

## Rezumat pentru raport anual Program Nucleu

**Titlu Faza:** : Testarea unitarității matricii CKM și estimarea elementului  $V_{ud}$  prin folosirea unui cod numeric performant de calcul a factorilor spațiu de fază

Această fază a fost împărțită în două etape:

a) Pregătiri preliminare ale codului numeric de calcul al factorilor spațiu de fază pentru tranzițiile beta superpermise.

b) Estimarea elementului  $V_{ud}$  din matricea CKM și testarea unitarității acesteia

### Obiective

**Obiectiv general:** Testarea unitarității matricii Cabibbo–Kobayashi–Maskawa

### Obiective specifice:

-dezvoltarea și testarea unor coduri numerice performante pentru calcul factorilor spațiu de fază pentru tranziții beta super-permise

-calculul valorii elementului  $V_{ud}$  din matricea Cabibbo–Kobayashi–Maskawa (CKM) prin utilizarea valorilor factorilor spațiu de fază și a celor mai noi valori experimentale ale mărimilor de interes pentru tranzițiile super-permise.

### Rezultate estimate:

-obținerea unor rezultate precise pentru factorii spațiu de faza pentru tranzițiile super-permise

-obținerea valorii elementului de matrice  $V_{ud}$  cu o precizie mare astfel încât să fie testată unitaritatea matricii CKM

### Rezultate obținute:

Măsurătorile precise ale timpilor de înjumătățire ale dezintegrării  $\beta$  nucleare între stări analoage de spin,  $J^\pi = 0^+$ , și izospin,  $T = 1$ , sunt teste fundamentale pentru proprietățile interacțiunii slabe. Toate aceste tranziții sunt cele ce pot proba conservarea curenților vectori slabi și pot pune constrângeri asupra curenților scalari în interacțiunea slabă. De asemenea, acestea oferă cea mai precisă valoare a lui  $V_{ud}$ , unul dintre elementele din matricea Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM) de mixaj a cuarcilor. Prin determinarea elementului  $V_{ud}$  cu incertitudine cât mai mică, se poate spune că tranzițiile  $\beta$  de acest tip sunt cele mai bune teste pentru demonstrarea unitarității matricii CKM, proprietate fundamentală a Modelului Standard electro-slab [1]

Pentru atingerea standardelor de precizie în experimentale actuale pentru mărimile măsurate în tranzițiile beta super-permise, metoda de calcul ale factorilor spațiu de fază ce intra în formula ratelor de tranziție trebuie îmbunătățite.

Pentru o tranziție  $\beta$  permisă factorul spațiu de fază ce înglobează cinematica dezintegrării se definește astfel

$$f = \int_1^{W_0} pW(W_0 - W)^2 F(Z, W) dW \quad (1)$$

unde  $p$  este impulsul particulei  $\beta$ ,  $W = \sqrt{p^2 + 1}$  este energia totală a particulei  $\beta$ , iar  $W_0$  este energia maximă a particulei  $\beta$ .  $W_0 = Q - 1(Q + 1)$  în dezintegrarea  $\beta^+$  ( $\beta^-$ ).  $Q$  este diferența de masă între starea inițială și finală a atomilor neutri. Ecuația 1. este scrisă în unitați naturale ( $\hbar = m = c = 1$ ), deci uitățile de impuls sunt  $mc$ , cele de energie sunt  $mc^2$ , iar cele de timp sunt  $\hbar/mc^2$ . În integrand este, de asemenea, și așa numită funcție Fermi,  $F(Z, W)$ , care ține cont de distorsiunea funcțiilor de undă ale electronului (pozitronului) datorată densității nucleare de sarcină. Funcțiile Fermi se calculează cu ajutorul soluțiilor radiale ale ecuației Dirac.

Metoda de rezolvare a acestei ecuații trebuie să includă corecțiile de dimensiune finită a nucleului, de suprafață nucleară difuză, de ecranare (screening) datorată norului electronic atomic și corecții de schimb între electronul (pozitronul) emis și norul electronic atomic. Pentru îndeplinirea primului obiectiv, a fost scris un cod numeric de rezolvare a ecuației Dirac cu introducerea tuturor acestor corecții, astfel încât funcțiile de undă relativiste ale electronului (pozitronului). Apoi, au fost calculați timpi de viață pentru tranzițiile beta permise pentru 16 nuclee de interes în astrofizică. În Fig.1 sunt prezentate rezultatele obținute în comparație cu cele prezentate în [1].

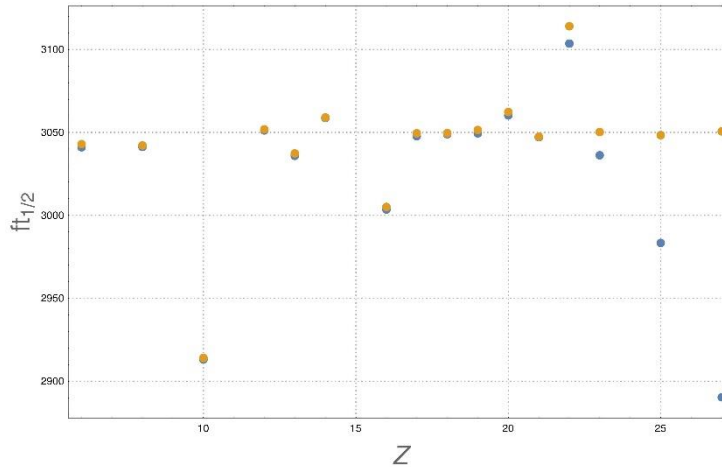


Fig. 1. Comparație între valorile  $ft_{1/2}$  din [1] (portocaliu) și cele calculate cu metoda noastră ce încorporează corecțiile în funcțiile de undă (albastru) pentru 16 nuclee de interes. Valorile sunt prezentate pentru același timp experimental de înjumătățire.

Pentru îndeplinirea celui de-al doilea obiectiv s-a făcut o medie statistică pe fiecare timp de înjumătățire al tranzițiilor super-permise măsurate experimental. Astfel că s-a putut obține o medie statistică a produsului  $ft_{1/2}$  pentru toate nucleele considerate. S-au considerat aceleași corecții radiative și aceeași definiție a elementului de matrice

$$V_{ud}^2 = \frac{K}{2G_F^2(1 + \Delta_R^V)\mathcal{F}t}$$

ca în [1]. Având în vedere că diferențele între seturile de factori de spațiu de fază, am obținut o valoare cu sub un procent mai mare decât cea raportată în [2],  $|V_{ud}| = 0.97425 \pm 0.00022$ . Rezultatul obținut este  $|V_{ud}| = 0.97836 \pm 0.00451$ , cu mențiunea că incertitudinea este mai mare datorită metodei de calculare a factorului spațiu de fază.

### Concluzii și perspective:

Obiectivele fazei au fost îndeplinite iar unitaritatea matricii CKM și rezultatele prezentate mai sus urmează a fi discutate în amănunt într-o revistă cotate ISI.

[1] J. C. Hardy and I. S. Towner, *Phys. Rev. C* **79**, 055502, (2009).

[3] St. Ghinescu, O. Nitescu and S. Stoica, AIP Conference proceedings 2165, 020025 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5130986>.