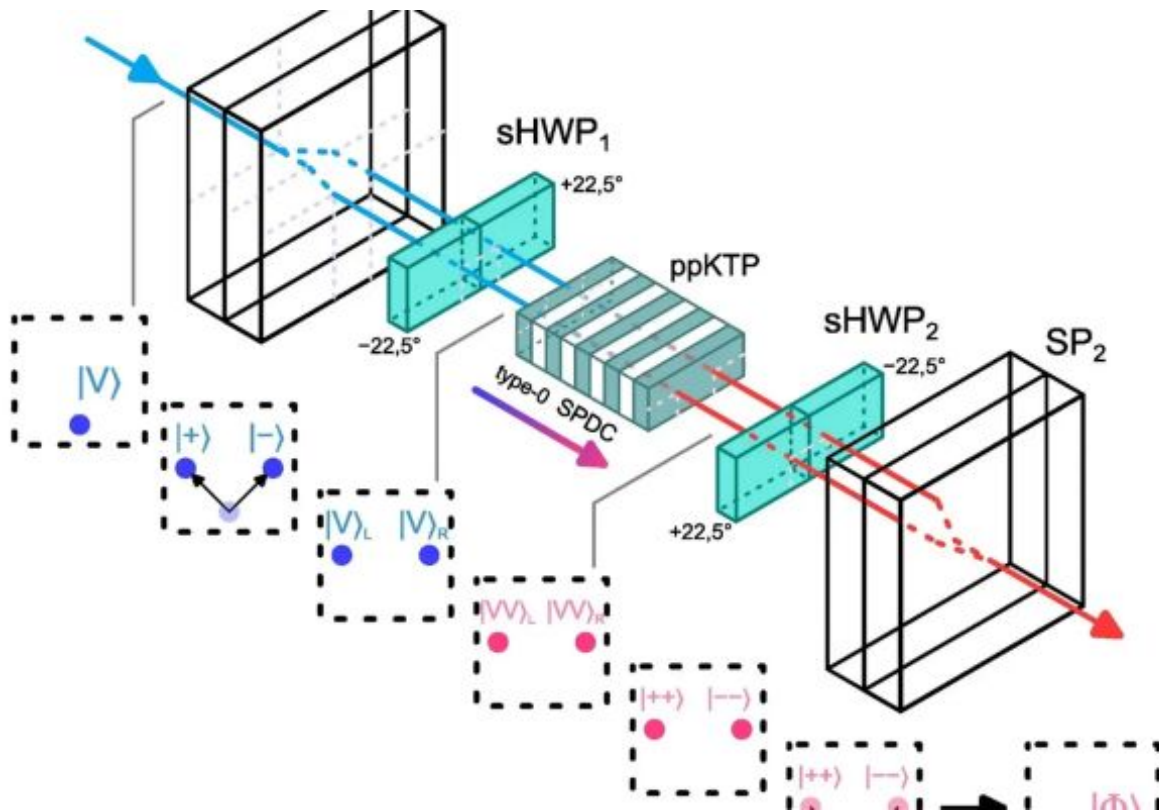




## SPaDEs: Una cop d'ull a les seves avantatges i rendiment

Investigadors de l'ICFO introdueixen SPaDEs (Symmetric Parallel Displacement Entanglement Source) com un disseny innovador de font de fotons entrellacats per polarització (EPS, per les seves sigles en anglès), que utilitza plaques de Savart, i el presenten com un avenç significatiu respecte als dissenys tradicionals d'EPS, especialment aquells basats en desplaçadors de feix únics.

April 14, 2025

Allò que diferencia SPaDEs és la seva capacitat per abordar de manera efectiva el problema del walk-off longitudinal, un problema comú en les EPS que utilitzen desplaçament de feix. Aquest fenomen, en que diferents modes de polarització experimenten desplaçaments espacials diferents en passar per elements òptics, pot degradar significativament la qualitat de l'entrellacament. L'article destaca l'ús de les plaques de Savart com un factor clau per mitigar aquest problema.

Els desplaçadors de feix convencionals divideixen un feix segons la polarització, però no mantenen la superposició espacial dels dos components de polarització després del

desplacament. Això dona lloc a una situació en que els dos feixos, després de passar pel desplaçador, ja no estan perfectament alineats en la direcció de propagació. Aquesta desalineació es coneix com a walk-off longitudinal. Aquest efecte pot ser especialment perjudicial quan s'utilitzen cristalls no lineals per a la conversió paramètrica descendent espontània (SPDC, per les seves sigles en anglès). Idealment, per a una generació eficient d'entrellacament, ambdós modes de polarització haurien d'experimentar la mateixa interacció no lineal dins del cristall. No obstant això, amb el walk-off longitudinal, els dos modes poden interactuar amb regions diferents del cristall, generant una descoordinació en els parells entrellacats generats i, per tant, reduint la qualitat de l'entrellacament.

SPaDEs afronta aquest desafiament utilitzant plaques de Savart tant per a la separació com per a la recombinació del feix de bombeig. Aquest disseny simètric assegura que qualsevol desplaçament espacial introduït en un mode de polarització sigui compensat amb precisió quan es recombinen els feixos, eliminant efectivament l'efecte de walk-off. Els investigadors de l'ICFO, en **Giacomo Paganini**, el **Dr. Alvaro Cuevas**, el **Dr. Robin Camphausen**, l'**Alexander Demuth**, dirigits pel **Prof. ICREA Valerio Pruneri**, presenten evidència experimental que dona suport a aquesta afirmació, demostrant que el walk-off longitudinal en la seva configuració SPaDEs és insignificant en comparació amb una configuració que utilitza un desplaçador de feix convencional.

L'article, publicat a APL Photonics, subratlla que l'eliminació del walk-off ofereix un avantatge significatiu quan es treballa amb certs tipus de cristalls no lineals, en particular aquells amb períodes de polarització no uniformes o de menor longitud. En aquests cristalls, fins i tot petites desalineacions causades pel walk-off poden afectar greument l'eficiència de la generació d'entrellacament. En eliminar aquest efecte, SPaDEs amplia la gamma de cristalls no lineals utilitzables, augmentant la seva versatilitat i adequació per a diverses aplicacions. Els investigadors de l'ICFO han avaluat el rendiment del sistema SPaDEs utilitzant una varietat de mètriques. Un dels paràmetres clau analitzats és la brillantor, una mesura de l'eficiència amb que la font produeix parells de fotons entrellacats. La brillantor assolida per SPaDEs, de  $(9.50 \pm 0.03) \times 10^7$  parells/(s · mW), és suficient per a aplicacions pràctiques de comunicació o quàntica com QKD en espai lliure o per fibra òptica. L'article reconeix que, tot i que aquest brillantor no és la més alta, representa un equilibri entre eficiència i altres característiques desitjables de la font.

Un aspecte crític de qualsevol EPS és la qualitat de l'entrellacament produït. En aquest sentit, SPaDEs mostra un rendiment excepcional, com ho demostra la seva alta fidelitat, la qual mesura com de prop està l'estat generat de l'estat entrellacat ideal. La fidelitat de  $0.992 \pm 0.001$ , derivada de la violació de la desigualtat de Bell (quantificada pel paràmetre CHSH de  $2.82 \pm 0.04$ ), destaca la generació de parells de fotons entrellacats d'alta qualitat. Aquesta fidelitat gairebé perfecta subratlla l'efectivitat del disseny amb plaques de Savart per minimitzar els efectes no desitjats que poden degradar l'entrellacament. Els investigadors també han identificat possibles àrees de millora futura. Una d'elles

es l'augment de l'eficiència d'anunciament de la font. L'eficiència d'anunciament fa referència a la probabilitat de detectar amb èxit un dels fotons d'un parell entrellacat, cosa que indica la presència de l'altre foto. Els autors suggereixen que l'ús de components òptics de major qualitat podria augmentar aquesta eficiència.

**Referència:**

Giacomo Paganini, Alvaro Cuevas, Robin Camphausen, Alexander Demuth and Valerio Pruneri, High-quality entangled photon source by symmetric beam displacement design. *APL Photonics* 10, 031302 (2025).