

Analiza oddziaływania materii z polem elektromagnetycznym - zależność od kształtu aplikowanego impulsu

Aleksandra Kłos-Witkowska ^{1*}, Kacper Kubiś ², Vasyl Martsenyuk ³

¹ *University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, aklos@ubb.edu.pl*

² *University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, kubis.kacper@gmail.com*

³ *University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, vmartseyuk@ubb.edu.pl*

* *Aleksandra Kłos-Witkowska, aklos@ubb.edu.pl*

Streszczenie: W pracy opisano wyniki badań dotyczące oddziaływania impulsów o różnych kształtach (fala, prostokąt, sinus, trójkąt) z wybranymi substancjami w postaci cieczy i ciała stałego. Współczynniki absorpcji, uzyskane na podstawie spadku amplitudy sygnału wraz z grubością próbki, były wyższe dla ciał stałych niż dla cieczy, co można przypisać różnym właściwościom fizycznym badanych substancji oraz odmiennym stanem skupienia. Analiza współczynnika absorpcji wykazała, największą absorpcję dla impulsu o kształcie sinusa. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że impulsy prostokątne słabiej oddziałują z materią w porównaniu do impulsów sinusoidalnych i trójkątnych. Na podstawie otrzymanych wyników widać, że kształt impulsu ma wpływ na interakcję z materią, a rodzaj oddziaływania zależy od właściwości badanej substancji.

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, absorpcja, impuls, ciało stałe, ciecz

Analysis of the interaction of matter with the electromagnetic field - dependence on the shape of the applied impulse

Aleksandra Kłos-Witkowska ^{1*}, Kacper Kubiś ², Vasyl Martsenyuk ³

¹ *University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, aklos@ubb.edu.pl*

² *University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, kubis.kacper@gmail.com*

³ *University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, vmartseyuk@ubb.edu.pl*

* *Aleksandra Kłos-Witkowska, aklos@ubb.edu.pl*

Abstract: This paper describes the results of a study on the interaction of pulses of different shapes (wave, rectangle, sine, triangle) with selected substances in the form of liquids and solids. The absorption coefficients, obtained from the decrease in signal amplitude with sample thickness, were higher for solids than for liquids, which can be attributed to the different physical properties of the substances studied and their different states of aggregation. Analysis of the absorption coefficient showed, the highest absorption for a sinus-shaped pulse. The experiments carried out showed that rectangular pulses interact weaker with matter compared to sinusoidal and triangular pulses. Based on the results obtained, it can be seen that the shape of the pulse affects the interaction with matter, and the type of interaction depends on the properties of the substance under study.

Słowa kluczowe: electromagnetic field, absorption, pulse, solid, liquid

1. Wstęp

Współczesne badania interakcji pola elektromagnetycznego z materią odgrywają kluczową rolę w zrozumieniu wielu zjawisk fizycznych oraz w rozwoju nowoczesnych technologii.

Wiedza na temat kształtu impulsu elektromagnetycznego ma znaczenie w wielu dziedzinach. W telekomunikacji, odpowiedni kształt impulsu wpływa na efektywność przesyłu danych i jakość sygnału [1-2].

W medycynie, precyzyjne impulsy są wykorzystywane w technikach obrazowania i terapii, takich jak laseroterapia [3]. W naukach materiałowych, zrozumienie tych interakcji pomiędzy polem elektromagnetycznym a materią pomaga w projektowaniu nowych materiałów i technologii [4-5].

Jednym z istotnych aspektów tego zagadnienia jest wpływ kształtu aplikowanego impulsu elektromagnetycznego na materię. Analiza tych oddziaływań nie tylko dostarcza głębszych informacji na temat podstawowych procesów fizycznych, ale także umożliwia optymalizację i kontrolę właściwości materiałów w różnych dziedzinach technologii, od telekomunikacji po medycynę.

W niniejszym artykule skoncentrujemy się na badaniu wpływu kształtu impulsu elektromagnetycznego na materię poprzez analizę współczynników absorpcji.

Zrozumienie, jak różne parametry impulsu wpływają na oddziaływania z materią, jest kluczowe dla precyzyjnego modelowania i przewidywania efektów w różnych zastosowaniach. W szczególności, omówimy, jak zmiana kształtu impulsu może wpływać na dynamikę procesów w szczególności na absorpcję.

Nasze badania opierają się na zarówno teoretycznych, jak i eksperymentalnych aspektach analizy, co pozwala na kompleksowe zrozumienie i interpretację wyników

2. Materiały i Metody

Do badań nad wpływem pola elektromagnetycznego na materię zastosowano specjalnie zaprojektowane stanowisko pomiarowe, które składało się z: generatora WON AG GS1F, sondy pomiarowej ze specjalnym statywem oraz oscyloskopu XDS3102A. Badania wykonano dla częstotliwości: 50 kHz, napięcia $U=25V$, impulsów o kształcie: sinusoidalnym, trójkątnym, piły i fali.

Eksperyment wykonano badając amplitudę sygnału po przejściu przez wodę, roztwór wodny Albuminy Wołowej (BSA) (2mg/ml), ciało stałe FeO_4S (siarczan żelaza(VI)).

Próbka oraz sonda były umieszczane w sąsiedztwie cewki w strefie pola indukcyjnego.

Sonda znajdowała się zawsze bezpośrednio nad badaną warstwą próbki.

Mierzono amplitudę sygnału przechodzącego przez substancję testową. Eksperymenty wykonano przy różnych grubościach próbek (0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm, 3 cm).

Aby zredukować błędy przypadkowe, badania przeprowadzono w trzech seriach pomiarowych. W eksperymencie wykorzystano Albuminę Wołową (BSA; lot: SLBK3063V) od firmy Sigma Aldrich, wodne roztwory białka o stężeniu 2 mg/mL oraz substancję stałą w postaci proszku (siarczan żelaza(VI) (FeO_4S ; lot: SLBL6319V).

Na podstawie spadku amplitudy sygnału wraz z grubością próbki, wyznaczono współczynniki absorpcji. Wykonano ich analizę. Wyciągnięto wnioski na temat oddziaływania materii z polem elektromagnetycznym - zależność od kształtu aplikowanego impulsu

3. Rezultaty i Dyskusja

Rysunek 1 (Rys. 1) przedstawia przykłady różnych typów impulsów wykorzystywanych w eksperymencie (bezpośrednio przy źródle). Impulsy kształtem przypominały: falę, piłę, prostokąt, sinus, dlatego też w taki sposób zostały nazwane.

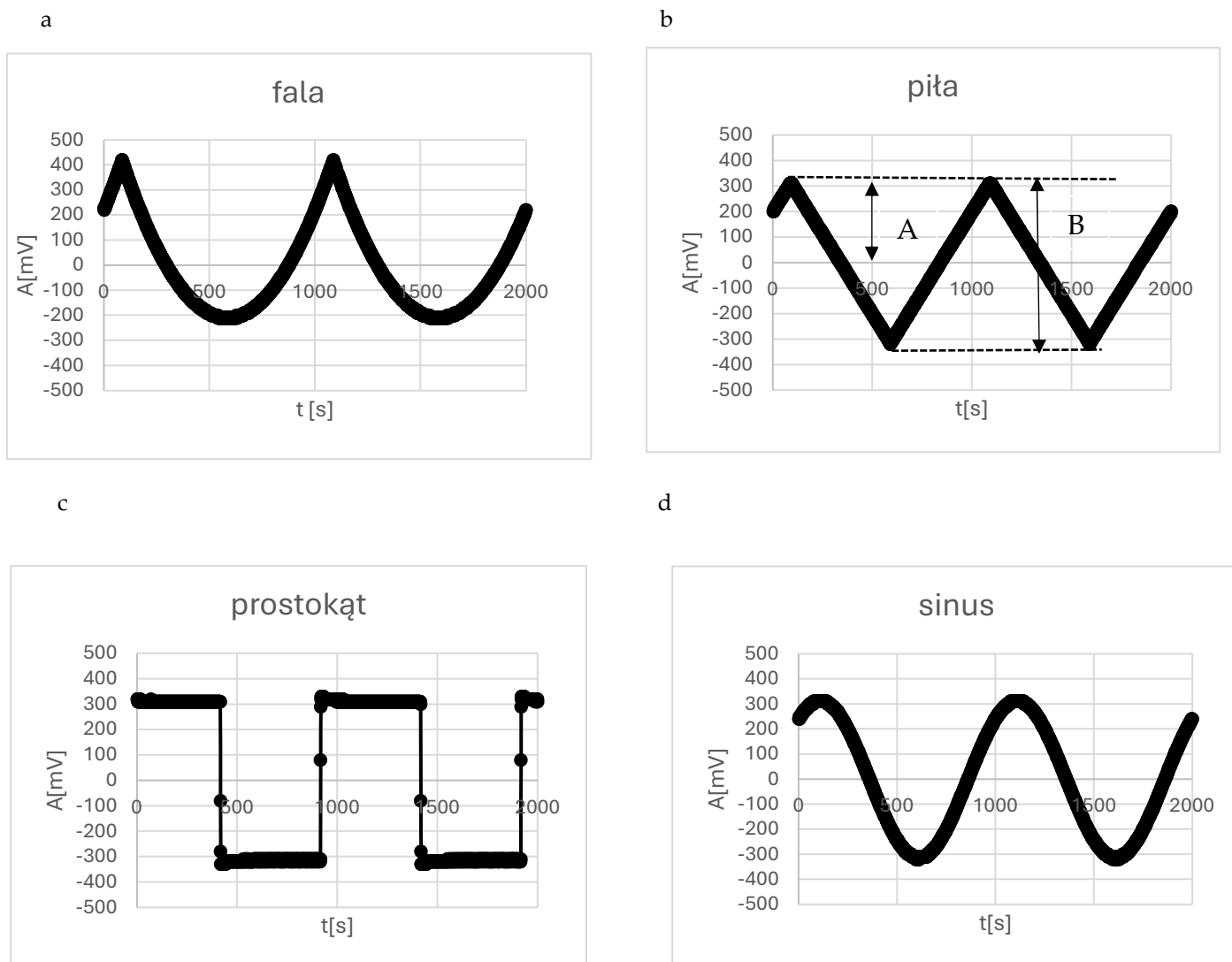
Pomimo tego, że w eksperymencie stosowano jednakowe dla wszystkich impulsów napięcie zasilające ($U=25V$) oraz częstotliwość $f=50$ kHz różniły się one nieznacznie amplitudą oraz kształtem. Wykresy prezentują amplitudę sygnału w zależności od czasu.

Dla przedstawionych przebiegów, na osi Y zaznaczono amplitudę, natomiast na osi X widoczne jest próbkowanie sygnału (0-2000), które następowało z interwałem czasowym 20 us.

Dla przykładu na diagramie (1b) zaznaczono „B” - parametr nazywany wartością międzyszczytową. Średnia jej wartość dla całego spektrum była automatycznie pobierana z oscyloskopu. Połowa wartości szczytowej to amplituda, oznaczona na rysunku jako „A”.

Amplituda była później wykorzystywana w dalszych analizach.

Na prezentowanym poniżej rysunku widać, że impulsy różnią się kształtem, co wpływa na różną zawartość harmonicznym i może mieć konsekwencje w odmiennym oddziaływaniu z materią.



Rysunek 1. Różne kształty impulsów aplikowanych na próbki: (a) fala, (b) piła, (c) prostokąt, (d) sinus

Na rysunku nr 2 (Rys.2) przedstawiono przykładową zależność zmiany amplitudy sygnału od grubości próbki. Rysunek ten przedstawia zaaplikowanie impulsów o różnych kształtach (trójkąt, prostokąt, fal, sinus) na różne grubości ciała stałego „d”.

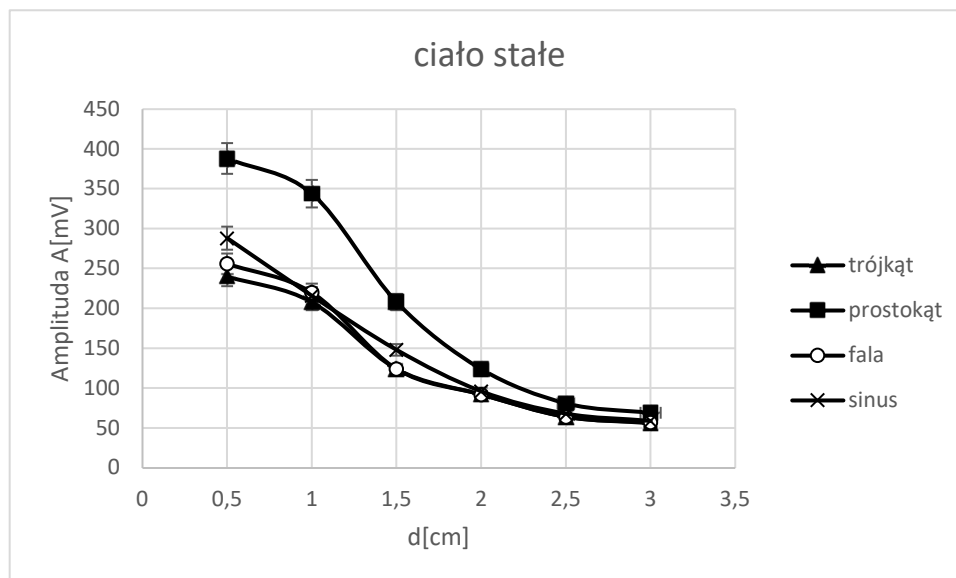
Widać, wyraźną różnicę w oddziaływaniu dla impulsu prostokątnego w porównaniu do impulsów o kształcie trójkąta, fali i sinusa, gdzie zmiana amplitudy jest nieznaczna. Najprawdopodobniej efekt taki jest związany z selektywnym pochłanianiem określonych harmonicznych przez materię. Widać zatem, że absorpcja impulsów (fala, sinus, trójkąt) była większa niż dla impulsu prostokątnego.

Zauważyć można również, że wraz ze wzrostem grubości próbki następuje spadek amplitudy sygnału. Podobne analizy wykonano dla wody oraz roztworu.

Podobnie jak dla ciała stałego zaobserwowano znaczne różnice w oddziaływaniu z materią impulsu o kształcie prostokąta, podczas gdy impulsy pozostałe (trójkąt, fala, sinus) oddziaływały podobnie. Intensywność pola elektromagnetycznego zmienia się w czasie zgodnie z kształtem impulsu.

Impuls o gładko zmieniającej się intensywności (sinus) oddziaływał inaczej z materią niż impuls o nagłych zmianach intensywności (prostokąt). Szybkie zmiany intensywności mogą prowadzić do występowania nieliniowych zjawisk, takich jak efekt Kerra, który powstaje w wyniku układania się polarnych cząsteczek ośrodka w kierunku zewnętrznego pola elektrycznego [6].

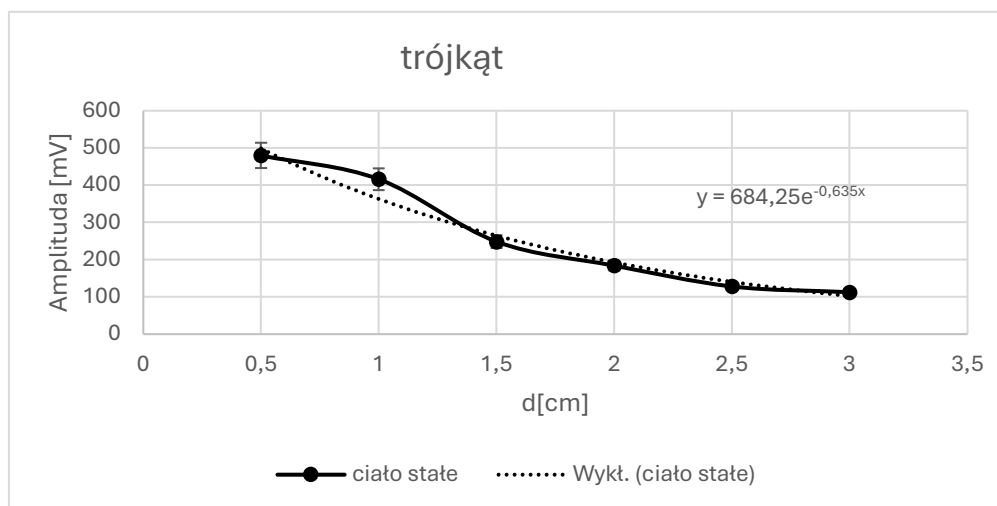
Można także domniemywać lokalne rezonanse, które dla wybranych harmonicznych impulsu prostokątnego występują częściej niż dla pozostałych impulsów, i które są źródłem większej amplitudy sygnału impulsu prostokątnego niż dla pozostałych.



Rysunek 2. Zależność zmiany amplitudy sygnału od grubości próbki (ciała stałego) dla impulsów o kształcie: trójkąta, prostokąta, fali, sinus.

Na rysunku 2 (Rys. 2) zauważyć można również, że wraz ze wzrostem grubości próbki następuje spadek amplitudy sygnału. Podobne efekty otrzymano dla wody i roztworu, aczkolwiek dla cieczy (roztwór i woda) zmiany te miały bardziej łagodny przebieg, zauważono także nieznaczne fluktuacje amplitudy ze względu na efekty dyspersyjne oraz wielokrotne odbicia, niemniej jednak trend spadkowy amplitudy wraz ze wzrostem grubości próbki został zachowany. Możemy zatem mówić o zjawisku absorpcji, która występuje w badanych materiałach (ciele stałym, wodzie i roztworze).

Aby przyjrzeć się bliżej temu zjawisku wyznaczono współczynniki absorpcji. Sposób wyznaczania tych współczynników przedstawia rysunek 3 (Rys.3)



Rysunek 3. Zmiana amplitudy sygnału (impuls o kształcie trójkąta), po przejściu przez różne grubości ciała stałego
Fitowanie funkcją eksponencjalną: $y=ae^{-ux}$

Rysunek 3 (Rys.3) obrazuje przykładową zmianę amplitudy sygnału dla impuls o kształcie trójkąta, po przejściu przez różne grubości ciała stałego. Zależność ta powszechnie [7-8] jest wykorzystywana do wyznaczenia współczynników absorpcji. W tym celu otrzymaną relację fituje się funkcją eksponencjalną $y=ae^{-ux}$, gdzie parametr „u” (jego wartość bezwzględna) jest współczynnikiem absorpcji.

Efektywności absorpcji promieniowania elektromagnetycznego dla wybranych materiałów i różnych impulsów, analizowana poprzez wyznaczone współczynniki absorpcji przedstawiono w tabeli 1 (tab. 1).

Zwraca uwagę fakt, że absorpcja promieniowania dla ciała stałego (bez względu na kształt impulsu) jest większa niż dla roztworu i wody.

Można zatem powiedzieć, że na otrzymany efekt ma wpływ stan skupienia badanych substancji. Dla ciała stałego w postaci proszku absorpcja jest większa niż dla wody i roztworu, co związane jest z efektami dyspersyjnymi w cieczach, które są większa niż w ciele stałym [9]. Ponadto na otrzymany efekt najprawdopodobniej wpływa także: gęstość materii, interakcje międzycząsteczkowe i przewodnictwo [7].

Tabela 1. Wartości współczynników absorpcji “ μ ” dla wody, roztworu białkowego (r-r BSA 2mg/ml) oraz ciała stałego FeO₄ S w zależności od aplikowanego impulsu (sinus, trójkąt, prostokąt, fala)

rodzaj impulsu	μ -współczynnik absorpcji					
	woda		r-r BSA		ciało stałe	
sinus	0,023	± 0,0012	0,043	± 0,002	0,771	± 0,034
trójkąt	0,014	± 0,0007	0,026	± 0,001	0,635	± 0,032
prostokąt	0,015	± 0,0008	0,032	± 0,002	0,618	± 0,039
fala	0,019	± 0,0010	0,026	± 0,001	0,676	± 0,033

Porównując współczynniki absorpcji dla wybranej substancji oraz ich zmiany związane z różnym kształtem aplikowanego impulsu elektromagnetycznego (sinus, trójkąt, prostokąt, fala).

Widać, że największa absorpcję otrzymano w przypadku podania na próbkę impulsu sinusoidalnego.

Impuls o kształcie sinusa ze względu na swoją płynność, może generować bardziej stabilne i kontrolowane efekty. Powszechnie impulsy o kształcie sinusoidalny wykorzystuje się w kosmetologii i medycynie (urządzeniach do stymulacji mięśni twarzy i ciała, elektrostymulacji).

Sinusoidalne impulsy są łagodniejsze i bardziej komfortowe dla pacjenta w porównaniu do innych kształtów impulsów, dlatego są często wybierane w zabiegach [10].

W przypadku pozostałych impulsów trudno mówić o występujących regularnościach w oddziaływaniu w materią aczkolwiek w przypadku ciała stałego najmniejsze oddziaływanie zauważono dla impulsu prostokątnego.

Impuls prostokątny może wywołać szybkie i intensywne zjawiska w materiale, ale jest bardziej podatny na zakłócenia i dyspersję [11],

natomiast impulsy trójkątne mogą lepiej odpowiadać na specyficzne warunki, takie jak wymagania dotyczące minimalizacji zakłóceń [12].

Otrzymane wyniki pokazują zatem, że kształt impulsu ma wpływ na charakter oddziaływania z materią, aczkolwiek charakter oddziaływania jest selektywny i zależy od rodzaju badanej substancji

4. Podsumowanie

W prezentowanej pracy opisano wyniki eksperymentu dotyczącego oddziaływania różnych kształtów impulsów (fala, prostokąt, sinus, trójkąt) z wybranymi substancjami w formie ciała stałego (proszek) oraz cieczy (woda, roztwór).

W eksperymencie zbadano zależności między kształtem impulsów a ich absorpcją przez materię. Pomimo stałego napięcia i częstotliwości, impulsy różniły się kształtem i nieznacznie amplitudą, co wpływało na interakcje z materiałami. Zauważono, że impulsy prostokątne wykazywały odmienne i słabsze oddziaływanie z materią w porównaniu do pozostałych impulsów (sinus, trójkąt i prostokąt).

Przeprowadzone analizy współczynnika absorpcji wykazały, że największą absorpcję wykazał impuls o kształcie sinusa. Na podstawie spadku wartości amplitudy sygnału wraz z grubością próbki wyznaczono współczynniki absorpcji, które były większe dla ciała stałego niż dla roztworu i wody.

Współczynniki absorpcji, obliczone dla różnych impulsów, wskazały, że dla ciał stałych absorpcja była większa niż dla wody i roztworów, co wynikało z fizycznych właściwości badanej materii.

Analiza współczynników absorpcji wykazała największą absorpcję dla impulsu o kształcie sinusoidalnym. Uzyskane rezultaty wskazują, że kształt impulsu wpływa na sposób, w jaki oddziałuje on z materią, jednakże rodzaj tego oddziaływania jest zróżnicowany i zależy od właściwości badanej substancji.

Otrzymane wyki wnoszą nową wiedzę na temat oddziaływania impulsów pola elektromagnetycznego o różnych kształtach z materią. Badania mogą być rozszerzone na bardziej złożone materiały, jak również zastosowanie impulsów o innych parametrach.

Podziękowania.

Praca ta była częściowo wspierana przez projekt Erasmus+ nr 2023-2-PL01-KA220-HED-000179445

Literatura

1. Abd H, Gitaffa S, . Al-Hamiri M. Impact of optimized pulse shaping on optical transmission performance in the availability of different dispersion maps *Optik* 2021, 241, 167006.doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2021.167006>
2. Liu Y, Wang Ch. The Research on Transmission Effect of Different Pulse Shapes in MPPM," 2022 14th International Conference on Computer Research and Development (ICCRD), Shenzhen, China, 2022, 373-377, doi: 10.1109/ICCRD54409.2022.9730609
3. Chow R, Armati P, Laakso L, Bjordal J, Baxter G. Inhibitory Effects of Laser Irradiation on Peripheral Mammalian Nerves and Relevance to Analgesic Effects: A Systematic Review. *Photomedicine and Laser Surgery* 2011, 29(6), 365-81. doi. 10.1089/pho.2010.2928
4. Bait-Suwailam M. Electromagnetic Field Interaction with Metamaterials. Book. *Electromagnetic Fields and Waves* 2019.doi. 10.5772/intechopen.84170
5. Biesuz M, Saunders T, Ke D, Reece M, Hu Ch, Grasso S. A review of electromagnetic processing of materials (EPM): Heating, sintering, joining and forming. *Journal of Materials Science & Technology* 2021,69,239-272
6. Dunmur A. 1 - The electro-optic Kerr effect. *Optical, Electric and Magnetic Properties of Molecules*, Elsevier Science B.V,1997,41-47, doi.10.1016/B978-044482596-4/50015-4.
7. Polk C, Postow E, *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields* 2nd Edition, CRC Press; 2nd edition 1995
8. Kłos-Witkowska, Kajstura K. Effect of UV radiation applied fractionally or continuously on stability of biosensor receptor layer component. *Acta Physica Polonica A* 2020, 138(6), 781-786
9. Huang Y, Dai W. Fundamental aspects of solid dispersion technology for poorly soluble drugs. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 2014,4(1), Pages 18-25.doi. 10.1016/j.apsb.2013.11.001
10. Maul X, Borchard N., Hwang P, Nayak J. Microcurrent technology for rapid relief of sinus pain: a randomized, placebo-controlled, double-blinded clinical trial. *Int Forum Allergy Rhinol* 2019, 9(4), 352-356.doi. 10.1002/alr.22280
11. Mahabojana K. Performance analysis of pulse shaping rectangular pulse through frequency selective fading transmission channel in OFDM system. *International Research Journal of Engineering, IT and Scientific Research* 2023,9,2336.doi. 10.21744/irjeis.v9n4.2336
12. Prolović V, Bonić Z, Živković S. Dependence of the basic dynamic parameters on the disturbing force of the impact impulse type with different forms.*Facta Universitatis* 2004, 3, 23-31.doi. 10.2298/FUACE0401023P