

ODBITKA

Z „KOSMOSU“, CZASOPISMA POLSKIEGO TOW. PRZYRODNIKÓW
IM. KOPERNIKA (Serja B. PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ NAUKOWYCH)
TOM LVIII. — ZESZYT IV. — 1933.

MIROŚLAW ZIELIŃSKI

Wpływ miękkich promieni Roentgena
na bakterje



LWÓW

PIERWSZA ZWIĄZKOWA DRUKARNIA WE LWOWIE, UL. LINDEGO L. 4

1933

*Panu Profesorowi L. Dąbkowskiemu
z wyrazami głębokiego szacunku*

Miroslaw Zieliński

ODBITKA

Z „KOSMOSU“, CZASOPISMA POLSKIEGO TOW. PRZYRODNIKÓW
IM. KOPERNIKA (Serja B. PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ NAUKOWYCH)
TOM LVIII. — ZESZYT IV. — 1933

180968



UNIVERSITY
UMCS
WATERLOO

D 1069/21/21 Bid 4

Wpływ miękkich promieni Roentgena na bakterje.

Jak wiadomo, promienie Roentgena, zwane inaczej promieniami X , stanowią odcinek widma fal elektromagnetycznych, zawarty między falami o długości od $\lambda=0,1 \text{ \AA}$ do $\lambda=20 \text{ \AA}$. Wpływ fal elektromagnetycznych na bakterje jest jeszcze bardzo mało zbadany; badane były dotychczas tylko te części widma elektromagnetycznego, które najłatwiej jest otrzymać zapomocą prostych urządzeń, a więc promienie świetlne widzialne ($3800-7600 \text{ \AA}$), ultrafioletowe (badane były tylko $2000-3000 \text{ \AA}$), promienie Roentgena i promienie γ pierwiastków promieniotwórczych. Zostało stwierdzone, że promienie Roentgena i ultrafioletowe działają na bakterje zabójczo. Promienie widzialne działają naogół również zabójczo; tu jednak występują duże różnice: niektórym bakterjom światło nie tylko nie szkodzi, ale służy do asymilacji dwutlenku węgla (bakterje purpurowe). Jeśli chodzi o promienie γ , to żaden wpływ ich na bakterje nie został zauważony.

Przed przystąpieniem do zagadnień, będących właściwą treścią tego referatu, dobrze będzie przypomnieć w kilku słowach poglądy fizyki współczesnej na budowę energii promienistej oraz sposób otrzymywania promieni Roentgena. Podobnie jak materja składa się z cząsteczek, czy też atomów, których tylko całkowite ilości mogą wchodzić w reakcje chemiczne, tak samo energia promienista składa się z kwantów lub fotonów, których tylko całkowite ilości mogą ulegać jakimkolwiek przemianom. Energia każdego kwantu równa się iloczynowi częstości drgań fali elektromagnetycznej ν przez

pewną stałą uniwersalną h , zwaną stałą Planck'a. Energia kwantu jest zatem tem większa, im większa jest ilość drgań na sekundę, im mniejsza jest długość fali.

Promienie X otrzymuje się zwykle zapomocą lamp Roentgena, których są dwa typy: lampy gazowe i Coolidge'a. Lampa gazowa jest to rura szklana lub z innego materiału, posiadająca zwykle pośrodku rozszerzenie, na końcach której wtopione są dwie elektrody: katoda i antykatoda. Powietrze z lampy jest prawie całkowicie wypompowane. Pomiedzy katodą i antykatodą utrzymywane jest wysokie napięcie. Z katody, mającej postać metalowej wklęsłej płytki, są uwalniane elektrony, prawdopodobnie wskutek uderzania w nią dodatnich jonów, wytworzonych w niewielkiej ilości gazu pozostawionego w lampie. Każdy uwolniony elektron, posiadający elementarny ładunek ujemny e , jest przyciągany przez antykatodę, mającą potencjał wyższy o V niż katoda, przytem jego energia potencjalna eV zostaje zamieniona na kinetyczną. Przy zderzeniu z antykatodą, którą jest płytka metalowa, umieszczona ukośnie względem osi lampy, energia kinetyczna elektronu zostaje całkowicie lub częściowo zamieniona na jeden kwant energii promienistej. Największa częstość drgań ν promieni, otrzymanych przy danem napięciu, daje się zatem obliczyć z równania

$$h\nu = eV$$

Najmniejszą długość fali λ w otrzymanej wiązce promieni można znaleźć, pamiętając, że $\nu \cdot \lambda = c$, gdzie c jest szybkością przenoszenia fal elektromagnetycznych, i podstawiając odpowiednie liczby na h , e i c :

$$\lambda = \frac{hc}{e \cdot V} = \frac{12350}{V}$$

Spółczynnik, znajdujący się w tem równaniu, jest obliczony w założeniu, że V jest wyrażone w Voltach, a λ w Angströmach. Energia kinetyczna pewnej części elektronów zostaje częściowo pochłonięta przez atomy metalu antykatody, przeprowadzając je w stan pobudzony. Takie pobudzone atomy wydzielają własne promieniowanie o długościach fal charakterystycznych dla danego metalu, którego natężenie jest znacznie silniejsze niż promieni o innych długościach fal. Promienie prawie jednobarwne można otrzymać, stosując odpowiednio

dobrane filtry z cienkich blaszek metalowych. To, co było powiedziane o lampie gazowej, dotyczy również lamp Coolidge'a, tylko tu powietrze z lampy jest usunięte możliwie dokładnie, a katodą jest cienki drucik metalowy, który, rozżarzony prądem z baterji z boku włączonej, wydziela elektrony. Promienie X krótkofalowe, bardzo przenikliwe, są nazywane twardymi; promienie o fali dłuższej, miękkimi zwane, są znacznie mniej przenikliwe.

Pierwsze prace, w których zwrócono uwagę na różnicę wpływu na bakterje promieni X miękkich i twardych, zjawily się w r. 1926. Prace te, wykonane przez Schepmann'a i Flecke'go oraz Trillat'a, wykazały, że promienie miękkie działają na bakterje o wiele silniej zabójczo, niż promienie twarde.

Trillat rozkładał wiązkę promieni X zapomocą spektrografu i z otrzymanego widma wydzielał prążek α serji K chromu ($\lambda = 2,23 \text{ \AA}$) zapomocą przesłon ołowianych. Kultury *Bacterium prodigiosum*, szczepione na agarze metodą „chmurek bakteryjnych“ (*nuages microbiens*), były poddawane działaniu promieni X i fotografowane po 24 godzinach, gdy bakterje powyrastały w kolonje, a ślad szpary, przez którą padały promienie, stał się widoczny. Jeśli naświetlenie trwało 1—2 godzin, ślad ten był zupełnie jałowy, po naświetleniu przez 15—45 minut były na nim nieliczne kolonje, a po naświetleniu krótszem niż przez 15 minut widoczny był tylko słabszy rozwój bakteryj niż w miejscach nienaświetlonych. Przy odpowiednim oświetleniu dawał się zauważyć na brzegu miejsca naświetlonego jakby silniejszy wzrost bakteryj, co autor tłumaczy stymulującym działaniem tych niewielkich ilości promieni, które zostały rozproszone na boki przez naświetlony agar. Również Schepmann i Flecke zauważyli obok miejsc naświetlonych jasny pasek brzeżny, uznali to jednak za złudzenie optyczne. Możliwe, że i Trillat miał do czynienia z jakimś złudzeniem optycznem, albo też zaobserwowany silniejszy wzrost bakteryj mógł być skutkiem przenikania substancyj odżywczych z jałowego lub słabo zarosniętego miejsca naświetlonego, gdyż nikt z późniejszych badaczy żadnego wpływu stymulującego promieni X na rozmnażanie się bakteryj nie zauważył. Okazało się dalej, że promienie X działają bezpośrednio na bakterje, a nie

na podłoże, gdyż naświetlanie agaru przez 3 godziny nie zmieniło zupełnie jego własności, jako pożywki dla bakteryj. Poza tem Trillat stwierdził, że o ile naświetlenie promieniami miękkimi przez jedną godzinę całkowicie powstrzymuje wzrost bakteryj, o tyle taka sama doza promieni twardych, otrzymanych zapomocą lampy Coolidge'a przy napięciu 80000 Volt, zaledwie słabo wstrzymuje ich rozwój.

Schepmann i Flecke badali wpływ zabójczy promieni o długości fali $\lambda = 1,29 - 1,54 \text{ \AA}$ na różne bakterje. Najodporniejszym okazał się *Bacillus mesentericus*, potem *Micrococcus pyogenes aureus*, *Bact. coli*, *Bact. pyocyaneum*; *Bact. prodigiosum* było najbardziej wrażliwe; endospory były odporniejsze niż komórki wegetatywne. Zostało dalej wykazane, że promienie X powstrzymują wzrost bakteryj, czy też je zabijają, ale poza tem nie wpływają na żadną ich funkcję fizjologiczną, oraz że promienie twarde działają znacznie słabiej niż miękkie.

Przypuszczenie, że w działaniu promieni X na bakterje może grać dużą rolę nieciągłość (kwantowość) energii, zostało wyrażone pierwszy raz w pracy Holweck'a i Lacassagne w roku 1928. Badali oni wpływ promieni o długości fali $\lambda = 8 \text{ \AA}$ (serja K glinu) na kultury *Bact. pyocyaneum*. Naświetlenie przez 2 sek. wywoływało już pewien widoczny skutek, po naświetleniu przez 40 sek. wyrastało tylko kilka kolonij, a dla zupełnej sterylizacji trzeba było naświetlać 300 sek. Tak duże różnice czasu, potrzebnego dla zabicia różnych bakteryj jednej kultury, można było tłumaczyć albo wielkimi różnicami indywidualnej ich wrażliwości albo też uznać za skutek nieciągłości i zupełnej przypadkowości w pochłanianiu energii promienistej co byłoby możliwe tylko wtedy, gdyby energia, potrzebna dla zabicia każdej bakterji, była równa jakiejś bardzo małej ilości kwantów. Holweck uznał to drugie przypuszczenie za prawdopodobniejsze i starał się wytłómaczyć, jakie zmiany może wywołać w komórce bakteryjnej pochłonięcie każdego kwantu. Autor powołał się na badania fizyków, z których wynika, że pochłanianie miękkich promieni X przez pierwiastki lekkie (jak np. węgiel) powoduje zjawisko fotoelektryczne złożone (wytrącenie fotoelektronów K i L). Wytrącone elektrony, posiadając pewną energję kinetyczną, jonizują cząsteczki, wchodzące w skład bakterji, uszkadzając ją w ten sposób.

Uwzględnienie kwantowej budowy energii promienistej pozwoliło stosować rachunek prawdopodobieństwa we wszystkich prawie późniejszych badaniach z tej dziedziny

W pracy, ogłoszonej w roku 1929 przez Holweck'a, Lacassagne i Curie, jest podany opis ulepszonej techniki bakterjologicznej oraz uzasadnienie wzoru matematycznego stosowanego do obliczania wyników. Curie zakłada wraz z Holweck'iem, że tylko te kwanty przyczyniają się do uszkodzenia komórki bakteryjnej, które zostaną pochłonięte w pewnej jej części, zwanej sferą wrażliwą, której objętość stanowi drobny ułamek objętości komórki. Jeśli sfera wrażliwa pochłonie pewną ilość progową S lub więcej kwantów, komórka zostaje zabita. Wprowadźmy następujące oznaczenia:

δ = powierzchnia sfery wrażliwej, wystawiona na działanie promieni,

a = grubość sfery wrażliwej,

μ = współczynnik pochłaniania promieni,

x = średnia ilość kwantów, która padła na jednostkę powierzchni.

Z definicji współczynnika pochłaniania wynika, że jeśli a jest bardzo małe, to iloczyn $a \cdot \mu$ wyraża stosunek energii pochłoniętej przez sferę wrażliwą do energii promienistej padającej na nią. Ponieważ na sferę wrażliwą padło (średnio) $\delta \cdot x$ kwantów, więc średnia ilość kwantów, pochłoniętych przez sferę wrażliwą każdej komórki, wynosi

$$N = \delta \cdot v \cdot a \cdot \mu = \mu u \cdot x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

gdyż $\delta \cdot a = u$ jest objętością sfery wrażliwej. Nie jest przez to powiedziane, że sfera wrażliwa każdej komórki musi pochłoniąć jednakową ilość N kwantów, tem bardziej, że N może nie być liczbą całkowitą. Raczej przeciwnie: teoria matematyczna zjawisk, zachodzących masowo i zupełnie przypadkowo, przewiduje, że są tu możliwe wszystkie liczby całkowite (oczywiście nie większe od ogólnej ilości kwantów wypromieniowanych) a prawdopodobieństwo, że sfera wrażliwa jakiejś komórki pochłonięła n kwantów, wynosi

$$P_n = \frac{N^n}{n!} \cdot e^{-N} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

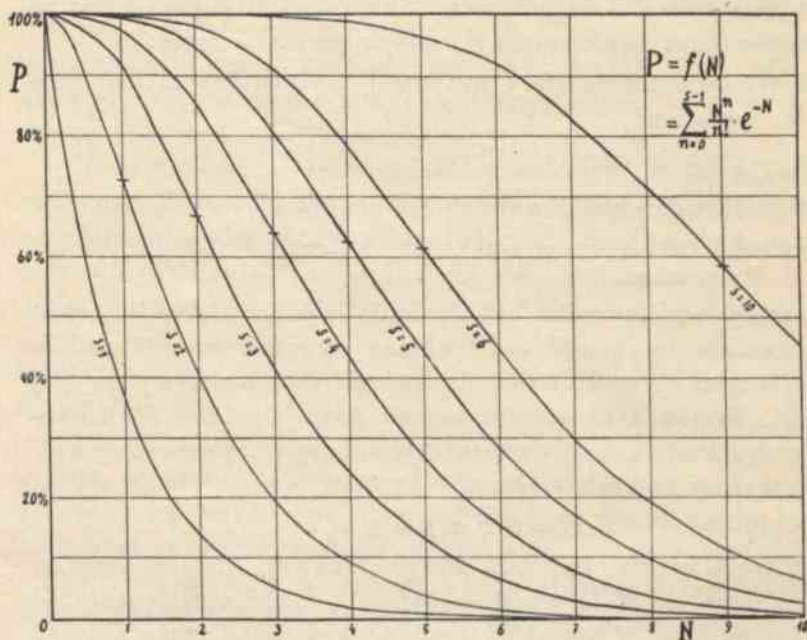
Stąd prawdopodobieństwo, że sfera wrażliwa jakiejś komórki pochłoneła mniej niż S kwantów, a zatem, że komórka nie została zabita, wynosi

$$P = e^{-N} \left(1 + \frac{N}{1} + \frac{N^2}{1 \cdot 2} + \frac{N^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \dots + \frac{N^{S-1}}{(S-1)!} \right) \quad (3)$$

Wzór ten był już poprzednio stosowany w badaniach nad wpływem promieni X na różne drobne organizmy.

W najprostszym przypadku, gdy $S = 1$, mamy zwykłą funkcję wykładniczą

$$P = e^{-\mu \cdot u \cdot x} \quad (4)$$



Rys. 1.

Objętość sfery wrażliwej można z tego równania obliczyć, gdyż μ i x dają się oznaczyć metodami fizycznymi, a P równe jest stosunkowi ilości bakterij żywych po naświetleniu do ilości przed naświetleniem.

Jeśli $S > 1$ zagadnienie staje się bardziej skomplikowane, gdyż wykresy (rys. 1) $P = f(N)$ dla różnych $S > 1$ są do siebie podobne, wszystkie mają punkty przegięcia (zaznaczone na

rysunku kreseczkami). Chodziłoby tu o obliczenie dwóch wielkości nieznanych S i u . Curie wyprowadziła prosty wzór, pozwalający znaleźć S , odpowiadające krzywej, otrzymanej z doświadczenia:

$$x_1 \cdot \frac{dP}{dx_1} = -\sqrt{\frac{S-1}{2\pi}} \dots \dots \dots (5)$$

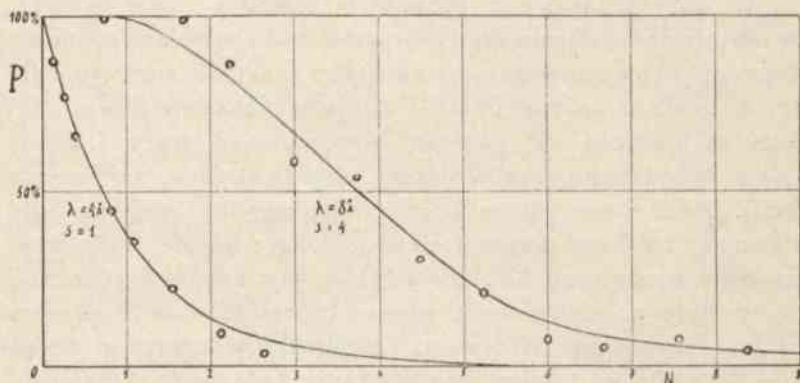
gdzie x_1 i $\frac{dP}{dx_1}$ oznaczają spólrzędna x oraz pochodną P względem x w punkcie przegięcia krzywej. Znając S , łatwo jest obliczyć u , gdyż można dowieść, że w punkcie przegięcia krzywej

$$u \cdot u \cdot x_1 = S - 1 \dots \dots \dots (6)$$

W dotychczasowych badaniach stosunek ilości bakteryj żywych po naświetleniu do ilości przed naświetleniem oceniany był przez porównanie zmętnienia agaru wskutek rozwoju bakteryj w miejscu naświetlonym i miejscu nienaświetlonym, służącym za kontrolę. W powyżej wspomnianej pracy Lacassagne opisał inną, dokładniejszą metodę, opartą na liczeniu kolonij. *Bact. pyocyaneum* było przeszczepiane oczkiem igły platynowej na 5 cm³ buljonu co 24 godziny; kultury były trzymane w temperaturze 37°. Dwie lub cztery krople 3-godzinnej kultury były rozcieńczane 2 cm³ wody destylowanej; płynem tym po zmieszaniu pokrywano powierzchnię agaru w szalce Petri'ego. Celem takiego postępowania było możliwie równomierne rozmieszczenie bakteryj na powierzchni agaru i na tyle gęste, aby w miejscach, poddawanych naświetleniu (około 1 cm² powierzchni agaru), znajdowało się początkowo około 100 bakteryj. Naświetlonych było kilka jednakowych pól na jednej i tej samej szalce przez różny przeciąg czasu w jednakowych warunkach, a więc przy jednakowym napięciu i natężeniu prądu w lampie i z jednakowej odległości, równej wysokości brzegu szalki (1 cm); nie trzeba chyba wspominać, że do naświetlania przykrywka z szalki była zdejmowana, gdyż szkło nie przepuszcza promieni miękkich. Po naświetleniu szalki były wstawiane do termostatu na tak długo, aby bakterje rozwinęły się w kolonje, które możnaby liczyć pod lupą. Wielkość P była oznaczana, jako stosunek ilości kolonij w miejscu naświetlonym do ilości kolonij na powierzchni tej samej wielkości w miejscu nienaświetlonym tej samej szalki.

Autor uważa za możliwe dwa źródła błędu. Po pierwsze, kolonie mogłyby pochodzić nie od jednej bakterji, ale od kilku razem zlepionych; jednak obserwacje mikroskopowe czy to w kropli wiszącej, czy też na preparatach barwionych wykazały, że przy użyciu opisanej techniki prawie wszystkie bakterje pływają pojedynczo. Po drugie, bakterje w czasie między szczepieniem a naświetleniem mogłyby rozmnożyć się; autor wykazał jednak, że naświetlając w jednakowy sposób bakterje na jednej szalce zaraz po szczepieniu, a na drugiej w pół godziny po szczepieniu, otrzymuje się wyniki zupełnie jednakowe.

Metodę, opisaną przez Lacassagne, zastosował Holweck do zbadania wpływu promieni serji K glinu ($\lambda = 8 \text{ \AA}$)



Rys. 2.

oraz serji L srebra ($\lambda = 4 \text{ \AA}$) na *Bact. pyocyaneum*. Do otrzymanych wyników stosowany był wzór (3). Do obliczenia S i u autor nie zastosował wzoru (5), ale narysował siatkę krzywych $P = f(N)$ dla różnych wartości S i próbował, na którą z nich dadzą się otrzymane przez niego wyniki nałożyć. Okazało się (rys. 2), że dla zabicia bakterji trzeba, aby jej sfera wrażliwa pochłonęła conajmniej jeden kwant promieni o długości fali $\lambda = 4 \text{ \AA}$ lub 4 kwanty promieni o długości fali $\lambda = 8 \text{ \AA}$. Średnica sfery wrażliwej w założeniu, że jest ona kulista, została obliczona z danych, otrzymanych dla promieni serji L srebra, jako równa $0,43 \mu$, a z badań nad promieniami serji K glinu wielkość jej wypadła równa $0,55 \mu$. Ponieważ Holweck podaje dla komórki *Bact. pyocyaneum* wymiary 4μ długości i $0,7 \mu$

grubości (wymiarzy te wydają się trochę za duże), więc objętość sfery wrażliwej stanowi około $\frac{1}{25}$ część objętości komórki. Autor powtarza tu poprzednio wspomniane wytłumaczenie działania miękkich promieni X zjawiskiem fotoelektrycznym i oblicza drogę wytraconego elektronu na $0,12 \mu$ gdy $\lambda = 4 \text{ \AA}$ albo $0,02 \mu$ gdy $\lambda = 8 \text{ \AA}$; są to zatem wielkości mniejsze od średnicy sfery wrażliwej. Przytoczone wyniki mogłyby się wydać dziwne, gdyż dla zabicia jednej bakterji powinna być pochłonięta przez sferę wrażliwą ilość energii dwa razy większa w postaci promieni miękkich ($\lambda = 8 \text{ \AA}$) niż w przypadku promieni twardszych ($\lambda = 4 \text{ \AA}$), podczas gdy poprzednio opisane badania wykazały, że promienie miękkie działają silniej niż twarde. Należy jednak pamiętać, że współczynnik pochłaniania promieni o $\lambda = 4 \text{ \AA}$ jest ośm razy mniejszy niż promieni o $\lambda = 8 \text{ \AA}$.

Zachodzi teraz pytanie, o ile interpretacja wyników w powyżej opisanych doświadczeniach jest słuszna. Jedno zdaje się nie ulegać wątpliwości, że uszkodzenie bakterji przez promienie X polega na jonizacji cząsteczek, wchodzących w skład komórki.

Przedewszystkiem, jak to słusznie zauważył autor amerykański Wyckoff, należy mówić nie o zabijaniu bakteryj, a tylko o powstrzymaniu ich zdolności rozmnażania się. Ciż sami dwaj autorzy francuscy ogłosili w r. 1930 swoje badania nad wpływem promieni X na *Saccharomyces ellipsoideus*, z których wynika, że tylko długie naświetlenie wywołuje śmierć komórek, podczas gdy krótkie naświetlenie powstrzymuje ich rozmnażanie się na szereg godzin. Przytem śmierć komórek następuje zwykle dopiero po pierwszym podziale po naświetleniu; śmierć natychmiastową można wywołać tylko bardzo dużą dawką promieni. Jeśli chodzi o bakterje, to tylko Trillat zauważył, że miejsca na szalkach agarowych, szczepionych metodą chmurek bakteryjnych, naświetlone krócej niż 45 minut (w poprzednio opisanych doświadczeniach), na których po 24 godzinach było tylko kilka kolonij, zarastały po pewnym czasie, i to tem prędzej, im krótszy był czas naświetlenia. Doświadczenia, w których wpływ promieni X na bakterje byłby obserwowany pod mikroskopem, nie były przeprowadzone. Był natomiast obserwowany wpływ promieni α emanacji radu na bakterje (Sterling-Okuniewski i Kaweckie, 1931 r.).

Zostało tu stwierdzone wstrzymanie podziału komórek a jednocześnie wytworzyły się formy inwolucyjne niezwyklej wielkości; krótkotrwałe nawet działanie emanacji radu okazało się wielokrotnie silniejszym niż jakichkolwiek innych czynników wywołujących powstanie form inwolucyjnych.

Wzory, wyprowadzone w założeniu, że wrażliwą jest tylko pewna niewielka część komórki, pochłaniająca ilości energii rzędu jednego lub kilku kwantów, zanim nastąpi śmierć, wykazują zadawalniającą zgodność z wynikami doświadczeń. Jak już było wyżej wspomniane, Holweck zwrócił uwagę na to, że obserwowane zjawiska można wytłumaczyć również zmiennością indywidualnej wrażliwości bakteryj, uważa to jednak za bardzo mało prawdopodobne. Do sprawy tej powrócił Wyc k o f f w jednej ze swoich prac. Autor ten używał do badań albo promieni katodowych o dużej szybkości, albo też promieni X na tyle twardych, że jeden kwant mógł zabić bakterję, otrzymywał więc krzywe wykładnicze. Wyniki otrzymane zestawia on z krzywami śmiertelności bakteryj pod wpływem środków dezynfekcyjnych lub niekorzystnych warunków, które porównywano do przebiegu jednocząsteczkowej reakcji chemicznej albo też interpretowano jako skutek niejednakowej wrażliwości komórek. Autor tę ostatnią interpretację uważa za bardzo mało prawdopodobną i stara się to uzasadnić. Przypomina więc, że nie zawsze otrzymywano krzywe wykładnicze (Holweck i Lacassagne, Gates w badaniach nad wpływem promieni ultrafioletowych na bakterje) oraz że działanie promieni X jest prawie niezależne od wpływu warunków zewnętrznych, podczas gdy na zjawiska wrażliwości mają one duży wpływ (np. wrażliwość na działanie wyższych temperatur zależy od P_H). Co do pierwszego argumentu, to wydaje się możliwą interpretacją również i tych krzywych jako skutku niejednakowej wrażliwości; bardziej przekonującym jest fakt, że Holweck dla jednego gatunku bakterji otrzymał dwie krzywe, z których jedna jest wykładnicza, a druga nie jest (rys. 2). Jeśli chodzi o drugi argument, to autor powołał się na badania Gates'a (1929 rok), który stwierdził, że przy P_H od 4,5 do 7,5 działanie promieni ultrafioletowych na *Staphylococcus aureus* jest zupełnie jednakowe; dopiero przy $P_H = 9$ i $P_H = 10$ procent zabitych bakteryj jest trochę większy. Jest rzeczywiście bardzo

prawdopodobne, że wyniki te dałyby się rozciągnąć i na promienie X , których działanie jest napewno o wiele mniej skomplikowane niż promieni ultrafioletowych. W tym samym roku okazało się, że wrażliwość *Bact. prodigiosum* na promienie serji K żelaza ($\lambda = 2 \text{ \AA}$) jest znacznie mniejsza, jeżeli bakterje były poprzednio wystawione na działanie światła dziennego. Można tu wreszcie wspomnieć o pracy Dognon i Piffault (1931) z których wynika, że obecność pewnych substancyj chemicznych ma bardzo wyraźny wpływ na działanie promieni X na *Paramaecium*¹⁾. Pomimo to, że działanie promieni X na bakterje nie jest tak niezależne od różnych czynników, jakby chciał Wyckoff, można jednak badać je, stosując założenia i wzory rachunku prawdopodobieństwa, tembardziej, że Ra hn stosował je, analizując działanie wysokiej temperatury, na które, jak wiadomo, mają duży wpływ różne czynniki.

Wprowadzenie przez Holweck'a pojęcia sfery wrażliwej było zastosowaniem do bakteryj poglądu, wyrażonego już dawniej przez badaczy (Crowther 1926), którzy zajmowali się wpływem promieni X na inne drobne organizmy, że dla zabicia ich koniecznym jest uszkodzenie pewnych struktur, stanowiących bardzo drobną część objętości komórki. Pogląd ten był koniecznym wnioskiem z zastosowania teorii kwantów do wyników doświadczeń. Założenie Holweck'a, że bakterja ma jedną sferę wrażliwą, nie jest jedynym możliwym, tłumaczącem otrzymane wyniki. Ostateczna forma równania (3) zupełnie się nie zmieni, jeśli przyjmiemy, że istnieje dużo drobnych sfer wrażliwych o objętościach $u_1, u_2, u_3, \dots, u_k$, przytem

$$u = u_1 + u_2 + u_3 + \dots + u_k \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Bardzo ostrożnie postępuje Wyckoff, zakładając przy obliczaniu wyników, że wielkość u jest iloczynem objętości komórki bakteryjnej przez jakiś współczynnik, wyrażający stosunek ilości kwantów, które przyczyniły się do uszkodzenia

¹⁾ Dognon i Piffault zaznaczają, że te substancje chemiczne nie mogą być uważane za sensybilizatory, gdyż obecność ich w roztworze, w którym znajdują się naświetlane wymoczki nie jest konieczna w chwili naświetlenia: skutek będzie ten sam, gdy wymoczki zetkną się z roztworem danej substancji zaraz po naświetleniu. Jest raczej prawdopodobnem, że promienie Röntgena zmniejszają odporność komórki przez zwiększenie przepuszczalności błony jądrowej.

komórki do ogólnej ilości kwantów przez nią pochłoniętych. W dalszym ciągu autor wyraża przypuszczenie, że substancją wrażliwą bakterji mogłaby być chromatyna; należałoby wtedy przyjąć istnienie nie jednej, a wielu sfer wrażliwych.

Podobne przypuszczenie w zastosowaniu do *Polytoma uvella* wyrazili Holweck i Lacassagne (1931 r.). W wyniku tych doświadczeń udało się im wyróżnić kilka typów uszkodzeń wywołanych uderzeniem promieni α polonu w różne sfery wrażliwe. Autorzy starali się wykazać identyczność tych sfer wrażliwych z organoidami komórki, opierając się przytem na znalezionych ich wielkościach (a raczej wielkościach sfer działania cząsteczek α) oraz skutkach, wywołanych ich uszkodzeniem. Tak więc np. sfera o średnicy $2,3 \mu$ byłaby jądrem (najmniej 2 cząsteczki α powodują uszkodzenie), a sfera o średnicy $0,25 \mu$ byłaby centrozomem (najmniej 1 cząsteczka α wywołuje uszkodzenie) komórki, której długość wynosi od 14 do 20μ , a szerokość od 5 do 12μ .

Za przypuszczeniem, że sfera wrażliwa komórki drożdży jest skupiona w jednym miejscu mógłby przemawiać tylko jeden fakt, który podają Holweck i Lacassagne w pracy ogłoszonej w r. 1930. Badany był wpływ promieni X oraz promieni α polonu na drożdże. Ponieważ, jak wynika z obliczeń, cząsteczka α w warunkach doświadczenia, przechodząc przez ciało badanego organizmu, wytwarza wzdłuż swego toru około 5.000 par jonów na jeden mikron, zatem przejście pewnej progowej ich ilości przez powierzchnię przekroju sfery wrażliwej powinno spowodować dającą się zaobserwować reakcję komórki. Otóż Holweck zaznacza, że oznaczona stąd wielkość tej powierzchni zgadza się z oznaczeniami objętości sfery wrażliwej tylko wtedy, jeśli założymy, że kształt jej jest kulisty. Jednak autor nie podaje odpowiednich liczb, przez co trudno jest osądzić, o ile wnioski jego są słuszne. Zresztą, jeśli nawet sfera wrażliwa jest tylko jedna, kulista u drożdży, to jeszcze nie daje powodu do przypuszczeń, że to samo dotyczy bakteryj, tem bardziej, że w komórce bakterji dotychczas nie zdołano wykazać istnienia jakiegokolwiek pojedynczego elementu morfologicznego tak dużego, jak sfera wrażliwa.

W powyżej wspomnianej pracy nad drożdżami Holweck zwraca uwagę na to, że przy użyciu promieni twardszych

również fotoelektron, wytracony przez kwant pochłonięty poza sferą wrażliwą, może do niej przeniknąć i uszkodzić ją. Średnica sfery wrażliwej, obliczona w tych badaniach, okazała się rzeczywiście większa, gdy użyte były promienie serji *K* żelaza ($\lambda = 1,93 \text{ \AA}$) niż przy użyciu promieni serji *K* glinu ($\lambda = 8,32 \text{ \AA}$). Również Wyckoff wykazał, że z obliczeń wypada tem większa objętość substancji wrażliwej, im twardsze promienie były użyte. Badania jego mają tem większe znaczenie, że były przeprowadzone na bakterjach (*Bact. coli*) oraz że zabicie, względnie powstrzymanie podziału było wywołane pochłonięciem tylko jednego kwantu, co znacznie ułatwiało obliczenia i wpływało przez to dodatnio na dokładność wyników. Do obliczeń stosował autor wzór (4) w formie nieco zmienionej:

$$P = e^{-\alpha' t} \dots \dots \dots (8)$$

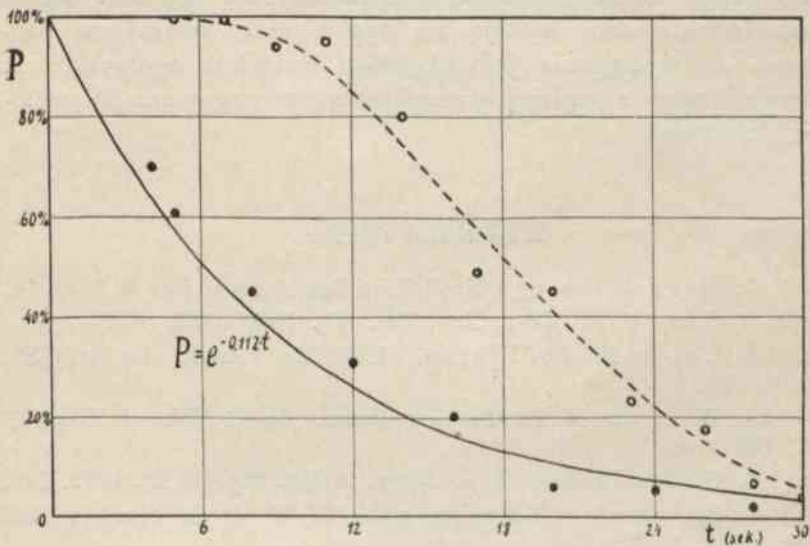
gdzie t oznacza czas naświetlenia, a α' odpowiedni współczynnik, którego wartość była obliczana na podstawie wielkości P , oznaczonych doświadczalnie dla różnych t . Mając natężenie promieni, zmierzone przy pomocy komory jonizacyjnej, znając objętość komórki bakteryjnej i zakładając, że jej współczynnik pochłaniania promieni, obliczony na jednostkę masy jest taki sam jak powietrza, autor obliczał, jaki byłby współczynnik α , gdyby pochłonięcie każdego kwantu było skuteczne. Stosunek $\frac{\alpha'}{\alpha}$ wyraża ułamek objętości komórki, w którym pochłonięcie kwantu jest skuteczne w rzeczywistości. Poniższa tablica przedstawia wyniki otrzymane przez Wyckoff'a.

Promienie (serja, metal)	<i>K Ag</i>	<i>K Mo</i>	<i>K Cu</i>	<i>K Cr</i>	<i>L Ag</i>
λ (Å)	0,564	0,710	1,537	2,29	3,98
α obliczone	0,079	0,126	0,527	1,220	1,108
α' obserwowane	0,0174	0,0167	0,0370	0,0413	0,0159
stosunek $\alpha':\alpha$	0,220	0,159	0,0702	0,0338	0,0144
ilość kwantów pochłoniętych na jeden zabijający	4,54	6,46	14,2	29,5	69,7

Jak wynika z liczb, podanych w tablicy, stosunek $\frac{a'}{a}$ zmienia się bardzo znacznie wraz ze zmianą długości fali. To też słusznie zaznacza autor, że stosunek ten jest raczej wskaźnikiem wielkości sfery działania kwantu, niż ilości substancji wrażliwej, która stanowi prawdopodobnie około 0,01 objętości komórki.

Zmiany długości fali wpływają nietylko na stosunek ilości kwantów skutecznych do ilości kwantów pochłoniętych przez komórkę. Jeszcze z badań Holweck'a i Lacassagne nad *Bact. pyocyaneum*, a następnie nad drożdżami wynika, że im większe są użyte promienie, tem większa ilość kwantów musi być pochłonięta przez substancję wrażliwą dla wywołania obserwowanego skutku. Założenie, że uszkodzenie komórki jest skutkiem jonizacji jej substancji wrażliwej, zupełnie dobrze tłumaczy ten wynik. Otóż, aby to uszkodzenie wywołało dający się zaobserwować skutek (powstrzymanie podziału lub śmierć), ilość wytworzonych jonów musi być dostatecznie duża; jak wiadomo, im większa jest długość fali, tem mniejsza jest energia kwantu, tem mniej jonów wytwarza jego pochłonięcie, a więc tem więcej kwantów musi być pochłonięte przez substancję wrażliwą dla wytworzenia dostatecznej ilości jonów. Jak to już było wspomniane, obliczenia są mniej dokładne, gdy duża ilość kwantów musi być pochłonięta przez substancję wrażliwą, aby bakterja została zabita, gdyż, jak to można zauważyć na rys. 1, gdy S jest coraz większe, wykresy $P = f(N)$ stają się coraz podobniejsze do siebie i coraz trudniej jest rozstrzygnąć, który z nich najlepiej zgadza się z wynikami doświadczenia. Możliwe tu jest jeszcze jedno źródło błędu. Mianowicie krzywą, posiadającą punkt przegięcia, można otrzymać również wtedy, gdy $S = 1$, jeśli naświetlane są nie pojedyncze bakterje, ale ich skupienia. Ilustrują to dobrze załączone wykresy (rys. 3) dwóch krzywych, sporządzone na podstawie liczb otrzymanych przez Wykoff'a i Rivers'a w badaniach, coprawda nie nad promieniami X, ale nad promieniami katodowymi, którym szybkość została nadana przez spadek potencjału równy 155000 Volt. Przy zastosowaniu zupełnie poprawnej techniki bakterjologicznej otrzymywane były dla *Bact. coli* krzywe wykładowe. Gdy zaś szalki szczepione wstawione były na

pewien czas do termostatu przed poddaniem ich działaniu promieni, tak że bakterje, początkowo pojedynczo rozmieszczone, zdążyły odbyć parę podziałów, otrzymane wyniki leżały na krzywej esowatej. W tej samej pracy otrzymana została krzywa esowata dla *Staphylococcus pyogenes aureus*, czego przyczynę autorzy widzą w trudności porozdzielania komórek tej bakterji metodą, stosowaną z powodzeniem do *Bact. coli*. Napewno z przyczyny wyżej wymienionej autor amerykański Burger (1931) otrzymywał esowate krzywe śmiertelności bakteryj, chociaż stosował napięcia do 40000 Volt, używając antykatody



Rys. 3.

molibdenowej, srebrnej lub innej. Promienie X, otrzymywane tu, były napewno dość twarde, aby jeden kwant mógł zabić bakterję. Zresztą praca Burger'a jest pod każdym względem wykonana bardzo niestarannie. Autor nie tylko nie zastanawiał się nad poprawnością stosowanej techniki bakterjologicznej, ale wcale nie mierzył natężenia promieni X, nie zastanawiał się nad tem, jaka długość fali w nich przeważała (nie podaje nawet, kiedy używał antykatody molibdenowej, kiedy srebrnej, a kiedy innej), chociaż mógł znaleźć odpowiednie wskazówki w pracach poprzednio ogłoszonych, jak tego rodzaju badania prowadzić należy.

Najważniejsze zagadnienia, związane z wpływem promieni Roentgena na bakterje, zostały omówione. Badania nad promieniami miękkimi miały tu specjalne znaczenie, gdyż zwróciły uwagę na rolę kwantowej budowy energii promienistej w obserwowanych zjawiskach i dały możność rozwoju teorii substancji wrażliwej u bakterji. Jest bardzo prawdopodobnem, że teoria ta dałaby się zastosować również do badań nad wpływem promieni ultrafioletowych, niejonizujących, na bakterje. Omówione zagadnienia stanowią część o wiele obszerniejszej grupy zagadnień wpływu promieni Roentgena na organizmy. Badania jednak nad bakterjami, czy też wogóle mikroorganizmami, wydają się być o wiele pewniejszą podstawą do wyciągania jakichkolwiek wniosków ogólnych, niż doświadczenia z bardziej skomplikowanymi organizmami wielokomórkowemi.

LITERATURA.

1. Burger George N. Bull. of Basic Science Res. **3**, 1931, 71.
2. Crowther. Proc. Roy. Soc. (B). **100**, 1926, 390.
3. Curie M-me Pierre. C. R. de l'Acad. des sc. **188**, 1929, 202.
4. Dognon et Piffault. Journ. de Radiol. et Electrol. **15**, 1931, 442.
5. Gates Frederick L. Journ. of Gen. Physiol. **13**, 1929, 249.
6. Holweck et Lacassagne. C. R. de la Soc. de biol. **100**, 1929, 1101.
7. Holweck et Lacassagne. C. R. de la Soc. de biol. **103**, 1930, 60.
8. Holweck et Lacassagne. C. R. de la Soc. de biol. **107**, 1931, 812 et 814.
9. Holweck et Lacassagne. C. R. de l'Acad. des sc. **186**, 1928, 1316 et 1318.
10. Holweck et Lacassagne. C. R. de l'Acad. des sc. **188**, 1929, 197 et 200.
11. Holweck et Lacassagne. C. R. de l'Acad. des sc. **190**, 1930, 524 et 527.
12. Rahn Otto. Journ. of Gen. Physiol. **13**, 1929, 179.
13. Schepmann u. Flecke. Klinische Wochenschrift **5**, 1926, 1608.

14. Sterling-Okuniewski i Kawecki. Bull. Intern. de l'Ac. Pol. des Sc. Cl. de médecine 1931, 171.

15. Trillat J. J. Comptes Rendus de l'Acad. des sc. **183**, 1926, 614.

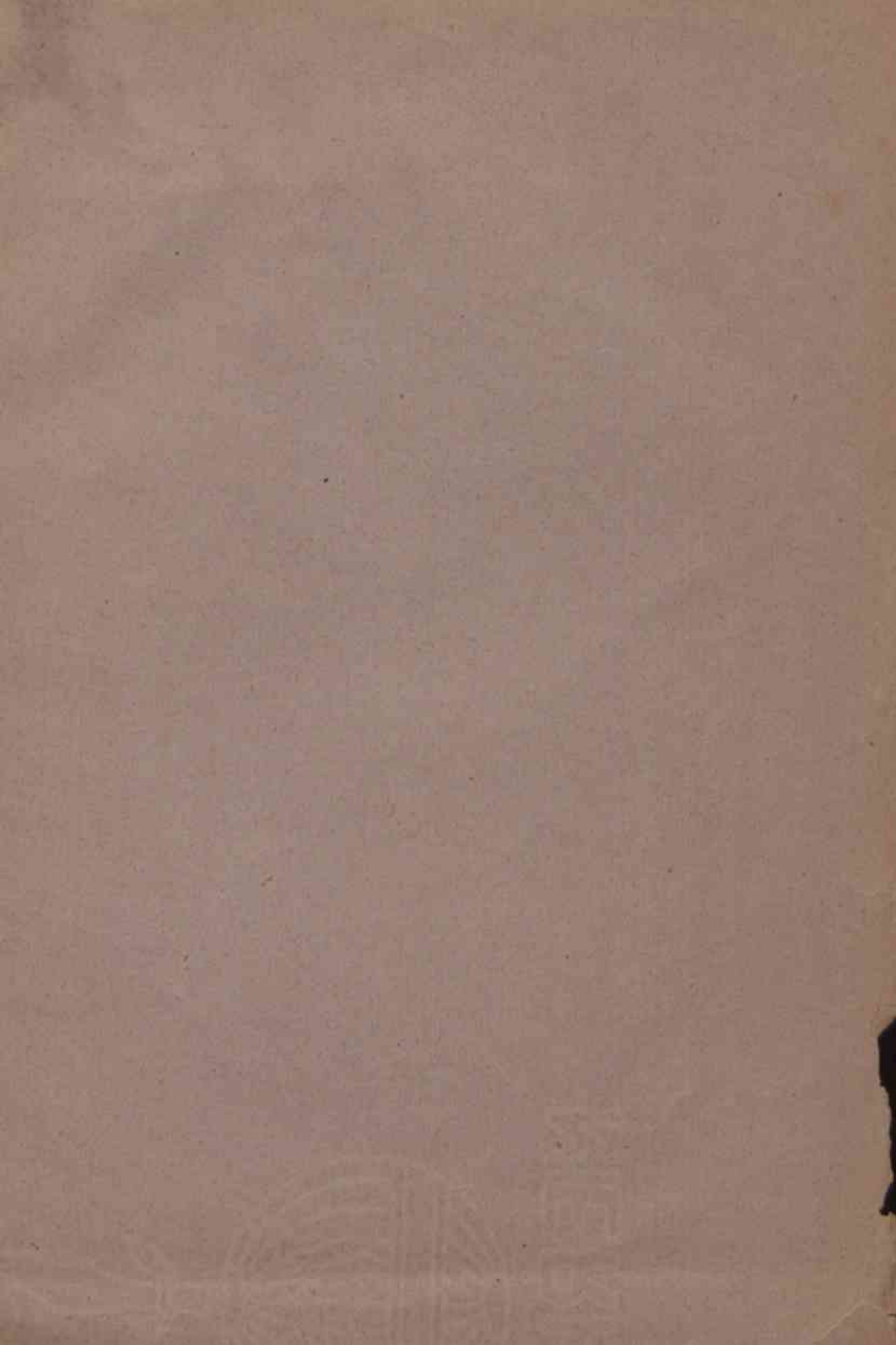
16. Wyckoff a. Rivers. Journ. of Exp. Med. **51**, 1930, 921.

17. Wyckoff Ralph. W. G. Journ. of Exp. Med. **52**, 1930, 435.

18. Wyckoff Ralph. W. G. Journ. of Exp. Med. **52**, 1930, 769.

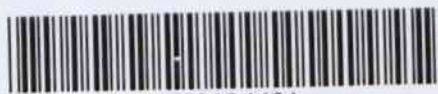


BIBLIOTEKA
UMCS
LJBLIN



Biblioteka Uniwersytetu
M. CURIE-SKŁODOWSKIEJ
w Lublinie

180968



1000194461