



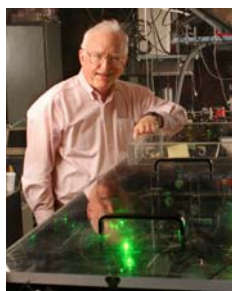
Nobel 2005

*Jakub Zakrzewski
Instytut Fizyki UJ*

Tegoroczną Nagrodę Nobla z fizyki dostali wybitni przedstawiciele szeroko rozumianej optyki kwantowej czy spektroskopii atomowej. Połowę nagrody otrzymał teoretyk **Roy Glauber** z Harvardu, który przed ponad 40 laty sformułował kwantową teorię koherencji. Druga połowa w równych częściach przypadła znakomitym wirtuozom technik laserowych **Johnowi Hallowi** z Boulder i **Theodorowi Hänschowi** z Monachium. Fundamentalne prace Glaubera z 1963 roku do teraz czyta się z dużą przyjemnością. W sposób bardzo elegancki i systematyczny wprowadził kwantową teorię spójności światła oraz teorię detekcji.



Roy Glauber



John Hall



Theodor Hänsch

Spójność (koherencja) światła

Zgodność fazy dwóch (lub więcej) fal świetlnych i zgodność ich polaryzacji umożliwiająca interferencję. We wszystkich źródłach światła (oprócz laserów) promieniowanie świetlne powstaje w wyniku niezależnych aktów *emisji spontanicznej*; powstające w ten sposób światło może być spójne tylko w ograniczonym zakresie czasowo-przestrzennym. W laserze promieniowanie optyczne wytwarzane jest wskutek *wymuszonej emisji* promieniowania elektromagnetycznego zachodzącej w układach atomów, jonów, cząsteczek; powstaje w ten sposób promieniowanie spójne.

Glauber opisał w sposób kwantowy jak działa detektor absorbując fotony (w tegorocznej nagrodzie można znaleźć zatem nawiązanie do roku fizyki i 100-lecia analizy efektu fotoelektrycznego przez Einsteina). Przez korelację sygnałów z różnych detektorów można badać tzw. wyższe funkcje korelacji. Teoria Glaubera pozwala klarownie wyjaśnić różnicę między światłem termicznym (żarówka,

światło słoneczne) a światłem laserowym. Bezpośrednie jej zastosowanie pozwoliło zaplanować (i przeprowadzić) fundamentalne eksperymenty potwierdzające kwantową naturę światła (np. tzw. efekt antygrupowania fotonów). Glauber rozwinął też formalizm opisu kwantowych układów poprzez stany koherentne (zwane też stanami Glaubera), czyli takie stany, które są najbliższe fizyki klasycznej. Jako ciekawostkę można wspomnieć bliskie związki Glaubera z Polską. Co najmniej kilku polskich fizyków współpracowało z Glauberem, goszcząc u niego na Harvardzie. Jednym z najbardziej znanych jest Maciej Lewenstein, obecnie pracujący w Barcelonie. Inny to Wojciech H. Żurek z Los Alamos National Laboratory. Przez kilkanaście lat Glauber przyjeżdżał do Polski na konferencje Optyki Kwantowej, organizowane w Ustroniu przez optyków warszawskich.

Eksperymentatorzy, Hall i Hänsch, położyli wielkie zasługi dla rozwoju fizyki laserów i tzw. spektroskopii wysokiej zdolności rozdzielczej. Badania te pozwoliły na wyznaczenie stałych atomowych (częstości przejścia) z niesamowitą precyzją, z dokładnością do kilkunastu cyfr znaczących. Stabilność linii laserowych można istotnie poprawić przez sprzężenie światła z dodatkowym rezonatorem czy „aktywnymi” urządzeniami optycznymi, takimi jak akusto-optyczne modulatory. Hall był jednym z prekursorów, a metody spektroskopii do perfekcji doprowadził Hänsch w swoich pomiarach fundamentalnych stałych atomowych, głównie dla atomu wodoru. To jego grupa dzierży rekord w wyznaczeniu przesunięcia Lambda czy stałej Rydberga.

Stała Rydberga

$$R_{\infty} = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} = 10\,973\,731,568\,549(83) \text{ m}^{-1}$$

wiąże energię elektronu w atomie wodoru lub jonie wodoropodobnym z jego główną liczbą kwantową n :

$$E_n = -\frac{R_{\infty}}{n^2}$$

Ta precyzja pomiarowa doprowadziła do powstania nowych standardów metra.

Wzorzec metra

1792 – Francuskie Zgromadzenie Narodowe przyjęło: metr to jedna dziesięciomilionowa część odległości od bieguna północnego do równika.

1889 – I Generalna Konferencja Miar postanowiła: metr to odległość między dwoma rysami wygrawerowanymi na przecie-wzorcze platynowo-irydowym, mierzona w temperaturze $T = 0^{\circ}\text{C}$, pod ciśnieniem $p = 1013,25 \text{ hPa}$ (wzorzec ten przechowywany jest w Międzynarodowym Biurze Miar i Wag pod Paryżem).

1960 – XI Generalna Konferencja Miar przyjęła definicję: metr to długość równa 1 650 763,73 długości fali emitowanej w próżni przy przejściu między poziomami w atomie kryptonu ^{86}Kr .

1983 – XVII Konferencja Ogólna ds. Miar i Wag określiła metr jako długość drogi, którą przebywa światło w próżni w czasie 1/299 792 458 sekundy.

Hall i Hänsch wreszcie stworzyli tzw. grzebień częstotliwościowy. Składając ze sobą odpowiednio sprzężone bardzo krótkie impulsy świetlne, otrzymuje się światło, które w domenie częstotliwości składa się z milionów sprzężonych modów, pokrywających duży zakres widma. Znając jedną z częstości i odstęp między nimi oraz licząc zęby grzebienia, otrzymujemy linijkę do pomiaru częstotliwości z precyzją do kilkunastu cyfr znaczących.



Roy Glauber (w środku w jasnej prochowej kurtce) na konferencji Quantum Optics V w Kościelisku (zdjęcie opublikowane w Acta Physica Polonica A 2002). Po prawej prof. W. Gawlik (IF UJ), poniżej od lewej doc. M. Gajda (IF PAN), prof. K. Rzażewski (CFT PAN), prof. J. Mostowski (IF PAN) i prof. I. Białynicki-Birula (CFT PAN). Za prof. W. Gawlikiem widoczny prof. M. Kuś (CFT PAN), a drugi od lewej w górnym rzędzie to prof. L. Sirko (IF PAN). Gdyby nie prof. J. Eberly (Rochester, NY, za laureatem) to można by mówić o osaczeniu R. Glaubera przez polskich fizyków