

LUMINESCENCJA W BADANIACH AGROFIZYCZNYCH

A. Brzóstowicz

Zakład Fizyki AR, Papieża Pawła VI No 3, 71-459 Szczecin
fizyka@dedal.man.szczecin.pl

Streszczenie. W pracy omówiono mechanizm luminescencji. Przedstawiono także różne (aspekty) możliwości wykorzystania metod luminescencyjnych w badaniach agrofizycznych.

Słowa kluczowe: luminescencja, informacyjna rola.

WSTĘP

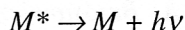
Agrofizyka jest nauką stosującą metody fizyki do analizy struktur i procesów w glebie i roślinie; przy czym metody fizyki nie należy rozumieć tylko jako stosowanie aparatury czy metod pomiarowych. Stosowanie mikroskopu nawet elektronowego czy lasera nie jest jeszcze agrofizyką. Chodzi tu o interpretacje fizyczne na podstawie praw fizyki.

Badania agrofizyczne obejmują swym szerokim zasięgiem układ roślina - gleba - atmosfera. Do pełnego opisu tego układu wydaje się, niezbędna ściślejsza niż dotychczas, współpraca agrofizyków ze specjalistami z agronomii, gleboznawstwa, fizjologii roślin, biochemii i biofizyki. Umożliwiłoby to wykonać kompleksową charakterystykę fizyczną środowiska glebowego, jak i roślin, a ponadto opracować pełny obraz mechaniczny, termodynamiczny i fizjologiczny tych środowisk a przez to przewidywać ewentualne jego przemiany. Istotny wkład do charakterystyki procesów w interesującym agrofizyków przedmiocie badań wnoszą rozwijające się intensywnie w ostatnich dziesięcioleciach metody luminescencyjne. Umożliwiają one badanie wpływu różnych czynników oddziałujących ze środowiska glebowego, jak i z atmosfery, na rośliny. Metody luminescencyjne stosowane są również w badaniach właściwości związków humusowych ekstrahowanych z gleb.

POJĘCIE I MECHANIZM LUMINESCENCJI

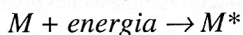
Luminescencja to zjawisko emisji promieniowania elektromagnetycznego o natężeniu większym od promieniowania cieplnego w danej temperaturze. Luminescencją nazywa się także promieniowanie emitowane w procesie luminescencji.

Luminescencja powstaje podczas przejść promienistych, w trakcie których cząsteczka wzbudzona (M^*) traci energię emitując foton i przechodzi do stanu podstawowego (M):



gdzie: h – stała Plancka; ν - częstotliwość fali.

Wzbudzenie może odbywać się na drodze fizycznej (np. przez pochłonięcie energii światła \rightarrow fotoluminescencja) lub chemicznej (przekazywanie energii z reakcji chemicznej \rightarrow chemiluminescencja).



Efektywna transformacja energii światła lub reakcji chemicznej w luminescencję wymaga spełnienia kilku warunków [30, 33]:

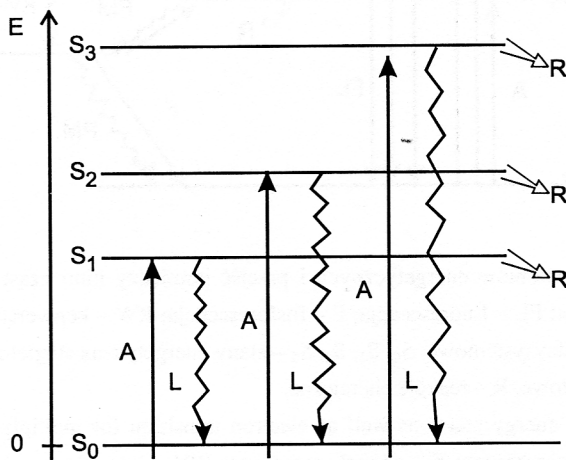
1. dostarczenie dostatecznie dużej porcji energii,
2. istnienie takiego stanu, dla którego prawdopodobieństwo generowania stanu elektronowego wzbudzonego jest większe niż generowanie produktów w stanie podstawowym,
3. obecność cząsteczek o odpowiednich właściwościach spektroskopowych (zdolnych do tworzenia stanu elektronowego – wzbudzonego),
4. obecność cząsteczek lub ich układów zdolnych do emisji światła ze stanów wzbudzonych.

W układach wielocząsteczkowych, tak skomplikowanych jakimi są układy biologiczne, przekazywanie wzbudzenia może odbywać się pomiędzy wieloma cząsteczkami, jak i całymi kompleksami związków chemicznych.

Stanami wzbudzonymi cząsteczki są, w porządku wzrastającej energii, stany translacyjne, rotacyjne, oscylacyjne i elektronowe. Efekty fotochemiczne związane są tylko ze wzbudzonymi stanami elektronowymi, bo tylko one mają energię, która odpowiada energii światła. Przejście elektronowe przeprowadza atom lub cząsteczkę z elektronowego stanu podstawowego do jednego z elektronowych stanów wzbudzonych. Oczywiście może zachodzić proces odwrotny. Przejście w górę skali energii wymaga absorpcji energii natomiast przejście w dół

może zachodzić z jednoczesną emisją światła (dezaktywacja promienista \Rightarrow luminescencja) lub z utratą energii na ciepło (dezaktywacja bezpromienista).

Różne stany energii atomu lub cząsteczki są zazwyczaj przedstawiane w postaci schematu Jabłońskiego. Na schemacie tym stany elektronowe zaznaczone są w postaci poziomych linii, a ich numeracja odpowiada ich kolejności w skali energii (Rys. 1.).

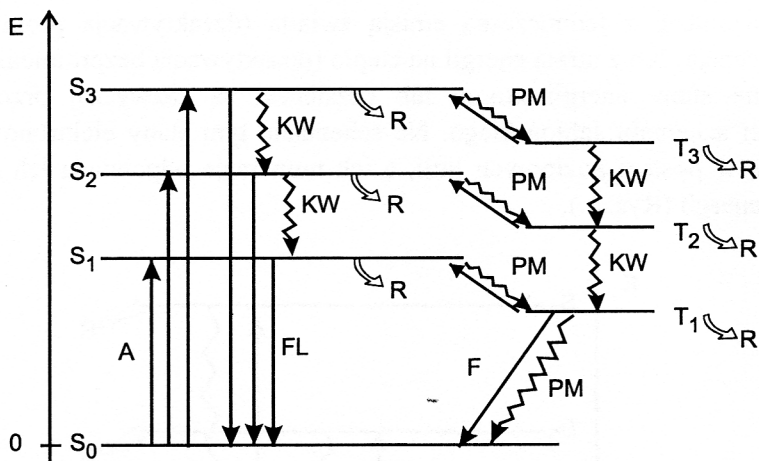


Rys. 1. Schemat elektronowy stanów energetycznych oraz przejść absorpcyjnych (A) i emisyjnych (L), gdzie S_0 – singletowy stan podstawowy, S_1 , S_2 , S_3 – stany wzbudzenia, R – reakcje chemiczne „napędzane” z różnych stanów wzbudzonych.

Fig. 1. Diagram of electron energy states as well as absorption and emitted transition (A): S_0 – singlet ground state, S_1 , S_2 , S_3 – excited states, R – chemical reaction „driven” by different excited states.

W małych cząsteczkach oprócz linii widmowych absorpcyjnych i emisyjnych odpowiadających przejściom czysto elektronowym mogą pojawiać się linie związane z przejściami od różnych poziomów oscylacyjnych i rotacyjnych. Utrata wzbudzenia może zachodzić również przez jakieś reakcje chemiczne.

W cząsteczkach wieloatomowych, jakimi są np.: związki organiczne, schemat stanów i przejść energetycznych może być bardziej skomplikowany (Rys.2). Mimo, że cząsteczki wieloatomowe mają wiele wzbudzonych stanów elektronowych, to jednak obserwowana luminescencja pochodzi zwykle od najmniejszego stanu wzbudzonego (tzn. z S_1 na S_0).



Rys. 2. Schemat poziomów energetycznych i przejść pomiędzy nimi cząsteczki wieloatomowej, gdzie: A – absorpcja; FL – fluorescencja; F – fosforescencja; RW – konwersja wewnętrzna energii; PM – przejście międzysystemowe; S₀, S₁, S₂, S₃ – stany energetyczne singletowe; T₁, T₂, T₃ – stany energetyczne trypletowe, R – reakcje chemiczne.

Fig. 2. Diagram of energy states as well as electron transition for multiplyatomic molecule: A – absorption; FL – fluorescence; F – phosphorescence; RW – internal conversion of energy; PM – intersystemic transition; S₀, S₁, S₂, S₃ – singlet states; T₁, T₂, T₃ – triplet states, R – chemical reaction.

W układach skomplikowanej materii organicznej jakie występują w glebie czy w roślinach stany wzbudzone na drodze chemicznej uzyskiwane są przez:

1. proces przenoszenia elektronu z donora na akceptor,
2. procesy rodnikowe (rekombinacje rodników nadtlenkowych w nieenzymatycznych i enzymatycznych reakcjach utleniania np. utlenianie kwasów tłuszczowych),
3. rozrywanie słabych wiązań w nadtlenkach cyklicznych (np. kwasów tłuszczowych, aldehydów),
4. kooperacyjne oddziaływanie międzycząsteczkowe (np. zmiany konformacyjne lub hydratacyjne białek, celuloz, jonów itp.).

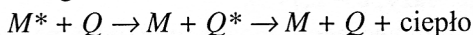
Poszczególne związki chemiczne, czy całe kompleksy związków materii organicznej (związki humusowe, aparat fotosyntetyczny) mogą również spełniać warunki do wzbudzenia na drodze pochłaniania energii światła.

WYGASZANIE LUMINESCENCJI

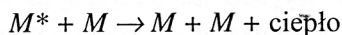
Cząsteczka wzbudzona (M^*) może przekazywać swoją energię innej cząsteczce (Q) w sposób bezpromienisty i w rezultacie na ciepło. Taka cząsteczka, która pochłania energię nosi nazwę „wygaszacza”.

Ze względu na sposób bezpromienistej utraty energii wzbudzenia proces wygaszania może odbywać się przez:

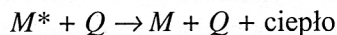
- a) przenoszenie energii



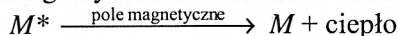
- b) wygaszanie stężeniowe



- c) efekt ciężkiego atomu



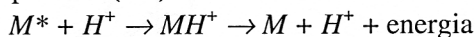
- d) wygaszanie paramagnetyczne



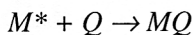
- e) przeniesienie elektronu



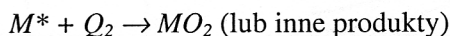
- f) przeniesienie protonu (H^+)



- g) przyłączenie



- h) utlenienie



Prawdopodobieństwo przejścia promienistego jest takie samo dla wszystkich cząsteczek substancji wzbudzonej. Wobec tego zmniejszanie się liczby cząsteczek wzbudzonych, w krótkich przedziałach czasu jest proporcjonalne do liczby cząsteczek wzbudzonych.

Można więc w rezultacie napisać:

$$N_t = N_0 e^{-k \cdot t}$$

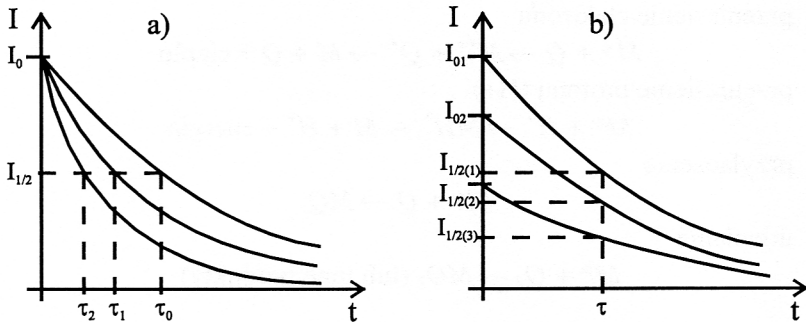
gdzie: N_t – liczba cząsteczek wzbudzonych po czasie t z początkowej liczby N_0 ; $k = \tau^{-1}$ – stała szybkości reakcji promienistej, τ - czas życia wzbudzonej cząsteczki (czas, po którym liczba cząsteczek wzbudzonych zmniejszy się „e” razy, $e = 2,71..$).

Wygaszanie stanów wzbudzonych cząsteczek może być obserwowane jako zanik natężenia (I) luminescencji, bowiem I jest proporcjonalne m.in. do liczby cząsteczek wzbudzonych. Proces ten można opisać wzorem:

$$I = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

gdzie: I_0 – początkowe natężenie luminescencji, I – natężenie luminescencji po czasie t , τ – czas „życia” luminescencji (czas, po którym natężenie luminescencji zmniejszy się „e” razy, $e = 2,71..$).

Charakter zaniku luminescencji można podzielić na wygaszanie statyczne i dynamiczne (Rys. 3). W wygaszaniu statycznym czas zaniku luminescencji pozostaje stały natomiast początkowe natężenie luminescencji zmniejsza się. Wygaszanie to następuje gdy wygaszacz (Q) zwiąże się z cząsteczką (M) w stanie podstawowym. Charakterystyczną cechą wygaszania statycznego jest jego niezależność od lepkości roztworu, w którym znajdują się cząsteczki M i Q .



Rys. 3. Kinetyka wygaszania natężenia (I) luminescencji: a) dynamicznego i b) statycznego, gdzie: $I_0, I_{01}, I_{02}, I_{03}$ – początkowe wartości natężenia, $I_{1/2}=I_0/e$; $\tau, \tau_0, \tau_1, \tau_2$ – czasy życia stanów wzbudzonych (luminescencji).

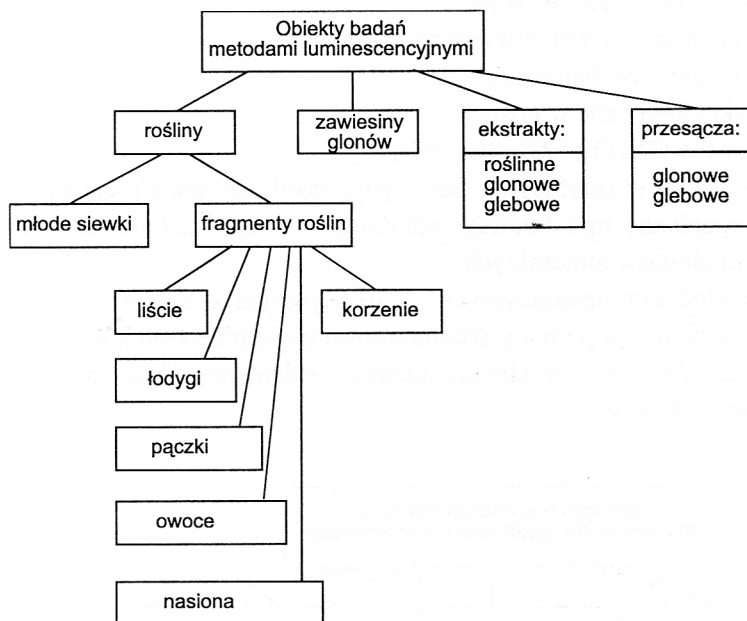
Fig. 3. Kinetic of luminescence intensity quenching: a) dynamical, b) statical.

$I_0, I_{01}, I_{02}, I_{03}$ – initial luminescence intensities, $I_{1/2}=I_0/e$; $\tau, \tau_0, \tau_1, \tau_2$ – lifetimes of excited state.

Przy wygaszaniu dynamicznym (dyfuzyjnym) początkowe natężenie pozostaje stałe, natomiast czas zaniku skraca się wraz ze wzrostem stężenia wygaszacza. Proces ten może być wynikiem kontaktu wzbudzonej cząsteczki M^* z ciężkimi jonami wygaszacza Q (np.: tlen, dwutlenek azotu). Wygaszacz zwiększa wydajność przejścia do stanu trypletowego lub wiąże się ze wzbudzoną cząsteczką w niefluoryzujący kompleks.

OBIEKTY BADAŃ

W badaniach luminescencyjnych obiektami badań mogą być zarówno roztwory, przesącza, zawiesiny jak i fragmenty roślin (Rys. 4.).



Rys. 4. Zestawienie agrofizycznych obiektów badań metodami luminescencyjnymi.

Fig. 4. Diagram of agrophysical objects of luminescence methods.

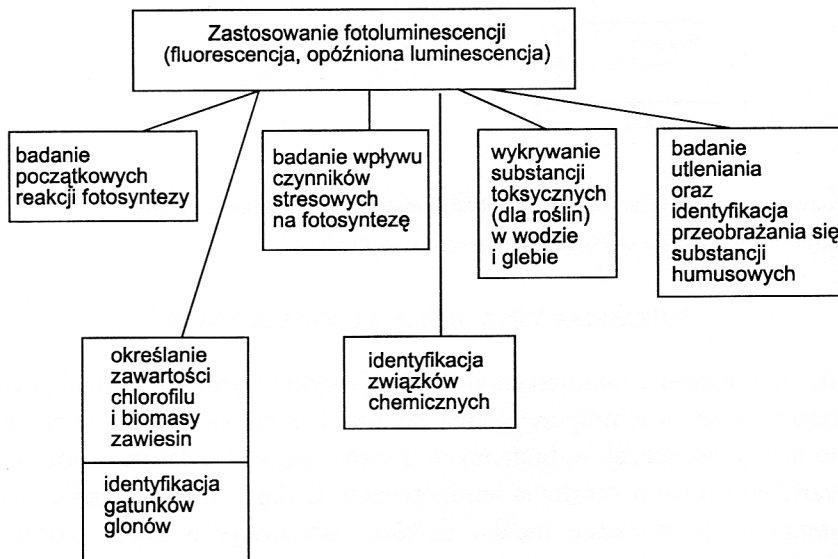
INFORMACYJNA ROLA LUMINESCENCJI

Układy do pomiarów luminescencji [3] dają zwykle wyniki w postaci pewnej liczby zliczeń, która jest proporcjonalna do ilości emitowanych fotonów, a te z kolei do liczby cząsteczek wzbudzonych. Liczba zliczeń (w danym czasie) daje intensywność emisji czyli natężenia luminescencji. Badając kinetykę zaniku natężenia luminescencji w czasie można uzyskać informacje o ilości procesów, szybkości ich przebiegu oraz o charakterze wygaszaczy luminescencji. Jeśli w trakcie pomiaru natężenie luminescencji wykonać jego analizę spektralną, wówczas można identyfikować związki chemiczne i określić ich stężenie oraz oszacować energetykę procesów odpowiedzialnych za luminescencję.

Pomiary luminescencji wykorzystywane bywają do badania wpływu następujących fizycznych i chemicznych czynników stresowych w atmosferze jak i w glebie, które działają na rośliny:

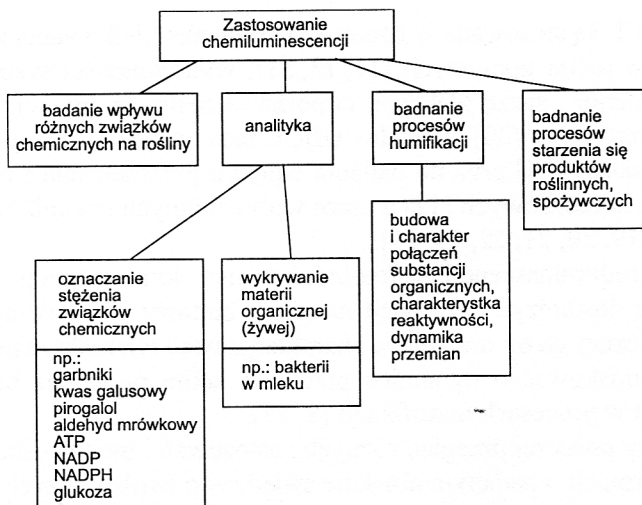
1. napromieniowanie: UV, VIS, IR,
2. temperatura: niska i wysoka,
3. deficyt wody: susza powietrzna, glebowa,
4. uszkodzenia mechaniczne,
5. związki chemiczne w postaci:
 - gazów (O_2 , O_3 , CO_2 , SO_2 , NO_x)
 - roztworów (herbicydy, fungicydy, zasolenie, metale ciężkie, związki organiczne np.: fenole), retardanty wzrostu, nadmiar lub niedomiar składników mineralnych

Spośród metod luminescencyjnych [3, 4] najwięcej zastosowań w badaniach agrofizycznych znajdują pomiary fotoindukowanej luminescencji (Rys. 5.) i chemiluminescencji (Rys. 6.), w których obiekty badań mogą być różnorodne jak przedstawiono na Rys. 4.



Rys. 5. Praktyczne zastosowanie fotoluminescencji.

Fig. 5. Practical application of photoluminescence.



Rys. 6. Praktyczne zastosowanie chemiluminescencji.

Fig. 6. Practical application of chemiluminescence.

Fotoluminescencja (fluorescencja, opóźniona luminescencja) chlorofilu żywych fragmentów roślin może być traktowana jako wskaźnik sprawności aparatu fotosyntetycznego, a w szczególności sprawności transportu elektronowego w początkowych reakcjach fotosyntezy [7, 10, 17, 35]. Fotoluminescencja pośrednio informuje o stanie błon tylakoidalnych. Pomiary indukcji fluorescencji dają informację o stanie roślin podczas uruchamiania fotofizycznych reakcji fotosyntezy a pomiary opóźnionej luminescencji podczas ich przerywania.

Pomiary fluorescencji i opóźnionej luminescencji służą do badania początkowych reakcji fotosyntezy i wpływu na nie różnych czynników fizykochemicznych takich jak: ekstremalna temperatura, susza, herbicydy, zasolenie, silne napromieniowanie UV oraz VIS, retardanty wzrostu, deficyt lub nadmiar składników mineralnych, metale ciężkie, ozon, obniżone i podwyższone stężenie CO₂ [1, 2, 5, 6, 14-16, 18, 24-26, 28, 32].

W badaniach agrofizycznych wykorzystywana jest także ultrasłaba biochemiluminescencja (UBCL), która jest rodzajem chemiluminescencji spontanicznej uzyskiwanej w wyniku wzbudzenia cząsteczek organizmów żywych na drodze biochemicznej. UBCL może być uważana za wskaźnik biohomeostazy organizmów. UBCL daje informacje nt. sprawności bioenergetyki oraz niewydolności mechanizmów ochronnych przed rodnikowymi reakcjami utleniania a także pośrednio informację o stanie błon biologicznych zarówno roślinnych, jak i zwierzęcych [21, 22, 30, 35].

Pomiary UBCL są stosowane w badaniach zdolności kiełkowania zarodników grzybów i nasion roślin uprawnych [11, 13, 31], wytrzymałości systemu korzeniowego na zasolenie i suszę glebową, odporności roślin na infekcję grzybową, wirusową czy bakteryjną [30]. Ponadto UBCL stosowano do oceny uszkodzeń mechanicznych ziarna [34] oraz do badania wpływu przemrażania i rozmrażania liści na stan błon komórkowych [12] a także wpływu innych czynników chemicznych na rośliny [19, 20, 21, 22, 23, 29].

Badanie chemiluminescencji i fotoindukowanej luminescencji ekstraktów glebowych może dostarczyć informacji na temat budowy i charakteru połączeń substancji organicznej gleby oraz może charakteryzować ich reaktywność [9, 27]. Można także wnioskować o dynamice przemian jakim podlegają badane substancje zwłaszcza w procesach humifikacji [8, 27].

Przedstawiony powyżej przegląd różnych zastosowań i możliwości uzyskiwania licznych informacji o badanym obiekcie świadczy o bardzo dużych możliwościach wykorzystania różnych pomiarów luminescencji.

Spośród różnych metod luminescencyjnych w badaniach agrofizycznych najbardziej przydatne są pomiary fotoluminescencji i chemiluminescencji. Możliwość badania roślin jak i gleby oraz oddziaływania różnych czynników z atmosfery jak i z gleby na rośliny przy użyciu metod luminescencyjnych daje agrofizykom poważne narzędzie do badań poznawczych jak i aplikacyjnych w diagnozowaniu wrażliwości roślin oraz gleby na różne czynniki fizykochemiczne, a także śledzenie procesu humifikacji na różnych jego etapach.

Niektórzy badacze przewidują, że dzięki intensywnemu rozwojowi elektroniki i technik komputerowych, wszechstronna analiza emisji fotonowych w tym luminescencji będzie niezastąpioną metodą w badaniach biologiczno-rolniczo-ekologicznych i ma szansę odegrać podobną rolę, jak fotometria i analiza spektralna w rozwoju wiedzy o kosmosie.

PIŚMIENNICTWO

1. **Brzóstowicz A.:** Evaluation of frost resistance of rape using luminescence measurements. W: Proceedings of the 7-th International Rapeseed Congress, Poznań, 11-14.05.1987, 4, 837-842, 1987.
2. **Brzóstowicz A.:** Evaluation of cereal frost resistance by luminescence method. *Hod. Rośl. Aklimat. i Nasien.*, 32, 1/2, 191-194, 1988.
3. **Brzóstowicz A.:** Swiecenia biologiczne. *Acta Agrophysica*, 45, 42-52, 2001a.
4. **Brzóstowicz A.:** Luminescencja w procesie fotosyntezy. *Acta Agrophysica*, 45, 31-42, 2001b.
5. **Brzóstowicz A., Maćkowiak W., Szelaż J.:** Ocena mrozoodporności rodów i odmian pszenżyta. *Biuletyn Inst. Hod. i Aklimat. Roślin*, 168, 21-24, 1988.

6. **Clement J.M., Van Hasselt P.R.:** Chlorophyll fluorescence as a parameter for frost hardiness in winter wheat: A comparison with other hardiness parameters. *Phyton*, 36 (1), 45-56, 1996.
7. **Gaevskii N. A., Morgun V. N.:** Ispolzovanie peremennoi i zamedlennoi fluorescencii chlorofilla dla izučfnia fotosinteza rasteni. *Fiziol. Rast.*, 40 (1), 136-145, 1993.
8. **Gołębiowska D.:** Badanie dynamiki procesu humifikacji liści koniczyny metodą chemiluminescencyjną. *Zeszyty Nauk. Akademii Rolniczej w Szczecinie*, 39, 119-129, 1973.
9. **Gołębiowska D.:** Badanie chemiluminescencji kwasów huminowych i fulw kwasów różnego pochodzenia. *Zeszyty Nauk. Akademii Rolniczej w Szczecinie*, 42, 59-68, 1974.
10. **Govindjee, Ames J., Fork D. Ch. /ed./:** Light emission by plants and bacteria. Academic Press, INC (London) Ltd., 1986.
11. **Grabikowski E., Brzostowicz A., Prokowski Z., Murkowski A.:** Badanie żywotności nasion metodą ultrasłabej luminescencji. *Post. Fiz. Med.*, 17 (3/4), 109-120, 1982.
12. **Grabikowski E., Brzostowicz A., Murkowski A., Prokowski Z.:** Badanie wpływu stresu temperaturowego na rośliny przy pomocy ultrasłabej biochemiluminescencji. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 351, 35-40, 1988.
13. **Grabikowski E., Milczarek I., Sławiński J.:** Badanie żywotności nasion przy pomocy kwantometrycznej aparatury do rejestracji ultrasłabych świeceń biologicznych. *Zeszyty Nauk. Akademii Rolniczej w Szczecinie*, 48, 97-119, 1974.
14. **Hideg E., Kobayashi M., Inaba H.:** The far red induced slow component of delayed light from chloroplasts is emitted from Photosystem II. *Photosynth. Res.*, 29, 107-112, 1991.
15. **Kaczmarek J., Prokowski Z., Brzostowicz A.:** Low temperature effects on fluorescence in leaves of unhardened and hardened winter wheat. *Photosynthetica*, 25(2), 215-217, 1991.
16. **Krause G.H., Weis E.:** Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 42, 313-349, 1991.
17. **Lavorel J.:** Luminescence. W: Govindjee /ed./, *Bioenergetics of photosynthesis*, New York, Academic Press, 223-317, 1975.
18. **Lichtenthaler H.K., Rinderle U.:** The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants, *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry* 19 (Suppl. 1), S29-S85, 1988.
19. **Michalska T., Lichtsteld K., Niziukiewicz K., Kruk I. And Wrońska J.:** The extra-weak chemiluminescence generated during oxidation of some tetracycline antibiotics. Part II (peroxidation). *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 16, 305-318, 1992.
20. **Milczarek I.:** Wpływ węglowodorów polibenzenowych na ultrasłabą biochemiluminescencję skiełkowanych nasion. *Zeszyty Nauk. Akademii Rolniczej w Szczecinie, Seria Przyrodnicza, XXIII*, 84, 147-153, 1980.
21. **Milczarek I.:** Wpływ kwasów huminowego i askorbinowego na ultrasłabą luminescencję liści peluski. *Zeszyty Nauk. Akademii Rolniczej w Szczecinie, seria techniczna, Rolnictwo LVI*, 159, 295-300, 1993.
22. **Milczarek I., Grabikowski E., Murkowski A., Sławiński J.:** Wykorzystanie chemiluminescencji kwasu galusowego i pirogalolu do celów analitycznych IV. Szybkie oznaczanie garbników roślinnych. *Chemia Analityczna*, 17, 31, 31-40, 1972.
23. **Milczarek I., Jaśkowska A., Gołębiowska D.:** Effects of humic acid and polyphenols on ultra-weak luminescence from *Characeae* cells. *Humic Substances in the Global Environment*

- and Implications of Human Health, Senessi N., Miano T.M. /ed./, Elsevier Science B. V. All rights reserved, 323-328, 1994.
24. **Morgun V.N., Grigor'ev Yu. S., Gekhman A.V.:** The relation of light-induced changes of chlorophyll delayed fluorescence and CO₂ fixation of plants. *Photosynthetica* 26 (4), 571-577, 1992.
 25. **Murkowski A., Brzóstowicz A., Grabikowski E., Prokowski Z.:** Luminescencyjna metoda bioindykacji fitotoksycznych zanieczyszczeń środowiska. *Post. Fiz. Med.*, 17, 3/4, 85-91, 1982.
 26. **Prokowski Z., Brzóstowicz A., Grabikowski E., Murkowski A.:** Wykorzystanie fotoindukowanej luminescencji do ilościowego określania biomasy fitoplanktonu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 351, 41-48, 1988.
 27. **Ptak W., Gołębiowska D., Wegner K.:** Charakterystyka derywatograficzna i chemiluminescencyjna kwasów huminowych (KH) czterech typów gleb polskich. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 411, 221-228, 1993.
 28. **Schreiber U., Bilger W.:** Rapid assessment of stress effects on plant leaves by chlorophyll fluorescence measurements. Tenhunen J.D. et al. /ed./, NATO ASI Series G 15, 27-53, 1987.
 29. **Sławińska D., Gołębiowska D., Sławiński J.:** Wykorzystanie chemiluminescencji kwasu galusowego i pirogalolu do celów analitycznych. II. Oznaczanie aldehydu mrówkowego. *Chemia Analityczna*, 11, 1117, 117-125, 1966.
 30. **Sławiński J.:** Metody badania słabych emisji fotonowych z układów biologicznych. W: Twardowski J. /ed./, *Biospektroskopia* 3, PWN, Warszawa, 107-214, 1989.
 31. **Sławiński J., Grabikowski E., Milczarek I.:** Badanie żywotności nasion przy pomocy kwantometrycznej aparatury do rejestracji ultrasłabych świeceń biologicznych. II Wpływ temperatury na natężenie biochemiluminescencji kiełkujących nasion. *Zeszyty Nauk. Akademii Rolniczej w Szczecinie*, 42, 307-322, 1974.
 32. **Skórska E.:** Reakcje wybranych roślin uprawnych na promieniowanie UV-B. *Akademia Rolnicza w Szczecinie, Rozprawy nr 192*, 2000.
 33. **Suppan P.:** *Chemia i światło*. Wyd. Nauk. PWN Sp. z o.o., Warszawa, 1997.
 34. **Tryka St., Koper R., Grundas S.:** Badanie wpływu uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy o zróżnicowanym typie struktury na natężenie ultrasłabej biochemiluminescencji, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 354, 177-183, 1989.
 35. **Veselovskii V. A., Veselova T. V.:** *Luminescencia rasteni*. Moscow, Nauka, 1990.

LUMINESCENCE IN AGROPHYSICAL RESEARCH

A. Brzóstowicz

Department of Physics, University of Agriculture, Papieża Pawła VI No 3, 71-459 Szczecin

Summary. The luminescence mechanism is shown in this work. There are also shown different possibility of using luminescence in agrophysical research.

Key words: luminescence, informative role.