Politechnika Wrocławska

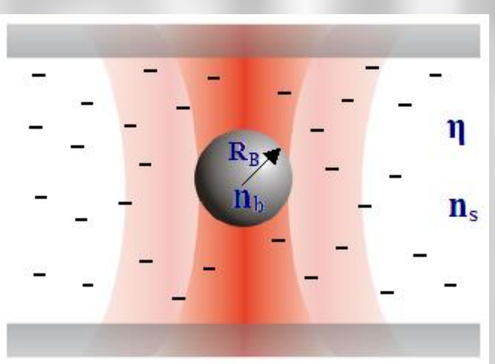
Zastosowanie pułapki optycznej do generatora liczb losowych

Sławomir Drobczyński[1], Tadeusz Martynkien[1], Ewa Popko[2], Jakub Niemczuk[3]

1. Katedra Optyki i Fotoniki, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
2. Katedra Technologii Kwantowych, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
3. Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Politechnika Wrocławska, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław

Zjawisko pułapkowania optycznego obserwujemy dla niewielkich obiektów dielektrycznych umieszczonych w silnie zogniskowanej wiązce laserowej. Trójwymiarowe pułapkowanie jest wynikiem dominacja siły pochodzącej od wzajemnego odziaływania składowej elektrycznej wiązki światła oraz indukowanego dipola elektrycznego nad siłą powstającą w skutek przekazania pędu przez rozproszone fotony. Dla niewielkich wychyleń obiektu z położenia równowagi potencjał pułapki optycznej można przybliżyć potencjałem harmonicznym. Ruch pułapkowanej cząstki w potencjale harmonicznym opisuje równanie Langevina uwzględniające tłumienie ośrodka oraz wymuszenie pochodzące od zderzeń pułapkowanego obiektu z cząsteczkami cieczy, w której się znajduje. Rozwiązaniem równania ruchu jest proces Ornsteina-Uhlenbecka, który charakteryzuje się tym, że aktualna wartość jest kombinacją liniową wartości poprzedniej i zewnętrznego szumu. Wydobycie tego szumu z sygnału drgań pułapkowanego obiektu jest źródłem losowego ciągu liczbowego. Układ pomiarowy został wyposażony w wyspecjalizowany rejestrator analogowo-cyfrowy. Rejestrator zbudowany jest z szybkich przetworników analogowo-cyfrowych, układu FPGA, pamięci RAM oraz mikrokontrolera z rdzeniem ARM do szybkiej transmisji danych.

Pułapkowanie optyczne[1]



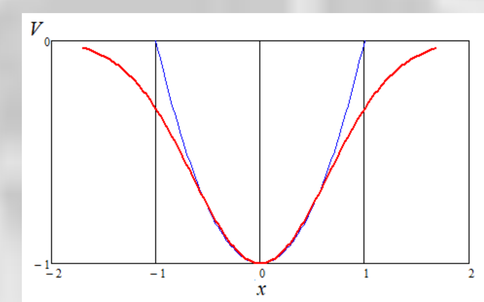
$$F_{scatt} = \frac{I_0}{c}\frac{128\pi^5 R_B^6}{3\lambda^4}\left(\frac{m^2-1}{m^2+2}\right)^2 n_s$$

$$F_{grad} = -\frac{n_s^3 R_B^3}{2}\left(\frac{m^2-1}{m^2-2}\right)^2 \nabla E^2$$

$$\frac{F_{grad}}{F_{scatt}} \geq 1$$

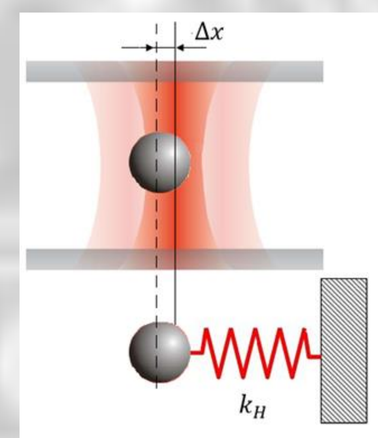
Warunek stabilnego pułapkowania

Ekwiwalent mechaniczny pułapki optycznej



Potencjał pułapki optycznej

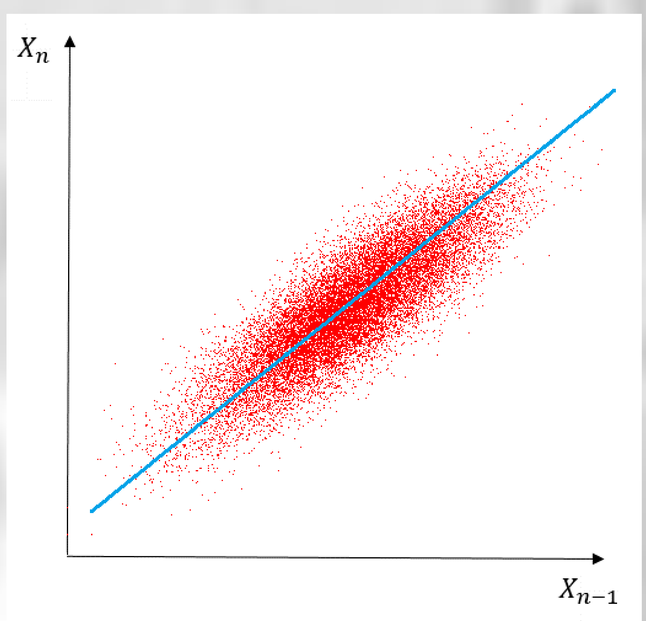
$$F = k_h \cdot \Delta x$$



Równanie ruchu[2,3]

$$m\frac{d^2X}{dt^2} + \beta\frac{dX}{dt} + k_h X = \sqrt{k_B T \beta}\frac{dB}{dt}$$

$$dX = -\lambda X dt + \sqrt{D} dB$$



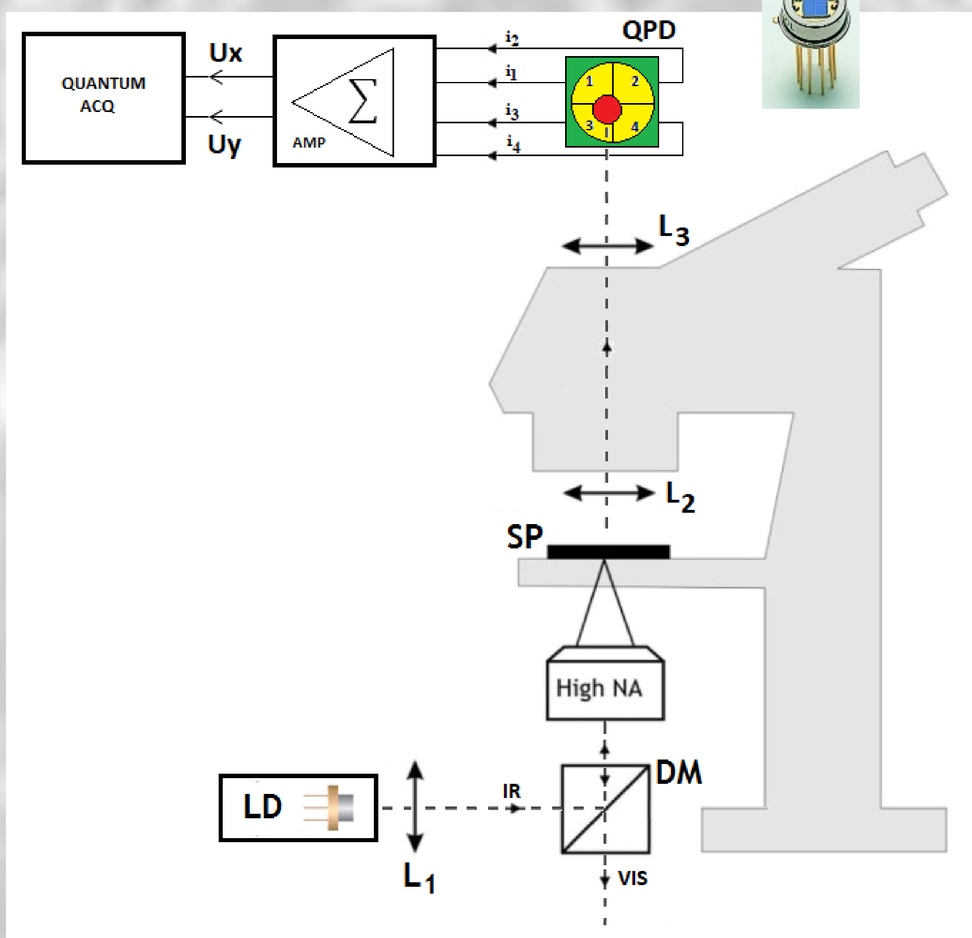
$$\beta = 6\pi\eta R_B$$

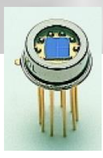
$$\lambda = \frac{k_h}{\beta}$$

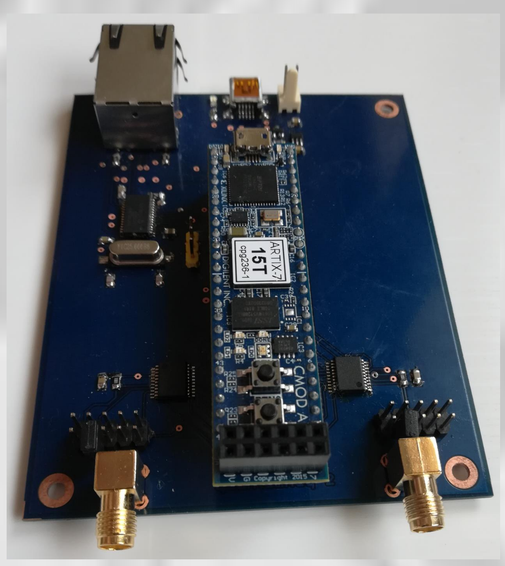
$$D = \frac{k_B T}{\beta}$$

proces Ornsteina-Uhlenbecka

$$X_n = aX_{n-1} + \xi_n \qquad a = e^{-\lambda\Delta t}$$







1. Ashkin A., Dziedzic J. M., Bjorkholm J. E., Chu S., Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles, Optics Letters, Vol. 11, No. 5, 1986
2. Ślęzak J., Drobczyński S., Weron K. and Masajada J., Moving average process underlying the holographic-optical–tweezers experiments, Appl. Opt. 53, B254-B258, 2014.
3. Drobczynski S., Ślęzak J., Time-series methods in analysis of the optical tweezers recordings, Appl. Opt. 54, 7106-7114 ,2015.

Projekt finansowany ze środków NCBiR POIR.01.01.01-00-0173/15