

Ryszard Tanaś

ZAKŁAD OPTYKI NIELINIOWEJ

OD MOLEKULARNEJ OPTYKI NIELINIOWEJ DO TECHNOLOGII KWANTOWYCH

W 1969 roku miała miejsce gruntowna reorganizacja Wydziału Fizyki UAM. Powstał wtedy Instytut Fizyki, który został podzielony na mniejsze jednostki — zakłady. Pierwszym dyrektorem Instytutu Fizyki został Doc. dr hab. Stanisław Kielich, który wcześniej, od 1966 roku, kierował stworzoną przez siebie Katedrą Fizyki Molekularnej. Z Katedry Fizyki Molekularnej wydzielono się kilka zakładów. Jednym z nich był Zakład Optyki Nieliniowej (ZON), który powstał w 1973 roku. Kierownikiem Zakładu Optyki Nieliniowej został Profesor dr hab. Stanisław Kielich, który kierował nim do 1993 roku. Od 1 września 1993 roku kierowanie Zakładem przejął prof. dr hab Ryszard Tanaś, który pełnił funkcję kierownika do końca 2016 r. W 2017 roku kierownikiem Zakładu Optyki Nieliniowej został prof. dr hab Krzysztof Grygiel.

W tym opracowaniu chciałbym pokrótce opisać historię prowadzonych w Zakładzie Optyki Nieliniowej badań w dziedzinie optyki nieliniowej i kwantowej, a także nowszych badań w dziedzinie informatyki kwantowej i technologii kwantowych. Profesor Stanisław Kielich kierował Zakładem Optyki Nieliniowej przez 20 lat, więc na początku przedstawię w wielkim skrócie badania prowadzone przez Profesora Stanisława Kielicha i Jego uczniów. Mam zaszczyt zaliczać siebie do grona uczniów Profesora Kielicha, pracowałem z Nim ponad ćwierć wieku, miałem możliwość i szczęście uczestniczyć w badaniach naukowych w dziedzinie, która rozwijała się w zawrotnym tempie, a mimo to mieliśmy świadomość, że nie odstawiamy od czołówki, a czasem wręcz, że jesteśmy w czołówce. Dawało to dużą satysfakcję i radość z tworzenia czegoś nowego. Ze względu na objętość tego opracowania, nie jestem w stanie przedstawić szczegółowo wszystkich rezultatów uzyskanych w ciągu 45 lat istnienia ZON. Więcej szczegółów dotyczących badań z okresu kierowania Zakładem przez Profesora Kielicha można znaleźć w książce Profesora Kielicha (Kielich, 1977), jak również w wydanym w 1993 roku trzytomowym opracowaniu zbiorowym, pod redakcją M. Evansa i S. Kielicha, *Modern Nonlinear Optics* (Evans i Kielich, 1993), którego pierwszy tom zawiera kilka artykułów przeglądowych prezentujących osiągnięcia „poznańskiej szkoły” optyki nieliniowej. Tutaj wspomnę niektóre tylko rezultaty, mające, według mojej oceny, istotny wpływ na kształtowanie się naszej wiedzy na temat nieliniowych zjawisk optycznych.

Zacznę od tego, że optyka nieliniowa zaczęła się w Poznaniu jeszcze przed powstaniem pierwszych laserów, a stało się to za sprawą Profesora Piekary, którego zainteresowania nieliniowym efektem dielektrycznym, czy jak się wtedy mówiło — nasyceniem dielektrycznym, przeniosły się w sposób niemal naturalny ze stałych w czasie (lub wolnozmiennych, o częstościach radiowych) pól elektrycznych na pola o częstościach optycznych. Kiedy, w 1956 r., pojawiła się praca Buckinghama (Buckingham, 1956) wskazująca na możliwość reorientacji molekuł w polach optycznych, Profesor Piekara natychmiast rozszerzył tematykę prowadzonych w Poznaniu badań, włączając w nie pola optyczne. W tym czasie nie istniały jeszcze odpowiednio silne źródła światła — lasery, które pozwoliłyby obserwować doświadczalnie takie nieliniowe oddziaływanie światła z atomami. Zaczęto więc od teorii. Zagadnieniem tym zajął się młody asystent Profesora Piekary, który ukończył studia w 1955 r., wtedy magister Stanisław Kielich. Pierwsze prace Kielicha (głównie wspólne z Piekarą, niektóre także z Cheł-

kowskim, ale również i samodzielne) dotyczyły nasycenia dielektrycznego, efektu Kerra, czy też efektu Cottona-Moutona w cieczach dielektrycznych. Do teoretycznego opisu cieczy złożonych z molekuł polarnych stosowano klasyczną fizykę statystyczną, która pozwalała powiązać makroskopowe własności (molarne stałe dla wymienionych efektów) z własnościami indywidualnych molekuł, takimi jak polaryzowalność, trwały moment elektryczny czy też hiperpolaryzowalność. Co więcej, fizyka statystyczna pozwalała uwzględnić, bardzo istotne w cieczach, oddziaływania międzymolekularne. Taki opis dawał możliwość wyodrębnienia poszczególnych wkładów do badanych efektów, a więc wskazania mechanizmów molekularnych odpowiedzialnych za obserwowany przebieg zjawiska dla konkretnej cieczy (zwykle roztworu molekuł o określonych własnościach, np. posiadających trwały moment elektryczny, w rozpuszczalniku niedipolowym). Pierwsze prace Piekary i Kielicha, w których pojawia się silne pole optyczne jako jeden z czynników powodujących orientację molekuł w cieczach dielektrycznych ukazały się w 1958 r. (Piekara i Kielich, 1958a; Piekara i Kielich, 1958b). Bardziej szczegółowy opis tego mechanizmu znajduje się w pracy (Kielich i Piekara, 1959). Prace te można uznać za pierwsze prace z optyki nieliniowej w Poznaniu. Od tego czasu pola optyczne stały się trwałym elementem w badaniach poznańskich.

Zjawiskiem, które przez wiele lat stanowiło przedmiot zainteresowania Kielicha, a później także Jego uczniów, było rozpraszanie światła. W 1960 r. Kielich przedstawił ogólną statystyczno-molekularną teorię rozpraszania światła przez ośrodki izotropowe złożone z polarnych i anizotropowych molekuł (Kielich, 1960). W swojej teorii Kielich rozdziela wyraźnie części izotropową i anizotropową w świetle rozproszonym pokazując, że część anizotropowa zależy od korelacji kątowych pomiędzy anizotropowymi molekułami. Tak jak i w efektach nasyceniowych, także w rozpraszaniu światła głównym motywem badań jest uzyskanie informacji o ośrodku (o własnościach molekuł z których się składa i o oddziaływaniach pomiędzy nimi) na podstawie makroskopowych pomiarów, w tym przypadku pomiarów światła rozproszonego przez ośrodek. Pierwsze prace dotyczą, z punktu widzenia współczesnej klasyfikacji nieliniowych zjawisk optycznych, liniowego rozpraszania Rayleigha i w tym sensie nie można ich zaliczyć do optyki nieliniowej. Wprawdzie w 1963 r. ukazała się praca *On non-linear light scattering in gases* (Kielich, 1963), ale chodziło w niej o liniowe, z punktu widzenia pola optycznego, rozpraszanie światła przez ośrodek poddany działaniu silnego stałego pola elektrycznego lub magnetycznego. Ten nurt był kontynuowany w późniejszych pracach. Prace te były dobrym punktem startowym do rozwijanej później teorii nieliniowego rozpraszania światła. W 1964 r. Kielich publikuje pracę *Light scattering by an intense light beam* (Kielich, 1964), w której przedstawia teorię nieliniowego, z punktu widzenia pola optycznego, rozpraszania światła. W pracy tej pojawiają się składowe światła rozproszonego na częstości podwojonej i potrójonej w stosunku do częstości silnego światła padającego. Prace dotyczące wieloharmonicznego rozpraszania światła należały do pionierskich prac w tej dziedzinie. Eksperymentalnie dwuharmoniczne rozpraszanie światła zostało zaobserwowane w kilku cieczach przez Terhune'a i in. (Terhune, Maker i Savage, 1965). Były to ciecze, których molekuły nie posiadały środka symetrii, co oznacza, że nawet pojedyncza molekuła może być dipolem oscylującym z częstością podwojoną w stosunku do częstości światła padającego. Dla molekuł centrosymetrycznych nie jest to możliwe, zatem taki mechanizm nie mógł prowadzić do rozpraszania dwuharmonicznego w cieczach, których molekuły posiadają środek symetrii. W 1967 r. Kie-

lich pokazuje (Kielich, 1967b), że także w cieczach o sferycznie symetrycznych molekułach może pojawić się rozpraszanie dwuharmoniczne wywołane oddziaływaniami międzymolekułarnymi. Takie rozpraszanie zostało później nazwane rozpraszaniem kooperatywnym i Kielich wspólnie z fizykami francuskimi z Bordeaux (Kielich, Lalanne i Martin, 1971) odkrywa doświadczalnie w 1971 r. ten rodzaj rozpraszania światła. Reorientacja molekuł cieczy w silnym polu elektrycznym lub optycznym zmienia w istotny sposób własności światła rozproszonego przez tak uporządkowane molekuły. W 1970 r. Kielich podaje teorię takich zmian spowodowanych nasyceniem optycznym, tzn. reorientacją anizotropowych molekuł w silnym polu optycznym (Kielich, 1970), a dla opisu orientacji molekuł w takim polu wprowadza uogólnione funkcje Langevina, które niektórzy badacze nazywają obecnie funkcjami Langevina-Kielicha. Teoria ta dobrze opisywała rozpraszanie światła przez roztwory makromolekuł oraz cząstek koloidalnych poddanych działaniu silnych, tak stałych jak i optycznych pól orientujących. Kielich pokazał, że z badań nasycenia optycznego można uzyskać nie tylko wartość, ale i znak anizotropii optycznej molekuł. Badania rozpraszania światła były później rozszerzone przez Kielicha i Jego uczniów M. Kozierowskiego (patrz np. (Kozierowski, 1993)), T. Bancewicza i Z. Oźgę (patrz np. (Bancewicz i Oźgo, 1993)) na badania rozpraszania wieloharmonicznego oraz na badania własności spektralnych światła rozproszonego nieliniowo, tzn. dla rozpraszania hiperrelejowskiego i hiperramanowskiego.

Zjawisko optycznej reorientacji molekuł, będące przedmiotem zainteresowania badaczy po- znańskich od samego początku badań w dziedzinie optyki nieliniowej, może być przyczyną anizotropii elektrycznej i magnetycznej ośrodka, który w nieobecności pola optycznego jest izotropowy. Anizotropia taka prowadzi do pojawienia się tzw. efektów odwrotnych (odwrotny efekt Kerra, odwrotny efekt Faradaya, czy odwrotny efekt Cottona-Moutona) polegających na odwróceniu roli pól mierzających i polaryzujących ośrodek. Polami mierzącymi stają się stałe lub wolnozmiennie (słabe) pola elektryczne bądź magnetyczne, zaś pole optyczne przejmuje rolę silnego pola polaryzującego ośrodek w sposób nieliniowy. Statystyczną teorię anizotropii elektrycznej wywołanej w ośrodku izotropowym przez silną wiązkę laserową podał Kielich w 1967 roku (Kielich, 1967b). W tym samym roku powstaje termodynamiczna teoria anizotropii elektrycznej i magnetycznej uwzględniająca wkłady pochodzące od optykostrykcji i efektu optykokalorycznego (Kielich, 1967a), zaś w 1969 r. powstaje statystyczno-molekularna teoria nieliniowych efektów magnetoptycznych w koloidach (Kielich, 1969a). W tym też roku Kielich wskazał na możliwość nieliniowej zmiany aktywności optycznej w cieczach (Kielich, 1969b). W 1971 r. Vlasov i Zaitsev (1971) zaobserwowali taką zmianę aktywności optycznej. Orientacja molekuł w polach optycznych jest także jednym z mechanizmów optycznego efektu Kerra, który polega na wywołaniu dwójłomności ośrodka poprzez silne pole optyczne. Ogólniej można powiedzieć, że współczynnik załamania ośrodka jest nieliniową funkcją intensywności światła polaryzującego ośrodek. Taka nieliniowa zależność współczynnika załamania od intensywności światła prowadzi do samoogniskowania i autokolimacji światła. Problemem tym zajmował się Profesor Piekara, co szczegółowo opisał w swojej książce (Piekara, 1968), w której omawia różne mechanizmy fizyczne dające wkład do tego zjawiska. Piekara zwraca uwagę na wkład pochodzący od korelacji radialnych molekuł. Okazało się bowiem, że oprócz wkładów pochodzących od reorientacji oraz deformacji może się pojawić wkład pochodzący od korelacji radialnych molekuł, który jest różny od zera także dla molekuł o symetrii sferycz-

nej. Korelacje radialne zostały wprowadzone przez Kielicha już w 1960 r. (Kielich, 1960), a ich wkład do nieliniowej części współczynnika załamania został szczegółowo przedyskutowany przez Kielicha i Woźniaka (Kielich i Woźniak, 1971; Woźniak, 1986).

Ośrodek izotropowy, taki jak gaz czy ciecz, staje się anizotropowy jeśli zostanie poddany działaniu pola elektrycznego bądź magnetycznego. Wymuszona polem zewnętrznym anizotropia ośrodka pozwala zaobserwować w takim ośrodku zjawiska, które w ośrodkach izotropowych nie mogą zachodzić. Takim zjawiskiem jest np. generacja drugiej harmonicznej. Kielich przedstawił (Kielich, 1968) statystyczno-molekularną teorię tego zjawiska w cieczach poddanych działaniu stałego pola elektrycznego. Jeśli pola mierzące lub polaryzujące nie są stałe w czasie to procesy reorientacji molekularnej trzeba opisywać uwzględniając ich kinetykę. Wynik działania pola zależy od tego czy molekuly nadążają za zmianami pola, czy nie. Innymi słowy mamy tu do czynienia z procesami relaksacyjnymi. Relaksacyjną teorię optycznie indukowanej dwójłomności opracowuje Kielich w 1966 roku (Kielich, 1966). Teoria relaksacyjna nieliniowych procesów optycznych jest później rozwijana przez Kielicha, Kasprowicz-Kielich, Alexiewicza i Bucherta (patrz np. (Alexiewicz i Kasprowicz-Kielich, 1993)). Kielich wspólnie z Zawodnym opracowali teorię zjawisk nieliniowych w namagnesowanych kryształach i ciałach izotropowych (Kielich i Zawodny, 1973) (patrz także (Zawodny, 1993)). Obok ośrodków izotropowych, takich jak gazy i ciecze przedmiotem badań stają się także kryształy, których symetria pozwala na zastosowanie teorii grup do znajdowania niezerowych i niezależnych składowych tensorów nieliniowych podatności.

Badania przedstawione dotąd pochodzą z okresu przed rokiem 1973, a więc zanim powstał Zakład Optyki Nieliniowej. Były one prowadzone wcześniej w Zakładzie Dielektryków IF PAN, Katedrze Fizyki Molekularnej oraz Instytucie Fizyki. Łączy je to, że są to prace samego Profesora Kielicha oraz Jego współpracowników, którzy w momencie powstania ZON utworzyli jego personel. Mówiąc o personelu ZON nie sposób pominąć dwóch osób, które odegrały w działalności ZON bardzo ważną rolę. Są to Pani Wanda Woźniak oraz Pan Magister Kazimierz Flatau. Pani Wanda Woźniak była sekretarką Profesora Kielicha. To Ona przepisywała wszystkie prace powstające w ZON, początkowo na maszynie do pisania, a później na komputerze. W latach 80-tych pojawił się ChiWriter — edytor przy pomocy którego można było wpisywać wzory matematyczne i Pani Wanda opanowała tę umiejętność. Było to duże ułatwienie bo wcześniej wzory wpisywało się ręcznie. Pani Wanda dostawała rękopisy do przepisania, a były to zwykle prace w języku angielskim. Ale zanim Pani Wanda dostała rękopis do przepisania, taka praca musiała być sprawdzona pod względem językowym, często w pierw przetłumaczona, przez Pana Magistra Kazimierza Flataua. Magister Kazimierz Flatau był osobowością niezwykłą, o bardzo szerokiej wiedzy i nieprzeciętnych zdolnościach językowych. Był On, podobno, magistrem chemii. W każdym razie zwracaliśmy się do Niego — Panie Magistrze. Jego umiejętności językowe były wykorzystywane w ZON, ale i w innych zakładach. O Jego niezwykłych zdolnościach świadczył też fakt, że prowadził On klasę klawesynu w Wyższej Szkole Muzycznej. Słyszał też ze specyficznego poczucia humoru, o którym krążyło wiele anegdot. Bez tego duetu trudno było wyobrazić sobie funkcjonowanie Zakładu Optyki Nieliniowej w pierwszych latach jego istnienia.

W początkowej fazie rozwoju optyki nieliniowej, nieliniowe procesy optyczne stanowiły źródło nowej informacji o ośrodku nieliniowym. Silne pola optyczne polaryzujące ośrodek

traktowano klasycznie i zmiany własności samych pól spowodowane nieliniowym oddziaływaniem z ośrodkiem na ogół nie były przedmiotem zainteresowania. W szczególności, ze względu na ogromną liczbę fotonów z jaką mamy do czynienia w silnych wiązkach laserowych, zwykle przyjmowano, że kwantowy charakter pola nie ma istotnego znaczenia w opisie zjawisk nieliniowych. W latach 70-tych zaczyna się jednak intensywnie rozwijać optyka kwantowa, która bada własności samego światła, uwzględniając jego kwantową, ziarnistą strukturę. Okazało się, że nieliniowe przekształcenie światła w nieliniowych procesach optycznych zmienia w sposób zasadniczy jego własności. Mogą się wtedy ujawnić nieklasyczne własności światła. Przedmiotem badań stają się statystyczne własności światła opisywane funkcjami korelacji pola wyższych rzędów, które wyznacza się z pomiarów korelacji intensywności oraz statystyki fotonów. Ten nurt badań dociera także do Poznania. Pierwszą pracą z dziedziny statystyki fotonów jest praca *On nonlinear optical activity and photon statistics* opublikowana w 1974 roku (Tanaś, 1974) przez piszącego te słowa, która niestety została niemal całkowicie zapomniana. W pracy tej została zaproponowana przybliżona metoda obliczania funkcji korelacji kwantowego pola rozchodzącego się w ośrodku nieliniowym, przy pomocy której pokazano, że w zjawisku nieliniowej aktywności optycznej może pojawić się antykorelacja fotonów. Metoda ta, zwana czasem „metodą krótkich dróg optycznych” (czy „metodą krótkich czasów” — dla ewolucji w czasie) była później wielokrotnie stosowana do obliczeń funkcji korelacji kwantowego pola w innych procesach nieliniowych. Wspólnie z Kozierowskim tą metodą pokazaliśmy po raz pierwszy (Kozierowski i Tanaś, 1977) możliwość rozgrupowania fotonów (photon antibunching) w zjawisku generacji drugiej harmonicznej, a następnie wspólnie z Kielichem uogólniliśmy ten wynik na wyższe harmoniczne (Kielich, Kozierowski i Tanaś, 1978). Wyniki te spotkały się z dużym uznaniem w świecie. Dość wspomnieć, że w podstawowej w dziedzinie optyki książce Mandela i Wolfa (Mandel i Wolf, 1995) Autorzy pisząc o kwantowych efektach w generacji drugiej harmonicznej użyli sformułowania „We shall largely adopt the approach of Kielich and his collaborators (Kozierowski and Tanas, 1977; Kielich, Kozierowski and Tanas, 1978)”. Antykorelacja fotonów, czy też subpoissonowski charakter statystyki fotonów świadczą jednoznacznie o kwantowym charakterze pola i stąd wynikało duże zainteresowanie tymi zjawiskami. Istotne dla otrzymania tych nieklasycznych efektów jest nieliniowe przekształcenie pola, jakie ma miejsce w procesach nieliniowych. W ten sposób tradycyjna optyka nieliniowa przekształciła się w nieliniową optykę kwantową. Okazało się, że niemal każde zjawisko nieliniowe może być źródłem pola o nieklasycznych własnościach. Poszukiwania tych nieklasycznych własności były przez pewien czas ważnym nurtem naszych badań, w którym uczestniczyli, oprócz wymienionych wyżej, także Z. Ficek i P. Szlachetka. (Ficek, Tanaś i Kielich, 1984; Peřinova, Peřina, Szlachetka i Kielich, 1979; Szlachetka, 1987)

Innym ciekawym problemem dotyczącym kwantowej natury pola, którym zajęliśmy się w ZON, był problem możliwości wytwarzania oraz badanie własności stanów ścięśnionych (albo ściśniętych) pola (angielski termin *squeezed states*). Termin ten, w oryginale angielskim, oznacza ściskanie fluktuacji próżni fotonowej. Innymi słowy chodzi tutaj o redukcję szumów kwantowych pola poniżej poziomu wyznaczanego przez stan próżni fotonowej. Możliwość zredukowania szumu kwantowego jest bardzo obiecująca z punktu widzenia komunikacji optycznej i zwiększenia czułości przyrządów optycznych, stąd też duże zainteresowanie tą tematyką. Podobnie jak w przypadku antykorelacji fotonów, stany ścięśnione pola pojawiają się w wielu

procesach nieliniowych. W ZON badaliśmy m. in. generację harmonicznych (Kozierowski i Kielich, 1983; Kozierowski, 1987; Kielich, Tanaś i Zawodny, 1987a; Kielich, Tanaś i Zawodny, 1987b; Tanaś, Miranowicz i Kielich, 1991), fluorescencję rezonansową (Ficek, Tanaś i Kielich, 1983; Ficek, Tanaś i Kielich, 1984) oraz propagację światła w ośrodku kerrowskim (Tanaś i Kielich, 1983; Tanaś i Kielich, 1984; Tanaś, 2003). W tym ostatnim przypadku przerzuciliśmy jakby pomost pomiędzy pionierskimi badaniami dotyczącymi optycznego efektu Kerra, które rozpoczęły optykę nieliniową w Poznaniu, i współczesną optyką kwantową. Światło rozchodzące się w ośrodku kerrowskim z zależnym od intensywności współczynnikiem załamania można opisać bardzo prostym modelem oscylatora anharmonicznego, który daje się ściśle rozwiązać i prowadzi do stanów ściśniętych pola o bardzo ciekawych własnościach (Tanaś, 1984; Tanaś i Kielich, 1984), które stały się później przedmiotem intensywnych badań. Warto tu może wspomnieć, że model ten przewiduje duży stopień redukcji szumu kwantowego ($\sim 98\%$), a więc silnie nieklasyczny stan pola, przy dużej liczbie fotonów w wiązce światła, co kłóci się z potocznym mniemaniem, że pola o dużej liczbie fotonów mogą być opisane klasycznie. Nasze wyniki dotyczące antykorelacji fotonów i stanów ściśniętych pola spotkały się z dużym uznaniem w świecie. Nasz artykuł przeglądowy na ten temat został zamieszczony w specjalnym tomie *Optica Acta* wydanym z okazji 25-lecia lasera (Kielich, Kozierowski i Tanaś, 1985).

Statystyka fotonów oraz stany ściśnione pola stanowiły ważne pole zainteresowań naszej grupy, ale tematyka badań ciągle poszerzała się obejmując inne problemy optyki kwantowej, takie jak: indukowana laserem autojonizacja (Leoński, Tanaś i Kielich, 1987; Leoński i Tanaś, 1988), dudnienia kwantowe (Ficek, Tanaś i Kielich, 1988), możliwość wytwarzania stanów kwantowych pola będących superpozycją makroskopowo rozróżnialnych stanów koherentnych (czyli tzw. kotów oraz kocia Schrödingera) (Miranowicz, Tanaś i Kielich, 1990; Paprzycka i Tanaś, 1992), kolektywne zaniki i odradzania się oscylacji Rabiego (Kozierowski, Chumakov, Światłowski i Mamedov, 1992), modele Jaynesa-Cummingsa (Kozierowski, 1993) oraz klasyczna i kwantowa analiza chaosu w dynamice nieliniowej (Szlachetka, Grygiel, Bajer i Peřina, 1992; Szlachetka, Grygiel i Bajer, 1993; Grygiel i Szlachetka, 1990; Grygiel i Szlachetka, 2000).

Obok zagadnień optyki kwantowej trwały badania zaliczane do tradycyjnej optyki nieliniowej, w szczególności badania wielofotonowego rozpraszania światła (Kielich, Ożgo i Wołejko, 1975; Kozierowski, 1985; Kozierowski, Kielich i Ożgo, 1986; Bancewicz, Głaz i Kielich, 1988; Bancewicz, Głaz i Kielich, 1990; Bancewicz, Teboul i LeDuff, 1992; Głaz i Tabisz, 1996).

W latach 1989–1991 piszący te słowa przebywał w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej, w Rosji, gdzie pracowaliśmy nad problemem kwantowego opisu fazy pól optycznych wytwarzanych w nieliniowych procesach optycznych. Kwantowy opis fazy był wtedy ciągle sprawą kontrowersyjną, chociaż był przedmiotem intensywnych badań i wiele niejasności zostało wyjaśnionych. Do badań tych udało nam się aktywnie i z powodzeniem włączyć. Z tematyki tej napisaliśmy około 30 prac, które spotkały się z dużym uznaniem w świecie, a których wyników nie sposób tutaj nawet pobieżnie omówić. Wyrazem uznania naszych osiągnięć w tej dziedzinie była nagroda za osiągnięcia naukowe, którą nasz zespół otrzymał w ZIBJ, a także prośba o napisanie artykułu przeglądowego na ten temat do prestiżowego *Progress in Optics* (Tanaś, Miranowicz i Gantsog, 1996), w którym przedstawiliśmy głównie nasze, ale nie tylko, wyniki dotyczące kwantowego opisu fazy pól optycznych wytwarzanych

w procesach nieliniowych. Tam też można znaleźć odnośniki do naszych prac na temat kwantowej fazy. Dodam tylko, że mój doktorant z Mongolii, Ts. Gantsog, który zrobił pod moim promotorstwem w ZIBJ w Dubnej doktorat z tematyki fazy kwantowej, uzyskał jako pierwszy obywatel Mongolii stypendium Humboldta i przez kilka lat pracował w Monachium, a po powrocie do Mongolii został Rektorem Mongolskiego Uniwersytetu Państwowego.

Po powrocie z Dubnej, zastałem Profesora Kielicha w nie najlepszej kondycji fizycznej. Walczył już wtedy z chorobą, która w końcu Go zmogła. Zmarł 15 października 1993 roku. Krótco przed śmiercią, w 1993 roku Profesor Kielich został uhonorowany Medalem Smoluchowskiego — najwyższym odznaczeniem przyznawanym przez Polskie Towarzystwo Fizyczne.

W tym czasie często zastępowałem Profesora w Jego obowiązkach zakładowych. W 1993 roku zostałem formalnie powołany na kierownika Zakładu Optyki Nieliniowej. Działalność naukowa ZON toczyła się nadal, jak dawniej. W 1995 roku Zakład Optyki Nieliniowej przeniósł się do nowej siedziby na Morasku. Organizujemy się na nowo. Kupujemy nowe komputery, organizujemy pracownię komputerową. Osobiście instaluję na komputerach zakładowych system operacyjny Linux oraz sporo pożytecznego oprogramowania, wszystkie komputery zostają podłączone do sieci, a ja mimowolnie zostaję administratorem zakładowego systemu. Ta rola została mi do dzisiaj, chociaż muszę przyznać, że często zajmuje to sporo czasu. Z Dubnej przywiozłem też trochę oprogramowania, w szczególności system składu komputerowego LaTeX, który zainstalowałem jeszcze na Grunwaldzkiej, a potem na Morasku. System ten pozwalał na profesjonalne składanie tekstów matematycznych i fizycznych obfitujących w formuły matematyczne. Później okazało się, że prace napisane w LaTeXu można bezpośrednio, elektronicznie przysyłać do redakcji czasopism. To znacznie skróciło proces publikacji. Byliśmy na to przygotowani!

W Zakładzie cały czas były prowadzone badania w dziedzinie tradycyjnie rozumianej optyki nieliniowej, które były kontynuacją badań rozpoczętych przez Profesora Kielicha. Rozwijana była teoria relaksacji dielektrycznej (Alexiewicz i Derdowska-Zimpel, 1995), badane były efekty nieliniowe w cieczach aktywnych optycznie (Woźniak i Wagnière, 1995) oraz widma rozpraszania światła (Bancewicz, 1995; Dębska-Kotłowska i Miranowicz, 1995; Knast, 1996). W 2001 roku ukazało się drugie wydanie *Modern Nonlinear Optics* pod redakcją M. Evansa, które było w istocie zupełnie nowym opracowaniem, a w nim znalazło się siedem rozdziałów prezentujących dorobek ZON (Evans, 2001).

Oddzielnie należy zwrócić uwagę na wyniki dotyczące kolizyjnego rozpraszania światła prowadzone przez Bancewicza i Głaza, wspólnie z fizykami francuskimi i greckimi (Głaz i Bancewicz, 2003; Bancewicz, Nowicka, J. Godet i LeDuff, 2004; Głaz, Bancewicz i J. L. Godet, 2005; Bancewicz, Głaz i J. Godet, 2007; Bancewicz, 2011; Bancewicz i Maroulis, 2011; Głaz, Bancewicz, Godet, Gustafsson, Haskopoulos i Maroulis, 2016).

W dziedzinie optyki kwantowej pojawiły się nowe problemy, które wzbudziły nasze zainteresowanie, takie jak możliwość wytwarzania stanów jednofotonowych (Leoński i Tanaś, 1994; Leoński, 1996; Leoński, Dyrting i Tanaś, 1997), które były w istocie zapowiedzią zjawiska „blokady fotonowej” szeroko dyskutowanej później (Y. Liu, Miranowicz, Gao, Bajer, Sun i Nori, 2010; Y. X. Liu, Xu, Miranowicz i Nori, 2014; H. Wang, Gu, Y. X. Liu, Miranowicz i Nori, 2015). Warto też wspomnieć, że udało nam się wyprowadzić uogólnione „master equ-

ation”, które opisywało ewolucję atomu dwupoziomowego, pompowanego silnym, klasycznym polem elektromagnetycznym, znajdującego się w rezerwuarze o lorentzowskiej gęstości modów. To „równanie master” pozwoliło uzyskać analityczne rozwiązania optycznych równań Blocha dla takiego układu raz widma fluorescencji rezonansowej, które różniły się zdecydowanie od rozwiązań otrzymywanych dla rezerwuaru z szerokim, płaskim rozkładem modów (Kowalewska-Kudłaszyk i Tanaś, 2001). Pojawiły się też pierwsze prace dotyczące kwantowych własności obwodów nadprzewodzących (Chołasiński, 2004; Chołasiński, 2005). Niestety, Mateusz Chołasiński, po obronie doktoratu z wyróżnieniem, podjął pracę w Kompanii Piwowskiej.

W drugiej połowie lat 90-tych, po pojawieniu się słynnego algorytmu Shora, który ukazywał możliwość łamania szyfrów, opartych na trudności z faktoryzowaniem dużych liczb (np. powszechnie stosowany szyfr RSA), przy pomocy (potencjalnego) komputera kwantowego, rozpoczął się gwałtowny rozwój informatyki kwantowej. W ZON szybko uświadomiliśmy sobie, że atom dwupoziomowy, który był przedmiotem naszych badań już od wielu lat, to przecież kubit. Bez trudu włączyliśmy się do badań w dziedzinie informatyki kwantowej. Sam zacząłem także popularyzować tę tematykę przygotowując wykłady dla młodzieży (niektóre z tych wykładów można znaleźć na mojej stronie internetowej). Pojawiły się wtedy nowe terminy, takie jak kryptografia kwantowa, teleportacja kwantowa, splątanie kwantowe i inne. Pojawiła się też pierwsza praca doktorska z informatyki kwantowej (Grzegorz Chimczak) oraz pierwsza habilitacja z tej tematyki (Adam Miranowicz). Publikacje z zakresu informatyki kwantowej dotyczyły teleportacji kwantowej (Chimczak i Tanaś, 2002; Chimczak, Tanaś i Miranowicz, 2005), splątania kwantowego (Miranowicz, Özdemir, Y. Liu, Koashi, Imoto i Hirayama, 2002; Miranowicz, 2004; Kowalewska-Kudłaszyk i Leoński, 2006), a w szczególności splątania kwantowego w układzie dwóch atomów dwupoziomowych (kubitów) oddziałujących z próżnią fotonową (Ficek i Tanaś, 2002; Ficek i Tanaś, 2006; Ficek i Tanaś, 2008). Te ostatnie prace zyskały duży rozgłos mierzony liczbą cytowań w literaturze, dwie pierwsze ponad 280, a trzecia ponad 180 cytowań.

Inne prace dotyczyły nożyc kwantowych (Özdemir, Miranowicz, Koashi i Imoto, 2001; Miranowicz i Leoński, 2004; Kowalewska-Kudłaszyk i Leoński, 2010; Leoński i Kowalewska-Kudłaszyk, 2011), testów nieklasyczności pól optycznych (Miranowicz, Bartkowiak, X. Wang, Y. X. Liu i Nori, 2010; Miranowicz, Bartkiewicz, Lambert, Chen i Nori, 2015), a także sprzęgaczy optycznych (Szlachetka, Misiak i Grygiel, 2003; Kowalewska-Kudłaszyk i Leoński, 2006; Kowalewska-Kudłaszyk i Leoński, 2009).

Duży rozgłos w świecie uzyskały prowadzone w ZON, we współpracy z Uniwersytetem w Ołomuńcu, badania dotyczące możliwości realizacji niepodrabialnych banknotów kwantowych przy zastosowaniu metod optycznych (Bartkiewicz, Černoč, Chimczak, Lemr, Miranowicz i Nori, 2017). Pieniądze kwantowe, wymyślone jako ciekawostka przez Wiesnera w latach siedemdziesiątych XX wieku (S. Wiesner, 1983), rozwiązują problemy fałszerstwa, z którymi mierzą się współczesne waluty. Banknoty kwantowe są niemożliwe do podrobienia ze względu na prawa mechaniki kwantowej, które zabraniają ich idealnego kopiowania (Wooters i Zurek, 1982) lub odczytania nieznannej z góry informacji. Nasze banknoty kwantowe wykonaliśmy ze światła. Zbadaliśmy jak dobrze możemy je podrobić przy zastosowaniu najlepszych dostępnych metod liniowej optyki kwantowej (Bartkiewicz, Lemr, Čer-

noch, Soubusta i Miranowicz, 2013; Bartkiewicz, Černochoch, Chimczak, Lemr, Miranowicz i Nori, 2017). Wyniki te zostały dostrzeżone przez media, czego wynikiem jest szereg publikacji popularnych, m.in. w *Science News*, *phys.org*, *naukawpolsce.pap.pl*, *tvn24.pl*, *cordis.europa.eu* oraz wyróżnienie pracy (Bartkiewicz, Černochoch, Chimczak, Lemr, Miranowicz i Nori, 2017) przez *Nature Physics* (Li, 2017). Zainteresowaniem mediów cieszyła się również praca (Bartkiewicz, Lemr, Černochoch, Soubusta i Miranowicz, 2013), w której zbadano bezpieczeństwo kryptografii kwantowej wobec zastosowania optymalnego kopiowania kwantowego.

Obecnie informatyka kwantowa coraz bardziej zmierza w kierunku praktycznych zastosowań, a więc w kierunku technologii kwantowych. W Zakładzie Optyki Nieliniowej działa już grupa zajmująca się teorią technologii kwantowych (Miranowicz, Bartkiewicz). Współpraca z ośrodkami w Czechach (Uniwersytet w Ołomuńcu) i Japonii (RIKEN) daje możliwość uczestniczenia w pionierskich badaniach z wykorzystaniem kubitów optycznych oraz kubitów opartych na nadprzewodzących obwodach kwantowych. Od roku 2016 powstało z tej tematyki ponad 20 publikacji. Wymienię tutaj tylko pracę przeglądową (Gu, Kockum, Miranowicz, Y.-x. Liu i Nori, 2017), która została opublikowana pod koniec 2017 roku, a ma już ponad 100 cytowań. Literatura cytowana w tej pracy liczy ponad 1300 pozycji.

Muszę też wspomnieć, że w ZON istniała eksperymentalna pracownia ramanowska, w której Marceli Kaczmarcki, pomimo archaicznego już sprzętu, samotnie prowadził badania dające niekiedy publikowalne wyniki (Mróz, Kaczmarcki, Kieftę i Clouter, 1992; Kaczmarcki, Mróz, Kieftę, Clouter i Rich, 1994; Kaczmarcki i Mróz, 1998; Eichner, Kaczmarcki, M. Wiesner i Mróz, 2004; Kaczmarcki i M. Wiesner, 2010).

W Poznaniu odbywały się, co dwa lata, konferencje EKON (Elektronika Kwantowa i Optyka Nieliniowa), których współorganizatorem był Zakład Optyki Nieliniowej. Pierwsza z nich odbyła się w 1974 r., a ostatnia w 1980 r. Kolejna, w 1982 roku nie odbyła się z powodu stanu wojennego i później konferencja EKON już się nie odrodziła. Natomiast pracownicy ZON wielokrotnie występowali z referatami na konferencjach międzynarodowych.

Osiągnięcia naukowe pracowników ZON były wielokrotnie nagradzane Nagrodami Ministra, nagrodami Rektora, Nagrodą ZIBJ w Dubnej. Profesor Kielich został uhonorowany Medalem Smoluchowskiego, a Profesor Tanaś otrzymał Nagrodę Rubinowicza, przyznawane przez PTF. Profesor Kielich był odznaczony Krzyżem Kawalerskim (1976) oraz Krzyżem Oficerskim (1983) Orderu Odrodzenia Polski, zaś w 1983 roku został członkiem korespondentem PAN.

Warto też odnotować, że pracownicy ZON byli autorami, współautorami czy współredaktorami kilku książek (Kielich, 1977; Evans i Kielich, 1993; Lalanne, Ducasse i Kielich, 1994; Maroulis, Bancewicz, Champagne i Buckingham, 2011; Ficek i Tanaś, 2017).

Objętość tego opracowania nie pozwala na szersze omawianie wyników, które zostały uzyskane na przestrzeni 45 lat istnienia Zakładu Optyki Nieliniowej. Bardziej kompletny spis publikacji, który można znaleźć na stronie internetowej ZON (<http://zon8.physd.amu.edu.pl>), liczy ponad 600 pozycji.

Jako uczeń Profesora Stanisława Kielicha i „wnuk naukowy” Profesora Arkadiusza Piekary, jak to określił sam Profesor Piekara, jestem dumny, że sam doczekałem się „wnuków naukowych”, i że moi uczniowie oraz ich uczniowie z sukcesem kontynuują dzieło rozpoczęte przez Profesora Kielicha.

Bibliografia

- Buckingham, A. D. (1956), „Birefringence Resulting from the Application of an Intense Beam of Light to an Isotropic Medium”, *Proc. Phys. Soc. B* 69, s. 344.
- Piekara, A. H. i S. Kielich (1958a), „Sur quelques phénomènes d'orientation moléculaire dus aux champs électrique et magnétique”, *Archives des Sciences* 11, (C.R. du 7-e Colloque Ampère, Paris, 1958), s. 304.
- (1958b), „Theory of orientational effects and related phenomena in dielectric liquids”, *J. Chem. Phys.* 29, s. 1297.
- Kielich, S. i A. H. Piekara (1959), „A statistical molecular theory of electric, magnetic and optical saturation phenomena in isotropic dielectric and diamagnetic media”, *Acta Phys. Pol.* 18, s. 439.
- Kielich, S. (1960), „A molecular theory of light scattering in gases and liquids”, *Acta Phys. Pol.* 19, s. 149.
- (1963), „On non-linear light scattering in gases”, *Acta Phys. Pol.* 23, s. 321.
- (1964), „Light scattering by an intense light beam”, *Acta Phys. Pol.* 25, s. 85.
- Terhune, R. W., P. D. Maker i C. M. Savage (1965), „Measurements of Nonlinear Light Scattering”, *Phys. Rev. Lett.* 14, s. 681.
- Kielich, S. (1966), „Optically induced birefringence”, *Acta Phys. Pol.* 30, s. 683.
- (1967a), „Electric and magnetic anisotropy induced in nonabsorbing media by an intense laser beam”, *Acta Phys. Pol.* 32, s. 405.
- (1967b), „On three-photon light scattering in atomic fluids”, *Acta Phys. Pol.* 32, s. 297.
- (1968), „DC electric field-induced optical second harmonic generation by interacting multipolar molecules”, *Chem. Phys. Lett.* 2, s. 569.
- Piekara, A. H. (1968), *Nowe oblicze optyki*, Warszawa: PWN.
- Kielich, S. (1969a), „Nonlinear magneto-optics of colloids”, *J. Colloid and Interface Sci.* 30, s. 159.
- (1969b), „Nonlinear optical activity in liquids”, *Acta Phys. Pol.* 35, s. 861.
- (1970), „Changes in Rayleigh scattering of light caused by laser optical saturation”, *Acta Phys. Pol. A* 37, s. 719.
- Kielich, S., J. R. Lalanne i F. B. Martin (1971), „Double-photon elastic light scattering by liquids having centrosymmetric molecules”, *Phys. Rev. Lett.* 26, s. 1295.
- Kielich, S. i S. Woźniak (1971), „Influence of statistical fluctuational processes on higher order nonlinear refractive index of simple fluids”, *Acta Phys. Pol. A* 39, s. 233.
- Vlasov, D. V. i V. P. Zaitsev (1971), „Experimental Observation of Nonlinear Optical Activity”, *JETP Lett.* 14, s. 112.
- Kielich, S. i R. Zawodny (1973), „Optical nonlinear phenomena in magnetized crystals and isotropic bodies”, *Acta Phys. Pol. A* 43, s. 579.
- Tanaś, R. (1974), „On nonlinear optical activity and photon statistics”, *Optik* 40, s. 109.
- Kielich, S. (1977), *Molekularna optyka nieliniowa*, (Wydanie rosyjskie, Nauka, 1981), Warszawa: PWN.
- Kozierowski, M. i R. Tanaś (1977), „Quantum fluctuations in second-harmonic light generation”, *Opt. Commun.* 21, s. 229.

- Kielich, S., M. Kozirowski i R. Tanaś (1978), „Antibunching in light harmonics generation from field quantisation”, *Coherence and Quantum Optics IV*, wyd. L. Mandel i E. Wolf, New York: Plenum, s. 511.
- Ficek, Z., R. Tanaś i S. Kielich (1983), „Squeezed states in resonance fluorescence of two interacting atoms”, *Opt. Commun.* 46, s. 23.
- Kozirowski, M. i S. Kielich (1983), „Squeezed states in harmonic generation of laser beam”, *Phys. Lett. A* 94, s. 213.
- Tanaś, R. i S. Kielich (1983), „Self-squeezing of light propagating through nonlinear optically isotropic media”, *Opt. Commun.* 45, s. 351.
- Wiesner, S. (1983), „” *ACM SIGACT News* 15, (oryginalna praca została napisana w latach 70-tych), s. 78–88.
- Tanaś, R. (1984), „Squeezed states of an anharmonic oscillator”, *Coherence and Quantum Optics V*, wyd. L. Mandel i E. Wolf, New York: Plenum, s. 645.
- Kielich, S., M. Kozirowski i R. Tanaś (1985), „Photon antibunching and squeezing. Two non-trivial effects of the nonlinear interaction of laser light with matter”, *Optica Acta* 32, s. 1023.
- Leoński, W., R. Tanaś i S. Kielich (1987), „Laser-induced autoionization from a double Fano system”, *J. Opt. Soc. Am. B* 4, s. 72.
- Ficek, Z., R. Tanaś i S. Kielich (1988), „Quantum beats in intensity correlations of spontaneous emission from two nonidentical atoms”, *J. Mod. Opt.* 35, s. 81.
- Kozirowski, M., S. M. Chumakov, J. Światłowski i A. A. Mamedov (1992), „Collective collapses and revivals in spontaneous emission of a partially inverted system of two-level atoms in an ideal cavity field”, *Phys. Rev. A* 46, s. 7220.
- Alexiewicz, W. i B. Kasprowicz-Kielich (1993), „Relaxation theory of nonlinear processes in the Smoluchowski rotational diffusion approximation”, *Modern Nonlinear Optics*, wyd. M. Evans i S. Kielich, t. 85, Advances in Chemical Physics, New York: Wiley, s. 1.
- Bancewicz, T. i Z. Ożgo (1993), „Hyper-Rayleigh and hyper-Raman rotational and vibrational spectroscopy”, *Modern Nonlinear Optics*, wyd. M. Evans i S. Kielich, t. 85, Advances in Chemical Physics, New York: Wiley, s. 89.
- Evans, M. i S. Kielich, red. (1993), *Modern Nonlinear Optics*, t. 85, Advances in Chemical Physics, New York: Wiley.
- Kozirowski, M. (1993), „The one- and two-photon Jaynes-Cummings models as a source of a sub-Poissonian fields by chaotic pumping”, *Phys. Rev. A* 47, s. 723.
- Zawodny, R. (1993), „Nonlinear magneto-optics of magnetically ordered crystals”, *Modern Nonlinear Optics*, wyd. M. Evans i S. Kielich, t. 85, Advances in Chemical Physics, New York: Wiley, s. 307.
- Alexiewicz, W. i H. Derdowska-Zimpel (1995), „Time dependent behaviour of third-order electric polarisation in AC reorienting field in molecular liquids”, *Physica A* 214, s. 9.
- Bancewicz, T. (1995), „Multipole electric field light scattering by computer”, *Chem. Phys. Lett.* 244, s. 305.
- Mandel, L. i E. Wolf (1995), *Optical Coherence and Quantum Optics*, New York: Cambridge University Press.
- Woźniak, S. i G. Wagnière (1995), „Non-resonant optical rectification in optically active liquids”, *Opt. Commun.* 114, s. 131.

- Evans, M., red. (2001), *Modern Nonlinear Optics*, t. 119, Advances in Chemical Physics, New York: Wiley.
- Miranowicz, A., S. K. Özdemir, Y. Liu, M. Koashi, N. Imoto i Y. Hirayama (2002), „Generation of maximum spin entanglement induced by a cavity field in quantum-dot systems”, *Phys. Rev. A* 65, s. 062321.
- Miranowicz, A., K. Bartkiewicz, N. Lambert, Y.-N. Chen i F. Nori (2015), „Increasing relative nonclassicality quantified by standard entanglement potentials by dissipation and unbalanced beam splitting”, *Phys. Rev. A* 92, s. 062314.
- Woźniak, S. (1986), „Influence of pure reorientational processes on magneto-chiral birefringence and dichroism of diamagnetic molecules in strong optical fields”, *J. Chem. Phys.* 85, s. 4217.
- Ficek, Z., R. Tanaś i S. Kielich (1984), „Photon antibunching and squeezing in resonance fluorescence of two interacting atoms”, *Phys. Rev. A* 29, s. 2004.
- Peřinova, V., J. Peřina, P. Szlachetka i S. Kielich (1979), „Quantum statistical properties of photon and phonon fields in non-degenerate hyper-Raman scattering”, *Acta Phys. Polonica* A56, s. 267.
- Szlachetka, P. (1987), „Liouville equation in the form of a partial differential equation”, *J. Phys. A* 20, s. 1455.
- Kozierowski, M. (1987), „Violation of the Cauchy-Schwarz inequality and anticorrelation effect in second-harmonic generation”, *Phys. Rev. A* 36, s. 2973.
- Kielich, S., R. Tanaś i R. Zawodny (1987a), „Squeezing in the third-harmonic field generated by self-squeezed light”, *J. Opt. Soc. Am. B* 4, s. 1627.
- (1987b), „Intensity-dependent Faraday effect as a tool for controlling the process of light self-squeezing”, *Phys. Rev. A* 36, s. 5670.
- Tanaś, R., A. Miranowicz i S. Kielich (1991), „Squeezing and its graphical representations in the anharmonic oscillator model”, *Phys. Rev. A* 43, s. 4014.
- Tanaś, R. i S. Kielich (1984), „On the possibility of almost complete self-squeezing of strong electromagnetic fields”, *Optica Acta* 31, s. 81.
- Tanaś, R. (2003), „Nonclassical states of light propagating in Kerr media”, *Theory of Non-Classical States of Light*, wyed. V. Dodonov i V. I. Man'ko, London: Taylor & Francis, s. 267.
- Leoński, W. i R. Tanaś (1988), „DC-field effects on the photoelectron spectrum from a system with two autoionizing levels”, *J. Phys. B* 21, s. 2835.
- Miranowicz, A., R. Tanaś i S. Kielich (1990), „Generation of discrete superpositions of coherent states in the anharmonic oscillator model”, *Quantum Optics* 2, s. 253.
- Paprzycka, M. i R. Tanaś (1992), „Discrete superpositions of coherent states and phase properties of the m-photon anharmonic oscillator”, *Quantum Optics* 4, s. 331.
- Szlachetka, P., K. Grygiel, J. Bajer i J. Peřina (1992), „Chaos and order in second-harmonic generation: Cumulant approach”, *Phys. Rev. A* 46, s. 7311.
- Szlachetka, P., K. Grygiel i J. Bajer (1993), „Chaos and order in a kicked anharmonic oscillator: Classical and quantum analysis”, *Phys. Rev. E* 48, s. 101.
- Grygiel, K. i P. Szlachetka (1990), „Lyapunov analysis of chaos in a system governing second-harmonic generation of light”, *Opt. Commun.* 78, s. 177.

- Grygiel, K. i P. Szlachetka (2000), „Chaos and hyperchaos in coupled Kerr oscillators”, *Opt. Commun.* 177, s. 425.
- Kielich, S., Z. Ożgo i L. Wołejko (1975), „Laser optical saturation of molecular reorientation in Raman light scattering”, *J. Raman Spectr.* 3, s. 315–325.
- Kozierowski, M. (1985), „Electric-dipole differential hyper-Rayleigh and hyper-Raman scattering of elliptically polarized light”, *Phys. Rev.* 31, s. 509.
- Kozierowski, M., S. Kielich i Z. Ożgo (1986), „Inverse polarization of asymmetric hyper-Raman lines”, *J. Chem. Phys.* 84, s. 5271.
- Bancewicz, T., W. Gład i S. Kielich (1988), „Theory of multipolar interaction-induced contributions to Rayleigh intensity scattered by fluids with linear centrosymmetric molecules”, *Chem. Phys.* 128, s. 321.
- (1990), „The dipole-octopole contribution to the Rayleigh wings of gaseous nitrogen”, *Phys. Lett. A* 148, s. 78.
- Bancewicz, T., V. Teboul i Y. LeDuff (1992), „High-frequency interaction-induced rototranslational scattering from gaseous nitrogen”, *Phys. Rev. A* 46, s. 1349.
- Gład, W. i G. Tabisz (1996), „The influence of line mixing on the collisionally induced spectra”, *Phys. Rev. A* 54, s. 3903.
- Tanaś, R., A. Miranowicz i T. Gantsog (1996), „Quantum phase properties of nonlinear optical phenomena”, *Progress in Optics*, wyd. E. Wolf, t. 35, Amsterdam: Elsevier Sci., s. 355.
- Dębska-Kotłowska, M. i A. Miranowicz (1995), „Spectral analysis of light scattered on macromolecules reoriented by a laser beam”, *J. of Colloid and Interface Science* 175, s. 318.
- Knast, K. (1996), „Analysis of polarization effects in time-dependent Rayleigh light scattering by optically active molecules”, *Chem. Phys.* 213, s. 465.
- Gład, W. i T. Bancewicz (2003), „The hyper-Rayleigh light scattering spectrum of gaseous Ne-Ar mixture”, *J. Chem. Phys.* 118, s. 6264.
- Bancewicz, T., K. Nowicka, J. Godet i Y. LeDuff (2004), „Multipolar polarizabilities of methane from isotropic and anisotropic collision induced light scattering”, *Phys. Rev. A* 69, s. 062704.
- Gład, W., T. Bancewicz i J. L. Godet (2005), „Hyper-Rayleigh spectral intensities of gaseous Kr-Xe mixture”, *J. Chem. Phys.* 122, s. 224323.
- Bancewicz, T., W. Gład i J. Godet (2007), „Moments of hyper-Rayleigh spectra of selected rare gas mixtures”, *J. Chem. Phys.* 127, s. 134308.
- Bancewicz, T. (2011), „Asymptotic multipolar expansion of collision-induced properties”, *J. Chem. Phys.* 134, s. 104309.
- Bancewicz, T. i G. Maroulis (2011), „Validation of a model for the interaction-induced long-range first hyperpolarizability”, *Chem. Phys. Lett.* 496, s. 349.
- Gład, W., T. Bancewicz, J.-L. Godet, M. Gustafsson, A. Haskopoulos i G. Maroulis (2016), „Effects of anisotropic interaction-induced properties of hydrogen-rare gas compounds on rototranslational Raman scattering spectra: Comprehensive theoretical and numerical analysis”, *J. Chem. Phys.* 145, s. 034303.
- Leoński, W. i R. Tanaś (1994), „Possibility of producing the one-photon state in a kicked cavity with a nonlinear Kerr medium”, *Phys. Rev. A* 49, R20.
- Leoński, W. (1996), „Fock-states in a Kerr medium with parametric pumping”, *Phys. Rev. A* 54, s. 3369.

- Leoński, W., S. Dyrting i R. Tanaś (1997), „Fock states generation in a kicked cavity with a nonlinear medium”, *J. Mod. Opt.* 44, s. 2105.
- Liu, Y., A. Miranowicz, Y. B. Gao, J. Bajer, C. P. Sun i F. Nori (2010), „Qubit-induced phonon blockade as a signature of quantum behavior in nanomechanical resonators”, *Phys. Rev. A* 82, s. 032101.
- Liu, Y. X., X. W. Xu, A. Miranowicz i F. Nori (2014), „From blockade to transparency: controllable photon transmission through a circuit QED system”, *Phys. Rev. A* 89, s. 043818.
- Wang, H., X. Gu, Y. X. Liu, A. Miranowicz i F. Nori (2015), „Tunable photon blockade in a hybrid system consisting of an optomechanical device coupled to a two-level system”, *Phys. Rev. A* 92, s. 033806.
- Kowalewska-Kudłaszyk, A. i R. Tanaś (2001), „Generalized master equation for a two-level atom in a strong field and tailored reservoirs”, *J. Mod. Opt.* 48, s. 347.
- Chołaściński, M. (2004), „Quantum holonomies with Josephson-junction devices”, *Phys. Rev. B* 69, 134516 (2004) 69, s. 134516.
- (2005), „Appearance of topological phases in superconducting nanocircuits”, *Phys. Rev. Lett.* 94, s. 067004.
- Chimczak, G. i R. Tanaś (2002), „The effect of a non-zero spontaneous decay rate on teleportation”, *J. Opt. B* 4, 430 (2002) 4, s. 430.
- Chimczak, G., R. Tanaś i A. Miranowicz (2005), „Teleportation with insurance of an entangled atomic state via cavity decay”, *Phys. Rev. A* 71, s. 032316.
- Miranowicz, A. (2004), „Violation of Bell inequality and entanglement of decaying Werner states”, *Phys. Lett. A* 327, s. 272.
- Kowalewska-Kudłaszyk, A. i W. Leoński (2006), „Finite-dimensional states and entanglement generation for a nonlinear coupler”, *Phys. Rev. A* 73, s. 042318.
- Ficek, Z. i R. Tanaś (2002), „Entangled states and collective nonclassical effects in two-atom systems”, *Phys. Reports* 372, s. 369.
- (2006), „Dark periods and revivals of entanglement in a two-qubit system”, *Phys. Rev. A* 74, s. 024304.
- (2008), „Delayed sudden birth of entanglement”, *Phys. Rev. A* 77, s. 054301.
- Özdemir, S. K., A. Miranowicz, M. Koashi i N. Imoto (2001), „Quantum-scissors device for optical state truncation: A proposal for practical realization”, *Phys. Rev. A* 64, s. 063818.
- Miranowicz, A. i W. Leoński (2004), „Dissipation in systems of linear and nonlinear quantum scissors”, *J. Opt. B* 6, S43–S46.
- Kowalewska-Kudłaszyk, A. i W. Leoński (2010), „Squeezed vacuum reservoir effect for entanglement decay in nonlinear quantum scissors system”, *J. Phys. B* 43, s. 205503.
- Leoński, W. i A. Kowalewska-Kudłaszyk (2011), „Quantum scissors — finite-dimensional states engineering”, *Progress in Optics* 56, s. 131.
- Miranowicz, A., M. Bartkowiak, X. Wang, Y. X. Liu i F. Nori (2010), „Testing nonclassicality in multimode fields: a unified derivation of classical inequalities”, *Phys. Rev. A* 82, s. 013824.
- Szlachetka, P., M. Misiak i K. Grygiel (2003), „Two-time synchronism and induced synchronization in a Kerr couplers”, *Eur. Phys. Journal D* 25, s. 173–180.
- Kowalewska-Kudłaszyk, A. i W. Leoński (2009), „Sudden death and birth of entanglement effects for Kerr-nonlinear coupler”, *J. Opt. Soc. Am B* 26, s. 1289.

- Bartkiewicz, K., A. Černoch, G. Chimczak, K. Lemr, A. Miranowicz i F. Nori (2017), „Experimental quantum forgery of quantum optical money”, *npj Quantum Information* 3.1.
- Wooters, W. i W. Zurek (1982), „A single quantum cannot be cloned”, *Nature* 299, s. 802.
- Bartkiewicz, K., K. Lemr, A. Černoch, J. Soubusta i A. Miranowicz (2013), „Experimental Eavesdropping Based on Optimal Quantum Cloning”, *Phys. Rev. Lett.* 110, s. 173601.
- Li, Y. (2017), „Quantum currency: No safe bets”, *Nature Physics* 3, s. 205.
- Gu, X., A. F. Kockum, A. Miranowicz, Y.-x. Liu i F. Nori (2017), „Microwave photonics with superconducting quantum circuits”, *Physics Reports* 718–719, s. 1–102.
- Mróz, B., M. Kaczmarek, H. Kiefte i M. J. Clouter (1992), „Raman studies of lattice vibrations in $\text{Rb}_4\text{LiH}_3(\text{SO}_4)_4$ and $\text{K}_4\text{LiH}_3(\text{SO}_4)_4$ single crystals”, *J. Phys.: Condens. Matter* 4, s. 7515–7520.
- Kaczmarek, M., B. Mróz, H. Kiefte, M. J. Clouter i N. H. Rich (1994), „Raman Studies of Lattice Vibrations in Ferroelastic $\text{K}_3\text{Na}(\text{SeO}_4)_2$ ”, *Ferroelectrics* 152, s. 331–335.
- Kaczmarek, M. i B. Mróz (1998), „Raman study of the ferroelastic phase transition in $\text{K}_3\text{Na}(\text{SeO}_4)_2$ ”, *Phys. Rev. B* 57, s. 13589.
- Eichner, A., M. Kaczmarek, M. Wiesner i B. Mróz (2004), „Low-temperature phase transition in $\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$ crystal”, *Ferroelectrics* 303, s. 31–34.
- Kaczmarek, M. i M. Wiesner (2010), „Temperature-dependent low wavenumber Raman scattering studies in LiCsSO_4 crystal”, *J. Raman Spectroscopy* 41, s. 1765.
- Lalanne, J. R., A. Ducasse i S. Kielich (1994), *Interaction Laser Molecule*, (English translation, Wiley, 1996), Paris: Polytechnica.
- Maroulis, G., T. Baniewicz, B. Champagne i A. D. Buckingham, red. (2011), *Atomic and Molecular Nonlinear Optics: Theory, Experiment and Computation — A homage to the pioneering work of Stanisław Kielich (1925–1993)*, Amsterdam: IOS Press.
- Ficek, Z. i R. Tanaś (2017), *Quantum-Limit Spectroscopy*, Springer Series in Optical Sciences, New York: Springer.

NAJWAŻNIEJSZE FAKTY Z ŻYCIORYSÓW BYŁYCH KIEROWNIKÓW ZAKŁADU OPTYKI NIELINIOWEJ

Prof. dr hab. Stanisław Kielich

KARIERA NAUKOWA

- Urodzony: 10 listopada 1925, Czempin; zmarł 15 października 1993
- 1955, kończy studia, Wydział Przyrodniczy, Uniwersytet Poznański
- 1962, doktorat
- 1964, habilitacja
- 1971, profesor nadzwyczajny
- 1976, profesor zwyczajny
- 1983, członek korespondent PAN

KARIERA ZAWODOWA

- 1966-1969, kierownik Katedry Fizyki Molekularnej
- 1969-1975, dyrektor Instytutu Fizyki UAM
- 1973-1993, kierownik Zakładu Optyki Nieliniowej
- 1970-1971, „professeur associé” Uniwersytet Bordeaux
- ponad 20 doktorów, 6 doktorów habilitowanych, 3 uczniów ma tytuł profesorski

PUBLIKACJE

- Autor bądź współautor około 300 publikacji
- Autor książki *Molekularna Optyka Nieliniowa* (PWN, Warszawa, 1977); tłumaczenie rosyjskie (Nauka, Moskwa, 1981)
- Redaktor (wspólnie z M. Evansem) *Modern Nonlinear Optics* (Wiley, New York, 1993), trzypięciotomowe opracowanie na temat optyki nieliniowej
- Współautor książki (z J. R. Lalanne i A. Ducasse) *Interaction Laser Molecule* (Polytechnica, Paris, 1994); tłumaczenie angielskie (Wiley, New York, 1996)

NAGRODY I ODZNACZENIA

- Nagrody Ministra — wielokrotnie
- Nagroda Miasta Poznania (1969)
- Medal Edukacji Narodowej
- Medal UAM
- Złoty Krzyż Zasługi (1969)
- Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski (1976)
- Krzyż Oficerski Orderu Odrodzenia Polski (1983)
- Medal im. Mariana Smoluchowskiego (1993)

SPRAWOWANE FUNKCJE I GODNOŚCI

- Członek korespondent PAN

- Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego Konferencji EKON
- Członek Komitetu Fizyki PAN od maja 1972 roku do 1980, członek Sekcji Optyki oraz Komisji Wydawniczej do 1973 roku,
- Członek Rady Głównej Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki I kadencji,
- Członek Rady Naukowej Instytutu Fizyki PAN od 1972 roku do 1975 oraz od 1981 do 1993,
- Członek Komitetu Spektroskopii PAN,
- Członek Międzyresortowej Komisji Ocen Badań Podstawowych w dziedzinie nauk ścisłych (1977),
- Członek Rady Naukowej Instytutu Biochemii Akademii Rolniczej w Poznaniu od 1972 do 1975 roku,
- V-ce Przewodniczący Rady Naukowej Instytutu Fizyki Molekularnej PAN w latach 1975-1981,
- Członek Zespołu d/s Międzynarodowej Unii Fizyki Czystej i Stosowanej Komitetu Fizyki PAN (1972-?),
- Członek Centralnej Komisji Kwalifikacyjnej (1976-?),
- Członek Komitetu Redakcyjnego *Fizyki Dielektryków* wydawanej przez PTPN od 1962 roku,
- Członek Redakcji *Journal of Raman Spectroscopy* wydawanego od 1973 roku w Holandii,
- Członek Redakcji *Le Journal de Physique* w latach 1980-1983,
- Członek Redakcji *Optica Acta* w latach 1982-1985,
- Członek Redakcji *Quantum Optics* (1993)
- Członek Polskiego Towarzystwa Fizycznego

PAMIĘĆ

- 2001, Gimnazjum w Czempiniu (obecnie Borowo koło Czempinia) otrzymało nazwę Profesora Stanisława Kielicha
- 2013, 20 września, Rada Wydziału Fizyki podjęła uchwałę o nadaniu jednej z sal imienia Profesora Stanisława Kielicha

Prof. dr hab. Ryszard Tanaś

KARIERA NAUKOWA

- Urodzony 15 luty 1946, Malinie
- 1969, kończy studia na Wydziale Fizyki UAM
- 1975, doktorat Wydział Fizyki UAM
- 1984, habilitacja
- 1990, tytuł profesorski

KARIERA ZAWODOWA

- 1969–1976, asystent
- 1976–1985, adjunkt
- 1985–1990, docent
- 1990–1995, profesor nadzwyczajny
- 1995, profesor zwyczajny
- 2016, profesor emerytowany
- 1993–2016, kierownik Zakładu Optyki Nieliniowej
- 2005–2016, kierownik studiów doktoranckich
- 1980/81 Research Associate, Department of Physics, University of Florida, Gainesville, USA
- 1981 (Jul-Sept) and 1984 (Jun-Jul) Research Associate, Department of Physics and Astronomy, University of Rochester, Rochester, USA
- 1987 (Feb-May) and 1989-1991 wiodący pracownik naukowy, ZIBJ, Dubna, Rosja
- 1993 (Apr) Visiting Professor, University Complutense, Madrid, Spain
- 1993 (Aug-Sept) Senior Research Associate, The University of Queensland, Brisbane, Australia
- 1997 (Jul-Sept) Visiting Professor, The University of Queensland, Brisbane, Australia
- 2006 (Aug-Sept) Visiting Professor, The University of Queensland, Brisbane, Australia

PUBLIKACJE

- Autor bądź współautor ponad 150 publikacji o zasięgu międzynarodowym
- Współautor (z Z. Fickiem) monografii *Quantum-Limit Spectroscopy*, Springer Series in Optical Sciences, (Springer, New York, 1917)

NAGRODY I ODZNACZENIA

- Nagrody Ministra: 1976, 1978, 1985, 1988, 1994, 2002
- 1993, Nagroda ZIBJ w Dubnej za osiągnięcia naukowe
- 2005, Nagroda Rubinowicza Polskiego Towarzystwa Fizycznego

SPRAWOWANE FUNKCJE I GODNOŚCI

- IUPAP Commission on Quantum Electronics, 1996-1999 członek, 1999-2002 sekretarz, 2002-2005 vice-przewodniczący
- 1999–2002 członek Komitetu Fizyki PAN
- Członek Polskiego Towarzystwa Fizycznego
- Członek Redakcji *Quantum Optics*
- Członek Rady Naukowej Krajowego Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej, Toruń
- Członek Rady Naukowej Krajowego Centrum Informatyki Kwantowej, Gdańsk