

## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-14-0524****Štruktúra, reakcie a vzácné procesy atómových jadier**Zodpovedný riešiteľ **doc. Mgr. Stanislav Antalic, PhD.**Príjemca **Univerzita Komenského v Bratislave - Fakulta matematiky, fyziky a informatiky**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Univerzita Komenského v Bratislave - Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

-

### Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

-

### Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

A. Babič, S. Kovalenko, M.I. Krivoruchenko, and F. Šimkovic: "Interpolating formula for the  $0\nu$ -beta-beta decay, half-life in the case of light and heavy neutrino mass mechanisms", Phys. Rev. D 98, 015003 (2018)F.P.Hessberger, S. Antalic et al. incl. B. Andel, P. Mosat: "Investigation of electron capture decay of  $^{258}\text{Db}$  and decay of  $^{258}\text{Rf}$ ", European Physical Journal A 52, 328 (2016)F. Šimkovic, R. Dvornický, D. Štefánik, and A. Faessler: "Improved description of the  $0\nu\beta\beta$  and a possibility to determine the effective axial-vector coupling constant", Phys. Rev. C 97 (2018) no. 3, 034315

B. A. Marsh et al. incl. B. Andel: "Characterization of the shape-staggering effect in mercury nuclei", Nature Physics 14, 1163 (2018)

A. Babič, D. Štefánik, M.I. Krivoruchenko, and F. Šimkovic: "Bound-state double-beta decay", Physical Review C 98, 065501 (2018)

B. Andel, A.N. Andreyev, S. Antalic et al.: "Detailed alpha-decay study of  $^{180}\text{Tl}$ ", Physical Review C 94, 054327 (2017)

### Uplatnenie výsledkov projektu

Projekt "Štruktúra, reakcie a vzácné procesy atómových jadier" sme riešili na Katedre jadrovej fyziky a biofyziky, FMFI UK od júla 2015 po jún 2019. Počas riešenia projektu sme získali množstvo unikátnych vedeckých výsledkov v oblasti základného výskumu exotických jadier a zriedkavých jadrových procesov publikovaných doposiaľ v 30 publikáciách.

Z pohľadu experimentu reprezentuje projekt základný výskum na pokraji možností súčasnej

jadrovej fyziky a pri riešení sme získali mnoho nových a jedinečných výsledkov z oblasti štruktúry a vlastností exotických izotopov na pokraji oblasti stability atómových jadier. V tejto časti projektu sme získali množstvo nových informácií o štruktúre a vlastnostiach atómových jadier, ale aj procese oneskoreného štiepenia po beta premene. Projekt prispel k lepšiemu chápaniu problematiky exotických jadier a možností ich štúdia.

Výsledky teoretickej časti projektu nájdu svoje uplatnenie v príprave, resp. realizácií experimentov zameraných na určenie fundamentálnych vlastností neutrín (KATRIN, ECHO, JUNO, GERDA, Majorana, EXO, KamLAN-Zen, SuperNEMO atď) ako aj v analýze dát z daných experimentov. Vyvinuté mnoho-nukleónové metódy v rámci daného projektu nájdu svoju aplikáciu v rôznych výpočtoch, resp. štúdiách týkajúcich sa štruktúry atómových jadier.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)**

Pri riešení projektu sme získali nové detailné experimentálne informácie o vlastnostiach a rozpade vyše 25 izotopov. Mnohé z nich boli umožnené využitím nových prístupov k meraniam a spracovaniu dát. Dôležitým je napr. rozvoj možnosti experimentálneho štúdia beta premeny jadier v oblasti izotopov ťažších ako fermium ( $Z > 100$ ). Jedinečné výsledky sme získali o veľmi zriedkavom procese oneskoreného štiepenia po beta premene, ktorý umožňuje študovať štiepenie nestabilných jadier nepodliehajúcich procesu spontánneho štiepenia. Tento spôsob rozpadu sme detailne po prvý krát identifikovali resp. študovali v izotopoch  $^{230}\text{Am}$ ,  $^{196}\text{At}$ ,  $^{200,202}\text{Fr}$  a  $^{188}\text{Bi}$ . V neposlednom rade je potrebné spomenúť unikátne výsledky pre systematické štúdium deformácie atómových jadier v okolí uzavretej vrstvy olova  $Z = 82$ .

V teoretickej časti projektu boli získané dôležité poznatky pre jadrové procesy umožňujúce štúdium hmotností neutrín. Bola rozpracovaná teória  $0\nu\beta\beta$  rozpadu jadier v kontexte s ľavo-pravými symetrickými modelmi fyziky častíc a preukázaná dôležitosť neštandardných interakcií neutrín s nukleónmi jadra ako aj s kvarkovým kondenzátom. V rámci rôznych rozšírení QRPA metódy boli určené hodnoty  $0\nu\beta\beta$ -maticových elementov, presnosť a spoľahlivosť ich výpočtu. Navrhli sme originálny spôsob určenia hodnôt axiál-vektorovej konštanty  $g_A$  v prípade jadrových procesov. Bol dosiahnutý značný pokrok v teoretickom opise zakázaných  $\beta$ -rozpadov, čo je dôležité napr. v kontexte určenia energetického spektra reaktorových (anti)neutrín. Berúc v úvahu relevantné procesy atómovej štruktúry v prípade záchytu elektrónu jadrom  $^{163}\text{Ho}$  bolo teoreticky určené spektrum v bolometri ECHO experimentu a stanovené možnosti zmerať hmotnosť emitovaných neutrín.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)**

We obtained new experimental data for the nuclear properties and decay of around 25 isotopes. For many cases, it was possible only by the application of new experimental and analysis techniques. For example, the development of the state-of-art approach to obtain new experimental data for the beta decay of heaviest isotopes with  $Z > 100$  was necessary. Very interesting results for the rare process of beta-delayed fission were achieved. This process allows us to study the fission of exotic isotopes, which does not undergo spontaneous fission. We identified or studied in details this decay mode for isotopes  $^{230}\text{Am}$ ,  $^{196}\text{At}$ ,  $^{200,202}\text{Fr}$  and  $^{188}\text{Bi}$ . It is necessary to mention also a unique systematic study of the deformation of atomic nuclei around the closed proton shell in the lead region ( $Z = 82$ ). In the theoretical part, important findings concerning processes used to study neutrino mass were achieved. The theory of the  $0\nu\beta\beta$ -decay associated with left-right symmetric models was developed. The importance of non-standard neutrino interactions with nucleons inside the nucleus and quark condensate was demonstrated. The accuracy and reliability of calculated  $0\nu\beta\beta$ -decay nuclear matrix elements within different variations of the QRPA approach were analyzed. An impact of the quenching of the axial-vector coupling constant on double-beta decay processes was investigated and a novel approach to determine the quenched value of  $g_A$  was proposed. Progress in the description of forbidden  $\beta$ -decays playing an important role, e.g., in the determination of energy spectra of (anti)neutrinos from the reactor, was made. The calorimetric spectrum to be measured by electron capture of  $^{163}\text{Ho}$  was calculated and a possibility to determine neutrino mass was discussed.