

# Epidemie i fizyka jądrowa

Jerzy Kuczyński

**1** W czasie epidemii, gdy się ciągle siedzi w domu po głowie chodzą różne myśli. W tym oczywiście wspomnienia. Mnie co chwilę przypomina się jeden z Kolegów. Starszy człowiek, pewnie w moim obecnym wieku, bo było to w czasach, gdy jeszcze pływałem jako oficer a on był moim załogantem. Tak dawno, że nie pamiętam ani jego imienia, ani nazwiska. Na pewno nie był to sztormowy rejs, bo „godziny wachty wolno płynęły” i nudę zapępiało się rozmowami. Załogant z zawodu był leśnikiem i opowiadał jak to w lesie bywa. W szczególności zapamiętałem opowieść o wścieklicznie.

**2** Wściekliczna jest w lesie stale. I nie ma problemu. Po prostu trzeba uważać jak się zwierzę zachowuje. Prosta reguła – jak zwierzę się ciebie nie boi to znaczy, że Ty masz się bać jego. W zdrowym, prawidłowo zarządzanym lesie ilość chorych zwierząt jest niewielka i lekko oscyluje w czasie. Raz chorych jest nieco więcej a drugi raz ich liczba maleje niemal do zera. Podobnie oscyluje populacja zwierząt choć z nieco inną amplitudą i co ważniejsze w innej fazie.

**3** Kiedy zwierząt jest dużo to po pewnym czasie rośnie liczba chorych. Zwierzęta padają i populacja maleje. Po pewnym czasie liczba zarażonych też maleje, bo gdy maleje populacja, czyli gęstość osobników, „odległość” między nimi rośnie, zarażeń jest mniej i populacja się odradza. To nie są wielkie wahania. Jeżeli się nie jest na co dzień w lesie, to trudno to nawet zauważyć. Po prostu, gdy zarażone zwierzę, zanim padnie, zaraża średnio 0,9 zwierzęcia (10 chorych zaraża 9 następnych),

liczba padnięć maleje a, że zwierzęta się rozmnażają więc gęstość rośnie i jedno, dwa pokolenia później chore zwierzę zaczyna zarażać 1,1 osobnika. Bo zwierząt jest więcej i o spotkanie łatwiej. Liczba upadków jest większa i populacja znowu maleje.

I tak to sobie spokojnie oscyluje. Pod warunkiem, że nie zmienia się jakieś uwarunkowania. A widzisz, mówił mi ów Załogant, był zwyczaj, że gajowi mogą polować na drobne drapieżniki takie jak kuny, łaski czy tchórze. Drapieżnik uchodzi za szkodnika a upolować go trudno. Samo znalezienie nie jest łatwe. Ale gajowy jest dzień w dzień jest w lesie. Zauważy jakieś ślady. Przyjrzy się dokładniej. Wytropi, zlokalizuje i w końcu złapie. Dużo tego nie upoluje, ale minie rok, dwa i dla żony na futro będzie.

Myśliwi się oburzali, że to kłusownictwo. Prawda, to kłusownictwo, ale ktoś lub coś musi kontrolować liczebność drobnych drapieżników. Naturalnych wrogów brakuje więc myśliwi zobowiązali się, że będą na nie polować a gajowym tego zabroniono. Ale taki myśliwy, nawet jak bardzo napalony na polowanie to jest w lesie co drugi tydzień. A znaleźć tchórza czy łaskę nie łatwo.

Nawet jak się znajdzie to kto ma tyle cierpliwości, żeby to upolować. Trzeba na to stracić sporo czasu a trofeum marne. Nawet za dziesięć lat niedzielnego polowania na futro może nie starczyć. Więc upolowanych sztuk było niewiele i drapieżniki się namnożyły. Oczywiście „wtrąciła się” wściekliczna. Tym razem jeden osobnik zarażał już kilka i drapieżniki prawie wyginęły. Po pewnym czasie wszystko wróciło do normy. Ale to była już inna norma. Drapieżników bardzo mało, ale za to gryzoni dużo.

Wspomnienie powracało wielokrotnie i dość natrętne, bo podobnych zdarzeń było sporo. Już nie tych opowiadanych na wachcie, ale spotykanych w życiu. Paręnaście lat temu, gdy szedłem w marcu na pomiary meteorologiczne ploszyłem nawet kilkanaście zajęcy przy niewiele ponad stu metrowej drodze. Pojawiła się jakaś epidemia i teraz zajęcia widzę raz, dwa razy w roku! Kuropatwy już nie widziałem od lat. Bażanty kiedyś widziałem codziennie, teraz nawet nie raz w tygodniu. Nie sadzę by na to miały jakiś wpływ polowania (kłusownictwo) co kiedyś było prawdopodobne, bo czasy się zmieniły i mięso znajduje się w sklepie a nie w lesie. I chyba z tego ostatniego powodu populacje zwierzęce w pewnym momencie wzrosły. Niestety na krótko.

**4** Oczywiście to wszystko przychodzi mi na myśl, gdy siedzę w domu z powodu zakazu wychodzenia. I zastanawiam się jak uniknąć choroby. W skali kraju (ludźkości) oczywiście przez zarażenie mniej niż jednej osoby przez przeciętnego chorego. I czasem ponoszą mnie nerwy. Dziś (Wielki Czwartek) ogłoszono, że mamy (od za tydzień!) używać maseczek, oraz że nie musi być to być profesjonalna maska, bo ma chronić nie noszącego ją a otoczenie. Tydzień temu wyczytałem, że taka najlichsza maska zmniejsza „zasięg rażenia” koronawirusa do 20 centymetrów (z dwu metrów a gdzieś czytałem, że nawet z ośmiu!). Tym samym jest bardzo skuteczna. Ale chroni nie noszącego a otoczenie zmniejszając „promień rażenia”!

Zastanówmy się chwilę nad tym. Epidemia to niemal identyczne zjawisko jak to co znamy z opisu reaktora jądrowego czy bomby atomowej – zarażenie to to samo co doskonale nam znana reakcja łańcuchowa. Ilość zakażeń, czyli tzw. współczynnik reprodukcji odpowiada temu, ile nowych rozszczepień produkuje jedno. Zastosowanie masek i izolacji to dokładny odpowiednik rozrzedzenia materiału rozszczepialnego. A więc, przy odpowiedniej skuteczności, odpowiada to przejściu z reżimu (rodzaju paliwa) typu bomba (wyraźnie większy od jednego współczynnik reprodukcji) do reżimu typu reaktor (współczynnik w okolicy jednego). Stosowanie testów i eliminacja (kwarantanna) zarażających nosicieli to odpowiednik stosowania prętów sterujących i awaryjnych pochłaniających neutrony. Z kolei odpowiednikiem zastosowania moderatora są różnego rodzaju obyczaje zwiększające prawdopodobieństwo zajścia reakcji, czyli w tym



przypadku zakażenia. Takie jak np. podawanie ręki czy wylewne przywitania z całowaniem.

Zauważmy, w całej powyższej opowieści nie było ani słowa o odporności na choroby (w reakcji jądrowej odpowiadające przekrojowi czynnemu), leczeniu, szczepionkach itd. Model (bo opowieść o zarażaniu zwierząt to oczywiście model i to z tych najprymitywniejszych) przewidywał prostą regułę – kontakt = śmierć. I nawet przy takiej regule epidemia samoistnie wygasa przy odpowiednim wzroście „odległości” między osobnikami. Jak już wiemy „odległość” rośnie w wyniku eliminacji z populacji zarażających, więc epidemia wcześniej czy później wygaśnie.

**5** Samoistne wygaśnięcie jest jednak dosyć kosztowne. W pracy [1] podano szacunki skutków epidemii przy braku przeciwdziałania. Otóż przy współczynniku powielania między 1,4 a 4,0 i okresie zarażenia 3-7 dni, co odpowiada aktualnej (zapewne dość ułomnej!) wiedzy o COVID-19, wg użytego modelu zarazi się między 51 a 98 procent populacji. Dla Polski oznaczałoby to 200 do 380 tysięcy zgonów. Jak widać przepisy kwarantannowe mają sens!

**5** Zarówno w fizyce jądrowej jak i w epidemii kluczowy jest „współczynnik powielenia”. Jego oszacowanie jest dosyć trudne i zwykle jest realistyczne dopiero post factum, czyli w momencie, gdy epidemia jest w końcowej fazie. W początkowej fazie, czyli w momencie pisania tego tekstu dostępne są, i to mało wiarygodne, dane jedynie o liczbie zachorowań oraz zmarłych [2].

W epidemiologii nieco doskonalszym odpowiednikiem tego co tu opisałem są modele typu SIR [3]. Modele SIR są opisane równaniami różniczkowymi (równania Kermacka-McKendricka sformułowane w 1927 roku) postaci pierwsza pochodna czasowa jest proporcjonalna do kombinacji liniowej pozostałych zmiennych. Zmienne te to S liczba osób podatnych (wielkość populacji), I liczba chorych (roznoszących chorobę) i R liczba ozdrowieńców (stąd SIR). Konkretnie równania te są postaci

$$\begin{aligned}\dot{S} &= -r \cdot S \cdot I, \\ \dot{I} &= r \cdot S \cdot I - a \cdot I, \\ \dot{R} &= a \cdot I\end{aligned}$$

gdzie  $r$  i  $a$  są stałymi współczynnikami. Omawianie bliżej tych równań i ich rozwiązań nie ma tu sensu, bo bez trudu można o tym przeczytać (omówienie własności rozwiązań w [1]). Do tego my fizycy sporo własności epidemii znamy z fizyki reakcji jądrowych. Może tylko warto dodać, że odpowiednikiem współczynnika powielenia jest tu

$$R_0 = \frac{r \cdot S_0}{a},$$

gdzie  $S_0$  jest początkową wielkością populacji. Do uzyskania rozwiązania potrzebne są jeszcze warunki brzegowe i wartości stałych. Te ostatnie oczywiście trzeba zmierzyć. Warto zauważyć, że model ma wbudowany warunek

$$\dot{I} + \dot{R} + \dot{S} = 0$$

co oczywiście oznacza, że populacja w trakcie epidemii się nie zmienia (ignorujemy urodzenia, w reaktorze odpowiadające częściowo powielaniu paliwa, czyli produkcji plutonu), a wyleczonych i zmarłych traktuje się jednakowo, jako już nie zarażających!). Dlatego opisanych wcześniej zjawisk typu oscylacyjnego (druga i następne fale epidemii) tu nie ma.

**6** Ekonomiczne podejście do problemu sprowadza się do zapewnienia możliwie tanio tej odległości. Nawet teraz maska kosztuje kilka złotych a godzina bezproduktywnego siedzenia domu to kilkadziesiąt złotych straty. I tak się zastanawiam, jakim tytanem intelektu trzeba być, by to zauważyć dopiero po trzech tygodniach.

**Jerzy Kuczyński**

Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach

#### LITERATURA

- [1] A. Kleczkowski, Matematyka i wirusy, PAUza Akademicka 509-510 s. 4. W artykule wbrew tytułowi bardzo opisowo omówiono modele epidemii. Praktycznie cały numer tego czasopisma elektronicznego jest poświęcony epidemii. Czasopismo dostępne w Internecie i zdecydowanie wiarygodne.
- [2] Niestety w trakcie epidemii trudno o rzetelne i nie obciążone bieżącą publicystyką dane. W tym przypadku niemal jedynym źródłem informacji są ulotne teksty Internetu. Tu chciałbym zacytować tekst (nie potrafię go już odnaleźć), w którym podano, że ilość zmarłych w Lombardii (jej części?) wzrosła w stosunku do poprzednich lat o 370%, przy czym ilość stwierdzonych zgonów z powodu COVID-19 była zbliżona do standardowej całkowitej ilości zgonów w poprzednich latach. Sugeruje to oczywiście, że rzeczywista śmiertelność była mocno niedoceniona i wyniosła blisko trzykrotnie więcej od oficjalnie podanej.
- [3] Model dostępny w Internecie. Wystarczy w wyszukiwarce kliknąć „model SIR”.

**W następnym numerze**

## O kuli plazmowej i wyładowaniach w gazach

Kula plazmowa od 20 lat pojawia się na stronach internetowych i okładkach czasopism. Cóż jest więc w niej jeszcze do opisanego? Tak naprawdę to nie wiemy, jaki gaz jest w środku, dlaczego przepływa prąd między dwoma szklanymi ściankami i dlaczego pojawiają się takie kolory a nie inne. Z kulą plazmową można zrobić 10 ciekawych doświadczeń i jedno nierozsądne. Jakie? Przeczytacie o tym pod koniec sierpnia.

