

2. számú melléklet

KUTATÁSI TERV ADATLAP

az Eötvös Loránd Kutatási Hálózat Titkársága által meghirdetett

„Kiemelt Kutatási Témák” pályázathoz

KÓDSZÁM: ELKH-KKT-2022

I. A Pályázó adatai

Pályázó intézmény neve és képviselője:	Wigner Fizikai Kutatóközpont, Dr. Lévai Péter József főigazgató
Vezető kutató neve:	Nagy Attila Tibor

II. A pályázat adatai

A pályázat címe: <i>(legfeljebb 200 karakter)</i>	Nemklasszikus fényforrások fejlesztése kvantuminformatikai és kvantummetrológiai alkalmazásokhoz
---	--

III. A kutatás részletes bemutatása**A kutatási terv részletes bemutatása***(legfeljebb 4000 karakter)*– *előzmény*

A kvantuminformatikai fejlesztések napjainkra több területen a konkrét gyakorlati alkalmazás határpontjához érkeztek. A kvantumtechnológia alkalmazása forradalmian új lehetőségeket nyújt a társadalom és a gazdaság számára. A technológiához szükséges eszközök fejlesztése nemzetközi szinten kiemelt jelentőségű.

A nemklasszikus fényforrások alapvető fontosságúak az optikai kvantuminformatikai és kvantummetrológiai rendszerek megvalósításához. Így például összefonódott fotonpár-forrás szükséges az erre épülő kvantumos kulcsmegosztó rendszerek megvalósításához kvantumkommunikációs hálózatokban. Összenyomott fényt használva egy interferométerben a fázisváltozás mérésének pontosságát lehet növelni a klasszikus mérés pontosságát jellemző standard kvantumhatár alá, amelyet a gyakorlatban is bizonyítottak a gravitációs hullám



detektorokban. Egyfoton-forrásra van szükség az optikai kvantumszámítógépekhez, több fotonikus kvantumtechnológiai, kvantummetrológiai alkalmazáshoz és számos kvantumoptikai kísérlethez. A témához kapcsolódó elméleti kutatásaink során módszereket dolgoztunk ki a fény különböző kvantumállapotainak előállítására [1], multiplexelésen alapuló periodikus egyfoton-források optimalizálására [2-3] és eljárásokat dolgoztunk ki az ilyen források egyfoton valószínűségének növelésére [4].

– *honnan hova szeretnének eljutni, milyen módszerekkel?*

A bevezető részben elmondottak által motiválva és az eddigi elméleti eredmények alapján célunk egy kvantumoptikai laboratórium létrehozása, amelyben nemklasszikus fényforrásokat fejlesztünk, így impulzus üzemű kétmódusú összenyomott fényforrást, periodikus egyszerű és összefonódott fotonpár-forrást, továbbá multiplexelt periodikus egyfoton-forrást. A forrásokat kvantumkommunikációs, kvantumszámítási és kvantummetrológiai kísérletekben és fejlesztésekben fogjuk használni. Jelenleg a tervezett fejlesztéseket megvalósító kvantumoptikai laboratórium nem működik hazánkban.

A kétmódusú összenyomott fényt és a különböző fotonpár-forrásokat femtoszekundumos lézerrel pumpált parametrikus lekonverzióra épülő kvantumoptikai rendszerekkel hozzuk létre úgy, hogy ezekben lehetőség legyen a források fizikai paramétereinek az alkalmazásokhoz szükséges változtatására. A fotonpár-forrás segítségével a [4] közleményünkben leírt multiplexelt egyfoton-forrást fogjuk megvalósítani.

– *várható eredmények*

A tervezett laboratóriumban megvalósuló nemklasszikus fényforrások hozzájárulhatnak a jelenleg elbírálás alatt álló „Kvantuminformatika Nemzeti Labor” pályázat és az európai „Digital-2021-QCI-01-Deploy-National” pályázat több vállalt feladatának sikeres teljesítéséhez. A tervezett multiplexelt egyfoton-forrás kísérleti megvalósítása nemzetközileg is jelentős eredmény lehet. A kísérleti és a kapcsolódó elméleti eredményekből évente 2-3 nemzetközi folyóirat cikk megjelentetését tervezzük. A várható eredmények alapján a kutatások folytatására további hazai és európai pályázatot tervezünk beadni.

A megvalósításhoz szükséges kutatási infrastruktúra bemutatása

(legfeljebb 3000 karakter)

– *a kutatás megvalósításához szükséges kutatási infrastruktúra jellemzése, tételes bemutatása*

A létrehozandó kutatólaboratórium, a tervezett fejlesztések alapeleme egy hangolható hullámhosszú, stabil femtoszekundumos impulzus lézer, amely a nemklasszikus fényforrásokhoz szükséges nemlineáris optikai folyamatok pumpalézere. A kísérleti rendszer másik kulcseleme egy 8 csatornás fotonszám-feloldó szupravezető detektor rendszer, amely a multiplexelt egyfoton-forrás optikai rendszerének része, és a nemklasszikus fényforrások teszteléséhez is szükséges. A tervezett kísérleti rendszer emellett optikai elemeket, nemlineáris kristályokat, optikai kapcsolókat és vezérlő elektronikát tartalmaz. A kísérleti berendezést egy nagysebességű dedikált FPGA rendszerű elektronika kontrollálja, mely egyben az adatgyűjtést is irányítja.

– *miként biztosított vagy biztosítható a szükséges kutatási infrastruktúra rendelkezésre állása?*

A tervezett új kvantumoptikai laboratóriumhoz és a kutatási terv megvalósításához



szükséges laboratóriumi helység rendelkezésre áll az intézetben, amelynek továbbfejlesztését, a kísérletekhez szükséges tisztatér kialakítását a kutatóközpont által elnyert, 2022 januárjában indult TKP projektből és belső forrásokból finanszírozzuk. A femtoszekundomos impulzusüzemű lézert a jelen pályázat keretében szeretnénk beszerezni és beüzemelni. A detektor-rendszert a 2022 márciusában beadott konzorciumi, az Európai Bizottság „Digital-2021-QCI-01-Deploy-National” pályázatából tervezzük beszerezni. A kísérleti rendszer kiépítéséhez szükséges többi elemet és eszközt a TKP projektből finanszírozzuk. A vezérlő elektronikát és az adatgyűjtő rendszert intézeti fejlesztés keretében szándékozzuk megvalósítani, amelyhez a humán háttér rendelkezésre áll. A kvantumoptikai laboratórium működtetésének, a kísérletek és fejlesztések elvégzésének támogatására további pályázatokat nyújtunk be hazai és az Európai Unióban kiírt pályázati felhívásokra.

A szakmai megvalósításban résztvevők bemutatása

(legfeljebb 3000 karakter)

- *a vezető kutató szakmai tapasztalatának, kompetenciáinak bemutatása referenciák megjelölésével*

A projekt vezető kutatója Nagy Attila Tibor 1995-től dolgozik az intézetben, 2015-től vezeti a lézeralkalmazások és optikai mérés technika kutatócsoportot. 2002-ben szerezte meg a PhD fokozatot a Budapesti Műszaki Egyetemen, habilitációs eljárás után 2006-tól tudományos főmunkatársként végzi munkáját. Projektvezetője volt több sikeresen zárult kutatási és K+F projektnek: Osztrák-Magyar TÉT projektnek, egy KTIA_AIK_12-es projektnek, egy KFI_16 projektnek és egy VKE_17 projektnek, melyek mellett több hazai és nemzetközi projekt megvalósításában vett részt résztvevőként, illetve témavezetőként. Három alkalommal nyerte el a Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet Alkalmazott kutatási díját. Jelenleg is vezetése alatt áll egy aeroszol kutató és egy optikai laboratórium, melyek közül az utóbbit fejleszti tovább kvantumoptikai kísérletekhez. A kétezres években részt vett az intézetben folyó kvantumoptikai és fotonikai kísérletekben, 2003-tól posztdokorként az USA-ban (Emory Egyetem, Atlanta) dolgozott egy évig egy- és két-foton fluoreszcencia mikroszkópos kísérleteken.

- *további, a megvalósításban részt vevő főbb kutatók, közreműködők szakmai tapasztalatának jellemzése*

Kis Zsolt 2000-ben szerezte meg a PhD fokozatot a Szegedi Tudományegyetem Fizika Doktori Iskolájában. Fő kutatási területe a kvantumoptika, ezen belül koherens kvantumkontroll, rezonáns nemlineáris optikai jelenségek, lineáris és nemlineáris fotonikus kristályok modellezése. 2008-ban kapcsolódott be lézerspektroszkópia kísérletekbe, 2017 óta pedig laborvezető: a labor fő célkitűzése kvantumoptikai kísérletek végzése kristályokba ágyazott egyedi atomokkal. 2013 óta folyamatosan együttműködik a BME VIK HIT tanszéken Prof. Imre Sándor csoportjával kvantumkommunikációs rendszerek kísérleti megvalósításán. Ennek eredményeképpen 2022 tavaszán az irányításával kifejlesztett kvantumkommunikációs készülékkel végrehajtották az első hazai hosszútávú kvantumos kulcsmegosztási kísérletet. Számos hazai és nemzetközi bilaterális projektben volt vezető- illetve résztvevő kutató. Több hazai elismerést kapott (Gombás Pál Díj, Eötvös Loránd Kutatási Ösztöndíj, MTA Fiatal Kutató Díj, Bolyai János Kutatási Ösztöndíj, SZFKI Publikációs Díj), 2010 az Amerikai Fizikai Társulat (APS) "Az év cikkbírója" elismerésben részesítette, 2011-2016 között az APS Physical Review A folyóirata szerkesztőbizottságának tagja volt. Összesen 51 publikációja van



nemzetközi referált folyóiratokban, az összes publikációjára pedig mintegy 900 független hivatkozást kapott.

Ádám Péter 1994-ben szerezte meg kandidatusi (PhD) fokozatát, jelenleg főmunkatársként dolgozik az intézetben. Kutatási területe a kvantumoptika és a kvantuminformatika. A pályázat témájához kapcsolódóan fontosabb eredményei: több eljárást dolgozott ki a fény különböző kvantumállapotainak haladó hullámú előállítására, kidolgozta a multiplexelt egyfoton-források általános statisztikus elméletét, módszereket dolgozott ki a multiplexelt egyfoton-források optimalizálására és a források egyfoton valószínűségének növelésére. Több mint 20 hazai és nemzetközi pályázatban volt résztvevő kutató, illetve témavezető. Négy PhD hallgató szerezte meg fokozatát témavezetésével. Több hazai elismerést kapott (MTA Ifjúsági Díj, Novobátky-díj, Széchenyi Professzori Ösztöndíj). Nemzetközi folyóiratban 95 közleménye jelent meg, amelyekre több mint 1200 hivatkozás érkezett

A három vezető kutatón kívül egy fiatal postdoc és két PhD hallgató alkalmazását tervezzük a laboratóriumban, akiket más hazai pályázatokból fogunk finanszírozni.

Együttműködések

(legfeljebb 4000 karakter)

- a projekt megvalósítása és a hasznosítás szempontjából releváns külső együttműködő partner(ek) és a közös tevékenységek részletes bemutatása

A tervezett kutatólaboratórium megvalósításához nem tervezünk külső együttműködő partnert, a szükséges szakismeret és személyi feltételek rendelkezésre állnak a kutatóközpontban. A nemklasszikus fényforrások alkalmazásához kapcsolódó alábbi kísérleteket a következő együttműködésekben tervezzük közösen elvégezni. A felsorolt partnerek a „Kvantuminformatika Nemzeti Laboratórium (KNL) résztvevői:

BME VIK HIT (Prof. Imre Sándor csoportja): Periodikus összefonódott fotonpár-forráson alapuló kvantumos kulcsmegosztás megvalósítása a BME és a Wigner FK között.

ELTE TTK Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék (Prof. Vattay Gábor): Periodikus egyfoton-forrás felhasználása optikai kvantumszámítás demonstrációs kísérletben.

Ezekben a kísérletekben az általunk fejlesztett nemklasszikus fényforrásokat használjuk. A kísérleteket közösen valósítjuk meg.

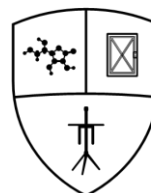
- a megvalósítás során az ELKH hálózaton belül bevont, együttműködő kutatóhely(ek) megjelölése, és az együttműködés módjának ismertetése

A ELKH hálózaton belül jelenleg nem tervezünk együttműködést.

Kockázatok

(legfeljebb 2500 karakter)

- a kutatás megvalósítása kockázatainak, valamint az ezek hatásait mérséklő tervezett intézkedések ismertetése



A projekt keretében tervezett femtoszekundomos impulzus lézer külföldről szerezhető be. Ezért a tényleges beszerzési árát befolyásolja a forint aktuális árfolyama, amely eltérhet a pályázatban tervezettől. Ezt a kockázatot más pályázati forrás bevonásával kezelni tudjuk.

Másik kockázati tényező, ami szintén a teljesítés elhúzódását idézheti elő a globálisan jelentkező nyersanyag és alkatrész beszerzési nehézségek, melyek érinthetik a lézer beszállítóját is.

Ez a kockázat a tervezett munka átütemezésével kezelhető, azaz a kísérleti rendszer a lézerforrás nélkül is fejleszthető részeihez kapcsolódó munka előre hozásával.

Szakterület vonatkozásában releváns etikai problémák bemutatása

- *a szakterület vonatkozásában releváns erkölcsi és etikai problémák és az azok megoldására irányuló vizsgálatok és intézkedések bemutatása (különösen az életegészségügyi projektek és a határterületeket érintő projektek vonatkozásában)*

Nincs releváns erkölcsi és etikai probléma.

A projekt keretében megoldandó probléma, társadalmi, gazdasági igény és hasznosság ismertetése, illetve a gazdasági, társadalmi hasznosítási lehetőségek (amennyiben releváns), elképzelések bemutatása

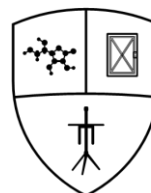
(legfeljebb 2500 karakter)

- *a projekt vonatkozásában definiált gazdasági, társadalmi igény, probléma definiálása*
- *a projekt kimeneteinek bemutatása*
- *a tervezett hasznosítási modell (pl.: licenc, spinoff alapítás, egyéb) bemutatása*

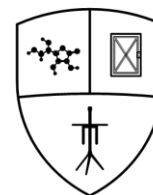
A kvantumtechnológia alkalmazása a társadalom és a gazdaság számára több területen hozhat forradalmi változásokat. A kvantumkommunikációs hálózatokban tovább növelhető a kommunikációs rendszerek biztonsági szintje, a kvantumszámítógépekkel az eddig nem vagy nehezen megoldható számítási feladatok is elvégezhetők lesznek, a kvantummetrológiai eljárásokkal pedig növelhető a mérő és érzékelő rendszerek pontossága. Felismerve a kvantumtechnológia jelentőségét az Európai Unió 2018-ban elindította a „Quantum Technologies Flagship” programot, amelynek finanszírozását a Horizon 2020 a Horizon 2027 keretprogramokban folytatja tovább. Magyarországon a kvantumtechnológiai, kvantuminformatikai kutatásokat és fejlesztéseket a Kvantuminformatikai Nemzeti Laboratórium (KNL) fogja össze. A KNL konzorciuma 2022 májusában beadta pályázatát a tevékenysége folytatására.

Az Európai Unió 2019-ben elindította az Európai Kvantumkommunikációs Infrastruktúra (EuroQCI) kezdeményezését, amelyhez Magyarország is csatlakozott. Ennek révén 10 éven belül az országokon átívelő páneurópai kvantumkommunikációs hálózat jöhet létre. Magyarország 2022 márciusában konzorciumi pályázatot adott be az EuroQCI keretében kiírt „Digital-2021-QCI-01-Deploy-National” felhívásra, A beadott pályázat célja a kiépítendő hazai kvantumkommunikációs hálózat első fázisának és a kapcsolódó fejlesztéseknek a megvalósítása.

A tervezett kvantumoptikai laboratórium, a létrehozandó nemklasszikus fényforrások hozzájárulnak a KNL és az EuroQCI pályázatokban vállalt egyes fejlesztések sikeres megvalósításához, és ezen



keresztül a kvantumtechnológia az előzőekben leírt társadalmi és gazdasági hasznosságának mielőbbi megjelenéséhez Magyarországon. A projekt kimeneteként várhatóan szoftver licenz is létrejön a tervezett multiplexelt egyfoton-forrás optimális kiépítését és vezérlését megvalósító programhoz kapcsolódóan. Mivel az egyfoton-források számos kvantumtechnológia rendszer alapegységei, ezért a sikeres kísérleti megvalósítás előidézheti spinoff vállalkozások születését a rendszer forgalmazható változatának elkészítéséhez és kvantumtechnológiai alkalmazásához kapcsolódóan.



Mérföldkövek

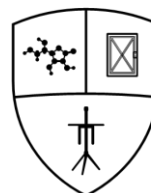
A projekt mérföldköveinek meghatározása, amelyek mentén nyomon követhető a projekt előrehaladása

Sorszám	Típus (köztes vagy záró)	Mérföldkő megnevezése	Mérföldkő elérésének dátuma (év, hó, nap)	Elérni tervezett eredmény	A mérföldkő eléréséig megvalósított tevékenységek tervezett költségeinek göngyöltett költsége (Ft)
1.	záró	Lézerforrás kvantumoptikai kísérleti rendszer fejlesztéséhez	2023. 08. 31.	A kvantumoptikai kísérleti rendszer fejlesztéséhez szükséges lézerforrás üzembehelyezése	70 000 000 Ft

Támogatható tevékenységek bemutatása

(a táblázatba további sorok szükség szerint beszűrhetők)

Sorszám	Tevékenység megnevezése a pályázati felhívás 5.1.1. pontjának megfelelően	A tevékenység rövid szakmai tartalma	Tervezett eredmény	Kapcsolódó mérföldkő/mérföldkövek sorszáma	A tevékenység tervezett összköltsége (Ft)
1.	az új kutatások elindításához szükséges beszerzése és azok üzem behelyezése;	a tervezett kvantumoptikai laboratórium alapeszközének, egy hangolható, femtoszekundomos lézernek beszerzése és üzembehelyezése	a működő lézer lehetővé teszi a tervezett nemklasszikus fényforrások fejlesztését	1.	70 000 000 Ft



IV. Nyilatkozat

A kutatási tervért felelős személyként kijelentem, hogy az adatlapon közölt adatok megfelelnek a valóságnak.

Kelt:, 2022.

.....

vezető kutató aláírása

Kijelentem, hogy a kutatási terv adatlapon közölt adatok megfelelnek a valóságnak, és a kutatási javaslat tartalmával egyetértek.

Kelt:, 2022.

.....

Pályázó cégszerű aláírása