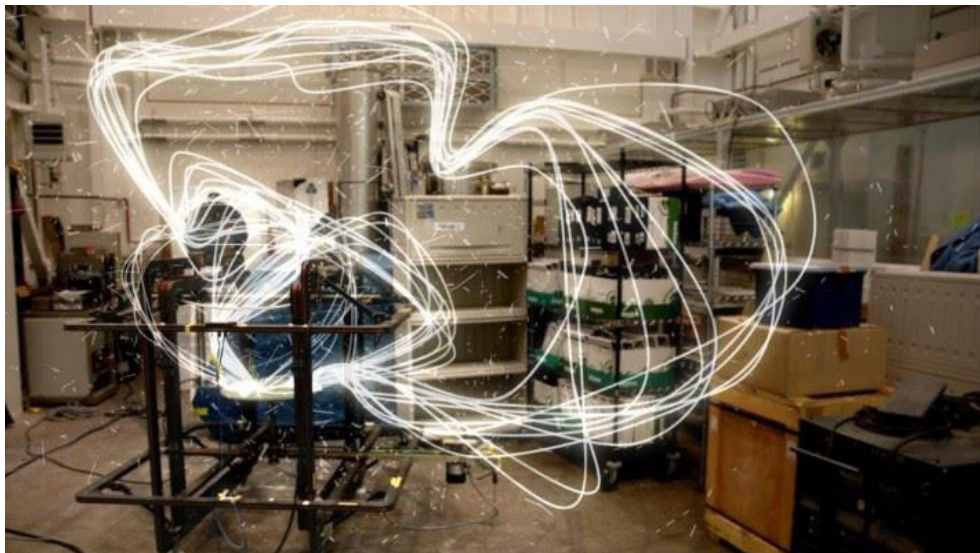
Od minulého století až do současnosti se kooperace umění a vědy projevuje již více koncepčně. Ve 40. letech vytváří Max Ernst řadu děl inspirovaných kmitáním. Ernst využívá kyvalda naplněného barvou a vytváří tak Lissajousovy křivky.

Obrázek 7 – Max Ernst vytváří Lissajousovy křivky, New York, 1942, credit: <http://plumedepломbe.blogspot.com/2012/04/max-ernst-levity-and-gravity-in-his.html>



V roce 2007 se Julian Voss-Andreae inspiroval teorií Luise de Broglieho, že všechno s hmotností, od elektronů a protonů po auta a lidi, má také vlnovou délku. Pokud bychom vytvořili správné okolnosti, mohli bychom teoreticky vytvořit paprsek lidí, kteří se chovají jako vlna. I když tento experiment pravděpodobně nikdy neproběhne, Julian Voss-Andreae našel jiný způsob, jak změnit člověka na vlnu. Jeho socha Quantum Man II sestává z řady ocelových plechů, které při pohledu z jednoho úhlu vytvářejí obraz člověka, ale při pohledu z jiného téměř zmizí.

Obrázek 8 – Kvantový muž II, 2007, Julian Voss-Andreae, credit: https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_Man



Ve stejném roce také britská dvojice umělců Semiconductor spolupracuje s laboratořemi NASA a vytváří umělecký projekt video-montáží, zobrazujících tajný život neviditelných magnetických polí.

Obrázek 9 – Magnetic Movie, Semiconductor, 2007, credit: semiconductorfilms.com.

Obrázek 10 – Star Storm, 2017, Aoife van Linden Tol, Ars Electronica 2017, credit: <http://www.aoifevanlindentol.com>.



V neposlední řadě stojí za zmínku multidisciplinární umělkyně Aoife van Linden Tol. Ta vytváří abstraktní díla, která často zkoumají koncept času, hustoty a hmoty a také hluboké lidské emoce a motivace. V rámci festivalu Ars Electronica 2017 vytvořila dílo s názvem Star Storm, které bylo navrženo jako emocionální i fyzická cesta, vytvářející jedinečný, silný a poetický zážitek, který divákům umožňuje nahlédnout do samotné podstaty našeho vesmíru a jejich vlastního místa v něm.

Všechna tato umělecká díla mají jednu věc společnou – a tou je fascinace vědou. I proto se stala prvotní inspirací při vzniku artefaktu.

MgA. Jitka Frouzová
editorka

Návrh artefaktu a inspirace

Jedním z cílů propojení vědy a umění v rámci probíhající mezifakultní spolupráce bylo vytvoření určitého artefaktu či sochy. Sochy, která zhmotňuje součinnost fakult a zároveň popularizuje vědu a dění na „jaderce“. Zdrojem inspirace pro vytvoření sochy či artefaktu byl zejména dialog mezi umělci a vědci a komunikace v rámci řady workshopů. Podmínkou pro vznik, v počátku neurčitěho díla, bylo vzájemné porozumění a proniknutí do oborů částicové fyziky vizuálního umění. Zadáním bylo v první řadě vyjádření vědeckých poznatků či fyzikálních dějů uměleckým jazykem. Vznikající návrh balancoval na hranici abstraktního a konkrétního zobrazování a snažil se zprostředkovat zážitky z částicové fyziky i pozorovatelům z širší veřejnosti.

Vývoj návrhu započal prvním společným setkáním jednotlivých účastníků všech tří zapojených fakult. V rámci počátečního workshopu, který se uskutečnil na Institutu intermédií na Fakultě elektrotechnické v Dejvicích, došlo k seznámení všech účastníků a započaly prvotní diskuse o vznikající soše. Zásadní součástí byla řada přednášek fyziků, jejichž cílem bylo vysvětlit, či alespoň přiblížit to, čemu se v rámci svého výzkumu věnují. Na základě toho se rozvíjely diskuse o počátku vesmíru, jeho chování, o kolizích částic, o CERNu a dalších tématech, která umělce zajímala. Z těchto dialogů vzešly první inspirace pro vznikající sochu, které pak návrh provázely až do konce. Hlavní inspirací byl střet jader a dimenze prostoru.

Zásadní pro vznik sochy bylo také její umístění. Pro autory je to jeden z nejdůležitějších parametrů. Proto bylo důležité vybrat prostor, který by se sochou vhodně korespondoval. Na začátku jasná představa nebyla, ale bylo podmínkou, aby se s ní mohli setkat i lidé mimo fakultu jaderné fyziky. Postupně se proto začalo uvažovat o prostoru v dejvickém kampusu před Národní technickou knihovnou. Výhodou je dostatek volného prostoru a možnost komunikace s větším množstvím lidí, a tudíž potencionální interaktivita sochy.

Samotný koncept se vyvíjel postupně jako reakce na informace získané v rámci uskutečněných workshopů. Socha od počátku vznikala jako vizualizace výzkumu FJFI a cílem bylo vytvořit něco, co bude narativně vyprávět příběh. V průběhu návrhu artefaktu se zvažovala řada variant, včetně přenášení dat z CERNu v reálném čase. Možností byla integrace datového zdroje a vytvoření sochy jako nosiče vizuální informace, distribuované skrze dataprojektor či lasery. Pracovalo se s možnostmi transpozice reálného obrazu z CERNu nebo odkudkoliv jinud do materiálu sochy, ale nakonec se od něj upustilo z řady důvodů, včetně toho, že množství dat vyprodukované v CERNu je obrovské a výsledek by byl nesrozumitelný.

Proces vzniku sochy byl v podstatě dialogem mezi dvěma autory – prof. ak. soch. Marianem Karlem a Doc.MgA. Josefem Šafaříkem, Ph.D. Profesor Karel stojí primárně za formální stránkou sochy, což je skleněná skulptura, která funguje jako formát zprostředkující finální interakci. Konceptu zobrazování informací vytvářel docent Šafařík. Tato koncepce reaguje na téma a využívá k tomu principu interference. Interference je jev, se kterým pracuje řada současných umělců, včetně Anishe Kapoora, Olafura Eliassona a jiných. Zde jsou použity platné interferenční vzory novou formou a vytváří tak optický klam vícerozměrného prostoru. V kombinaci s formou navrženou profesorem Karlem socha umožňuje divákovi, aby s ní interagoval a ztrácel se v ní.

Výsledný návrh a technické detaily

Socha vznikala z náročného zadání, které se odvíjí od výzkumu fyziků na FJFI. Přestože řadě z nás se může výzkum probíhající na Fakultě jaderné fyziky zdát abstraktní až neuchopitelný, zadání pro vznikající artefakt bylo relativně dost konkrétní. To bylo v počátku svazující, ale v průběhu navrhování došli autoři k rozhodnutí zvolit co nejabstraktnější formu. Rozhodli se nezaměřit se na něco moc popisného a konkrétního a místo toho se vydali cestou volného znázorňování. Sochu se pokusili udělat pasivní a odhmotněnou. Vznikla socha tvořená dvěma skleněnými deskami odsazenými od sebe na diagonálu. Na deskách je umístěn oboustranný grafický interferenční vzor. Ten se na sklo nanáší pomocí UV tisku a následně se zapeče. Na sklo se nanáší pomocí folie, díky čemuž je vzor zespoda černý a svrchu bílý. Díky průhlednosti skla jsou obě barvy folie vidět a při pohledu na vzor se tak vytváří iluze prostorového pohybu. Proto dochází k iluzi dekonstrukce prostoru uvnitř, ale i vně sochy.

Iluze a dekonstrukce prostoru je fenomén, který autory vždy velmi zajímal. Zde využívají možnosti sochy absorbovat děj okolí a vytvářejí tak hyperstrukturální děj, kde se mísí realita s fikcí. Realitou je socha s grafickým vzorem, do které vstupuje jeden z pozorovatelů, aniž by si uvědomoval nějakou změnu. Zároveň je zde druhý pozorovatel, který celý proces pozoruje zvnějšku. Pozoruje prvního, jak vstupuje do reality sochy a mizí díky interferenčnímu vzoru. Vznikají tedy tak dvě reality.

Socha je zároveň vizuálně ohraničena světelným kruhem, který slouží jako ohraničení prostoru.

Rozhovor s autory artefaktu Marianem Karlem a Josefem Šafaříkem

Co vás inspirovalo při navrhování artefaktu?

Marian Karel:

Zásadní inspirací byl pro mě první společný workshop s jadernými fyziky. Tam jsem prvně zmiňoval, že mám rád, když klasicky trojrozměrná socha má i čtvrtý rozměr. Už nevím kdo, ale někdo tam řekl, že oni pracují dokonce s devíti rozměry. Já jsem se tomu zprvu smál, ale pak mě to začalo zajímat, protože mě obvykle tyhle vědecké záležitosti fascinují. Dali jsme se do řeči a řekli si, že uděláme takovou sochu jako iluzi prostoru – iluzi těch rozměrů. Sklo vnímám jako materiál, který ten čtvrtý rozměr má. Někdy je průhledné, jindy ne. Sklo dokáže prostor rozfázovat, to kostka žuly nedokáže.

U sochy mě obecně zajímá prostor, světlo a hmota. Vznikající artefakt by měl být zároveň statický i proměnlivý. Socha podle mě není nikdy hotová, nikdy neřeknu: „Jo to je hotový“, a jdu od toho. Vždy je to vývoj a je důležité s k věcem vracet a reflektovat je.

Josef Šafařík:

Já se v rámci návrhu soustředím primárně na multimediální obsah artefaktu. Hlavní inspirací pro tuto část pro mě bylo jádro a s ním spojený výzkum. To, co vzniká při srážce. Bod srážky není jen bod – když dojde ke srážce, vystřelí miliarda částic. Tento fenomén jsem se pokusil do artefaktu vnést. Vytvořil jsem grafický vzor, který pomocí interference tyto děje znázorňuje.

Jak významné bylo místo umístění při návrhu tohoto artefaktu?

Marian Karel:

Místem to vždy začíná. Ve chvíli, kdy se vybere místo, tak se o tom teprve začíná přemýšlet.

Josef Šafařík:

Místo je samozřejmě zásadní. Na začátku ta představa o umístění nebyla úplně jasná. Prvně se přemýšlelo o umístění na fakultě jaderné fyziky, ale tam nebyl pro artefakt dostatečný prostor. Také pro nás bylo důležité, aby plastika fungovala pro lidi i mimo fyziku, i proto, že zadáním byla popularizace výzkumu, který na fakultě probíhá. Chtěli jsme, aby plastika komunikovala s větším prostorem a větším množstvím lidí. Místo, které jsme navrhovali, byl prostor dejvického kampusu mezi knihovnou NTK a VŠCHT. Prostor je tam volný, takže má socha dostatek místa. Místo umístění sochy zároveň stojí na ose kampusu, takže sochou mohou lidé procházet. Vzhledem ke komplikacím se zábořem místa pro artefakt bylo však nakonec vybráno místo v areálu děčínské FJFI.

Marian Karel:

Pro mě je opravdu důležitý kontakt sochy s lidmi. Oni soše teprve dávají měřítko a bez nich plastika nefunguje. Hodně jsme řešili možnosti natočení sochy v rámci osy a to, jestli jí mají lidi opravdu procházet, nebo k ní přijít zpřima.

Co obnáší navrhování sochy do veřejného prostoru?

Josef Šafařík:

Vzniká-li taková socha, její realizace je vždy složitá. Naštěstí se návrh líbil i panu rektorovi, se kterým jsme měli společně s kolegy z fyziky schůzku. Souhlasil, že návrh je natolik abstraktní a přesahuje rámec tématu, a že by to bylo vhodné do prostoru kampusu. Pak jsme narazili na to, že to místo musí mít stavební povolení. Časem se ale připojily komplikace, které vedly k změně lokace na areál FJFI v Děčíně. Otázkou byl pochopitelně také rozpočet. Ten byl na takovou realizaci relativně nízký. Naštěstí i díky i tomu, že se návrh líbil, angažovalo se v projektu více stran a projekt dodatečně finančně podpořili.

Jak se do návrhu promítla mezifakultní spolupráce?

Josef Šafařík:

Přestože jsme my jako autoři vytvořili artefakt po formální i koncepční stránce, ostatní fakulty se na procesu pochopitelně podíleli. Z FJFI přišlo zadání, které nebylo jednoduché, ale bylo jasné a reálné. Ze strany fyziků jsme cítili podporu a oceňovali jsme jejich otevřenost a vnímavost. Co jsme pochopitelně také ocenili, bylo to, že nebylo nutné dělat moc velké kompromisy koncepčně. Fakulta elektrotechnická se zase postarala o uspořádání workshopů a zprostředkování veškeré komunikace mezi jednotlivými účastníky.

Narazili jste v průběhu navrhování na nějaký problém?

Marian Karel:

Na problémy se naráží pořád, to k tomu patří. Je to, jako když luštíš křížovku. Vždycky si večer říkám, že už jsem to vymyslel a ráno, když to vidím, tak si myslím, že je to kravina. To mě na tom baví. Hodně záleží i na lidech se kterými člověk spolupracuje. Když jsou dobří, tak je dobrý všechno.

Josef Šafařík:

Čím více lidí pracuje na projektu v umění či designu, tím je to komplikovanější. Vznikají vnitřní třenice, ale to k tomu patří. Nicméně na jeden konkrétní technologický problém jsme narazili. Součástí návrhu jsou dvě velká skla, která mají na sobě natisknutý grafický vzor (obr.1). Vzorek se tiskne speciální technologií a následně se vypéká. Ale pece, ve kterých se to peče, mají jen určité rozměry a my jsme v průběhu zjistili, že se nám tam grafický formát nevejde. Proto jsme pak museli koncept a rozměry upravovat.

Hlavním použitým materiálem je sklo. Zvažovala se i jiná materiálová varianta?

Marian Karel:

Ne, nezvažovala. A není to jen proto, že já primárně pracuji se sklem. Je to zejména proto, že to sklo je průhledné a nechá se pracovat s jeho zrcadlivostí. Pod jedním úhlem to vypadá tak, pod jiným zas jinak. To jiný materiál neudělá. Zejména pro tu možnost zmizení, kdy člověk prochází, je průhlednost nutná. Je to takové kouzlo. Vyvolává to otázky, a to mám rád. Díky sklu se může dostat exteriér do interiéru a naopak. To propojování prostorů a dialog s člověkem je na tom to nejlepší.

Popište, prosím, výsledný návrh...

Marian Karel:

Návrh se v průběhu částečně proměňoval. Původně to měly být dvě takové nakloněné, zlomené tabule skla, zapuštěné do země a odstupem od sebe pro průchod člověka. Nakonec jsou ale zapuštěné kolmo. Jsou blízko k sobě, aby spolu vedly jakýsi dialog. Velmi důležité je to měřítko. Já jsem chtěl, aby to mělo minimálně 3x3 metrů, aby to fungovalo s člověkem, který by tím mohl projít.

Josef Šafařík:

U sochy jsou pak využity grafické vzory, které fungují na principu interference. Vzory se kříží a vytváří tak další iluzivní tvary. Interferenci vytváří vzor vytištěný na těch dvou skleněných deskách stojících vedle sebe. Vytváří to jakési chvění. Samy jsou statické, na skle, ale když je člověk obchází, dochází k jejich rozechvění. Z jednoho bodu

se najednou stane „nepočitatelné množství“ teček. Zde je právě paralela s fyzikálním jevem střetu jader. Cílem bylo znázornit jednoduchým postupem náročný proces a strukturální děj. Zároveň člověk, který prochází touto plastikou, mizí. Mizí právě díky těmto vzorům, je rozfázovaný, zmatený a dekonstruovaný. Plastika reprezentuje proces – počátek – zrození i smrt – Velký třesk. Tohle jsou všechno fenomény, které se těžko znázorňují, ale myslím, že právě skrz tyto optické klamy to je možné.

Socha sama o sobě zároveň bez lidí nemá smysl. Funguje, pokud má uživatele a pozorovatele. Proto je důležité její umístění.

Návrh – první představy

Odpovídá vedoucí Institutu intermédií Roman Berka:

Při plánování projektu měl být jako jeden z výstupů navržen artefakt umístěný do veřejného prostoru. Proč jste zvolili tuto formu prezentace?

V projektu jde především o prezentaci výzkumu, ve kterém je česká vědecká komunita fyziků úspěšná. Zároveň český design je ve světě také známý. Proto se od začátku hledala forma, která tyto dvě profese spojuje, a která je současně prezentovatelná, jak před odbornou, tak i laickou veřejností. Forma artefaktu ze skla tyto předpoklady spojuje a nese v sobě potenciál vyjádřit procesy, které fyzici studují. V materiálu, který obecně považujeme za neživý, mohou probíhat interakce, které pak inspirují k mnoha dalším představám a myšlenkám.

Jaké fyzikální zákony, děje nebo motivy z výzkumů jaderných fyziků Vás inspirovaly k prvním návrhům artefaktu?

Úplně první moje představa byla spojena s procesy, které probíhají při srážce částic v urychlovači. Ta srážka je jako okno do zcela jiného světa, který existuje jen po velmi krátký okamžik a fyzik se pokouší tento proces zaznamenat a porozumět jeho zákonitostem. Z této představy se pak odvíjely další představy směřující k přemísťování mezi světy. Ve finále v určitý zlomový moment ale zvítězila jednoduchá varianta reagující na snadno pozorovatelné jevy související s jevem interference a také s možností propojení s autentickými daty v urychlovači ve švýcarském Cernu. Ta původní představa o zmizení do jiného světa a ta srážka částic ale v návrhu artefaktu zůstala zaintegrovaná, neboť jím člověk může projít a na chvíli zmizet. (Bohužel artefakt ještě nebyl zrealizován z důvodu složitějšího administrativního řízení, než se původně předpokládalo.)

Vaše pozice v diskusi o návrhu artefaktu je spíše ideová. Jako vedoucí projektu, který zastupuje Institut intermédií, je Vaším záměrem, aby artefakt byl interaktivní nebo funkční?

Ano, to je smyslem toho, proč v projektu IIM vůbec figuruje. Ona interakce však nemusí nutně vycházet z nějakého elektronického řešení. Právě spolupráce s ateliérem prof. Mariana Karla často vede k řešení využívající světlo pouze pasivně a není potřeba žádná další energie. Návrh vznikajícího artefaktu ale obsahuje obě složky – pasivní i aktivní. Bude však otázkou, jestli se v rámci finálního procesu při realizaci projektu podaří všechny tyto komponenty udržet pohromadě. Často se totiž stává, že se musí ustupovat různým technickým a administrativním těžkostem.

Interaktivita

V tomto konkrétním případě plastiky od Mariana Karla a Josefa Šafaříka se pohybujeme ve dvou rovinách interpretace. Fyzická rovina objektu je nasnadě. Efekt „moiree“ je způsoben změnou pozorovacího úhlu pohledu diváka, který se stává aktivním pozorovatelem, (jeho pohled je zachycen) ve chvíli kdy objekt „zahlédne“. V této chvíli se objekt začíná měnit v interakci s pohybem v prostoru kolem něj...

Další konkrétní, od začátku diskutovaná vlastnost, je světelný prstenec zapuštěný do nejbližšího okolí plastiky. Jeho podoba souvisí s půdorysem známého urychlovače částic LHC ve švýcarském CERNu. Pokud se zaujatý pozorovatel přiblíží k plastice, uvidí, že kolem ní, po zemi, probíhá vysokou rychlostí „paprsek světla“. Prstenec je konstruován jako inteligentní světelná lišta, která má možnost komunikace přímo s monitorem aktivit na experimentech v CERNu. Internetové i offline rozhraní je přístupné (pro konfiguraci efektů na dálku). Zde se nacházíme ve druhé rovině „abstraktní interpretace dat“.

Umístění artefaktu

Mimo funkce estetické byla od začátku pro artefakt důležitá i rovina prezentační. Artefakt měl reflektovat výsledky výzkumu jaderných fyziků formou uměleckého díla. Pro úvahu o jeho umístění, proto bylo rozhodující místo, které buď souvisí se sídlem Fakulty jaderné fyziky ČVUT (ul. Břehová na nábreží Vltavy) nebo s ČVUT obecně, protože se na vzniku díla podílí i další pracoviště a fakulty. O správném místě pro artefakt se ale mluvilo i v souvislosti s tím, že výsledky práce fyziků je prezentovat především veřejnosti, která je s výsledky výzkumu našich odborníků seznámena jen velmi málo.

Parametry pro usazení artefaktu – v našem případě sochy, tedy bylo třeba vybírat s ohledem na tyto skutečnosti a samozřejmě i na estetickou hodnotu okolního prostředí.

Na začátku diskuse padlo několik návrhů. V první řadě se mluvilo o variantách umístění uvnitř či vně budovy FJFI v ulici Břehová. Takové umístění by bylo zcela logické ve vztahu k sídlu fakulty. Varianta uvnitř byla zamítnuta hned zpočátku, protože by tak socha zůstala skryta náhodným kolemjdoucím a byla by na očích maximálně samotným fyzikům nebo návštěvníkům fakulty. Mluvilo se tedy o možnosti artefakt zasadit do ulice Břehová, na nábreží, nebo do prostoru náměstí Jana Palacha. I tato varianta se nám ale nejevila jako nejšťastnější – zprvče část nábreží v blízkosti fakulty není tolik frekventovaná, naopak náměstí Jana Palacha je velmi exponované a v jeho okolí se nacházejí další instituce, včetně Umělecko-průmyslové školy. Zasazení artefaktu by proto mohlo působit dojmem, že jde o instalaci díla UMPRUM, nikoli ČVUT FJFI.

Proto se začalo uvažovat o vzdálenější variantě v kampusu ČVUT Dejvice. Tato možnost dostala zelenou. Umístění bylo naplánováno do blízkosti Národní technické knihovny (NTK).

Byla by to logická volba vzhledem k blízkosti Fakulty architektury, jež se na vzniku sochy podílela – její autor Marian Karel je mimo jiné i autorem další sochy v kampusu před budovou Elektrotechnické fakulty.

NTK je oblíbeným a často navštěvovaným místem kampusu. Kolem knihovny denně procházejí tisíce lidí – nejen studentů a pedagogů, ale i kolemjdoucích z okolí. Na náměstí před NTK je v pěkných dnech možnost usadit se na zahrádce kavárny nebo na lavičkách, prostranství je otevřené a architektonicky čisté. Také materiál artefaktu, který tvoří především sklo, je v symbióze s budovou knihovny i dalšími budovami.

Bohužel, toto umístění, ač se jevílo jako nejlepší, se časem stalo administrativně a technologicky velmi náročným a téměř nerealizovatelným. Zprvče – administrativní řešení umístění sochy do veřejného prostoru má vlastní pravidla – je nutno komunikovat se zástupci Městské části na několika úrovních a odborech, s představiteli univerzity a kampusu i s dalšími zúčastněnými stranami. Zapuštění artefaktu – sochy do prostoru před knihovnou se také ukázalo podstatně technologicky náročnější a nákladnější, než jsme předpokládali. To vše jsme byli připraveni vyřešit a zdálo se, že také úspěšně vyřešíme. Nakonec jsme od umístění opět museli upustit. Narazili jsme na překážku v podobě dlouhodobého záboru prostranství, na kterém měla být socha umístěna.

Proto jsme po několika dalších jednáních rozhodli o novém umístění a v současnosti jsme připraveni sochu usadit mimo Prahu – do blízkosti pracoviště FJFI v Děčíně.

Závěr

Prvá etapa spolupráce v skupine PARTPHYS, ktorú sme realizovali v rámci stretnutí v Inštitúte Intermedii sa uzavrela rozhodnutím realizovať súčasnú podobu Tabula rasa v Dečíne, v rámci nového bulváru, ktorý citlivo oddelí starú a novú zástavbu v centre mesta. Reakcia hlavného mestského architekta je veľmi priaznivá a preto dúfam, že ďalší schvalovací proces bude rýchly. Spolupráca s kolegami z ateliéru Karel-Šafařík bola veľmi tvorivá. V ďalšej fáze projektu sa budeme sústrediť na realizáciu hudobno-tanečného predstavenia navrhnutého kolegom prof. Soukenkom. Zamýšľali sme jeho verejné predstavenie v rámci mezinárodného kongresu časticovej fyziky v Prahe v lete 2020, avšak z dôvodu pandémie COVID19 sa kongres ICHEP2020 uskutočnil vo virtuálnej forme. V nasledujúcom období budeme teda hľadať vhodnú príležitosť na realizáciu predstavenia v roku 2021. Uskutočnili sme sériu workshopov skupiny zameraných na spoločný prienik umenia a vedy. Ten posledný sme zamerali na využívanie virtuálnej reality. Budeme v nich pokračovať a mohli by sme im dať mezinárodný rozmer, napríklad jeden realizovať v Linzi počas festivalu ARS ELECTRONICA. Myslím, že možným ďalším námetom spoločných workshopov by mohlo byť využívanie divadelných techník v komunikácii vedy. Naša spolupráca sa rozbehla znamenite, vzájomné kontakty sa prehĺbili a je teda príhodné očakávať, že spolupráca prinesie ďalšie pozoruhodné výsledky.

V tejto publikácii, ktorá je prvou časťou niekoľkadielnej série, bol popísaný prvý spoločný výstup výskumného tímu z oblasti časticovej fyziky a designerského tímu, jehož cieľom bolo osloviť odbornou i laickú verejnosť a prezentovať ju formou sklenených plastík výskum, ktorý je pre väčšinu verejnosti veľmi abstraktný a ťažko srozumiteľný. Ako tvůrčí tím zde popisujeme proces vzniku plastiky, během něhož ale vznikalo mnohem víc. Společná cesta při hledání podoby uměleckého díla a jeho příběhu znamenala vzájemné prolnutí dvou velmi odlišných světů. Přenesení představ fyzika do světa designu a jejich kreativní reinterpretace přinášela velmi pozitivní odezvy ze strany výzkumníků a motivovala obě strany k další spolupráci.

Tím začaly další společné aktivity ve formě workshopů pro doktorské studenty realizované již s vědomím, že společná realizace konkrétního výstupu přinese mnoho nových pozitivních efektů. Jedním takovým společným výstupem bylo přenesení popularizační fyzikální prezentace do formy se scénickými prvky. Netradiční způsob řešení tak opět rozšiřuje obzor oběma stranám a dává mladým výzkumníkům nové, často v daném kontextu netradiční, možnosti. Spolupráce fyziků a designérů v rámci projektu CAAS je stále na počátku, ale již nyní je možné konstatovat, že pozitivní vzájemný vliv se projevil hned při prvních společných krocích. Další takové kroky chystáme i v následujících obdobích projektu a těšíme se na objevování nových možností a souvislostí z pohledu výzkumníků i umělců.

Medailonky přispěvatelů

Doc. Mgr. Jaroslav Bielčík, Ph.D.

vedoucí týmu jaderné fyziky (PartPhys)

Jaroslav Bielčík vyštudoval jadrovú a časticovú fyziku na Matematicko-fyzikálnej fakulte Univerzity Karlovej v Prahe a teoretickú fyziku na Univerzite v Bergene v Norsku. Počas doktorského štúdia na Technickej univerzite v Darmstadte v Nemecku pracoval ako vedecký pracovník v GSI Darmstadt, kde sa zaoberal prípravou experimentu HADES zameraného na štúdium vlastností horúcej a hustej jadrovej hmoty. V rokoch 2004–2007 pôsobil na Yalovej univerzite v USA a Brookhaven national laboratory. Zaoberá sa vlastnosťami pôvabných a krásnych kvarkov produkovaných v jadro-jadrových zrážkach. Je členom medzinárodných experimentálnych kolaborácií STAR v BNL a ALICE v CERN. Od roku 2007 pôsobí ako akademický pracovník na FJFI ČVUT a v súčasnosti vedie skupinu časticovej fyziky na katedre fyziky.

Ing. Roman Berka, Ph.D.

vedoucí týmu interakce

Ředitel Institutu intermédií a vysokoškolský pedagog vyučující na katedře počítačové grafiky a interakce. IIM založil v roce 2007 společně s Milošem Vojtěchovským a architektem Pavlem Bednářem. Doktorát získal na katedře počítačů ČVUT FEL. Pro IIM vytváří projekty a vyučuje multimédia a počítačovou animaci. Vytvořil několik kurzů v oblasti počítačové grafiky a animace. Zabýval se výzkumem v oblasti optimalizace výpočtů v aplikacích pro virtuální realitu. V současnosti se věnuje výuce, dále výzkumu v oblasti zpracování pohybových dat, virtuální realitě a vedení IIM.

Prof. Dr. Boris Tomášik

vědecký pracovník v týmu PartPhys

Boris Tomášik je profesorem na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze a UMB v Banské Bystrici. Zabývá se zejména jadernou fyzikou extrémních stavů hmoty, v jakých byl vesmír těsně po Velkém třesku. Na FJFI vede malou skupinu zaměřenou na fenomenologii srážek těžkých iontů. Studoval na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Komenského v Bratislavě a doktorát z fyziky získal na Univerzitě v Řezně. Působil na univerzitách v Charlottesville (Virginia, USA) a Kodani, a dva roky pracoval díky získanému stipendiu v Evropské organizaci pro jaderný výzkum (CERN).

Prof. RNDr. Svatopluk Civiš, DSc.

vědecký pracovník v týmu PartPhys

Profesor Svatopluk Civiš absolvoval Přírodovědeckou fakultu Univerzity Karlovy (Přf. UK, obor chemie, RNDr. 1980, CSc. 1986, prof. 2012). Od roku 1990 působí na Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského, AV ČR, kde vykonává funkci vedoucího oddělení Spektroskopie. V roce 1988 obdržel prestižní stipendium – Alexander von Humboldt Fellowship a na univerzitě Justuse Liebiga v německém Giessenu se věnoval studiu a experimentální detekci infračervených spekter molekulárních iontů. Po dvou letech v Německu se vrátil zpět do Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského, kde začal rozvíjet laboratorní techniky spektroskopie vysokého rozlišení. V roce 1992 obdržel pozvání od nositele Nobelovy ceny G. Herzberga a dva roky pracoval v Herzbergově institutu pro astrofyziku, NRC, v kanadské Ottawě. V roce 1994 se vrátil do mateřského ústavu a jeho současná vědecká činnost je zaměřena na především na aplikace využívající experimentální techniky spektroskopie s Fourierovou transformací ve spojení s lasery. Je autorem více než 180 publikací, byl a je řešitelem

nebo spoluřešitelem více než 20 mezinárodních (evropských, japonských) a českých (GA ČR, GA AV, AV ČR) projektů. Od roku 2015 zastupuje Českou republiku v Mezinárodní astro-nomické unii.

Mgr. Michal Broz, Ph.D.

vědecký pracovník v týmu PartPhys

Michal Broz vyštudoval jadrovú a subjadrovú fyziku na Fakulte matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave. Počas magisterského a doktorského štúdia v Bratislave sa zapojil do experimentu ALICE v CERNe kde sa venoval analýze prenosu baryónového čísla v protón-protónových zrážkach. Po skončení doktorského štúdia a ročnej stáži v CERNe sa stal post-dokom na Fakulte Jadernej ČVUT kde sa pripojil k skupine študujúcej fyziku ultra-periferálnych zrážok na ALICE experimente. V súčasnosti pôsobí ako odborný asistent na Fakulte Jadernej ČVUT a zaoberá sa fyzikou fotoprodukcie vektorových mezónov v ultra-periferálnych zrážkach, modelovaním foto-neutrónových interakcií jadier a intenzívne sa zapája do rôznych oblastí prevádzky ALICE experimentu na LHC.

Ing. Jakub Hybler

vývojář hardwaru pro interaktivní prvky

Nadšený všeuměl, inženýr a programátor, pracující pro řadu divadel-ních projektů v České republice a v zahraničí. Svěbytný umělec a vynálezce, schopný sdílet znalosti a svůj talent prostřednictvím workshopů v oblasti physical computing a světelného designu. Jako systémový designér a vývojář se podílí na technických návrzích pro evropské umělce. Dohlíží na splnění technických požadavků studentských i hostujících akcí. Je jedním ze zakládajících členů skupiny Handa Gote Research & Development. Spolupracoval

s různými firmami a umělci, např. Alfred ve dvoře, Divadlo Continuo, Krepsko, LightLab, MamaPapa nebo Pražské quadrienále. Podílel se rovněž na několika tanečních a choreografických projektech, které vznikaly v IIM. Vyučuje na FEL ČVUT. Specializuje se na výuku Physical computing. Vystudoval systémové inženýrství na Fakultě ekono-mické České zemědělské univerzity v Praze.

Doc. MgA. Josef Šafařík, Ph.D.

vedoucí týmu designerů, spoluautor artefaktu

Absolvent doktorandského studia na VŠUP v Praze, obory sklo v architektuře / aplikace nových technologií ve výtvarném umění. Věnuje se sochařství, novým médiím a medailérství. Má za sebou celou řadu samostatných i hromadných výstav, účastnil se několika sochařských symposií. Od roku 2009 působí jako odborný asistent v ateliéru Karel a v ateliéru výtvarné tvorby na ústavu průmyslového designu FA ČVUT u prof. ak. soch. Mariana Karla. U příležitosti slavnostního otevření budovy FA ČVUT v roce 2011 realizoval projekt Tetris a Laser CUBE. Festival světla SIGNAL v Praze obohatila jeho speciální videoprojekce Slunce. Je zastoupen v muzejních i soukromých sbírkách v Česku i zahraničí.

Prof. ak. sochař Marian Karel

spoluautor artefaktu

Marian Karel je vedoucí ateliéru Karel-Šafařík a vedoucí ústavu designu na FA ČVUT Praha, přední český sklářský výtvarník, sochař, tvůrce skleněných objektů a realizací v architektuře a vysokoškolský pedagog. Je členem Umělecké besedy.

Autoři: Jaroslav Bielčík, Roman Berka, Boris Tomášik, Svatopluk Civiš,
Michal Broz, Jakub Hybler, Josef Šafařík, Marian Karel, Jitka Frouzová
a Ilona Machová

Tabula rasa – hledání společného jazyka vědy a umění

K vydání připravily Jitka Frouzová a Ilona Machová.

Grafickou úpravu a sazbu navrhl a upravil Dávid Sívý.

Vydalo České vysoké učení technické v Praze, zpracovala Fakulta
elektrotechnická ve spolupráci s Fakultou jadernou a fyzikálně
inženýrskou a Fakultou architektury v roce 2021.

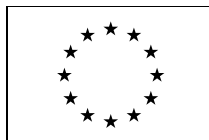
1. vydání elektronicky

ISBN: ISBN 978-80-01-06821-2

Publikace vznikla v rámci programu Částicová a jaderná fyzika
(PARTPHYS), podprogramu Jazyk pro komunikaci
VĚDA-UMĚNÍ-VEŘEJNOST.

Je součástí projektu Centra pokročilých aplikovaných přírodních věd
(CAAS) pod číslem CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000778.

CAAS je spolufinancován Evropskou unií.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
OP Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



**FAKULTA
ARCHITEKTURY
ČVUT V PRAZE**



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ČVUT V PRAZE**



**FAKULTA
JADERNÁ
A FYZIKÁLNĚ
INŽENÝRSKÁ
ČVUT V PRAZE**