

# Foton

105  
Lato  
2009

Pismo dla nauczycieli i studentów fizyki oraz uczniów

INSTYTUT FIZYKI • UNIwersYTET JAGIELLOŃSKI  
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



Foto: <http://formula1.wordpress.com/>

Fizyka Formuły 1  
Efekt Mpemby  
Wyrzuty materii ze Słońca



Na zdjęciu młode badaczki: Agnieszka Ryznarska i Anna Wójcik z Publicznego Gimnazjum im. Ks. Kard. St. Wyszyńskiego w Szerzyniech prezentują projekt „Lot balonu”. Dziewczęta mierzyły gęstość ciepłego powietrza w wykonanym przez siebie balonie w ramach projektu Feniks



## O przyjemności płynącej ze znajomości fizyki

Jedną z odpowiedzi na pytanie, po co uczyć się fizyki, brzmi: dla przyjemności. W oferowanym Państwu letnim zeszycie *Fotonu* zamieściliśmy pokaźny, jak na rozmiary naszego pisma, artykuł autorstwa Przemysława Borysa o fizyce Formuły 1. Po przeczytaniu tego artykułu, do zrozumienia którego potrzebna jest duża porcja fizyki, macie Państwo zagwarantowaną znacznie większą przyjemność w kibicowaniu wyścigom Formuły 1, niż „zwykły” widz. Możliwe nawet, że zostaniecie fanami tej dyscypliny. To można porównać do różnicy w delectowaniu się fugami Bacha przez znawcę i totalnego ignoranta muzycznego. Zachęcamy do lektury; inne artykuły; też dostarczą Państwu wiele przyjemności.

Zakończył się pierwszy rok unijnego projektu Feniks (*Foton* 104). Okazało się po raz kolejny, że bardzo młodzi uczniowie, gimnazjaliści, mogą zainteresować się fizyką, potrafią myśleć logicznie, przeprowadzać eksperymenty, wyciągać wnioski, pracować w zespołach i prezentować swoje wyniki lepiej od niejednych dorosłych. Feniks pokazuje dobitnie **warunki konieczne**, by to osiągnąć: zaangażowanie i motywacja młodzieży, czas poświęcony fizyce (niezbędne zajęcia pozalekcyjne) no i prowadzący nauczyciele, również zmotywani, nieoszczędzający uwagi swoim wychowankom. Tak może być wszędzie i zawsze i to bez Feniksa. Na **próżno oczekujemy** takich rezultatów w rutynowym nauczaniu przy obecnym systemie szkolnym.

Niestety, zapowiada się, że może być jeszcze gorzej. MEN obwieszcza kolejną nowość: olimpiady przedmiotowe mają mieć obcięty budżet, ma zostać przeprowadzony przetarg na ich organizację, choć w skali MEN-u to nie są wielkie pieniądze. Olimpiady Fizyczne powstały z inicjatywy towarzystw naukowych i są przez nie prowadzone, oczywiście dzięki dotacjom MEN, ale przede wszystkim dzięki społecznej pracy fizyków z wielu uczelni.

Zaiste dziwna to logika. Przecież zapobiegliwi rodzice poszukujący dzieciom korepetycji niekoniecznie kierują się ich ceną.

W tym zeszycie można przeczytać artykuł o tzw. efekcie Mpemby związanym z przewodnictwem ciepła. Mpemba swym odkryciem znalazł się w Wikipedii w towarzystwie geniusza Fouriera. Erasto Mpemba był uczniem w Tanzanii; dostał szansę na dokonanie odkrycia. Czy nasze Janki Muzykanty obecnie, w 2009 roku, mają wszystkie taką szansę?

Z.G-M



## Contents

Joy from physics <i>Zofia Gołqb-Meyer</i> .....	1
Physics of Formula 1 <i>Przemysław Borys</i> .....	4
Coronal mass ejections <i>Grzegorz Michalek</i> .....	26
Is the mind an unlimited computer? <i>Marek Berezowski</i> .....	32
Clicker – a revolution in physics lectures <i>Teresa Wrześniewski</i> .....	35
Mpemba Effect <i>Zofia Gołqb-Meyer</i> .....	43
Problems. Electric bulbs and Ohm's Law <i>Adam Smólski</i> .....	47
Physics of Formula 1 in problems <i>Przemysław Borys</i> .....	52
Professor Arkadiusz Piekara and the German Rocket V2 <i>Zofia Gołqb-Meyer</i> .....	56
Astronomy in Philately <i>Jerzy Bartke</i> .....	58
The conference – Teaching Astronomy in 21 <sup>th</sup> Century <i>Grzegorz Sęk</i> .....	61
Physics Teachers Sessions on 40 <sup>th</sup> Polish Physicists Convention 2009.....	63
TV Program <i>Laboratorium</i> <i>Alicja Rafalska-Łasocha</i> .....	65
13. Science Festival in Warsaw <i>Anita Celarska</i> .....	66
The International Young Physicists' Tournament (IYPT) 2009.....	67



## Spis treści

O przyjemności płynącej ze znajomości fizyki <i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	1
Fizyka Formuły 1 <i>Przemysław Borys</i> .....	4
Koronalne wyrzuty materii <i>Grzegorz Michalek</i> .....	26
Czy mózg to nieograniczony komputer? <i>Marek Berezowski</i> .....	32
Kliker – mały gadżet, który zrewolucjonizował wykłady <i>Teresa Wrześniewski</i> .....	35
Szybkość stygnięcia. Efekt Mpemby <i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	43
Odgłosy z jaskini (13). Upór elektryczny <i>Adam Smólski</i> .....	47
Fizyka Formuły 1 w zadaniach <i>Przemysław Borys</i> .....	52
Arkadiusz Piekara i niemiecka rakietka V2 <i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	56
Astronomia w filatelistyce <i>Jerzy Bartke</i> .....	58
„Astronomia XXI wieku i jej nauczanie” <i>Grzegorz Sęk</i> .....	61
XL Zjazd Fizyków 2009. Sesje związane z nauczaniem fizyki.....	63
Telewizyjne <i>Laboratorium</i> ma już 500 wydań! <i>Alicja Rafalska-Łasocha</i> .....	65
13. Piknik Naukowy Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik – podsumowanie <i>Anita Celarska</i> .....	66
Turniej Młodych Fizyków 2009 .....	67



## Fizyka Formuły 1

*Przemysław Borys*

*Zakład Fizyki Chemicznej i Biofizyki  
Politechnika Śląska*

### 1. Wprowadzenie

Od kiedy Robert Kubica dostał się do elitarnego grona kierowców Formuły 1, w Polsce zapanowała gorączka wyścigów, która nie ominęła autora niniejszego tekstu<sup>1</sup>. Potrafimy z zainteresowaniem oglądać nawet ostatnie okrążenia, na których nic się nie dzieje, ale zawsze może komuś bolid odmówić posłuszeństwa.

Bierne oglądanie wywołuje jednak po pewnym czasie niedosyt. Chcemy więcej rozumieć. Czemu w bolidach reguluje się skrzydła, co to są dyfuzory, jaki wpływ na wyniki mają zamontowane silniki. Przybliżeniu tej tematyki służy niniejszy artykuł. Okazuje się, że w Formule 1 głównym czynnikiem decydującym o wyniku jest przyczepność samochodu. Zależy ona od współczynnika tarcia opon i docisku aerodynamicznego generowanego przez różne podzespoły. Stąd główna część fizyki Formuły 1 dotyczy poznania efektów aerodynamicznych i zachowania opon na drodze.

### 2. Przyczepność

Największym osiągnięciem bolidów Formuły 1 jest osiągnięcie fantastycznej przyczepności samochodu do podłoża. Dzięki temu bolidom w znacznie mniejszym stopniu niż normalnym samochodom grozi poślizg przy szybkim wchodzeniu w zakręty czy ślizganie kół podczas zbyt ostrego przyspieszania.

Źródłem przyczepności każdego samochodu jest oczywiście siła tarcia. Siła tarcia działająca między oponą a podłożem jest bowiem siłą dośrodkową, działającą na samochód jadący po łuku drogi. Jeśli jest ona zbyt mała, to samochód wpada w poślizg. Szkolny wzór na wartość siły tarcia ma postać:

$$F_t = fN, \quad (1)$$

gdzie  $f$  – współczynnik tarcia,  $N$  – wartość siły nacisku na podłoże. Wzór ten jest oczywiście uproszczony i w technologii Formuły 1 współczynnik tarcia nie jest stały. Może on zależeć od temperatury, stopnia poślizgu, powierzchni opony; przy lepkich materiałach opon możliwe jest nawet pojawienie się siły tarcia

---

<sup>1</sup> Tak, nie jestem odwiecznym fanem Formuły 1. Co więcej, kiedyś ten sport nie wydawał mi się interesujący. Jednak w miarę zdobywania wiedzy na ten temat rosło również zainteresowanie wyścigami. Tą właśnie wiedzą, niekiedy hermetyczną dla osób bez przygotowania fizycznego, chciałbym się podzielić z czytelnikami.

przy braku siły nacisku<sup>2</sup>. Niemniej, powyższy wzór jest pewnym punktem wyjścia do rozważań.

Oczywistym jest, że wartości współczynnika tarcia mają swoje granice. Opony wyścigowe dzięki specjalnym materiałom mogą osiągać wartości bliskie  $f = 1,7$  [1, 7] na suchej nawierzchni. Jest to praktycznie maksimum osiągalne dla opon i dlatego, aby jeszcze bardziej zwiększyć dostępną siłę tarcia, wykorzystuje się drugi czynnik wzoru (1), mianowicie siłę nacisku na podłożu.

W normalnych samochodach siła ta wynika z ciężaru samochodu (i oscyluje zależnie od akcji amortyzatorów, z czego nie każdy zdaje sobie sprawę, patrz zadanie s. 55) dając na płaskiej powierzchni  $N = Q = mg$ . W bolidach Formuły 1, oprócz siły ciężkości, na samochód działa siła aerodynamiczna. Siła ta generowana jest tak samo, jak *siła nośna* działająca w samolocie. W odróżnieniu jednak od samolotu siła aerodynamiczna w samochodzie zwrócona jest ku dołowi, dociskając samochód do podłoża. Stąd określenie „docisku” (ang. *downforce*) tak popularne w tym sporcie.

Docisk aerodynamiczny samochodu generowany jest za pomocą wielu elementów aerodynamicznych, z których największą rolę odgrywają trzy: skrzydło przednie (ok. 30% docisku), skrzydło tylne (ok. 30–35% docisku) i dyfuzor (20–40% docisku) [13]. Elementy te omówimy za chwilę, lecz najpierw poświęćmy trochę uwagi samym oponom.

### 3. Opony

Opony w Formule 1 muszą spełniać wysokie wymagania odnośnie przyczepności. Wystarczy przypomnieć współczynnik tarcia na suchej nawierzchni wynoszący  $f = 1,7$ . Dla porównania współczynniki tarcia normalnych opon samochodowych są dwukrotnie mniejsze, do  $f = 0,8$  [1, 2].

Taki duży współczynnik tarcia nie jest dany kierowcom za darmo. Opony wyścigowe charakteryzują się szybkim zużyciem. Są przeznaczone na odcinki ok. 200 km, w odróżnieniu od normalnych opon drogowych, których zadaniem jest przejechanie do kilkudziesięciu tysięcy kilometrów [2]. Wielka przyczepność osiągana jest dwoma metodami: adhezyjną (normalny mechanizm tarcia polegający na powstawaniu wiązań – głównie van der Waalsa (patrz artykuł „Spacer po suficie” Piotra Pierańskiego, *Foton* 96/2007) – między cząsteczkami trących powierzchni [4]) oraz deformacyjną związaną z histerezą gumy (mechanizm, w którym opona wgniata się do nierówności drogi i – zamiast elastycznie od nierówności odskoczyć – rozprasza energię i podciąga samochód podobnie do zapadki) [5, 3, 2]. Mechanizm deformacyjny opon obserwować

---

<sup>2</sup> Znany problem stosowania szerokich opon w samochodach wyścigowych pomimo niezależności tarcia od powierzchni styku można wyjaśnić stosowaniem lepkich materiałów na opony. Nietrudno wyobrazić sobie, że siła wiązania np. taśmy przyklepnej z podłożem zależy od powierzchni styku. Szerzej problem tarcia gumy podejmiemy w kolejny paragrafie.

można było wyraźnie w *Grand Prix* Bahrajnu, gdzie nawiewane z pustyni ziarenka wgniatały się w opony bolidów.

Normalnie główny wkład do siły tarcia pochodzi od mechanizmu adhezyjnego [3]. Mechanizm ten w przypadku opon wyścigowych jest tak mocny, że ich producenci porównują je nawet do taśmy samoprzylepnej [8]. Aby osiągnąć najlepsze własności, konieczne jest m.in. osiągnięcie przez oponę właściwej temperatury [3], ciśnienia [5] oraz poślizgu opony w ruchu ( $S - slippage$ <sup>3</sup> [2, 3, 5]). Optymalny poślizg, przy którym siła tarcia jest najwyższa, wynosi ok. 15% [2, 3], wówczas wiązania gumy z podłożem rozciągane są do maksimum<sup>4</sup> i siła sprężysta kontaktów osiąga najwyższe wartości [5].

Mechanizm adhezyjny ulega upośledzeniu, gdy droga pokryta jest wilgocią czy kurzem [3, 5] (kierowcy często narzekają na brak przyczepności na torze, po którym dopiero zaczynają jeździć). W takich przypadkach źródłem tarcia staje się mechanizm deformacyjny. Jest on jednak mniej efektywny od adhezyjnego – np. w normalnych oponach samochodowych współczynnik tarcia spada z 0,7 nawet do 0,2 przy prędkości 100 km/h. Dlatego kierowcy z bolidami o słabszej przyczepności w deszczu często upatrują sprzymierzeńca, który może wyrównać ich szanse.

W Formule 1 mamy obecnie do czynienia z trzema rodzajami opon: *slickami*, przystosowanymi do suchej nawierzchni, charakteryzującymi się najwyższą przyczepnością, oponami przejściowymi, które mogą odprowadzać do 34 l/s wody przy prędkości 300 km/h i oponami deszczowymi, które przy tej samej prędkości odprowadzają do 61 l/s wody [9]. Jeżeli opona, pomimo fantastycznej wydajności, nie odprowadzi całej wody spod koła, to między torem i oponą pojawia się poduszka wodna. Uniemożliwia ona powstanie tarcia tak adhezyjnego jak i deformacyjnego. Kierowca traci wówczas panowanie nad samochodem, a efekt nosi nazwę *aquaplaningu* (lub *hydroplaningu*) [10].

Podczas wyścigów często słyszymy też o tzw. *grainingu* (granulowaniu) opon [3, 6]. Jest to zjawisko będące efektem zbyt wysokiej plastyczności opon: guma „klei się do podłoża” i odrywa od opony, tworząc postrzępioną powierzchnię. Taka powierzchnia daje gorsze właściwości jezdne, a efekt nazywamy właśnie granulowaniem (rys. 1).

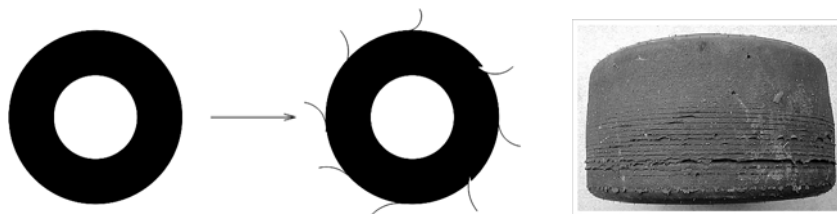
---

<sup>3</sup> *Slippage* to  $S = \frac{v - \omega R}{v} \cdot 100\%$ , gdzie  $v$  – szybkość bolidu,  $\omega$  – prędkość kątowa koła,  $R$  –

promień koła,

<sup>4</sup> Część już zaczyna się zrywać, stąd poślizg.





Rys. 1. Graining opony. Po lewej schemat powstawania granulowania przy przyspieszaniu, po prawej efekt granulowania powstałego na skutek obciążenia opony w zakrętach (www.tecnicafl.com)

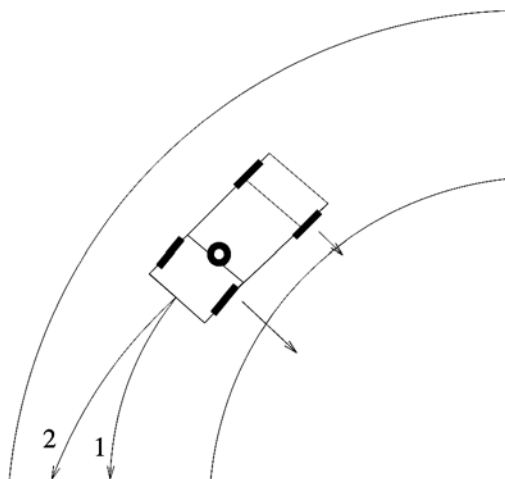
W Formule 1 znany jest problem rozgrzewania opon. Wszyscy widzieliśmy opony dogrzewane kocami do właściwej temperatury. Dzieje się tak dlatego, że guma osiąga pożądane właściwości adhezyjne i deformacyjne w określonym zakresie temperatur. Producenci projektują opony tak, by temperatury te odpowiadały normalnym temperaturom osiąganym w wyścigu; np. slicki projektowane są na ok.  $100^{\circ}\text{C}$ , opony przejściowe na  $40\text{--}100^{\circ}\text{C}$ , a opony deszczowe na  $30\text{--}50^{\circ}\text{C}$  [11]. Rozgrzewanie opon jest zatem ważnym zagadnieniem, z którym kierowcy muszą sobie radzić. Warto przy tym zauważyć, że ciśnienie w oponach musi być tak dobrane, by nacisk opony na powierzchnię nie faworyzował nagrzewania wybranych partii gumy, a ogrzewał całość równomiernie. Inaczej, różne części opony będą wykazywały różne właściwości tarcia co prowadzi do zużycia (granulowania).

Problem ciśnienia jest bardziej złożony niż się na pierwszy rzut oka wydaje: wilgoć w powietrzu może wpływać na ciśnienie wraz z temperaturą, a tlen reagując z gumą może zmniejszać ciśnienie. Trzeba przy tym pamiętać, że w Formule 1 przy optymalnym nacisku gumy na tor rzędu  $1,1\text{ kg/cm}^2$  różnica rzędu  $0,2\text{ kg/cm}^2$  może być decydująca [11].

#### 4. Zmiany nacisku na oponę podczas jazdy

Model tarcia ze stałym naciskiem w Formule 1 jest niewłaściwy, chociażby ze względu na obecność siły aerodynamicznej. Jednak nie tylko ta siła zmienia obciążenie kół samochodu [1, 2]. Zmienia się ono również podczas manewrowania samochodem: podczas przyspieszania, zwiększa się nacisk na tylną oś; podczas hamowania – zwiększa się nacisk na oś przednią. Dlatego samochody z napędem na tylną oś efektywniej przyspieszają od samochodów z napędem na oś przednią.

Położenie środka ciężkości samochodu (uzyskiwane za pomocą odpowiedniego balansu) ma również istotne znaczenie dla zachowania samochodu w zakrętach [1] (rys. 2).



Rys. 2. Samochód podsterowny: kółkiem zaznaczono środek ciężkości, strzałki to siły działające na opony. Tor „1” to tor pożądaný, natomiast tor jazdy „2” to tor uzyskany w wyniku poślizgu

Na rysunku widać auto, które ma środek ciężkości bliżej przedniej osi. Nacisk na przednią oś jest większy niż na tylną, a siły boczne na przedniej osi również są większe niż na tylnej. W przypadku stałego współczynnika tarcia samochód zakrecałby niezależnie od rozkładu masy, gdyż mniejszemu naciskowi odpowiada dłuższe ramie siły działającej wokół środka masy.

W rzeczywistości, współczynnik tarcia gumy zależy od ciśnienia opony na podłoże i dla wyższych wartości siły nacisku, maleje [5, 12]<sup>5</sup>. Stąd, bardziej obciążona oś podatna jest na szybsze wystąpienie poślizgu. Na rysunku 2 oznacza to, że oś przednia nie będzie w stanie podążyć za oczekiwanym przez kierowcę torem jazdy; promień skrętu będzie większy. Jest to efekt *podsterowności*, gdy samochód reaguje słabiej na ruch kierownicą niż zyczyłby sobie tego kierowca.

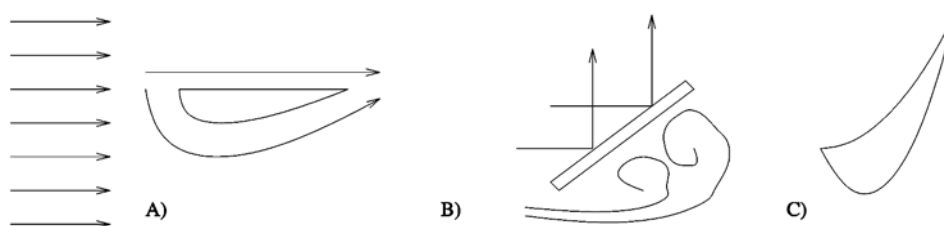
Pojęciem odwrotnym do podsterowności jest *nadsterowność*. Z efektem tym mamy do czynienia, gdy silniej obciążona jest oś tylna samochodu i to na niej następuje poślizg w zakręcie. Dochodzi wówczas do „silniejszego”, niż oczekuje kierowca, obrotu w zakręcie i możliwe jest wykonanie przez samochód piruetu, gdyż jest to zachowanie niestabilne. Brak stabilności rozumiemy tak, że o ile w samochodzie podsterownym, promień skrętu powiększa się w kierunku braku poślizgu, to w samochodzie nadsterownym, warunki poślizgu wynikłe z promienia skrętu nasilają się. Taki poślizg może nastąpić w wyścigach Formuły 1 przy źle wykonanym dohamowaniu do zakrętu.

<sup>5</sup> Wzory są zbyt skomplikowane by je tutaj przytoczyć i omówić w całości użyte w nich symbole, zainteresowanych odsyłam np. do [5].

Z podanych wyżej przyczyn wynika, że łatwiej prowadzić samochód podsterowny niż nadsterowny. Z tej przyczyny, większość samochodów użytkowych ma przesunięty ciężar do przodu [1].

## 5. Jak działają skrzydła

W poprzedniej sekcji mówiliśmy, że na strukturę aerodynamiczną bolidu Formuły 1 składają się skrzydła i dyfuzor. Tu chcielibyśmy skupić uwagę na skrzydłach. Jak one działają? To problem znany z lotnictwa, gdzie odpowiedź uzyskuje się z analizy komputerowej równań Naviera-Stokesa. Problem można jednak nieco uprościć korzystając z teorii cienkiego profilu lotniczego (ang. *thin airfoil theory*) [15, 16, 17]<sup>6</sup>. Omawianie tej teorii wykracza jednak poza zakres tego artykułu (nadaje się być może na oddzielny artykuł w przyszłości). W tej sytuacji przedstawimy bardziej jakościowe wskazówki odnośnie działania profilu skrzydła, znaczenia jego wypukłości i kąta natarcia, a także wzory końcowe wynikające z teorii.



Rys. 3. Model działania skrzydła wg A) Bernoulliego, B) Newtona, C) kombinowany

Na rysunku 3 pokazane są dwa podstawowe modele skrzydła A) i B). Model A) opiera swoje działanie na równaniu Bernoulliego (patrz ramka na końcu artykułu), opisującym stan energetyczny strugi w punktach „1” i „2”:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 \quad (2)$$

gdzie  $p$  – ciśnienie,  $v$  – szybkość, a  $h$  – wysokość rozpatrywanego punktu strugi. Punkty „1” i „2” wybierzemy jako punkty na środku górnej i dolnej powierzchni profilu.

Dopóki przepływ nie wywołuje turbulencji, struga rozcięta skrzydłem na części górną i dolną łączy się powrotnie na końcu skrzydła. Ponieważ dolny profil jest dłuższy od górnego, to w jednostce czasu dolna struga musi przebyć większą drogę niż struga górna ( $\Delta x_d > \Delta x_g$ ). To z kolei wymusza na dolnej stru-

<sup>6</sup> Na początek proponuję przeczytać artykuł z Wikipedii. Jest krótki – to jego główna zaleta.

dze większą prędkość niż na strudze górnej  $\left(\frac{\Delta x_d}{\Delta t} = \beta \frac{\Delta x_g}{\Delta t}, \beta > 1\right)$ . To natomiast, w myśl prawa Bernoulliego, przy  $h_1 \approx h_2$  daje relację,

$$\Delta p = p_d - p_g = \rho \frac{v_g^2 - v_d^2}{2} = \rho(1 - \beta^2) \frac{v_g^2}{2} \rightarrow L = AC_l \rho \frac{v_\infty^2}{2} \quad (3)$$

Ostatnia równość daje ogólny wzór na siłę nośną  $L$ , gdzie  $C_l$  – współczynnik siły nośnej (w naszych rozważaniach:  $1 - \beta^2$ ),  $A$  – powierzchnia skrzydła,  $v_\infty$  – prędkość powietrza względem skrzydła (w dużej odległości, przed podjęciem interakcji ze skrzydłem – w naszych rozważaniach tożsama z niezaburzoną prędkością  $v_g$ ).

Model B) opiera się na Newtonowskim przekazie pędu. Cząstki powietrza odbijają się od skrzydła i kierują ku górze. W myśl zasady zachowania pędu oznacza to, że skrzydło uzyskuje pęd zwrócony w dół i do tyłu. Pęd zwrócony do tyłu odzwierciedla znany fakt, że skrzydła generują opory aerodynamiczne (ang. *induced drag*), utrudniające przyspieszanie. To jedna z przyczyn, dla których bolidy Formuły 1 są znacznie mniej opływowe od samochodów, którymi jeździmy na co dzień (współczynnik oporów powietrza dla bolidu to ok. 1, dla zwykłych samochodów 0,25)<sup>7</sup>.

W modelu B) warto zwrócić uwagę na efekty związane z ciśnieniem: skrzydło o niezerowym kącie natarcia wywołuje powstawanie poza nim podciśnienia. Ten efekt dodatkowo pociąga je w dół.

Na rysunku C) pokazany jest połączony model A) i B): wykorzystujemy tu zarówno ustawienie niezerowego kąta natarcia, jak i różnicę długości profili skrzydła, sugerowaną w modelu Bernoulliego. Takich modeli używa się w rzeczywistości, a do ich modelowania wykorzystuje się wspomniane już wyżej oprogramowanie komputerowej mechaniki płynów CFD (ang. *computational fluid dynamics*). W przypadku zespołu BMW-Sauber tu właśnie zastosowanie ma słynny superkomputer Albert (4224 rdzenie, 8448 GB RAM).

Jak pokazaliśmy wyżej, siła nośna skrzydeł w bolidach zależy od ustawienia ich kąta natarcia. Teoretyczny [15, 16] współczynnik siły nośnej wynikający z teorii cienkiego profilu lotniczego to<sup>8</sup>:

$$C_l = 2\pi\alpha,$$

<sup>7</sup> Inną przyczyną zwiększającą opory powietrzne bolidu są odsłonięte koła.

<sup>8</sup> Współczynnik ten jest czysto teoretyczny i odnosi się do profilu lotniczego o nieskończonej rozpiętości. Na brzegu skończonego skrzydła ciśnienie z dołu i góry wyrównują się, zaburzając siłę nośną. Dlatego wzór nieźle stosuje się w lotnictwie przy dużych skrzydłach, natomiast w Formule 1 wielkość skrzydła jest znacznie ograniczona i czynnik  $2\pi$  należy zastąpić liczbą kilka (ok. 4–5) razy mniejszą [1].

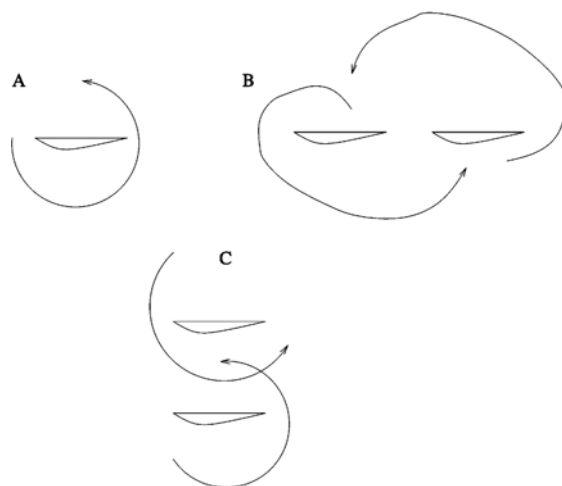
gdzie  $\alpha$  to kąt natarcia skrzydła. Wzór ten jest ograniczony do pewnego kąta granicznego  $\alpha_{max}$ , powyżej którego następuje zerwanie laminarnego opływu skrzydła i tzw. przeciągnięcie (ang. *stall*) [18]. Strugi powietrza przestają wówczas opływać skrzydło po krawędzi profilu, przestaje obowiązywać twierdzenie o różnicy prędkości strug, pojawiają się turbulencje i następuje utrata siły nośnej.

Warto zauważyć, że większy kąt natarcia oznacza większą siłę nośną, ale również i większe opory powietrzne. Stąd skrzydła ustawia się do każdego toru indywidualnie: jeżeli tor zawiera wiele zakrętów, ustawia się wyższy kąt natarcia skrzydeł (co umożliwi większą prędkość w zakrętach); z kolei jeśli tor składa się głównie z prostych odcinków, kąt natarcia skrzydeł jest obniżany, by lepiej wykorzystać przyspieszenie na prostych [1, 13].

## 6. Współpraca dwóch skrzydeł

Ciekawym problemem do rozpatrzenia jest współpraca dwóch skrzydeł pomiędzy sobą [1]. Wyjaśni to sens używania wielu płatów skrzydeł, a także efekty pojawiające się, gdy dwa bolidy jadą jeden za drugim.

Analizę rozpoczynamy od tego, że skrzydło można rozpatrywać jako źródło wiru [1, 17]. Krążenie prędkości wokół płata nie jest bowiem zerowe. Ilustruje to rysunek 4A.



Rys. 4. Współpraca dwóch skrzydeł we wspólnym układzie: A – wir wokół pojedynczego skrzydła, B – wiry wokół układu szeregowego, C – wiry wokół układu równoległego

Na rysunku widzimy, że w przypadku dwóch skrzydeł ułożonych jedno za drugim (np. gdy jeden bolid jedzie za drugim), wir skrzydła tylnego uderza w skrzydło przednie z góry (ang. *upwash*), powiększając efektywnie kąt natar-

cia i zwiększając docisk. Z kolei wir skrzydła przedniego opada na tylne od dołu (ang. *downwash*), zmniejszając docisk.

Na rysunku 4C widać układ dwóch skrzydeł ułożonych jedno nad drugim. Widać, że wiry tworzone przez skrzydła wzajemnie sobie przeszkadzają: wir górny zwiększa prędkość powietrza nad wolną częścią skrzydła dolnego, a wir dolny zmniejsza prędkość powietrza przy szybkiej części płata górnego. Skoro taki układ jest nieefektywny, dlaczego większość bolidów Formuły 1 ma dwa skrzydła z tyłu? Sprawa wyjaśni się przy omawianiu dyfuzorów.

### 7. Skrzydła wieloelementowe

W odróżnieniu od ustawiania dwóch skrzydeł, jednego nad drugim, ma sens dzielenie jednego dużego skrzydła na mniejsze. Jak wynika z poprzednich paragrafów, do powstania siły nośnej potrzebnej w modelu Bernoulliego konieczne jest wygięcie profilu. Im większe wygięcie, tym większej siły nośnej można się spodziewać. Niestety, w miarę pogrubiania skrzydła również bardziej prawdopodobne staje się zerwanie wokół niego przepływu laminarnego.

Rozwiązaniem problemu ograniczeń w wyginaniu skrzydła jest rozbitcie jednego skrzydła na dwa (lub więcej) elementów [1] (rys. 5).



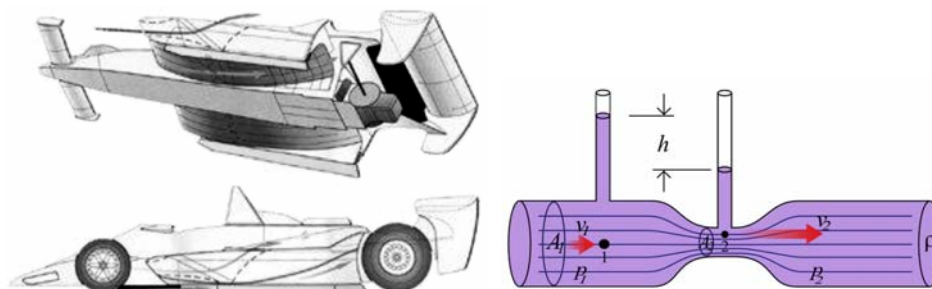
Rys. 5. Skrzydło dwuelementowe: po lewej profil, po prawej rysunek skrzydła z BMW F.07 ([www.formula1.com](http://www.formula1.com))

Rozbitcie skrzydła na dwa elementy umożliwia zwiększenie efektywnego wygięcia, a szczelina pomiędzy skrzydłami umożliwia dostarczenie energii warstwie granicznej na powierzchni skrzydła, co pomaga zachować nieoderwany przepływ wzdłuż profilu [19, 20]. Dwu lub trzelementowe skrzydła, jak jest to pokazane na rysunku 5 są szczególnie popularne w Formule Indy.

### 8. Dyfuzor

W obecnym (2009) sezonie głośna stała się sprawa dyfuzorów w Formule 1. Dyfuzor [1, 13, 21] jest wylotową częścią aerodynamicznego systemu podwozia. Historycznie wywodzi się on z koncepcji Lotusa z roku 1979 (rys. 6, po

lewej) – w tym samochodzie po raz pierwszy wykorzystano efekt zwężki Venturiego pod podwoziem [1, 21], (rys. 6, po prawej).



Rys. 6. Po lewej: układ aerodynamiczny Lotusa 79 pod wlotami bocznymi (www.ddavid.com). Po prawej, rurka Venturiego (wikipedia.pl) – zwężenie przekroju  $A$  przyspiesza przepływ  $v$  płynu zgodnie z prawem ciągłości strugi  $A_1v_1 = A_2v_2$ , a w myśl prawa Bernoulliego, zmniejsza jego ciśnienie

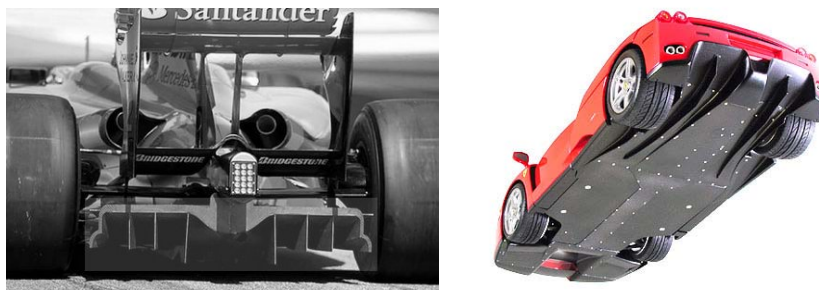
Na rysunku można zauważyć, że boczne wloty powietrza (stanowiące w bolidach system chłodzenia silnika) wyprofilowane są w taki sposób, że zmniejszają prześwit względem podłoża w pobliżu środka samochodu. Oznacza to, że powietrze płynące pod tymi wlotami przechodzi od szerokiego przekroju do wąskiego, a to, w myśl prawa ciągłości strugi, skutkuje jego przyspieszeniem w miejscu przewężenia. Przyspieszenie ruchu powietrza, zgodnie z prawem Bernoulliego, oznacza obniżenie jego ciśnienia i pojawienie się siły ssącej.

Aby układ Lotusa mógł funkcjonować, konieczne było uszczelnienie bocznych sekcji specjalnymi bocznymi koszulkami. Stanowiło to pewne niebezpieczeństwo i ostatecznie zabroniono stosowania tego mechanizmu w Formule 1. Podobnie, zabroniono profilowania podwozia (obszaru między wlotami bocznymi) w celu uzyskiwania efektu Venturiego [22].

Jedyna sekcja, która dopuszczona jest do modyfikacji w celu wykorzystania efektu „przyziemienia” (ang. *ground effect*) to obszar podwozia poza tylnymi kołami. Tu właśnie inżynierowie Formuły 1 próbują wyprowadzić rozszerzający się tunel, przypominający końcówkę Venturiego<sup>9</sup>. Jeżeli tunel ten rozszerza się łagodnie i nie powstają turbulencje, to powietrze jest wysysane z podwozia w kierunku tyłu samochodu<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Część wlotowa nie jest wyprofilowana, więc powietrze po rozpruciu nosem bolidu napływa pod podwozie mniej efektywnie niż we wspomnianym modelu Lotusa.

<sup>10</sup> Jeżeli samochód przesuwa się w powietrzu do przodu to za nim powstaje pustka, która musi się wypełnić; od inżynierów zależy jak pokierują powietrze aby to wypełnienie nastąpiło.



Rys. 7. Po lewej: dyfuzor McLarena MP4-24 ([www.formula1.net](http://www.formula1.net)). Po prawej: podwozie Ferrari Enzo z rozbudowaną sekcją dyfuzora ([www.grassrootsmotorsports.com](http://www.grassrootsmotorsports.com))

Oglądając tył bolidu (rys. 7) można zaobserwować, że dyfuzor składa się z kilku kanałów, a nie tylko jednego spłaszczenia tylnej części podwozia. Te kanały są konieczne, aby zagwarantować laminarny przepływ powietrza (pojawienie się turbulencji uniemożliwia skuteczne kierowanie strug powietrza i zwiększa opory aerodynamiczne ruchu). Możliwość zaburzeń przepływu bierze się stąd, że warstwy powietrza pod podwoziem poruszają się z różną prędkością; blisko brzegu bolidu prędkość wyrównuje się z prędkością strug bocznych, a w centralnej części podwozia prędkość jest najwyższa [14]. Różnice w tych prędkościach mogłyby prowadzić do mieszania się strug powietrza – turbulencji – dlatego są one separowane oddzielnymi kanałami.

Na rysunku 7 oprócz samego dyfuzora widać również dolne skrzydło bolidu. Dolne skrzydło jest nieefektywne z punktu widzenia docisku generowanego skrzydłami, jednak zwiększa podciśnienie u wylotu dyfuzora. W ten sposób przyspiesza dodatkowo powietrze przepływające pod bolidem i wzmacnia efekt przyziemia.

W obecnym sezonie stała się głośna sprawa podwójnych dyfuzorów w Formule 1. Sprawa wiąże się z powiększeniem przez niektóre ekipy objętości wylotowej dyfuzora ponad objętość określoną przepisami. Umożliwia to większe przyspieszenie powietrza pod samochodem i uzyskanie większego docisku aerodynamicznego. FIA uznało te rozszerzenia za zgodne z przepisami, gdyż dodatkowe tunele nie spełniają dokładnej definicji dyfuzora, określonej jako widoczne od spodu połączenie otworów wylotowych z podwoziem. Dodatkowe kanały nie są widoczne od strony podwozia, więc są legalne [23].

## 9. Nos bolidu

Media czasami podają nam informacje w rodzaju: „w nowym modelu bolidu zmieniono tylne skrzydło i podniesiono nos bolidu”. Na pierwszy rzut oka, trudno odgadnąć, jaka jest rola nosa bolidu i czy ma być on zawieszony nisko czy wysoko. Do początku lat dziewięćdziesiątych bolidy miały nisko położone



nosy, co miało gwarantować generowanie docisku zakrzywioną ku dołowi powierzchnią nosa [14].

Później nastąpiła zmiana poglądów. Okazało się, że bardziej istotne od docisku generowanego nosem jest docisk generowany pod samochodem przy dobrym prowadzeniu strug powietrza. Strugi powietrza przechodzące pod nosem wchodziły niezaburzone pod płytę podwozia, a część biegnąca powyżej tej płyty rozdzielana jest do wlotów bocznych bolidu, odpowiedzialnych za chłodzenie silnika [14]. Podniesienie nosa również umożliwia zwiększenie efektywności przedniego skrzydła. Te wszystkie wnioski każą traktować nos bolidu jako pierwszy element, kierujący strugami powietrza w celu uzyskania rozmaitych efektów aerodynamicznych [14].

### 10. Nieosłonięte koła

Używanie w Formule 1 nieosłoniętych kół wydaje się sprzeczne ze zdrowym rozsądkiem. Takie rozwiązanie jest bardzo niekorzystne ze względów aerodynamicznych, gdyż obracające się koła generują silne wiry i, w konsekwencji, opory powietrza. Jedynym uzasadnieniem tego rozwiązania wydawałoby się to, że w Formule 1 stosowanie nieosłoniętych kół wymusza regulamin.

W latach pięćdziesiątych nie istniały jednak regulacje dotyczące osłaniania kół i można było porównać samochody obydwu typów. W 1954 J.M. Fangio na torze Silverstone w Mercedesie W196 Streamliner (rys. 8) z zabudowanymi kołami przegrał z bolidami o odsłoniętych kołach. Powód był prozaiczny: kierowca nie widział dokładnie toru jazdy opony i nie mógł w pełni wykorzystać miejsca w zakrętach [24]. Ten sam samochód we wcześniejszym GP Francji (Reims) zdobył jednak dwa pierwsze miejsca, co wskazywało na przewagę w jego aerodynamice [25, 26, 27].



Rys. 8. Mercedes Benz W196 Streamliner ([www.conceptcarz.com](http://www.conceptcarz.com))

Inne, często wymieniane zalety samochodów z odsłoniętymi kołami, to dobre chłodzenie hamulców i opon, redukcja masy, możliwość umieszczenia nisko środka ciężkości i mniejsza powierzchnia frontalna.

## 11. Rola zawieszenia dla aerodynamiki

Omawialiśmy niedawno dyfuzor bolidu Formuły 1. Jego działanie silnie uzależnione jest od odległości podłogi bolidu od toru. Podobnie sprawa ma się z przednim skrzydłem, które w znacznej mierze wykorzystuje efekt bliskości podłoża.

Podczas hamowania, przyspieszania i wchodzenia w zakręty zwykłego samochodu obserwujemy z reguły jego kołysanie się. W przypadku bolidu oprócz braku komfortu jazdy, oznaczałoby to zaburzenia w docisku. Z tej przyczyny w bolidach wyścigowych w latach osiemdziesiątych Lotus wprowadził aktywne zawieszenie, automatycznie regulujące wychylenie amortyzatorów.

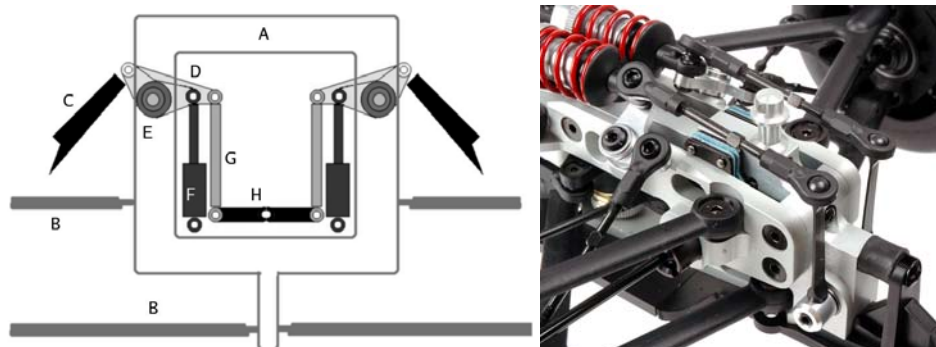
Technologię dopracował Williams na początku lat dziewięćdziesiątych. Niestety, w roku 1993 aktywne zawieszenie zostało w Formule 1 zabronione przepisami. Uzasadniano to osiąganiem przez bolidy nadmiernej prędkości w zakrętach i spowodowanymi tym wypadkami. Technologia jednak przetrwała i pojawiła się nawet w samochodach codziennego użytku [1, 28, 29].

W obliczu niemożności zastosowania systemów aktywnych, w Formule 1 stosuje się bardzo sztywne zawieszenie oparte o podwójne trójkątne wahacze poprzeczne (ang. *double wishbone suspension*), gwarantujące równoległe prowadzenie opon do podłoża w trakcie pracy zawieszenia<sup>11</sup>, połączone prętem popychacza<sup>12</sup> (ang. *pushrod*) z dźwignią (ang. *rocker*) opartą na drążku skrętnym (ang. *torsion bar*), połączonym z amortyzatorem i stabilizatorem zapobiegającym pochyłaniu w zakrętach (ang. *anti-roll bar*).

Schemat tego zawieszenia ilustruje rysunek 9. W zawieszeniu tym popychacz naciska dźwignię, która obraca się. Obrotowi dźwigni przeciwdziała drążek skrętny, pełniący rolę sprężyny. Następnie dźwignia łączy się z amortyzatorem, który składa się z zanurzonego w oleju tłoka. Ten element wytłumia drgania drążka skrętnego (sprężyny). Dodatkowo, zawieszenia lewego i prawego koła połączone są ze stabilizatorem.

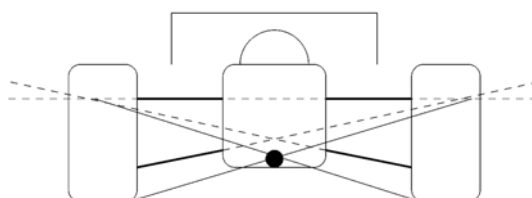
<sup>11</sup> W praktyce jest to prawda jedynie dla wahaczy prowadzonych równoległe. Ze względów technicznych jednak stosuje się wahacze nie w pełni równoległe, które umożliwiają mniejsze ścieranie opon [30, 31]. W wahaczach równoległych ścieranie opon jest efektem zbliżania się koła do samochodu podczas amortyzowania wyboju. Ścieranie opon i dobra trakcja to dwa czynniki, które trzeba dobrze zrównoważyć w projekcie zawieszenia.

<sup>12</sup> Wykorzystanie pręta zamiast zwykłej sprężyny wiąże się z kwestiami aerodynamiki w tej odsłoniętej części bolidu.



Rys. 9. Zawieszenie typu pushrod (www.scrabsf1.com). Rysunek po lewej obrazuje przekrój przez bolid. Widać obrys nadwozia A, a także wahacze trójkątne B, na których zawieszono koła. Od koła, ponad górny wahacz wychodzi pręt popychacza C, który łączy się z dźwignią D opartą na drążku skrętnym E. Dźwignia wymusza ruch amortyzatora F, a także ruch dodatkowych popychaczy G, połączonych przez środek nadwozia za pomocą stabilizatora H. Rysunek po prawej obrazuje przykładową realizację zawieszenia w rzeczywistym bolidzie (www.serpent.com)

Stabilizator to belka, zawieszona na sprężynie torsyjnej, która stawia opór obrotom. Jego działanie polega na eliminowaniu pochyłu samochodu w zakrętach. W zakręcie na środek ciężkości bolidu działa siła odśrodkowa. Powoduje ona obrót samochodu wokół osi obrotu (wynikającej z geometrii zawieszenia – rys. 10). Obrót następuje dopóty, dopóki ugięcie sprężyn zawieszenia nie spowoduje pojawienia się momentu siły, równoważącego moment siły odśrodkowej [32].



Rys. 10. Wyznaczanie osi obrotu samochodu podczas pochylenia w zakręcie. Ponieważ koła są zamocowane na dwóch wahaczach, przedłużamy te wahacze aż do punktu spotkania. Wówczas możemy uważać, że samochód jest połączony z kołami za pomocą pojedynczych „wirtualnych punktów”. Ponieważ koła pozostają na podłożu (nie mówimy o dachowaniu), chwilowa oś obrotu powstaje tam, gdzie możliwy jest naraz ruch wokół obydwu kół, tj. na przecięciu linii, wyznaczonej jako połączenie „wirtualnego punktu” zaczepienia wahacza i opony

Sprężyna torsyjna stabilizatora daje w takiej sytuacji zawieszeniu dodatkową sztywność w porównaniu z samodzielnym działaniem drążka skrętnego na dźwigni zawieszenia. Wadą tej konstrukcji jest usztywnienie nadwozia również przy pokonywaniu nierówności jednym kołem. Wówczas koła powinny pochy-

lić się względem podwozia, a temu przeciwdziała stabilizator. W efekcie jazda bolidem Formuły 1 nie należy do komfortowych i kierowca odczuwa najmniejsze nierówności.

Omawiane zawieszenie łatwo regulować zależnie od charakterystyki toru. Zmieniać można sztywność sprężyny stabilizatora, drążka skrętnego i długość ramion dźwigni (im dłuższe, tym szybciej tłok porusza się w oleju i silniej tłumione są drgania lub, po zwiększeniu drugiego ramienia, silniej obracany jest drążek skrętny i uzyskuje się większą sztywność).

## 12. KERS

Rewolucją sezonu 2009 miało być wprowadzenie do Formuły 1 systemu KERS (ang. *Kinetic Energy Recovery System*). System ten dopuszcza odzyskanie w ciągu okrążenia do 400 kJ energii, którą można wykorzystać na przyspieszanie samochodu dodatkową mocą 80 KM w ciągu 6 s. Obecnie wydaje się, że system ten jest zbyt ciężki, by dać kierowcom zdecydowaną przewagę, lecz zmiany regulaminu lub dopracowanie technologii mogą odwrócić ten trend w sezonach następnych.

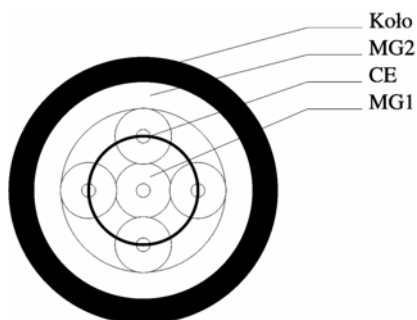
KERS polega na odzyskiwaniu energii kinetycznej traconej podczas hamowania. W normalnym samochodzie, siła hamowania generowana jest klockami hamulcowymi, trącymi o tarcze. W samochodach z regenerowanymi hamulcami [33, 34], po zwolnieniu pedału gazu i na pierwszych etapach hamowania, do obracających się kół podłączany jest silnik elektryczny, który działa jak generator siły elektromotorycznej Faradaya [41]. Generowaniu elektryczności odpowiada pojawienie się przepływu prądu w uzwojeniu silnika, a to ze wzoru na siłę Lorentza generuje siłę hamującą, która przeciwstawia się (zgodnie z regułą Lenza) obrotom.

Generowany przepływ ładunku wykorzystywany jest do ładowania baterii lub superkondensatorów. Energię elektryczną można również wykorzystać na rozpędzenie dodatkowym silniczkiem mechanicznego cylindra, jak uczynił to zespół Williamsa [35] w swojej „baterii mechanicznej”.

Sposób przechowywania zebranej energii zależy od dwóch podstawowych czynników: ciężaru systemu baterii i możliwości szybkiego składowania i uwalniania dużych ilości energii. Wirujące dyski mają pewną przewagę w możliwości szybkiego transferowania energii, natomiast baterie przeważają w stosunku magazynowanej energii na kilogram [37]. Z tej przyczyny, większość zespołów zdecydowała się na używanie baterii.

Zmagazynowaną energię można uwolnić podczas przyspieszenia. Klasyczny projekt hybrydy, jakim jest Toyota Prius, wykorzystuje dwie jednostki elektryczne do konstrukcji systemu CVT (ang. *Continuously Variable Transmission*), płynnej przekładni, umożliwiającej zmianę prędkości samochodu przy zachowaniu

waniu obrotów silnika spalinowego na stałym (np. optymalnym) poziomie (rys. 11).



Rys. 11. Przekładnia planetarna Toyoty Prius [39, 40]: Jednostka MG2 podłączona jest do koła i nadaje mu prędkość obrotową. Może być wspomagana silnikiem spalinowym CE, który „odpycha się” od MG1 (nie rozkręca jednak się nieograniczenie, a kontrykuje nacisk, gdyż pracuje jako generator, a „wyciekający” tak moment siły wraca do MG2 w postaci energii elektrycznej)

Stosowanie CVT w Formule 1 jest jednak zabronione. Ograniczona jest też ilość mocy, którą można odzyskiwać w hamowaniu, więc wszystkie znane zespoły podłączają bezpośrednio elektryczną jednostkę motoryczną (MGU, *Motor Generator Unit*) do wału napędowego [38]. Szczegóły połączenia nie są znane. Wymaga to zapewne odpowiedniego sterowania z jednostki KCU (ang. *KERS control unit*), która powinna synchronizować obroty silnika (trójfazowego lub bezszczotkowego silnika prądu stałego) z obrotami wału napędowego, aby zapewnić ciągłe sumowanie momentów siły jednostki elektrycznej i spalinowej.

### 13. Bolid w ruchu

W tym paragrafie skrótowo omówimy wpływ siły docisku aerodynamicznego na zachowanie samochodu w warunkach drogowych. Z uwagi na ograniczoną objętość artykułu, szczegóły obliczeniowe przerzucone zostały do zadań z rozwiązaniami.

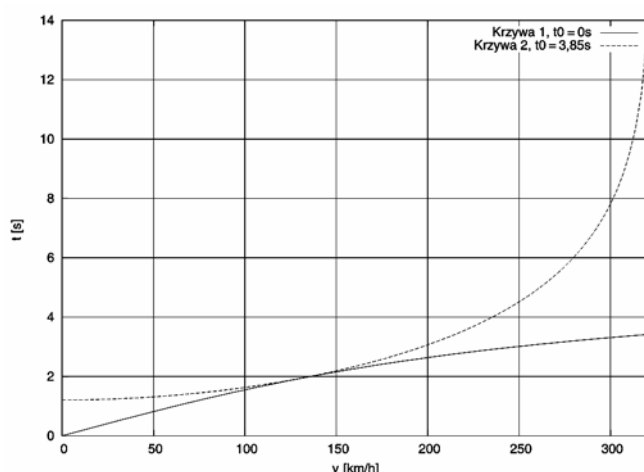
Dla danej mocy silnika (dla bolidów Formuły 1 jest to obecnie  $P = 750 \text{ KM}^{13}$  [42]), można obliczyć siłę ciągu  $F = \frac{P}{v}$ , jaką bolid może rozwijać przy danej prędkości  $v$ . Dla niskich wartości prędkości, siła ta jest bardzo duża, ale nie oznacza to nieograniczonego przyspieszenia bolidu. Przyspieszenie jest bowiem ograniczone tarcie. Zbyt szybko kręcące się koła powodują poślizg

<sup>13</sup> Dawniej dopuszczano nawet moc  $P = 1000 \text{ KM}$ . Tak duża moc silnika wymaga efektywnych systemów chłodzenia: powietrze do układów chłodzenia napływa przez potężne wloty boczne bolidu. Z kolei powietrze do spalania mieszanki wnika przez wlot znajdujący się nad kokpitem kierowcy.

i rozpędzanie nie jest skuteczne. Dlatego przy niskich prędkościach to nie moc silnika ogranicza przyspieszenie bolidu, ale dostępna siła tarcia.

Dostępna siła tarcia w bolidzie rośnie z prędkością (dzięki dociskowi aerodynamicznemu). Przy prędkości 183 km/h docisk jest tak silny, że równy jest ciężarowi bolidu i bolid mógłby wówczas jeździć po suficie (zadanie 1). W efekcie, przy prędkości ok. 130 km/h (patrz zadanie 3), silnik może już wykorzystać pełną moc bez ryzyka poślizgu. Niestety jednak pełne wykorzystanie mocy na rozpędzanie masy bolidu ograniczone jest oporami powietrza, które bolid musi pokonać. Opory te dla bolidu są niebagatelne biorąc pod uwagę wysoki współczynnik oporów<sup>14</sup> ( $C_D = 1$  w porównaniu do  $C_D = 0,25$  osiąganego przez samochody seryjne – patrz zadanie 2) i w wysokich prędkościach dynamika bolidu ulega znacznemu osłabieniu.

Przyspieszenie bolidu, wyznaczone w obecności tych efektów pokazane jest na wykresie 12 (same obliczenia są treścią zadań 4 i 5). Wynika z tego, że bolid osiąga prędkość 100 km/h po 1,8 s, 200 km/h po 3,1 s, 300 km/h po 8 s, co potwierdzają dane doświadczalne [42].



Rys. 12. Wykres zależności prędkości i czasu podczas przyspieszania. Do prędkości 130 km/h obowiązuje krzywa „1”, dla wyższych prędkości – krzywa „2”

Oprócz możliwości przyspieszania ciekawe jest również rozpatrzenie zależności promienia skrętu od prędkości. Promień skrętu wyznaczamy z równowagi siły tarcia i siły odśrodkowej

<sup>14</sup> Niezwykłe? Aerodynamiczny samochód nie jest opływowy? Trzeba uświadomić sobie, że bolidy prezentują odsłonięte koła, a aerodynamika jest wykorzystywana również aktywnie do generowania docisku, co generuje dodatkowe opory powietrza.

$$R = \frac{mv^2}{f(mg + qv^2)} \quad (5)$$

Wykres zależności promienia skrętu od prędkości przedstawia rys. 13. Z rysunku wynika, że zakręt, który zwykły samochód pokonuje z prędkością 100 km/h, bolid Formuły 1 pokonuje z prędkością blisko 160 km/h. Dla wyższych prędkości różnice są jeszcze większe; zakręt dostępny dla zwykłego auta z prędkością 150 km/h bolid może pokonać z prędkością 280 km/h. Wszystko jest zasługą liniowego wzrostu  $R$  w zakresie dużych prędkości dla bolidu i parabolicznego dla zwykłego samochodu. To dlatego w wyścigu bolidu BMW M5 E60 ( $P = 507$  KM,  $v_{max} = 330$  km/h po zdjęciu blokady prędkości) i bolidu Williams-BMW, kierujący bolidem redaktor programu Fifth-Gear, Tiff Needell, krzychał że „przyczepność jest niezwykła, [...] E60 jest tak straszliwie pokonany” [43].

Z wykresu można też odczytać prędkość, z jaką bolid może przejechać przez skrzyżowanie w mieście. Biorąc skrzyżowanie czteropasmowej drogi o szerokości pasa 2,5 m z zaokrąglonym na 5 m chodnikiem, mamy do dyspozycji promień skrętu rzędu  $R = 15$  m. Bolid może przejechać to skrzyżowanie przy prędkości 60 km/h, gdy zwykłe auto musi zwolnić do 38 km/h.

Ciekawe jest policzenie maksymalnego przyspieszenia bolidu przy docisku aerodynamicznym, który możliwy jest do wykorzystania przez silnik. W zadaniu 3 wykazujemy, że równość siły tarcia i maksymalnego ciągu silnika osiągnięta jest dla 131,5 km/h = 36,5 m/s. Podstawiając tę prędkość do wzoru na siłę docisku i oporu aerodynamicznego, z drugiego prawa Newtona uzyskujemy przyspieszenie:

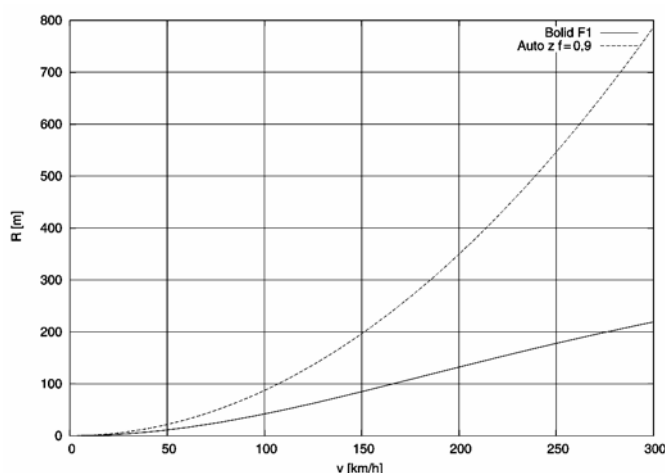
$$a = \left[ f + \frac{(fq - r)v^2}{mg} \right] g = 2,4g \quad (6)$$

To lepiej niż w samolocie (Boeing 777 rozpędza się na pasie startowym z przyspieszeniem 1,6 g [44], a to już wystarcza by solidnie wcisnąć pasażera w fotel). Możliwości hamowania bolidu są jeszcze większe, bo możemy rozpocząć hamowanie przy najwyższej możliwej prędkości, rzędu 320 km/h (90 m/s). Hamowanie nie jest ograniczone mocą silnika, sprzyjają nam opory powietrza i mamy możliwość uzyskania przeciążenia

$$a_h = \left[ f + \frac{(fq + r)v^2}{mg} \right] g = 8g \quad (7)$$

a to już jak w rakiecie kosmicznej (człon główny rakiety Wostok generował 912 kN ciągu przy masie po wypaleniu paliwa równej 8240 kg, licząc ze stat-

kiem kosmicznym i członem końcowym, daje teoretyczne przyspieszenie 11 g [45]<sup>15</sup>, a lądownik wchodzi w atmosferę hamując z przeciążeniem 8 g [46]).



Rys. 13. Wykres zależności promienia skrętu od prędkości. Przedstawiono krzywą dla omawianego bolidu Formuły 1 oraz dla zwykłego samochodu bez docisku aerodynamicznego z współczynnikiem tarcia równym  $f=0,9$

#### 14. Podsumowanie

Artykuł przedstawia elementy fizyki Formuły 1; wraz z podanymi odnośnikami powinien stanowić dobry punkt wyjścia dla dalszych studiów własnych. W pracy opierałem się w małym stopniu na źródłach książkowych i drukowanych artykułach. Niestety, w tych materiałach trudno znaleźć wszystkie możliwe informacje, jakie najczęściej przeciekają do opinii publicznej w wypowiedziach inżynierów udzielanych w wywiadach dla mediów. Stąd bardzo duża liczba podanych źródeł internetowych.

W przypadku stosowania źródeł internetowych starałem się każdą informację poprzeć kilkoma cytowaniami, aby zredukować prawdopodobieństwo cytowania prywatnych opinii jednego autora.

Bibliografia jest rozległa, więc pozwolę sobie trochę o niej opowiedzieć. Najważniejszą referencją, którą wykorzystywałem we wszystkich rozdziałach była oczywiście pozycja [1]. Fragmenty tej książki można znaleźć online w Internecie.

Z punktu widzenia aerodynamiki wartościową pozycją jest artykuł [13] i artykuły techniczne [14]. Te pozycje wraz z książką [1] stanowiły początkowy trzon opisu aerodynamiki samochodu w tym artykule. Podkład teoretyczny do

<sup>15</sup> We współczesnych raketach ciąg rakiety w miarę zmniejszania jej masy jest ograniczany, aby nie przekraczał „komfortowych” 3 g.



teorii skrzydła stanowią książki [15, 16, 20], ale dla osób niemających wiele czasu na czytanie, ciekawy może być wpis w Wikipedii [17].

Informacje ogólne o oponach najprościej uzyskać z dostępnej online książki [2]. Ważne informacje o oponach *stricte* wyścigowych można uzyskać z pracy [3], której fragmenty są dostępne online w Internecie. Szczegóły fizyczne dotyczące tarcia gumy o podłoże można następnie doczytać w [4, 5].

Rozdział dotyczący zawieszenia nie jest oparty o jakąś jedną wyczerpującą biblię, choć cytowana jest pozycja [31], która pretenduje do tej nazwy. Niestety, konieczne było zebranie informacji cząstkowych z różnych podanych źródeł. Podobnie sytuacja ma się z systemem KERS: jest to technologia zbyt świeża, by istniały dla niej kompleksowe opracowania i również trzeba wyszukiwać informacje z rozproszonych źródeł.

W sekcji literaturowej dotyczącej materiałów uzupełniających, cytuję różne dane, które służą ilustracji przedstawianych wyników i nie są bezpośrednio związane z teorią budowy bolidów wyścigowych. Wśród tych pozycji warto obejrzeć film [43], który naprawdę robi wrażenie.

Mam głęboką nadzieję, że ten artykuł zbuduje większą świadomość na temat czynników decydujących o zwycięstwie w Formule 1, a także zainteresuje czytelników ciekawymi zagadnieniami fizycznymi.

## Literatura

### [A] Ogólne materiały o samochodach wyścigowych

- [1] J. Katz, Racing car aerodynamics – designed for speed, Bentley Publishers, 1995.

### [B] Materiały dotyczące ogólnych informacji o oponach i tarciu

- [2] T. White, Getting to grips with tires, <http://www.gwocgb.co.uk>  
[3] P. Haney, The racing and high performance tire, Sports Car Magazine, 1, 2004.  
[4] R.H. Smith, Analyzing friction in the design of rubber products and their paired surfaces. CRC Press, 2008.  
[5] G. Heinrich, M. Klueppel, Rubber friction, tread deformation and tire traction, Wear, 265, 1052, 2008.  
[6] P. Symonds (Renault), Blistering and graining, first approximation,

### [B1] Materiały dotyczące informacji szczegółowych o oponach i tarciu

- [7] D. Wright, Formula 1 and road cars compared, <http://www.grandprix.com>  
[8] B. Erck, Wide Tyres, opis rozmowy z producentem opon dragsterów, <http://www.newton.dep.anl.gov>  
[9] Bridgestone, <http://www.bridgestonemotorsport.com>  
[10] Wikipedia, Hydroplaning (tires)  
[11] Bridgestone, Tyre use in Formula One, <http://www.fltechnical.net>  
[12] D. Weitzenhof, Suspension handling – basic suspension and set up principles, NEOHIO comp. clinic, 2005.

**[C] Materiały dotyczące aerodynamiki bolidów**

- [13] G. Seljak, Race car aerodynamics <http://www-fl.ijs.si/~rudi/sola/RaceCarAerodynamics.pdf>
- [14] W. Gray, Taking the lid off F1: Formula one technical analysis, <http://atlasf1.autosport.com>

**[C1] Materiały dotyczące mechaniki płynów i aerodynamiki ogólnej**

- [15] L.D. Landau, E.M. Lifszyc, Hydrodynamika, PWN 1994.
- [16] B.W. McCormick, Aerodynamics, aeronautics and flight mechanics, Wiley 1995.
- [17] Wikipedia: Powstawanie siły nośnej
- [18] Wikipedia: Przeciągnięcie

**[C2] Materiały dotyczące specjalizowanych urządzeń aerodynamicznych**

- [19] D. Esser, High lift devices, Woman Pilot, 1998.
- [20] D.F. Anderson, S. Eberhardt, Understanding Flight, McGraw-Hill, 2001.
- [21] R. Smith, Secrets of underbody tunnels, rear diffusers and Venturis, <http://www.symscape.com>
- [22] J. Saward, Applying science and commonsense to overtaking, <http://www.grandprix.com>
- [23] L. Butcher, Diffusers: They are legal, Racecar engineering 2009, <http://www.racecar-engineering.com>

**[C3] Materiały dotyczące sensu stosowania odsłoniętych kół w Formule 1**

- [24] W. Melissen, Mercedes-Benz W196, <http://www.ultimatecarpage.com>
- [25] Why open-wheelers? (forum) <http://f1db.com>
- [26] Były mistrz świata Juan Manuel Fangio, <http://www.f1wm.pl>
- [27] Wikipedia: Mercedes-Benz W196

**[D] Materiały dotyczące zawieszenia bolidów**

- [28] K. Collantine, Banned! Active suspension, <http://www.f1fanatic.co.uk>
- [29] D. Wright, Formula 1 suspension trends, <http://www.grandprix.com>
- [30] Double wishbones suspension <http://www.ukar.com>
- [31] Car suspension bible, <http://www.carbibles.com>
- [32] T. Foale, Spring into action, w Performance, Tuning and Sports Car, 1988, <http://www.tonyfoale.com/Articles/carstuff/spring.htm>

**[E] Materiały dotyczące KERS**

- [33] Toyota Prius: Hybrid system overview
- [34] Wikipedia, Hybrid synergy drive
- [35] Williams hybrid power KERS system, YouTube
- [36] Wikipedia, Regenerative Brake
- [37] Tackling KERS in Formula One, <http://www.f1technical.net>
- [38] Renault answer 10 questions about KERS, <http://www.formula1.com>
- [39] E.A. Hart, Toyota Prius – power split device, <http://eahart.com/prius/psd>
- [40] G. Davies, Heretical mode from a different perspective, <http://prius.ecrostech.com>

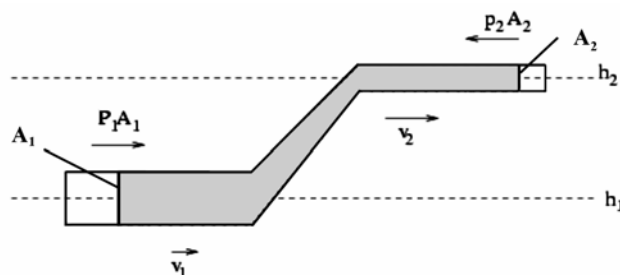
**[F] Materiały uzupełniające**

- [41] R. Resnick, D. Halliday, Fizyka, PWN.
- [42] Wikipedia, Samochód Formuły 1
- [43] YouTube, Fifth Gear BMW F1 vs. BMW M5
- [44] Boeing 777 facts, [http://www.boeing.com/commercial/777family/pf/pf\\_facts.html](http://www.boeing.com/commercial/777family/pf/pf_facts.html)
- [45] Wikipedia: Wostok (rocket family)
- [46] Wikipedia: Wostok spacecraft

Jednym z podstawowych praw jest *prawo Bernoulliego*. Dla danej strugi płynu (np. powietrza opływającego bolid), możemy napisać równanie wiążące stan dwóch punktów takiej strugi:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2$$

gdzie  $p_1$ ,  $v_1$ ,  $h_1$  – ciśnienie, szybkość, wysokość elementu powierzchni  $A_1$  strugi, a  $p_2$ ,  $v_2$ ,  $h_2$  dla powierzchni  $A_2$  strugi. Na rysunku element strugi zamknięty w rurze o zmiennym przekroju  $A$ .



Kolejną ważną relacją: prawo ciągłości strugi. Objętość, która w jednostce czasu ubywa w dolnej części rury musi pojawić się u góry (zakładając nieściśliwość płynu):

$$\frac{\Delta V_1}{\Delta t} = \frac{\Delta V_2}{\Delta t}$$

co można przepisać jako

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$



## Koronalne wyrzuty materii

*Grzegorz Michałek*

*Obserwatorium Astronomiczne UJ*

Dla zwykłego śmiertelnika Słońce jawi się być niezmiennym, a nawet dość nudnym obiektem. Wydaje się, że od wieków wygląda tak samo. Dokładne obserwacje pokazują jednak, że zmienia ono swoje właściwości w jedenastoletnim cyklu. Ten cykl aktywności obserwowany był przez wieki i został wyznaczony na podstawie ilości plam na Słońcu, czyli ciemnych obszarów pojawiających się na widocznej z Ziemi tarczy słonecznej. Wydawało się jednak, że ich obecność nie ma bezpośredniego wpływu na nasze życie, że – pomijając oddziaływanie grawitacyjne – Słońce działa na nas jedynie wysyłając promieniowanie elektromagnetyczne.

Rozwój technologii i ekspansja człowieka w Kosmos pokazały, że Słońce ma o wiele większy wpływ na naszą planetę niż początkowo sądzono. 11 września 1859 roku, w bezchmurny dzień, słynny obserwator Słońca Richard Carrington zaobserwował niezwykle zjawisko: dookoła plam na Słońcu pojawiły się dwie jasne wstęgi. To gwałtowne pojaśnienie trwało jedynie 5 minut. Następnej nocy niebo nad Ziemią rozbłysło z powodu czerwonych, zielonych i purpurowych zórz. Linie telegraficzne zaczęły iskrzyć. Nawet po wyłączeniu zasilających baterii, prądy indukowane przez te zorze wystarczały do utrzymania normalnej pracy telegrafów. Zaobserwowano również silne wahania ziemskiego pola magnetycznego. Carrington nie tylko dostrzegł na Słońcu erupcję, ale z wielką intuicją i przenikliwością potrafił ją powiązać z zorzami występującymi na Ziemi. Były to pierwsze obserwacje pokazujące, że Słońce może wpływać na naszą planetę również w inny sposób. Okazało się, iż Carrington zauważył największą erupcję zaobserwowaną na Słońcu w ostatnich 500 latach.

Dziś wiemy, że Ziemia leży wewnątrz rozciągłej atmosfery słonecznej. Atmosferę tę stanowi emitowany nieustannie w przestrzeń planetarną tzw. wiatr słoneczny złożony z energetycznych cząstek i pola magnetycznego. Przed jego zgubnym wpływem chroni nas ziemskie pole magnetyczne zwane magnetosferą. Czasami jednak zjawiska eksplozji na Słońcu są tak gwałtowne, że nasza magnetyczna tarcza ochronna nie wystarcza. Wówczas odczuwamy negatywne skutki słonecznej aktywności. Istnieją dwa typy eksplozji na Słońcu, są to rozbłyski chromosferyczne oraz koronalne wyrzuty materii. Podczas rozbłysku fragment atmosfery słonecznej rozgrzewany jest do temperatur porównywalnych z tymi panującymi w jądrze słonecznym (10 milionów kelwinów). Temu zjawisku towarzyszy silna emisja promieniowania elektromagnetycznego w całym zakresie widma. Rozbłyski te wpływają na ziemską atmosferę powo-

dując jej dodatkową jonizację. Z kolei podczas koronalnych wyrzutów materii (KWM) ogromne fragmenty słonecznej korony wyrzucane są w przestrzeń międzyplanetarną. Energia kinetyczna takiego wyrzutu osiąga czasami wartość  $10^{26}$  J. Obłoki wyrzuconej materii często pędzą z prędkościami około 1000 km/s, a ich masa przewyższa  $10^{16}$  g. Najszybsze dotychczas zarejestrowane wyrzuty miały prędkości sięgające 3000 km/s. Wielkoskalowe ruchy materii o takiej energii nierzadko generują fale uderzeniowe, które dodatkowo efektywnie przyspieszają naładowane cząstki. Jeżeli taki wyrzut skierowany jest w stronę Ziemi, może na niej generować silne burze geomagnetyczne, których najbardziej znanym przejawem są zorze polarne.

Korona słoneczna (najwyższa warstwa atmosfery słonecznej) jest bardzo rzadka i jej jasność w świetle widzialnym jest dużo mniejsza od jasności fotosfery (widoczna część atmosfery słonecznej). Koronę słoneczną możemy zatem obserwować jedynie podczas całkowitych zaćmień Słońca lub za pomocą specjalnych teleskopów (koronografów) z przysłonami (dyskami okluczającymi) zasłaniającymi jasną tarczę słoneczną. Wyrzuty koronalne są trudne do obserwacji, dlatego mogą być obserwowane tylko przez teleskopy umieszczone powyżej ziemskiej atmosfery. W porównaniu z rozbłyskami chromosferycznymi, KWM są zjawiskiem odkrytym niedawno. Ich pierwsza detekcja miała miejsce w 1971 roku. Obserwacji dokonano przy użyciu pierwszego koronografu umieszczonego na orbicie okołozemskiej (OSO-7).

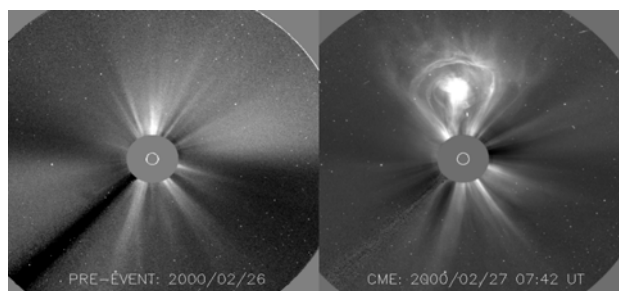
Prawdziwy przełom w badaniu KWM dokonał się po wysłaniu misji SOHO (**S**olar and **H**eliospheric **O**bservatory). Satelita ten obserwuje Słońce już od 13 lat. Na jego pokładzie obecnie pracują dwa koronografy pozwalające obserwować koronę słoneczną w odległości od 1,5 do 30 promieni słonecznych od centrum Słońca. W okresie swojej pracy koronografy te zarejestrowały ponad 11 tysięcy wyrzutów. Wszystkie one zostały zbadane, scharakteryzowane i umieszczone w dostępnym w Internecie SOHO/LASCO katalogu ([http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list)). Katalog ten jest na bieżąco uzupełniany. W okresie maksimum słonecznej aktywności obserwujemy nawet dziesięć silnych wyrzutów w ciągu dnia. W okresie minimum słonecznej aktywności obserwuje się kilka silnych wyrzutów na tydzień. W obecnym minimum, które jest nadzwyczajnie długie, obserwujemy znacznie mniej silnych eksplozji.

### **Morfologia KWM**

W koronografach obserwujemy światło pochodzące z fotosfery słonecznej, ale rozpraszane w naszym kierunku przez elektrony lub cząsteczki pyłu znajdujące się w koronie słonecznej. Każdy elektron jest jak małe zwierciadło o przekroju poprzecznym  $10^{-28}$  m<sup>2</sup>. Im więcej elektronów znajduje się w danym obszarze, tym jaśniej obszar ten świeci. Obrazy z koronografów odzwierciedlają więc gęstość koronalnej plazmy. W klasycznym obrazie KWM możemy wyróżnić trzy struktury: jasny front oraz ciemną wnękę otaczającą jasne jądro

(rys. 1). Jasny front jest czołem magnetycznego obłoku, który torując drogę, spycha plazmę niczym śnieżny płóg. Jego parametry fizyczne odpowiadają właściwościom koronalnej plazmy (temperatura  $\sim 2$  miliony K, gęstość  $10^8$  cząstek na  $\text{cm}^3$ , pole magnetyczne  $\sim 1$  Gs (gaus)<sup>1</sup>). Najbardziej jasne, centralne jądro jest pozostałością po erupcji protuberancji – obszaru o dużej gęstości (gęstość  $10^{11}$  cząstek na  $\text{cm}^3$ ), ale bardzo chłodnego, jak na warunki panujące w koronie (temperatura około 8000 K). Protuberancja oraz otaczająca ją ciemna pusta wnęka (gęstość  $10^7$  cząstek na  $\text{cm}^3$ ) zawierają silnie skrzyżowane pole magnetyczne ( $\sim 10$  Gs), które jak hamak podtrzymuje protuberancję nad Słońcem oraz izoluje ją od gorącej otaczającej plazmy.

Gdy wyrzut porusza się z prędkością większą od prędkość fal magnetosonicznych w danym ośrodku, wówczas generuje on szybką falę uderzeniową (strukturę podobną do tej, jaka powstaje na skrzydłach naddźwiękowego samolotu). Fala ta jest jednak bardzo cienka i trudna do obserwacji za pomocą koronografów.



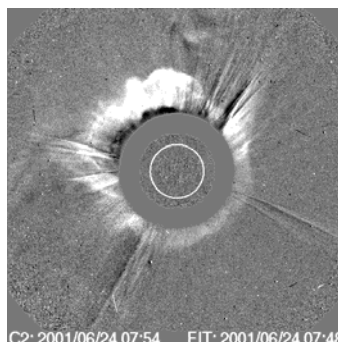
Rys. 1. Po lewej stronie obraz korony bez koronalnego wyrzutu materii. Po prawej stronie typowy wyrzut koronalny zarejestrowany przez koronograf LASCO umieszczony na satelicie SOHO. Wyraźnie widać trzy charakterystyczne struktury: front, wnękę i jądro

### KWM typu halo

Niektóre KWM pojawiają się jako jasne pierścienie otaczające cały dysk okultacyjny (rys. 2). Z tego powodu nazywane są wyrzutami typu halo. KWM typu halo fizycznie nie różnią się niczym od pozostałych wyrzutów, ich wygląd jest rezultatem lokalizacji ich źródła. Są to wyrzuty, które powstają w centrum tarczy słonecznej, na widocznej z Ziemi lub przeciwnej stronie Słońca. Te generowane na widocznej stronie Słońca są dokładnie skierowane w stronę Ziemi i mogą stanowić dla niej potencjalne zagrożenie. To one są źródłem najintensywniejszych burz geomagnetycznych i dlatego wzbudzają największe zainteresowanie badaczy. 3% całej populacji KWM stanowią wyrzuty typu halo. W ostatnim dwudziestym trzecim cyklu aktywności słonecznej zaobserwowano około 10 tysięcy wyrzutów, co daje około 300 wyrzutów typu halo w całym

<sup>1</sup> Gs =  $10^{-4}$  T

11-letnim cyklu. Ponieważ dwie trzecie obserwowanych wyrzutów typu halo powstaje na widocznej części tarczy słonecznej, otrzymujemy w ciągu cyklu aktywności populację 200 KWM skierowanych dokładnie w stronę naszej planety. Zatem możemy się spodziewać średnio w ciągu miesiąca jednej silnej burzy magnetycznej.



Rys. 2. Typowy wyrzut koronalny typu halo zarejestrowany przez koronograf LASCO umieszczony na satelicie SOHO

### Jak są generowane KWM?

Gęstość energii unoszonej przez typowy KWM wynosi około  $100 \text{ ergów/cm}^3$ . W koronie słonecznej energia występuje w trzech postaciach: termicznej, grawitacyjnej oraz magnetycznej. Proste rozważania pokazują jednak, że tylko energia zgromadzona w postaci pola magnetycznego może stanowić źródło energii potrzebnej do powstania KWM. Typowa energia magnetyczna zgromadzona nad obszarem aktywnym czterokrotnie przewyższa energię kinetyczną unoszoną przez KWM (gęstość energii magnetycznej  $\sim 400 \text{ ergów/cm}^3$ ). Jesteśmy pewni, że pola magnetyczne zasilają KWM, ale dokładny mechanizm erupcji nie jest znany. Uważa się, że KWM powstają w wyniku utraty stabilności koronalnych pól magnetycznych. Pola magnetyczne produkowane są nieustannie wewnątrz Słońca w warstwie konwektywnej. W wyniku siły wyporu unoszone są ponad powierzchnię fotosfery. W miejscach, gdzie pola magnetyczne są najsilniejsze, powstają obszary aktywne (ciemne plamy). Rotacja różnicowa powoduje, że struktury magnetyczne (arkady pętli magnetycznych) są wyciągane i odkształcane. Pole magnetyczne ulega naprężeniom, jak przy naciąganiu cięciwy w zwykłym łuku. W pewnym momencie naprężenia są tak duże, że następuje utrata stabilności, blisko leżące linie sił pola magnetycznego o przeciwnej polarności zaczynają anihilować. Obserwujemy zjawisko rekoneksji<sup>2</sup> pola ma-

<sup>2</sup> Rekoneksja pola magnetycznego oznacza ściskanie linii magnetycznych o przeciwnej polarności, co prowadzi do ich anihilacji i wyzwolenia energii. W obszarach rekoneksji plazma jest podgrzewana do wysokich temperatur. Fizycy używają raczej terminu „przełączanie linii pola magnetycznego”.

gnetycznego. Podczas gwałtownej erupcji wyzwalana jest energia zmagazynowana w naprężonym polu magnetycznym. Ogromne magnetyczne obłoki są wyrzucane do ośrodka międzyplanetarnego, a w miejscu, gdzie następuje anihilacja pola magnetycznego, plazma rozgrzewana jest do wysokich temperatur, generując gwałtowny wzrost emisji głównie promieniowania ultrafioletowego oraz X.

### **KWM a pogoda kosmiczna**

Pogoda kosmiczna to ogół warunków panujących w najbliższym otoczeniu Ziemi, które mogą zakłócać prawidłowe działanie satelitów, urządzeń technicznych umieszczonych na powierzchni naszej planety lub zagrażać życiu i zdrowiu astronautów w Kosmosie. Badania nad pogodą kosmiczną zaczęły się szybko rozwijać w ostatnich latach, gdy nastąpił gwałtowny rozwój różnego rodzaju urządzeń stosowanych w sondach kosmicznych. Praktycznie cała łączność oparta jest na satelitach umieszczonych na orbitach geostacjonarnych. Warto wspomnieć, że między lotami Apollo 16 i 17, w 1972 roku na Słońcu miała miejsce eksplozja, w wyniku której promieniowanie jonizujące spowodowałoby w ciągu 10 godzin śmierć astronautów znajdujących się w przestrzeni międzyplanetarnej. W kontekście planowanych załogowych lotów na inne planety, w szczególności na Marsa, znaczenie prognozowania pogody kosmicznej wydaje się kluczowe. Aktywność Słońca całkowicie determinuje pogodę kosmiczną, a KWM są zjawiskami, które w najistotniejszy sposób mogą wpływać na jej kształt.

KWM mogą wpływać na pogodę kosmiczną w dwojaki sposób. Szybkie KWM generują fale uderzeniowe, dzięki którym następuje akceleracja naładowanych cząstek (elektrony, protony, cząstki alfa, jądra helu) aż do relatywistycznych prędkości. Cząstki te, lecąc z prędkościami bliskimi prędkości światła, docierają do Ziemi w ciągu 15 minut po rozpoczęciu erupcji na Słońcu. Satelity badawcze rejestrują wówczas gwałtowny wzrost strumienia cząstek. Strumień protonów o energiach rzędu MeV osiąga często wartość 10 tysięcy cząstek na sekundę na steradian. Strumień ten utrzymuje się na tak wysokim poziomie nawet przez kilka dni, gdyż fala uderzeniowa, propagując się przez ośrodek międzyplanetarny, nieprzerwanie produkuje energetyczne cząstki. Fala uderzeniowa może dotrzeć nawet do Ziemi, wówczas możemy obserwować dodatkowy wzrost strumienia energetycznych cząstek, które są uwięzione w okolicach fali uderzeniowej i podróżują wraz z nią. Energetyczne cząstki mają zgubny wpływ na satelity. Powodują one elektryczne ładowania ich powierzchni, co prowadzi w efekcie do wyładowań niszczących strukturę statków. Zniszczeniu ulegają panele słoneczne zasilające w energię satelity, ponadto zakłóceniu ulegają systemy elektroniczne znajdujące się na statkach (wyrzuty powodują jonizację krzemu w układach elektronicznych, co prowadzi do zakłócenia działania systemów sterujących czy też komputerów). Cząstki te powodują dodatkową jonizację górnych warstw ziemskiej atmosfery, zakłócając łączność radiową. Oczywiście, magnetyczne pole Ziemi chroni nas przed bezpo-



średnim działaniem tych cząstek na powierzchnię planety. Jedynie cząstki o energii przewyższającej 1 GeV mogą docierać do powierzchni Ziemi. Takie energetyczne zdarzenia są jednak bardzo rzadkie. Szkodliwa działalność energetycznych cząstek jest zatem ograniczona do górnych warstw atmosfery ziemskiej. Niestety, energetyczne cząstki bardzo szybko docierają w okolice Ziemi, a ich pojawienie jest trudne do przewidzenia.

Drugim czynnikiem wpływającym na pogodę kosmiczną są bezpośrednio uderzające w magnetosferę ziemską fale uderzeniowe oraz generujące je KWM. Docierają one w okolice Ziemi później, w zależności od ich początkowej prędkości potrzebują na to od 1 do 4 dni. Co prawda docierają z opóźnieniem i ich przybycie możemy dość dokładnie przewidzieć, ale za to ich oddziaływanie na naszą planetę jest silniejsze. Struktura KWM zdominowana jest przez silnie skręcone pole magnetyczne. Jeżeli pole magnetyczne unoszone przez KWM ma kierunek przeciwny do ziemskiego pola magnetycznego, to wówczas silnie oddziałuje ono z ziemską magnetosferą. Ziemskie pole magnetyczne anihiluje z polem unoszonym przez KWM. Magnetosfera traci swoje ochronne działanie, „otwiera się” i energetyczne cząstki mogą swobodnie wnikać do magnetosfery ziemskiej. Strumienie cząstek generują prądy elektryczne, które produkują pole magnetyczne zakłócające ziemskie pole magnetyczne. Magnetometry umieszczone na powierzchni Ziemi rejestrują wówczas spadek horyzontalnej składowej pola magnetycznego. Tego rodzaju globalne zakłócenia ziemskiego pola magnetycznego nazywamy burzami magnetycznymi. Spadek pola magnetycznego podczas najintensywniejszych burz może osiągnąć wartość 400 nT<sup>3</sup>. Jedynym przyjemnym przejawem burz magnetycznych są piękne kolorowe zorze pojawiające się w okolicach ziemskich biegunów magnetycznych. W okolicach biegunów linie magnetyczne w najmniejszym stopniu blokują dostęp energetycznych cząstek do powierzchni Ziemi. Szybkie cząstki, przenikając do atmosfery ziemskiej, wzbudzają do świecenia głównie atomy tlenu i azotu.

Prądy generowane przez energetyczne cząstki docierające ze Słońca mogą być zgubne dla ziemskich systemów energetycznych oraz ropo- i gazociągów. W 1989 roku w Quebec w Kanadzie, burza magnetyczna spowodowała całkowitą destrukcję systemów energetycznych tej prowincji. KWM dodatkowo podgrzewają ziemską atmosferę, powodując jej ekspansję i wzrost siły tarcia działającej na satelity umieszczone na orbitach okołoziemskich. Ponieważ większość satelitów nie posiada silników napędowych, zwiększone tarcie powoduje ich szybsze opadanie w kierunku Ziemi.

Przez wieki człowiek żył w pełnej harmonii ze Słońcem. Słońce było największym sprzymierzeńcem w rozwoju cywilizacyjnym człowieka. Jednak, gdy człowiek zaczął ekspansję w Kosmos – w kierunku imperium Słońca – pokazało ono swoje drugie, mniej przyjazne oblicze.

---

<sup>3</sup> 400 nT to mniej więcej 1% wartości ziemskiego pola magnetycznego.



## Czy mózg, to nieograniczony komputer?

Marek Berezowski  
Politechnika Śląska

Mózg, podobnie jak komputer, gromadzi i przetwarza informacje. Czy wobec tego możemy mówić, że mózg, to taki bardzo skomplikowany komputer? Pragnę czytelnika uspokoić: odpowiedź jest negatywna. Mózg nie jest komputerem, nawet nieograniczonym. Ale problem nie jest błahy i w konsekwencji prowadzi od matematyki i teorii algorytmów do zagadnień natury filozoficznej.

W 1900 roku niemiecki matematyk David Hilbert przedstawił taki oto problem. Skoro matematyka, to zbiór ściśle określonych reguł, czy nie dałoby się stworzyć uniwersalnego automatu (algorytmu, programu), opartego na tych regułach, który rozwiązywałby dowolne problemy matematyczne, np. udawdniał twierdzenia. Hilbert nie wierzył oczywiście, że automat taki uda się stworzyć z łatwością. Tezę zalgorytmizowania matematyki przedstawił jedynie jako teoretycznie możliwą do zrealizowania.

W roku 1930 wybitny matematyk austriacki Kurt Gödel, przedstawił pewne twierdzenie, które – w ogólnym zarysie – brzmi następująco: *w ramach danego systemu reguł istnieją twierdzenia, których nie da się udowodnić przy pomocy tych reguł*. Twierdzenie to zadało cios tezie Hilberta. Skoro bowiem nie można udowodnić wszystkich twierdzeń matematycznych, nie istnieje żaden ogólny automat, który potrafiłby te twierdzenia udawdniać. Przyjrzyjmy się jednak bliżej temu niezwykle problemowi. Sformułujmy w tym celu twierdzenie, nazwijmy je  $G$ , brzmiące następująco: *nie istnieje dowód  $D$  twierdzenia  $G$* . Oznacza to, że twierdzenie  $G$  głosi, że nie można udowodnić tego co samo głosi! Pozostaje zatem do rozstrzygnięcia, czy zdanie: „ $G$  głosi, że nie można udowodnić  $G$ ” jest prawdziwe czy fałszywe. Innymi słowy, czy twierdzenie  $G$  mówi prawdę, czy nieprawdę.

Załóżmy chwilowo, że  $G$  jest fałszywe i że, wobec tego – wbrew temu co usiłuje nam ono wmówić – istnieje dowód  $D$  twierdzenia  $G$ . Oznaczałoby to, że  $G$  głosi nieprawdę i że w takim razie istnieje dowód  $D$ , że dowodu  $D$  nie ma! To jest jawna sprzeczność. Musimy zatem odrzucić założenie, że  $G$  jest fałszywe, a to znaczy, że dowodu  $D$  rzeczywiście nie ma. Nie mamy wobec tego wyboru i musimy uznać, że  $G$  jest prawdziwe. A to oznacza, że wiemy z całą pewnością o prawdziwości czegoś, czego nie potrafimy udowodnić! Jednak pytanie, skąd o tym wiemy, skoro nie potrafimy tego udowodnić, pozostaje otwarte.

Jaki jest związek twierdzenia  $G$  z tezą postawioną przez Hilberta. Otóż taki, że twierdzenie  $G$  obala tezę Hilberta. Uświadamia bowiem, że istnieją poprawne reguły matematyczne, których nie można udowodnić stosując jakiegokolwiek

reguły matematyczne (w ramach tego samego systemu). W konsekwencji zatem, nie można stworzyć ogólnego automatu, opartego na tych regułach, który potrafiłby rozwiązać każdy problem matematyczny.

Co z tym wszystkim wspólnego ma komputer i mózg. Otóż, komputer jest maszyną realizującą tylko i wyłącznie ściśle określone algorytmy. A zatem komputer – czy raczej, należy powiedzieć, algorytm przez niego realizowany – nigdy nie będzie w stanie dowieść prawdziwości twierdzenia  $G$ ! Nie dysponuje on bowiem niczym więcej ponad zbiór określonych reguł matematycznych, a te – jak już wiemy – nie wystarczą do wykazania prawdziwości  $G$ . Komputer nigdy *nie dowie się* zatem, że  $G$  jest prawdziwe. My, natomiast, wiemy to z całą pewnością dzięki rozumieniu problemu. Skoro tak jest i skoro wiedza o prawdziwości  $G$  nie może być osiągnięta drogą algorytmiczną, stąd wniosek, że mózg ludzki nie pracuje i nie pojmuje otaczającego go świata w sposób algorytmiczny! Mózg nie jest zatem komputerem, nawet nieograniczonym. Komputer niczego nie rozumie, mózg – tak. Komputer nie ma żadnej świadomości, mózg ma.

Tu zahaczamy, w pewnym sensie, o problem sztucznej inteligencji. Co w ogóle oznacza pojęcie *sztuczna inteligencja*. Inteligencja jest tylko jedna, związana ze świadomością, natomiast jej realizacja może być sztuczna lub prawdziwa (nie ma to nic wspólnego z pamięcią i umiejętnością zapamiętywania). Przez prawdziwą inteligencję należy rozumieć inteligencję zawartą w organizmach żywych. Przez sztuczną inteligencję należy rozumieć inteligencję zawartą w maszynie, czyli w algorytmie w niej realizowanym. Jak dowiedzieliśmy się wyżej, komputer nie jest w stanie pojąć tego, co organizm żywy wie bez użycia algorytmów. A zatem, realizacja inteligencji w maszynie jest niemożliwa!

Jak zobaczyliśmy wcześniej, każdy algorytm jest ograniczony, o czym świadczy np. jego brak świadomości o prawdziwości twierdzenia  $G$ . Mózg tę świadomość posiada, jest zatem niewątpliwie czymś wyższym w hierarchii możliwości poznawania. Czy jest jednak nieograniczony? Opierając się na twierdzeniu Gödla, wydaje się, że nie. Wie wprawdzie, że  $G$  jest prawdziwe, ale w otaczającej go przestrzeni możliwości poznawania nie jest w stanie przekroczyć kolejnego progu, progu świadomości. Wobec tego, zgodnie z  $G$ , nigdy nie pojmie samego siebie! W każdym przypadku brakuje bowiem pewnego zewnętrznego *punktu podparcia*, jak w słynnym powiedzeniu Archimedesesa: *dajcie mi punkt podparcia, a poruszę Ziemię*. W udowodnieniu twierdzenia  $G$  punktem tym jest nadrzędny zbiór reguł, wykraczający poza zbiór reguł matematycznych. W zrozumieniu działania mózgu potrzebna jest natomiast nadrzędna świadomość.

Aby lepiej uzmysłowić sobie, że mózg nie jest w stanie pojąć sposobu działania mózgu, przywołajmy pewien problem podniesiony przez angielskiego matematyka Alana Turinga. Otóż Turing sformułował twierdzenie, które głosi,

że nie istnieje żaden uniwersalny algorytm, który potrafiłby orzec o każdym innym algorytmie, czy wygeneruje on końcowe wyniki, czyli zakończy swoją pracę. Zgodnie z tym twierdzeniem, nie może zatem istnieć komputer, który byłby w stanie rozumieć i kontrolować pracę dowolnego innego komputera. Gdyby było inaczej, zawsze wiedzialby, czy badany przez niego komputer zakończy, czy też nie zakończy wykonywania swoich obliczeń.

Załóżmy chwilowo, że powyższe twierdzenie jest fałszywe i że istnieje jakiś uniwersalny algorytm  $A_u$ , zawierający w sobie wszystkie możliwe procedury matematyczne, który kończyłby pracę (wyłącznie) po stwierdzeniu, że badany przez niego dowolny algorytm  $A_j$  nigdy obliczeń nie zakończy. Ponieważ  $A_u$  ma być, z założenia, algorytmem uniwersalnym, zażądajmy, aby zbadał on samego siebie. Oznacza to, że algorytm  $A_u$  kończyłby pracę po stwierdzeniu, że  $A_u$  nigdy obliczeń nie zakończy! Jest to, oczywiście, niemożliwe, co dowodzi, że algorytm  $A_u$  nie jest w stanie *zrozumieć* samego siebie! Podobnie może być z mózgiem, mimo że nie pracuje on algorytmicznie. Równocześnie dochodzimy do wniosku, że  $A_u$  rzeczywiście nigdy obliczeń nie zakończy. Gdyby bowiem je zakończył, to równocześnie by ich nie zakończył, co jest sprzeczne. Do wniosku tego doszliśmy jednak nie w sposób algorytmiczny, ponieważ nawet  $A_u$ , zawierający wszystkie możliwe procedury matematyczne, nie jest w stanie tego stwierdzić.

Rozszerzenie powyższego wywodu zainteresowany czytelnik znajdzie m.in. w książkach: R. Penrose *Nowy umysł cesarza*, PWN, Warszawa 2000, R. Penrose *Cienie umysłu*, Zysk i S-ka, 2001 oraz M. Berezowski *Czym zrozumieć mózg?*, PJK, Gliwice, 2008.



## Kliker – mały gadżet, który zrewolucjonizował wykłady

Teresa Wrześniewski

University of British Columbia – Okanagan

### Wstęp

Kurs fizyki pierwszego roku w szkole wyższej stanowi wyzwanie dla każdego wykładowcy, niezależnie od jego doświadczenia, znajomości przedmiotu i talentu dydaktycznego. Składa się na to kilka powodów. Studenci zapisują się na kurs mając wiele błędnych wyobrażeń na temat fizyki i często zapisują się na kurs wyłącznie dlatego, że jest to przedmiot obowiązkowy dla ich wybranego kierunku studiów (np. medycyna, biologia, chemia itp.). Problem staje się jeszcze trudniejszy, gdy kurs liczy powyżej 100 studentów i osobisty kontakt z pojedynczym studentem staje się prawie niemożliwy.

W celu zwiększenia intelektualnej aktywności studentów w czasie wykładu na uczelniach północnoamerykańskich zaczęto w ostatniej dekadzie stosować urządzenia służące do indywidualnego udzielania odpowiedzi (PRS – *Personal Response Systems*), powszechnie nazywane „klikerami”. Umożliwiają one wykładowcy elektroniczne komunikowanie się ze studentami w trakcie wykładu. Pytania wielokrotnego wyboru wyświetlane są na ekranie w formacie Power Point, studenci odpowiadają używając klikerów, a ich odpowiedzi są natychmiast podliczane i wyświetlane w postaci diagramu (histogramu). Rozkład odpowiedzi pozwala zarówno wykładowcy, jak i studentom śledzić stopień zrozumienia nowego materiału i na bieżąco wyjaśnić wszelkie niejasności. Daje to również wykładowcy możliwość regulowania poziomu wykładu w zależności od stopnia percepcji studentów. Można powiedzieć, że klikery podbiły już Północną Amerykę, trudno tam znaleźć obecnie jakiś college lub uniwersytet, w którym nie byłyby używane przynajmniej w kilku kursach. Klikery są wprowadzane również w Australii, Japonii i Zachodniej Europie. Duże zainteresowanie klikerami pojawiło się ostatnio w Polsce. Są one szczególnie przydatne w dużych kursach pierwszego roku fizyki. Niewątpliwie byłyby też bardzo przydatne na lekcjach fizyki prowadzonych w szkole średniej.

Poniżej omówiona zostanie ogólna zasada działania klikerów oraz ich zastosowania we wstępnym kursie fizyki.

### Wykład interaktywny

Wyniki szeregu badań przeprowadzonych w ostatnich latach wykazały, że tradycyjna metoda uczenia fizyki, z profesorem wykładającym przy tablicy i studentami robiącymi notatki z wykładu, nie jest dydaktycznie efektywna. Badania te prowadzone w środowisku wykładowców fizyki koncentrowały się na pyta-

niu: „w jaki sposób metoda nauczania wpływa na stopień przyswajania przez studentów przekazywanej wiedzy”. Tabela 1 ilustruje wyniki tych badań.

Tabela 1. Zależność stopnia przyswojenia wiedzy od metody nauczania

Metoda nauczania	% przyswojonego materiału
<b>Wykład</b>	<b>5</b>
Samodzielne czytanie	10
Środki audiowizualne	15
Demonstracje	30
Grupy dyskusyjne	50
Samodzielne eksperymenty	75
<b>Uczenie innych</b>	<b>90</b>

Biorąc pod uwagę powyższe dane proponuje się zastąpienie klasycznego wykładu przez nauczanie interaktywne, w którym student odgrywa najważniejszą rolę (*student centered teaching*).

Eric Mazur, profesor uniwersytetu Harvarda i znakomity fizyk doświadczalny, zaproponował nową metodę zwaną „instrukcją koleżeńską” (*Peer Instruction*), w której niemal całkowicie eliminuje wykład (Eric Mazur, *Peer Instruction: User's Manual*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ: 1997). Ostatni rząd powyższej tabeli mocno popiera metodę Mazura. Metoda ta została szeroko przyjęta przez środowisko fizyków i jej skuteczność była wielokrotnie udokumentowana. Zdecydowanym adwokatem zmiany formy uczenia fizyki na wyższych uczelniach, poprzez zmniejszenie czasu wykładania, wprowadzenie animacji komputerowych i aktywizację samych studentów jest Carl Wieman, laureat nagrody Nobla (2001), który obecnie z pasją zajął się reformą początkowych kursów z fizyki na University of British Columbia. Więcej informacji na ten temat można znaleźć na stronie internetowej <http://www.cwsei.ubc.ca/resources/>.

Interaktywny wykład, korzystający z klikierów, umożliwia prowadzenie ciągłego dialogu ze studentami oraz bieżącą ocenę stopnia zrozumienia i przyswojenia materiału.

Typowy układ PRS składa się z radiowych nadajników (klikierów), odbiornika, który rejestruje odpowiedzi oraz z software'u, który jest wbudowany w Microsoft Power Point.



Klikier



Odbiornik

Nowoczesne klikery są układami zwrotnymi, które nie tylko wysyłają odpowiedź, ale także odbierają sygnał zwrotny potwierdzający ich otrzymanie.

Większość klikerów dostępnych obecnie na rynku jest bardzo prosta w obsłudze, wykładowca może się więc w pełni koncentrować na dydaktyce, a nie na technicznej obsłudze komputera. Software kontroluje przyjmowanie, statystyczną obróbkę i wyświetlanie odpowiedzi do pytań, przygotowanych w formacie Power Point.

Na początku kursu student używający klikera wprowadza do pamięci swój numer identyfikacyjny; zazwyczaj jest to jego numer studencki. Każdy kliker ma inny sygnał (identyfikator), co zezwala na automatyczne przypisywanie odpowiedzi (i ocen) poszczególnym studentom. Wykładowca może zadawać pytania bez oceniania odpowiedzi lub, w zależności od potrzeb, ustalić dowolną liczbę punktów za prawidłową odpowiedź. Jeśli odpowiedzi są oceniane (w czasie testów), oceny są natychmiast przypisywane poszczególnym studentom i mogą być eksportowane do takich systemów zarządzania jak Blackboard, WebCT czy Vista.

#### **Zastosowanie klikerów podczas wykładu.**

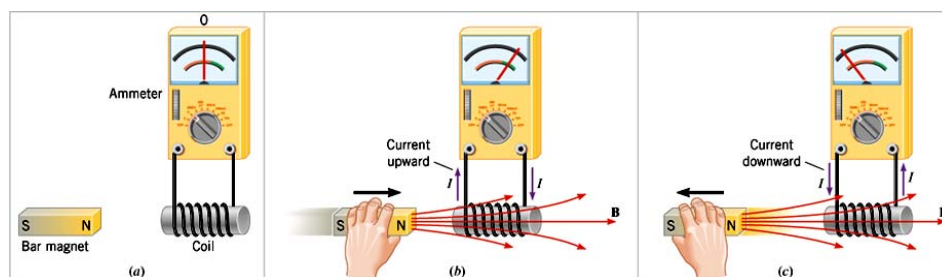
Klikery wprowadzono po raz pierwszy do kursu 1-go roku fizyki na University of British Columbia – Okanagan (UBCO) w roku akademickim 2005/2006. Użycie klikerów, pozytywnie zmieniło nastawienie studentów do fizyki, poprawiło frekwencję i zaangażowanie na wykładach oraz poziom zrozumienia materiału. Należy wyraźnie podkreślić, że sam kliker to tylko bardzo użyteczny instrument, a od wykładowcy, a raczej od charakteru dobranych pytań, zaś zależy, w jakim stopniu użycie klikerów wpłynie na wyniki nauczania. Struktura wykładu musi być głęboko przemyślana, a użyte pytania koncepcyjne powinny stymulować myślenie i pogłębiać zrozumienie omawianych zagadnień. Każdy wykładowca musi sobie sam wypracować optymalny sposób używania klikerów dla danego wykładu (lekcji). Niektórzy wykładowcy używają klikerów głównie do testowania studentów pozostawiając format klasycznego wykładu. W omawianym tutaj kursie klikery używane były w trakcie całego wykładu, aby umożliwić interakcje ze studentami, zmniejszyć czas wykładania i stymulować dyskusję. Do poniższego formatu doszliśmy metodą „prób i błędów” w ciągłym dialogu ze studentami. Dodatkowo klikery używano do cotygodniowych testów. Udział oceny z testów klikerowych w całkowitej ocenie z kursu wynosił tylko 5%. Należy podkreślić, że pomimo stosunkowo małego wpływu na końcową ocenę, rola klikerów w procesie dydaktycznym była ogromna.

Typowy 1 godz. 20 min wykład zaczynał się krótkim przypomnieniem problemów omawianych na poprzednim wykładzie i kilku koncepcyjnych pytań klikerowych sprawdzających stopień zrozumienia tych zagadnień. Ujawnione niejasności od razu wyjaśniano. Następnie wprowadzono nowe zagadnienia, zazwyczaj ilustrowane animacjami komputerowymi oraz rysunkami i wykresami.

mi w Power Point. Jeśli to było możliwe, pokazywano również demonstracje. Wszystkie nowe wzory związane z omawianym tematem były wyprowadzane w klasie i zazwyczaj ilustrowane prostymi obliczeniami. Cały formalny wykład z reguły nie trwał dłużej niż 20 min. Następnie studenci byli zachęceni do zadawania pytań. Na dużych kursach pierwszego roku studenci byli raczej nieśmiali. Zwykle tylko kilku odważniejszych zadawało jakieś pytania, a większość pozostawała pasywna, udając, że wszystko jest jasne. W tym momencie pomoc klikerów okazywała się niezastąpiona do wciągnięcia studentów w dyskusję nad konkretnymi pytaniami koncepcyjnymi. Pytania klikerowe powinny być uszeregowane pod względem rosnącej trudności tak, by w miarę wyjaśniania kolejnych odpowiedzi móc przechodzić do zagadnień bardziej zaawansowanych. Czasem dobrze jest na koniec zaskoczyć studentów pytaniem z „innej beczki”, na przykład wiążącym kilka pojęć jednocześnie.

Klikery pozwalają na dwie opcje. Można wyświetlając wyniki ujawnić prawidłową odpowiedź lub też wyświetlić tylko statystykę odpowiedzi bez ujawniania, która odpowiedź jest prawidłowa. W tym drugim przypadku studenci po zobaczeniu rozkładu odpowiedzi, mają okazję raz jeszcze przemyśleć problem, czasem także przedyskutować z kolegami, a następnie głosować ponownie. Na ogół wśród odpowiedzi udzielonych w „drugiej próbie” jest wyraźnie mniej odpowiedzi błędnych. Zdarzało się jednak, że studenci, którzy za pierwszym razem odpowiedzieli poprawnie, dali się przekonać kolegom i za drugim razem wybierali złą odpowiedź. Wprowadzało to element humoru do wykładu i w sumie wpływało dodatnio na proces uczenia. Z reguły za drugim razem poprawna odpowiedź była ujawniana i dyskutowana.

Poniżej przedstawiony jest zestaw pytań koncepcyjnych do klikerów, jaki był użyty w trakcie wykładu na temat „Indukcja Elektromagnetyczna i Reguła Lenza”.



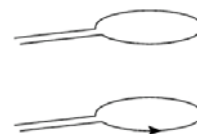
$$\mathcal{E}_{ind} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Po wprowadzeniu pojęcia strumienia magnetycznego i wyjaśnieniu przytoczonego powyżej wzoru na siłę elektromotoryczną indukcji, studenci ćwiczyli



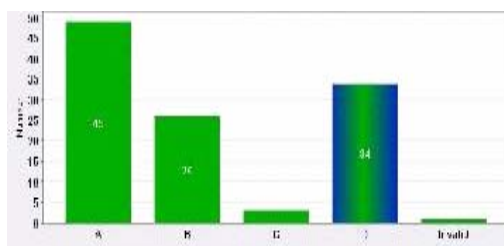
samodzielnie na specjalnym arkuszu ćwiczeniowym określanie kierunku prądu indukcyjnego w różnych wariantach zmiany pola magnetycznego. Po tych ćwiczeniach i po omówieniu poprawnych rozwiązań, mieli oni dodatkową okazję zadawania pytań dotyczących omawianego tematu (niewielu studentów zdecydowało się zadać jakieś pytanie). Dopiero w tym momencie wprowadzono pytania klikerowe, które wraz z grafiką odpowiedzi studenckich przedstawione są poniżej. Poprawne odpowiedzi zaznaczone są **tlustym drukiem**.

**P1:** Przewodząca pętla znajduje się w pewnej wysokości ponad identyczną pętlą, przez którą płynie stały prąd o zaznaczonym kierunku. Jeśli patrzmy z góry, prąd indukcyjny przez górną pętlę popłynie:



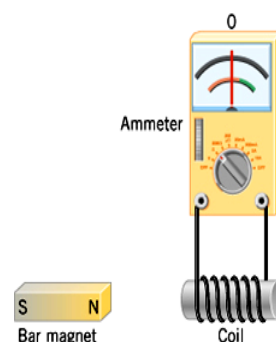
- A. W kierunku wskazówek zegara.
- B. Przeciwnie do kierunku wskazówek zegara.
- C. Zależy to od odległości pomiędzy pętlami.
- D. Nie będzie żadnego prądu w pętli.**

Jak widać, tylko ~30% odpowiedzi było poprawnych, czym wykładowca, włożywszy wiele wysiłku w wyjaśnienia i ćwiczenia, mógł czuć się rozczarowany. Jednakże, bez tego pytania kontrolnego wykładowca pozostałby w błogim przekonaniu, że studenci wszystko dobrze zrozumieli i niemiłym zaskoczeniem stałby się dopiero najbliższy test. Po dyskusji i ponownym podkreśleniu, że ważna jest **zmiana** strumienia magnetycznego, wyświetlono drugie pytanie, nawiązujące do pierwszego.



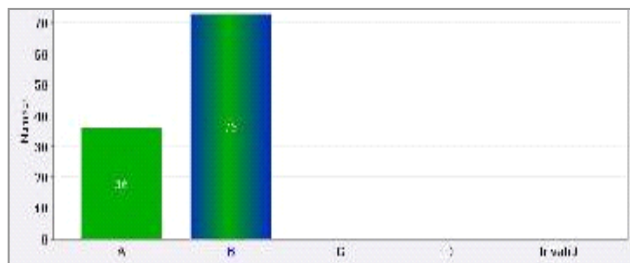
**P2:** Załóżmy, że cewka i magnes jednocześnie poruszają się z tą samą prędkością w stosunku do ziemi. Zaniedbajmy pole magnetyczne ziemskie. Czy pojawi się prąd magnetyczny w cewce?

- A. Tak.
- B. Nie.**
- C. Tylko, jeśli poruszają się poziomo.
- D. Tylko, jeśli poruszają się pionowo.

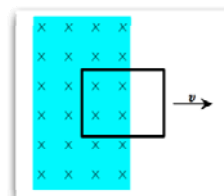


Po dyskusji nad odpowiedzią na pierwsze pytanie, liczba poprawnych odpowiedzi wzrosła dwukrotnie, ale nadal nie jest to wynik zadowalający. Po drugim

pytaniu wywiązała się dalsza dyskusja i w końcu posypały się pytania ze strony studentów. Widząc, że wielu ich kolegów również ma trudności ze zrozumieniem, ośmielili się zadać pytanie. Po zakończeniu wyjaśnień wyświetlono kolejne pytanie:



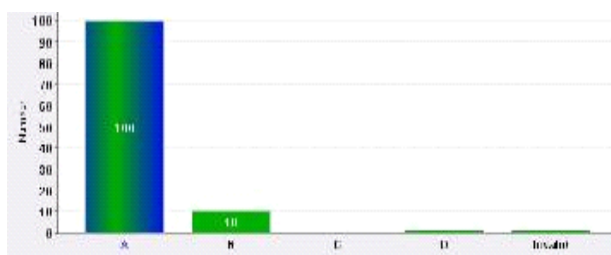
**P3:** Rozważ pętlę przewodzącą poruszającą się w kierunku poziomym w stałym polu magnetycznym skierowanym w głąb płaszczyzny. Pole magnetyczne wypełnia tylko połowę pętli. W jakim kierunku popłynie prąd?



- A. W kierunku wskazówek zegara.  
 B. Przeciwnie do kierunku wskazówek zegara.  
 C. W różnych kierunkach w różnych częściach pętli.  
 D. Nie będzie prądu w pętli.

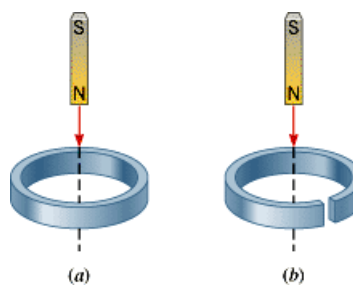
Prawie 90% studentów odpowiedziało tym razem poprawnie.

Kolejne wyświetlone pytanie było już dużo trudniejsze i wymagało połączenia kilku faktów.



**P4:** Dwa identyczne magnesy sztabkowe (A) i (B) upuszczono z jednakowej wysokości. W sytuacji (a) metalowy pierścień jest ciągły, a w sytuacji (b) ma usunięty kawałek obwodu. Który magnes pierwszy uderzy w ziemię?

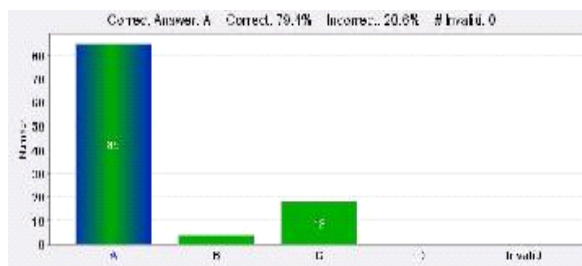
- A. Magnes B.  
 B. Magnes A.  
 C. Oba uderzą jednocześnie.



Z rozkładu odpowiedzi na pytania P1–P4 widać, jak pojęcia prądu indukcyjnego i reguła Lenza zostały stopniowo rozumiane przez studentów. Wykładowca fizyki nie musi, na szczęście, sam opracowywać klikerowych pytań do wszyst-

kich swoich wykładów. Obecnie jest wiele dostępnych źródeł z pytaniami koncepcyjnymi z fizyki. Pytanie Nr 1 było wzięte z pracy Mazura. Kanadyjscy wykładowcy fizyki dzielą się swoimi pytaniami na stronie internetowej: <http://cinqdb.physics.utoronto.ca/>.

Większość podręczników z fizyki wydawanych ostatnio posiada również zestawy pytań (Test Banks), które są udostępniane wykładowcom przez wydawcę na dyskietkach CD lub specjalnych stronach internetowych.



Na koniec kursu przebadano opinie studentów oceniające wpływ użycia klikerów na stopień opanowania materiału. Używając metody wielokrotnego wyboru studenci oceniali trafność poniższych stwierdzeń:

1. Klikery pomagają mi zrozumieć pojęcia i zagadnienia dyskutowane na wykładzie.
2. Największa wartość klikerów polega na tym, że informują mnie natychmiast czy właściwie rozumiem problemy omawiane na wykładzie.
3. Uważam, że 5% jest właściwą oceną przypisaną do testów z użyciem klikerów.
4. Uważam, że klikery powinny być używane podczas każdego wykładu.
5. Klikery pomagają mi w skupieniu uwagi na problemach omawianych w czasie wykładu.
6. Klikery uczą mnie myślenia hipotetycznego, zastępującego pamięciowe opanowanie materiału.
7. Lubię klikery.

Odpowiedzi były anonimowe, udzielane za pomocą klikerów z usunięciem identyfikatora. Opinie studentów były z reguły bardzo pozytywne. Suma odpowiedzi pozytywnych i bardzo pozytywnych przekraczała w niektórych przypadkach 90%.

Użycie klikerów w omawianym kursie poprawiło również efektywność nauczania. Studenci lepiej rozumieli materiał i dzięki temu wyższe były ich końcowe oceny z kursu. Spadła też liczba studentów wypisujących się z kursu i niezaliczających go. Tabela 2 przedstawia porównawcze dane wyników studenckich w roku 2005 (bez klikerów) i w latach 2006–2007 (po wprowadzeniu klikerów).

### Wyniki dydaktyczne – dane liczbowe

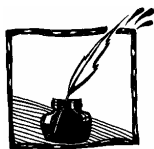
Tabela 2. Wpływ klikerów na oceny z końcowego egzaminu i na ilość studentów niezaliczających kursu

	N Liczba studentów	Średnia ocena %	Mediana %	Odchylenie standardowe	% studentów, którzy nie zaliczyli kursu
2005 bez klikerów	159	60,7	58,5	11,9	27
2006	182	66,5	65,5	13,8	19
2007	188	67,4	66,0	14,1	17

### Podsumowanie

Wprowadzenie klikerów do początkowego kursu fizyki zmieniło zasadniczo dynamikę sali wykładowej. Zwiększył się poziom zaangażowania studentów podczas wykładu i wyraźnie poprawiło się ich nastawienie do przedmiotu. Studenci zaczęli lepiej rozumieć wykładany materiał, co znalazło odbicie w poprawie ocen końcowych z kursu średnio o 10%. Z odpowiedzi studenckich na kwestionariusz dotyczący klikerów i z ich ustnych komentarzy w czasie trwania kursu wynika, że studenci z entuzjazmem przyjęli klikery, które, w ich opinii, nie tylko ułatwiają zrozumienie i przyswajanie materiału, lecz także urozmaicają i uatrakcyjniają wykład.

Studenci na uniwersytetach kanadyjskich pod koniec semestru oceniają każdy kurs, poprzez anonimową ankietę. Zazwyczaj kurs pierwszego roku Fizyki uzyskiwał stosunkowo niskie oceny, niezależnie od osoby wykładowcy. Wprowadzenie klikerów i zmiana formy wykładu z klasycznego na interaktywny znacznie poprawiła wyniki studenckich ankiet. Wykład stał się popularny i lubiany. W drugim roku stosowania klikerów wszystkie wykłady były otwarte dla kolegów – wykładowców, aby mieli możliwość zapoznania się z tą nową techniką nauczania. Ich opinie były również bardzo pozytywne i coraz więcej wykładowców wprowadza klikery do swoich wykładów. W roku 2008/2009 w UBCO klikery użyto w kilkunastu kursach.



## Szybkość stygnięcia Efekt Mpemby

Zofia Gołąb-Meyer

**Efekt Mpemby** (patrz Wikipedia) jest zjawiskiem zaobserwowanym po raz pierwszy przez afrykańskiego ucznia **Erasto B. Mpembę**. Zauważył on, że w pewnych określonych warunkach fizycznych ciepła woda zamarza szybciej niż zimna. Napisał:

„Nazywam się Erasto B. Mpemba i chciałbym opowiedzieć wam o moim odkryciu. W 1963 roku, kiedy byłem w trzeciej klasie szkoły średniej w Magambie w Tanzanii, często robiłem sobie lody. Chłopcy w szkole robili to następująco: gotowali mleko, słodzili je, mieszała, chłodzili do temperatury pokojowej i wstawiali do zamrażalnika lodówki.

Pewnego dnia zakupiłem mleko od miejscowej sprzedawczynie i zacząłem je gotować. Jednak inny chłopiec, który też kupił mleko, obawiał się, żeby mu nie zabrakło miejsca w lodówce, osłodził swoje mleko, zamieszał, szybko przelał do naczynka i wstawił do zamrażarki. Ja z obawy, by nie przypadło mi ostatnie naczynie do lodów, nie czekałem już na wystudzenie mleka i wstawiłem je gorące do zamrażarki. Po upływie półtorej godziny wróciliśmy z kolegą do lodówki i stwierdziliśmy, że moje mleko zamarzło, podczas gdy jego było gęstą cieczą niezamrożoną.

Spytałem mojego nauczyciela do fizyki, dlaczego tak się stało, a on mi odpowiedział, że to niemożliwe. Nazwał mój eksperyment «fizyką Mpemby».

Po jakimś czasie powtórzyłem eksperyment.

Wziąłem dwie zlewki po 50 cm<sup>3</sup> każda, jedną napelnilem zimną wodą z kranu, a drugą gorącą wodą z bojlera i wstawiłem obie zlewki do zamrażalnika lodówki w pracowni. Po godzinie wróciłem, żeby zobaczyć, co się stało. Okazało się, że nie cała woda zamarzała, ale w zlewce, w której była uprzednio gorąca woda, było więcej lodu niż w tej, w której była zimna woda”.

Jak można było wyczytać w „Przekroju” (Irena Cieślińska, „Przekrój”, nr 08/2008) „efekt był znany już dużo wcześniej. Kartezjusz zanotował, iż doświadczenia wykazują, że «woda trzymana na ogniu przez czas długi zamarza rychlej niż inna». Jego doświadczenia potwierdzał też Francis Bacon, wzmiankując, że wodę nieco gorętszą łatwiej zamrozić niż całkiem zimną.”

Uważa się np., że na lodowisku lód tworzy się szybciej, gdy polewa się je ciepłą wodą.

Zastanówmy się, czy nauczyciel fizyki miał podstawy, by skwitować opowiadanie Mpemby określeniem „to niemożliwe”. Czym się kierował?

Przypomnijmy sobie artykuł o oszczędnym ogrzewaniu i o stygnięciu domu, gdy na zewnątrz panuje mróz. Autor artykułu Piotr Białas wyprowadza wzór ((10), *Foton* 104, s. 51), wyrażający temperaturę w domu  $T(t)$  w chwili  $t$ , gdy na

zewnątrz utrzymuje się stała temperatura  $T_{out}$ ; na początku różnica temperatur między mieszkaniem a zewnątrz wynosi  $\Delta T$

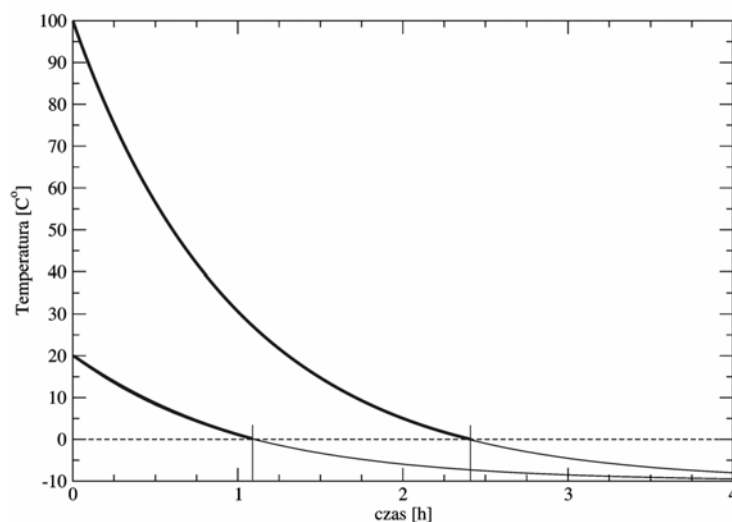
$$T(t) = \Delta T \cdot e^{-t/\tau_c} + T_{out} .$$

Wielkość  $\tau_c$  jest czymś w rodzaju „stałej stygnięcia” i określa czas, po którym różnica temperatur wewnątrz i na zewnątrz domu zmniejszy się  $e$  razy.

$\tau_c = C/A$ , gdzie  $C$  to pojemność cieplna domu, a  $A$  tzw. współczynnik przewodnictwa cieplnego.

Przypuśćmy, że nauczyciel wykorzystał ten sam model (wzór) do opisu stygnięcia wody w obu naczyniach. Założył, że temperatura w zamrażarce wynosi  $-10^\circ\text{C}$ . Początkowe  $\Delta T$  w każdym przypadku jest inne. Dla pierwszego kubka  $\Delta T_c = 110^\circ\text{C}$ , a dla drugiego  $\Delta T_c = 30^\circ\text{C}$ .

Krzywe stygnięcia dla kubków włożonych do zamrażalnika o temperaturze  $T_{out} = -10^\circ\text{C}$  przedstawia poniższy wykres.



Krzywe stygnięcia wody w kubkach

Jeden kubek ma początkowo  $100^\circ\text{C}$ , drugi  $20^\circ\text{C}$ . Założyliśmy, że  $\tau_c = 1$  godz. Czas osiągnięcia temperatury zamarzania  $0^\circ\text{C}$  można wyliczyć:

$$t_0 = \tau_c \ln(\Delta T/T_{out})$$

a więc rośnie logarymicznie z początkową temperaturą kubka.

Widzimy, że chłodny kubek szybciej osiąga temperaturę  $0^\circ\text{C}$ , a więc nauczyciel miał prawo sądzić, że chłodniejsza woda w kubku wystygnie szybciej.

Oczywiście przedstawione krzywe mają sens jedynie do osiągnięcia przez wodę temperatury  $0^\circ\text{C}$ . Jak wiemy, następnie temperatura wody w kubkach

pozostanie stała do czasu zamrożenia całości wody. Gdy woda zamieni się w lód, można będzie stosować podobny wzór do opisu chłodzenia kostki lodu.

Skoro jednak doświadczenie nie potwierdza naszego przypuszczenia opartego na – wydawałoby się – rozsądnym modelu (i tu nauczyciel popełnił błąd nie ufając wynikowi doświadczenia ucznia!), to znaczy, że przyjęty model jest błędny. Nie bierze pod uwagę jakichś ważnych czynników.

Być może stała stygnięcia  $\tau_c$  nie jest w obu przypadkach taka sama. Do tej pory nie ma jednoznacznego wytłumaczenia zjawiska Mpemby.

- Wpływ na różnicę czasu zamrażania może mieć **zjawisko parowania wody** z naczynka. Parowanie zmienia pojemność cieplną wody  $C$ . Intensywniej paruje ciepła woda. Jest jej mniej, a zatem pojemność cieplna wody początkowo gorącej jest mniejsza, proces stygnięcia szybszy. Gdyby jednak zjawisko polegało tylko na ubytku ciepłej wody, efekt Mpemby nie powinien się zdarzyć, gdyby zapobiec parowaniu, na przykład przykrywając oba pojemniki szczelną pokrywką. A tak nie jest.
- **Osadzanie się szronu** na powierzchni naczynia z wodą ma efekt izolujący, zmienia współczynnik  $A$ . Zauważano, że dno ciepłego naczynia po wystawieniu na mróz pokrywa się cienką warstewką szronu (zmiana stałej  $A$ ). Zaobserwowano jednak, że efekt Mpemby zachodzi także wtedy, gdy pojemniki z cieczami ustawia się na izolujących styropianowych podkładkach.
- Można rozważać **rolę konwekcji** w przepływie ciepła z naczyniek do zamrażalnika. Oczywiście prądy konwekcyjne są znacznie silniejsze w przypadku gorącej cieczy. Wtedy należy się spodziewać wpływu kształtu naczyniek na zjawisko.
- Rozważano wpływ wcześniejszego zagotowania cieczy na **rozpuszczone w wodzie gazy**. Zauważono, że nieodgazowana woda zamraża wolniej niż odgazowana w procesie gotowania. Doświadczenia nie potwierdziły tej hipotezy w stu procentach.
- Wiadomo, że **sole mineralne rozpuszczone w wodzie**, m.in. węglany wapnia i magnezu (twarda woda), obniżają jej temperaturę zamrażania, a w procesie podgrzewania ich część zostaje wytrącona. Wpływ tej hipotezy na efekt Mpemby też nie został udokumentowany.
- Rozważa się też możliwość **zjawiska przechłodzenia wody**. Woda nie składa się z pojedynczych cząsteczek, lecz z ich zlepków, agregatów; jest możliwe, że w wodzie ogrzanej agregaty te rozpadają się, a przy ochłodzeniu gorącej wody agregaty te tworzą się dopiero po pewnym czasie – zwiększałoby to ruchliwość cząsteczek takiej wody i w efekcie przyspieszałoby wymianę ciepła z otoczeniem.

Efekt Mpemby można bardzo łatwo potwierdzić eksperymentalnie w domowych warunkach. Do zamrażalnika należy włożyć dwa pojemniki (jeden z ciepłą, drugi z zimną wodą), woda będzie się ochładzać. Kiedy temperatura spadnie do 0°C, woda zacznie zmieniać swój stan skupienia z ciekłego w stały.

Należy zbadać, dla której wody ten proces zajdzie szybciej i odkryć, jakie będą tego powody. Aby to zrobić, trzeba dla obu pojemników z wodą zapewnić te same warunki stygnięcia, czyli

- temperaturę w zamrażalniku,
- ilość wody w pojemnikach,
- rozmiar, kształt i materiał pojemników,
- otoczenie gazowe wewnątrz komory zamrażalnika, czyli najlepiej ten sam zamrażalnik.

Redakcja zachęca do przysyłania wyników doświadczeń. Opublikujemy najlepsze prace.

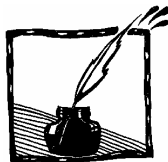
Informujemy Czytelników, iż w Internecie na temat efektu Mpemby jest bardzo obfita literatura. Zachęcamy do samodzielnych badań i późniejszej konfrontacji z wynikami innych.

---

Karta-całostka wydana z okazji Roku Astronomii (patrz artykuł „Astronomia w filatelistyce”, s. 58).





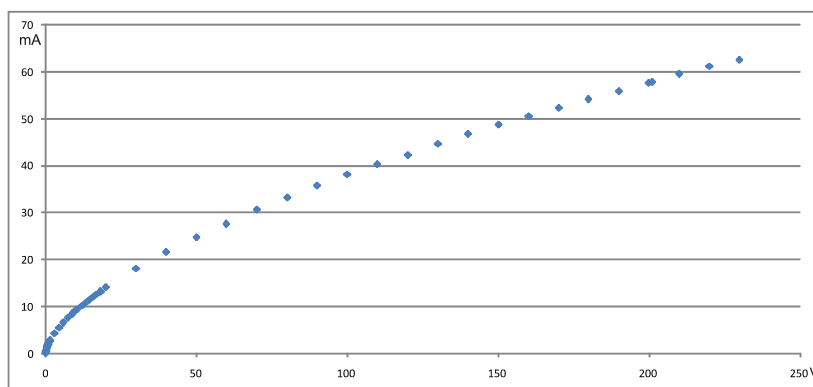


## Odgłosy z jaskini (13) Upór elektryczny

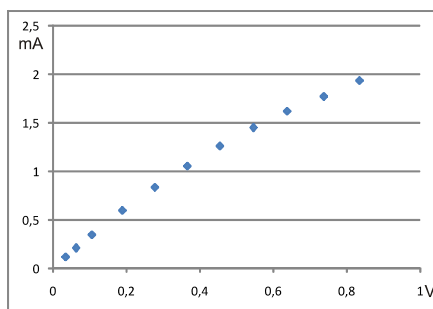
*Adam Smólski*

Z uporem godnym lepszej sprawy autorzy podręczników proponują doświadczenie, którego celem ma być odkrycie lub sprawdzenie prawa Ohma w przypadku, gdy odbiornikiem prądu jest żarówka. Gdy coś takiego Państwo napotkają, sygnał to oczywisty, że autor doświadczenia nie przeprowadził. Sytuacja skądinąd częsta, podręczniki powstają tak szybko...

Żarówki to elementy wyraźnie nieliniowe. Spowodowane jest to silną zależnością oporu od temperatury, no i silnym rozgrzewaniem się włókna, do czego przecież żarówka jest właśnie przeznaczona. Oto charakterystyka prądowo napięciowa żarówki 230 V, 15 W:

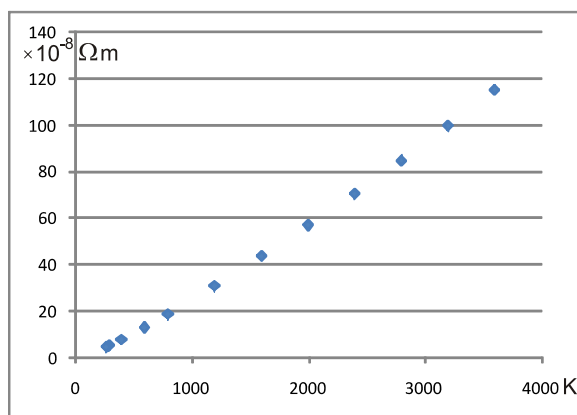


A może choć dla małych napięć zależność przypominałaby liniową? Nic z tego:



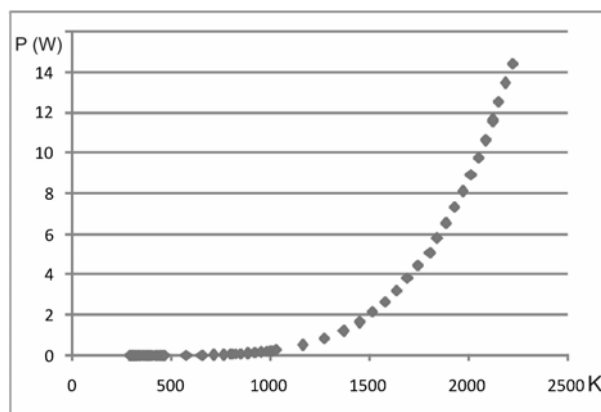
W zakresie napięć 0–1 V opór zmienia się od około 300  $\Omega$  do około 450  $\Omega$ .

Wspomniana zależność oporu wolframu od temperatury także nie jest liniowa. W tablicach wydawnictwa Adamantan znalazłem dane na ten temat, oto wykres (na osi pionowej opór właściwy):

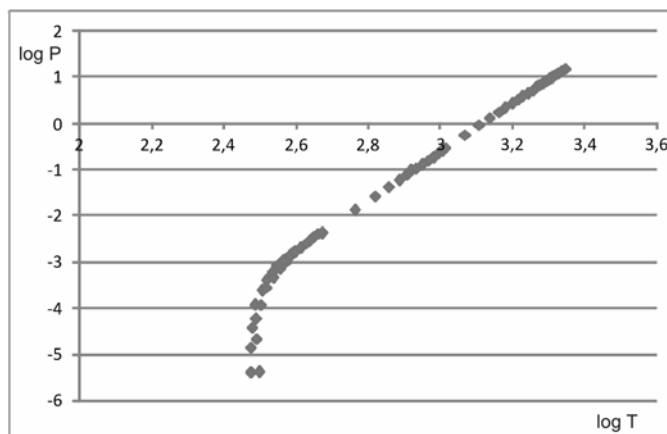


Zależność ta jest z dobrym przybliżeniem potęgowa, z wykładnikiem 1,24.

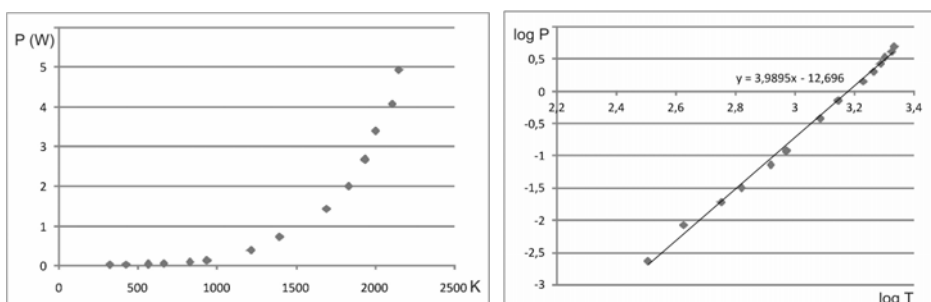
Dla naszej żarówki możemy zatem, na podstawie oporu, odczytywać temperaturę włókna. Przy napięciu 230 V osiąga ona około 2200 K (przy założeniu, że w temperaturze 293 K opór wynosi 300  $\Omega$ ). Interesująca wydaje się zależność mocy żarówki od temperatury:



Aż się prosi, by w ten sposób zademonstrować prawo Stefana-Boltzmann – moc powinna być proporcjonalna do czwartej potęgi temperatury, zwłaszcza dla dużych temperatur, gdy rozpraszanie energii odbywa się przede wszystkim na drodze promienistej. A zatem przerysujmy powyższy wykres na skali logarytmicznej:



Aż podskoczyłem, gdy zobaczyłem tę idealną liniowość przy dużych temperaturach. Za chwilę zimny prysznic: współczynnik kierunkowy to około 5,3. Dlaczego? Nie wiem. Analogiczne pomiary dla samochodowej „sufitówki” (12 V, 5 W) dają w tym miejscu wykładnik 4, chociaż liniowość nie jest już tak przekonująca:



Dla żarówek 230 V, 40 W oraz 230 V, 60 W jest jeszcze dziwniej, dla obu wykładniki są równe nieco ponad 3, przy liniowości nie lepszej niż dla sufitówki. Jeśli ktoś z Szanownych Czytelników zna się profesjonalnie na żarówkach, niech się, proszę, wypowie!

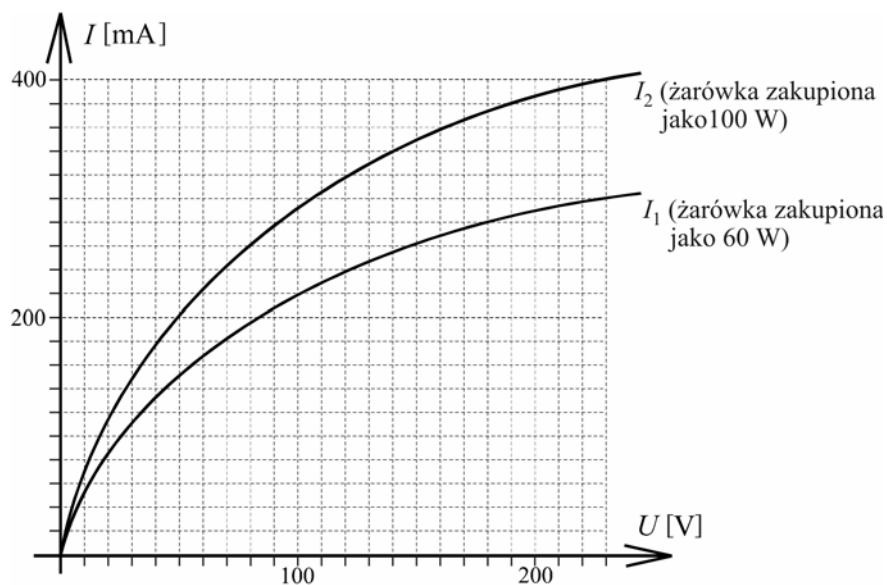
Wracając do podręczników, rozumiem autorów, że w rozdziałach na temat prądu chcą mówić raczej o urządzeniach codziennego użytku, a nie o abstrakcyjnym „oporniku”. Proponuję żelazko, czajnik albo zwykłe grzałki elektryczne do gotowania wody w szklance. Różnią się one od żarówek zasadniczo, bo chociaż też się grzeją, to do niższych temperatur, a drut oporowy w elemencie grzejnym wykonany jest ze stopu o znacznie słabszej, niż w przypadku wolframu, zależności oporu od temperatury (wolfram, w niewielkich temperaturach, ma współ-

czynnik temperaturowy oporu ok.  $0,005 \text{ K}^{-1}$ , chromonikielina  $0,0001 \text{ K}^{-1}$ , konstantan  $0,00003 \text{ K}^{-1}$ ). Dla żelazka 1600 W, które sprawdzałem, nie było zauważalnej zmiany oporu w wyniku nagrzewania. Grzałkę podczas pomiarów można cały czas trzymać w wodzie.

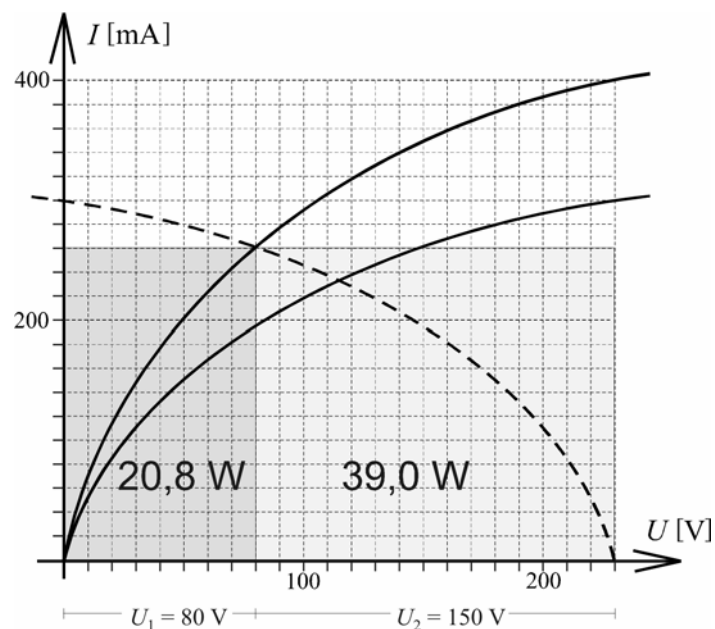
Żarówkę warto wykorzystać, ale jako przykład, że prawo Ohma nie zawsze jest spełnione. To ważne, aby odróżnić definicję oporu, mającą zawsze postać  $R = \frac{U}{I}$ , od prawa Ohma, spełnionego wtedy, gdy opór jest niezależny od napięcia. W podręcznikach to rozróżnienie bywa słabo widoczne, a prawo Ohma pretenduje do roli jakiegoś uniwersalnego prawa przyrody.

„Odgłosy z jaskini” początkowo, w zamyśle redakcji *Fotonu*, miały być „kącikiem zadań”. Proponuję zatem następujące zadanie o żarówkach:

*Na wykresach pokazane są charakterystyki prądowo-napięciowe dwóch różnych żarówek. Odczytaj moc, jaką będzie pobierać każda z nich, gdy podłączymy je szeregowo do źródła napięcia 230V.*



Niech za rozwiązanie posłuży rysunek:



Mocniej świeci słabsza żarówka (ta o mniejszej mocy nominalnej). Linia przerywana to odbita względem osi pionowej charakterystyka żarówki 50 W i „przesunięta” do napięcia 230 V. Punkt przecięcia tej krzywej z charakterystyką drugiej żarówki określa punkt pracy układu szeregowego.

Dziękuję za pomoc Krzysztofowi Tabaszewskiemu, z którym razem wykonaliśmy pomiary.



## Fizyka Formuły 1 w zadaniach

Przemysław Borys

Zakład Fizyki Chemicznej i Biofizyki  
Politechnika Śląska

1. Obliczyć współczynnik docisku aerodynamicznego bolidu we wzorze  $F_D = qv^2$  jeżeli wiadomo, że bolid Indy rozpędzony do  $v = 220 \text{ mph}$  generuje docisk  $5000 \text{ lb}$  (funtów) [1] (jednostki jak w cytowanym źródle). Przy jakiej prędkości bolid Formuły 1 (masa  $m = 605 \text{ kg}$ ) mógłby jeździć po suficie?

*Odpowiedź*

$q = \frac{F_d}{v^2} = 2,3 \text{ N s}^2/\text{m}^2$ . Bolid może jechać do góry nogami, jeśli siła docisku aerodynamicznego jest większa od ciężaru, a więc  $v = \sqrt{\frac{mg}{q}} = 183 \text{ km/h}$ .

2. Obliczyć współczynnik oporów powietrznych bolidu we wzorze  $F_R = rv^2$ , jeżeli wzór ogólny to  $F_R = C_D A \rho v^2$  gdzie  $C_D = 1$  – współczynnik oporów aerodynamicznych bolidu (dla normalnych samochodów jest to w przybliżeniu  $C_D = 0,25 \div 0,5!$ ),  $A = 1,2 \text{ m}^2$  – powierzchnia frontalna bolidu,  $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$  – gęstość powietrza. Jaka jest przy tych oporach prędkość maksymalna bolidu o mocy  $P = 750 \text{ KM}$ ?

*Odpowiedź*

$r = 0,77 \text{ N s}^2/\text{m}^2$ ,  $v_{max} = \sqrt[3]{\frac{P}{r}} = 323 \text{ km/h}$ .

3. Obliczyć, przy jakiej prędkości silnik może wykorzystać pełną moc bez poślizgu. Przyjąć współczynnik docisku we wzorze  $F_D = qv^2$  jako  $q = 2,3$ . Moc silnika  $P = 750 \text{ KM}$ , masa bolidu  $m = 605 \text{ kg}$ . Czy konieczne jest uwzględnianie oporów powietrza?

*Odpowiedź*

Warunek równowagi sił zapisujemy jako

$$\frac{P}{v} = f(mg + qv^2)$$

Równanie trudno rozwiązać rachunkowo, więc wykreślamy graficznie lewą i prawą stronę równości poszukując punktu przecięcia. Jest nim  $v = 131,5 \text{ km/h}$ .

Oporów powietrza nie uwzględniamy, bo zwiększone opory przy stałej sile generowanej z silnika zmniejszają jedynie przyspieszenie, a nie wpływają na siłę, jaką koła działają na asfalt (ta zależy tylko od silnika).

4. Wyznaczyć zależność  $v(t)$  bolidu dla prędkości  $v < 131,5$  km/h, gdy silnik nie może rozwinąć maksymalnej mocy, a siła napędowa równa jest dostępnemu w danym momencie tarcia. Siła docisku to  $F_D = qv^2$ ,  $q = 2,3$ , siła oporów aerodynamicznych  $F_R = rv^2$ ,  $r = 0,77$ , współczynnik tarcia  $f = 1,7$ , masa bolidu  $m = 605$  kg.

*Odpowiedź*

Równanie ruchu bolidu w tym przypadku to:

$$m \frac{dv}{dt} = fmg + fqv^2 - rv^2$$

Porządkując wyrażenie, uzyskujemy:

$$\frac{dv}{1 + \frac{fq-r}{fmg}v^2} = f g dt$$

Lewą stronę łatwo całkujemy do funkcji  $\arctg$ , a prawą do  $f g t$ , uzyskując ostatecznie:

$$t = t_0 + \frac{m}{fq-r} \cdot \sqrt{\frac{fq-r}{fmg}} \arctg \left[ v \sqrt{\frac{fq-r}{fmg}} \right]$$

gdzie stała całkowania  $t_0 = 0$ , bo prędkość  $v = 0$  chcemy mieć w chwili  $t = 0$ .

5. Wyznaczyć zależność  $v(t)$  bolidu dla prędkości  $v > 131,5$  km/h. Przyjąć dane z zadania poprzedniego i dodatkowo moc bolidu  $P = 750$  KM. Do stałej całkowania wykorzystać krzywą uzyskaną w zadaniu poprzednim.

*Odpowiedź*

Równanie ruchu bolidu w tym przypadku to:

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{P}{v} - rv^2$$

Doprowadzając prawą stronę do wspólnego mianownika i rozdzielając zmienne, uzyskujemy

$$\frac{v dv}{P/r - v^3} = \frac{r}{m} dt$$

oznaczając  $\sqrt[3]{P/r} = w$ , mamy

$$\frac{v dv}{v^3 - w^3} = -\frac{r}{m} dt$$

Mianownik ma miejsce zerowe dla  $v = w$ , więc dzieląc go przez  $(v - w)$ , uzyskujemy  $v^2 + vw + w^2$ , zatem mamy:

$$\frac{v dv}{(v - w)(v^2 + vw + w^2)} = -\frac{r}{m} dt$$

Lewą stronę rozbijamy na ułamki proste, uzyskując:

$$\frac{1}{3w} \left[ \frac{1}{v - w} - \frac{v - w}{v^2 - vw + w^2} \right] dv = -\frac{r}{m} dt$$

Rozbijamy ułamek z trójmianem:

$$\frac{1}{3w} \left[ \frac{1}{v - w} - \frac{1}{2} \frac{2v - w}{v^2 - vw + w^2} + \frac{1}{2} \frac{w}{v^2 - vw + w^2} \right] dv = -\frac{r}{m} dt$$

Dwa pierwsze ułamki po scałkowaniu dają logarytm. Ułamek drugi przepisujemy wprowadzając w mianowniku wzór skróconego mnożenia  $(v + w/2)^2 = v^2 + vw + w^2/4$  i wyciągając  $3/4w^2$  przed nawias:

$$\frac{1}{3w} \left[ \frac{1}{v - w} - \frac{1}{2} \frac{2v - w}{v^2 - vw + w^2} + \frac{2}{3w} \frac{1}{\left[ \frac{2}{\sqrt{3}} \left( v - \frac{w}{2} \right) \right]^2 + 1} \right] dv = -\frac{r}{m} dt$$

Stosując całkowanie przez podstawianie  $u = \frac{2}{\sqrt{3}} \left( v - \frac{w}{2} \right)$ , drugi ułamek możemy scałkować do funkcji  $\arctg$ . Tym samym, uzyskujemy rozwiązanie o strukturze danej w tablicach matematycznych ([2], całka (85)):

$$t = t_0 + \frac{m}{6wr} \log \left[ \frac{w^2 + wv + v^2}{(w - v)^2} \right] - \frac{m}{wr\sqrt{3}} \arctg \left[ \frac{2v + w}{w\sqrt{3}} \right]$$

$$w = \sqrt[3]{\frac{P}{r}}$$

gdzie stałą całkowania  $t_0 = 3,85$  s dobieramy tak, aby połączyć krzywą z zadania poprzedniego i krzywą aktualnie uzyskaną dla prędkości  $v = 131,5$  km/h.



### Literatura

- [1] IndyCar, <http://www.indycar.com>  
[2] I.N. Bronsztejn, K.A. Siemiendiajew, Matematyka – poradnik encyklopedyczny, PWN, 1972.

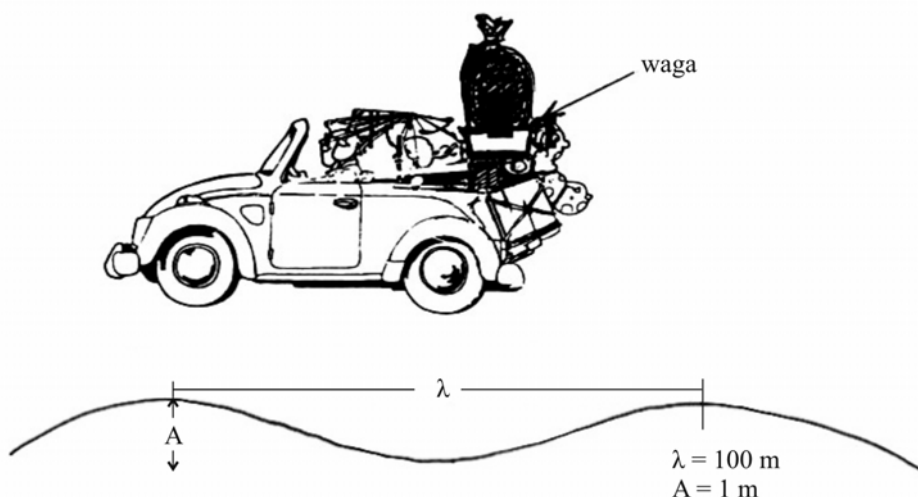
---

### Od Redakcji:

Załączamy zadanie z Olimpiady Fizycznej w Singapurze z 31 października 1990 roku i przekazane Redakcji przez śp. Waldemara Gorzkowskiego. Podajemy je w oryginalnym brzmieniu, aczkolwiek na lekcji można ciężar zastąpić grubym wujkiem, a wagę sprężynową sprężynami siedzenia fotela. Na Olimpiadzie uczniowie na rozwiązanie zadania mieli 40 min.

A oto zadanie: Podstawa wagi sprężynowej przymocowana jest sztywno do podłogi samochodu. Sprężyna wagi ma stałą sprężystość  $k = 10\,000$  N/m. Masa  $m = 100$  kg jest sztywno przymocowana do szalki wagi (patrz rysunek). Masa szalki jest znacznie mniejsza od masy  $m$ , można ją zaniedbać. W sytuacji, kiedy samochód parkuje na poziomej drodze, waga wskazuje  $m$ , to jest 980 N. Samochód jedzie teraz po lekko sfalowanej drodze ze stałą prędkością poziomą  $v$ .

Profil drogi jest przedstawiony na rysunku 2,  $\lambda = 100$  m zaś  $A = 1$  m. Zwróć uwagę, że  $\lambda$  jest też znacznie większa niż długość samochodu. Kształt drogi można przedstawić sinusoidą. Naskicuj wykres przedstawiający wskazania wagi w funkcji czasu, jeśli  $v$  stałe i równe 15 m/s. Oznacz skalę na osiach. Uzasadnij wynik, załącz odpowiednie rachunki. Jak zmieni się wykres, gdy zmieni się  $v$ ? Pamiętaj, że maksymalna szybkość samochodu wynosi 200 km/h.





## Arkadiusz Piekara i niemiecka rakietą V2

Zofia Gołąb-Meyer



Dwadzieścia lat minęło od śmierci Profesora Arkadiusza Piekary, wielkiego fizyka i niedoścignętego mistrza – nauczyciela. Profesorowi poświęciliśmy obszerny artykuł w *Fotonie* 87 (2004), teraz chcemy przypomnieć mniej znaną kartę jego życiorysu.

Otóż w czasie okupacji niemieckiej podczas II Wojny Światowej, po powrocie z obozów koncentracyjnych w Sachsenhausen i w Dachau, gdzie spędził kilkanaście miesięcy aresztowany wraz z innymi uczonymi z Uniwersytetu Jagiellońskiego i Akademii Górniczej, Profesor Piekara znalazł się w Mościcach. Pracował w zakładach chemicznych jako technik, a w domu pracował nad podręcznikiem *Elektryczność i budowa materii* wydanym po wojnie; był aktywny w tajnym nauczaniu na UJ. U Arkadiusza Piekary magisterium robił w czasie okupacji wojennej późniejszy wybitny fizyk teoretyk Jerzy Rayski. Pod koniec okupacji Arkadiusz Piekara dostał zlecenie z Armii Krajowej, by „rozpracować” niemiecką raketę V2, jak mówiono, tajną broń Hitlera. Rakietą ta została przechwycona przez Podziemie, zbadana przez polskich naukowców, a następnie przetransportowana w częściach do Londynu.

W wywiadzie udzielonym przed laty profesorowi Janowi Stankowskiemu i zamieszczonym w *Postępiech Fizyki* (T. 35, z. 3, 1984) Profesor Piekara wspomina:

[Po powrocie z obozu koncentracyjnego w Dachau w 1941 roku]

„...przyjaciele zaproponowali mi posadę montera w elektrowni lub motorniczego w tramwajach. Być motorniczym było bezpieczniej (w łapankach ulicznych ludzi z tramwaju zabierają motorniczego nie). Ale jednak bardziej kusila mnie posada elektryka i objąłem ją. Wkrótce mój uczeń z Rydzyny – Jakub Tomaszewicz – (wykonał on świetną pracę indywidualną z przewodnictwa cieplnego gazów, wydrukowaną w *Rydzyniaku*) zaproponował mi stanowisko „Messtechnikera” (technika pomiarowego) w Zakładach Azotowych w Mościcach. Z radością przyjąłem i zakopałem się w pracy naukowej z fizyki elektryków, którą po wojnie opublikowałem w *Acta Physica Polonica*. Poza obowiązkami „technika pomiarowego”, zorganizowałem kurs fizyki dla laborantów, z którego wyszło później kilku fizyków. Poza tym pisałem podręcznik *Elektryczność i budowa materii*, który zacząłem już w Rydzynie. Po wojnie wydany został w Krakowie przez oficynę Księgarni Wydawniczej Stefana Kamińskiego.

W Mościcach zająłem się jeszcze jedną rzeczą, przypadkową, ale jakże ważną. Toteż zająłem się nią z wielką ochotą. Oto jesienią roku 1943 spadł koło wsi Żurawica pod Sandomierzem zupełnie nieznanymi pocisk niemiecki nazwany później V2 (V1 już bombardował Anglię). Próbnymi nowymi pociskami wystrzeliwane były z poligonu pod Dębicą w kierunku północnym do nieznanymi mi celów. Zadaniem moim oraz dwóch byłych moich uczniów z Rydzyny (bR-ów, czyli byłych Rydzyniaków) było zbadanie resztek pocisku, zebranych i schowanych przez tamtejszych wieśniaków. Jednym z bR-ów był młody właściciel majątku w Żurawicy, student Politechniki Gdańskiej, Józef Świeżyński, drugim – późniejszy student Politechniki Śląskiej Zygmunt Bujakowski (z obydwojema już wcześniej brałem udział w projektowaniu wiatraka szybkoobrotowego dla lokalnej elektrowni w Żurawicy). Zbadane części napędu pozwoliły nam opracować raport odpowiadający na wielorakie pytania: jaki rodzaj napędu ma pocisk V2? (odrzut gazów spalinowych), jaki rodzaj lotu? (balistyczny na wielkich wysokościach), jaka kontrola? (krótkimi falami radiowymi), jakie sterowanie? (strumieniem gazów odrzutowych) itd. Na to ostatnie pytanie mogliśmy odpowiedzieć dzięki znalezieniu czegoś, co przypominało lekki ster łodzi (metalowy?, z jakiego metalu?). Na to pytanie odpowiedział młody laborant z laboratorium chemicznego Mościc, również bR, Jacek Hennel, późniejszy znany fizyk. Po kilku dniach analiz Jacek odpowiedział: nie metal, lecz grafit. Raport nasz wraz z częściami silnika, poszedł nieznaną nam drogą, zorganizowaną przez dowódcę naszego wywiadu AK (pseudonim „Niunio”) do Londynu. W końcu roku 1946, w Anglii (Teddington) dowiedziałem się, że doszedł. Prawdopodobnie trud nasz nie poszedł na marne.

Pod koniec wojny, jesienią 1944 r., otrzymałem wiadomość od dowódcy AK (ojca Zdzisława Szymanowskiego), że wskazane byłoby możliwie niezwłocznie opuścić Mościce. Jeszcze tego samego dnia Jacek Hennel odprowadził mnie na stację kolejową; był zdenerwowany, ja też. Wcześniej już, dzięki moim przyjaciółom w Krakowie (z Mościc) i we Lwowie, którzy mi ofiarnie pomagali, zabezpieczyłem maszynopisy mej książki i moich prac naukowych. Pod tym względem byłem spokojny. Więc przyjeżdżając do Krakowa od razu przystąpiłem do pracy w podziemnym Uniwersytecie Jagiellońskim, jako docent i wykładowca na Wydziale Chemicznym i Lekarskim, oraz na Studium Farmakologicznym i Wychowania Fizycznego.”

**Rakieta V2** służyła niemieckim celom wojskowym podczas II Wojny Światowej. Jej twórca, Wernher Von Braun wraz ze swoją ekipą konstruktorów oddał się w ręce Amerykanów w 1945r. W USA oddelegowano ich do pracy nad konstrukcją amerykańskich rakiet. ZSRR także starał się zdobyć plany rakiety. Konstrukcja V2 stała się podstawą do dalszych prac nad programem kosmicznym, zarówno amerykańskim jak i radzieckim.



Próbny start „V2”, prawdopodobnie na poligonie w Bielewie



## Astronomia w filatelistyce

*Jerzy Bartke*

*Instytut Fizyki Jądrowej PAN*

Podjęcie tematu astronomii nie jest przypadkowe, ponieważ rok 2009 został ogłoszony przez Organizację Narodów Zjednoczonych Międzynarodowym Rokiem Astronomii. Deklaracja ta została zaproponowana przez Włochy ze względu na to, że w bieżącym roku przypada 400. rocznica użycia przez włoskiego uczonego Galileusza (Galileo Galilei, 1564–1642) lunety do oglądania obiektów astronomicznych. W obserwacjach tych, rozpoczętych w roku 1609, Galileusz odkrył góry na Księżycu, cztery satelity Jowisza, fazy Wenus, plamy na Słońcu oraz stwierdził obrót Słońca wokół jego własnej osi. Podobizna uczonego widnieje na kilku znaczkach włoskich, i nie tylko włoskich – reprodukuje znaczek z Paragwaju wydany w rzadko spotykanym formacie trójkątnym.



Wśród znaczków związanych tematycznie z astronomią znaleźć można podobizny wielu astronomów: od środkowoazjatyckiego władcy i uczonego Uług Bega, który żył w latach 1394–1449 (znaczek ZSRR przedstawia podobiznę Uług Bega, a na przywieszce jego obserwatorium w Samarkandzie), aż do astronomów współczesnych. Najwięcej znaczków poświęcono twórcy teorii heliocentrycznej

Mikołajowi Kopernikowi (1473–1543), głównie w roku 1973, kiedy przypadała 500. rocznica jego urodzin. Podobizna Kopernika stanowiła też logo Światowej Wystawy Filatelistycznej „Polska’73”, która odbyła się wówczas w Poznaniu. W Polsce ukazało się łącznie ok. 30 znaczków i kilka kart-całostek poświęconych Mikołajowi Kopernikowi, nie licząc wydawnictw związanych z w/w wystawą. Pokazujemy trzy dawniejsze znaczki: wydany w lipcu 1923 r. o nominale 1000 marek polskich (w związku z postępującą wówczas inflacją w grudniu 1923 r. wydano podobny znaczek o nominale 5000 marek), znaczek z 1951 r. wydany z okazji I Kongresu Nauki Polskiej, oraz znaczek z 1953 r. przedstawiający Kopernika w jego fromborskiej „dostrzegalni” według obrazu Jana Matejki. Pokazujemy też efektowny znaczek francuski z 1973 r. z tematycznym stemplem okolicznościowym. Na polskich znaczkach można też znaleźć pomniki Mikołaja Kopernika w Krakowie, Warszawie i Toruniu.



Wiele znaczków poświęcono niemieckiemu astronomowi Janowi Keplerowi (1571–1630), który był aktywnym propagatorem teorii Kopernika, sformułował prawa ruchu planet po orbitach eliptycznych (zwane trzema prawami Keplera) oraz udoskonalił lunetę. Pokazujemy znaczek z podobizną Keplera wydany w 1971 r., w 400. rocznicę jego urodzin, przez pocztę NRD.

Bardzo wielu obserwacji astronomicznych dokonał gdański astronom Jan Heweliusz (1611–1687). Sporządził on dokładną mapę powierzchni Księżyca, szczegółowy atlas nieba i katalog gwiazd, odkrył kilka komet. Został wybrany członkiem prestiżowego Towarzystwa Królewskiego w Londynie. Poczta Polska poświęciła mu dwa znaczki wydane w roku 1987, w 300. rocznicę śmierci, z których jeden pokazujemy.



Znanym polskim astronomem, a także matematykiem i filozofem, był Jan Śniadecki (1756–1830). Był organizatorem życia naukowego w Polsce, a w szczególności założycielem i dyrektorem obserwatorium astronomicznego w Krakowie, i następnie w Wilnie. Był także członkiem Petersburskiej Akademii Nauk (patrz artykuł w *Fotonie* 104). Na reprodukowanym znaczku figuruje on razem z dwoma innymi członkami Komisji Edukacji Narodowej: Hugo Kołłątajem i Ursynem Niemcewiczem.

Trzech astronomów polskich z bliższego nam okresu czasu doczekało się uwiecznienia w filatelistyce: Tadeusz Banachiewicz, Michał Kamiński i Aleksander Wolszczan.

Tadeusz Banachiewicz (1882–1954), astronom i matematyk krakowski, długoletni dyrektor krakowskiego obserwatorium astronomicznego, przeprowadził wiele obserwacji i pomiarów astronomicznych, w szczególności dotyczących tzw. gwiazd zmiennych (zaćmieniowych).

Michał Kamiński (1879–1973) profesor i długoletni kierownik obserwatorium astronomicznego w Warszawie, prowadził badania komet, w szczególności komety Halleya.

Aleksander Wolszczan (ur. 1946) astronom pracujący głównie w Stanach Zjednoczonych, w 1992 roku odkrył pierwszy pozasłoneczny układ planetarny związany z gwiazdą-pulsarem, co przyniosło mu światową sławę. Na znaczku z serii „Polskie Millenium” przedstawiającej najwybitniejszych Polaków z historii i współczesności, uwidoczony jest razem z Mikołajem Kopernikiem.



Międzynarodowy Rok Astronomii jest tematem tegorocznej emisji znaczków „Europa”. Około 40 krajów wydało już lub zapowiedziało wydanie takich znaczków (po jednym lub dwa), można zatem spodziewać się w bieżącym roku co najmniej 60 nowych znaczków poświęconych tematyce astronomicznej. Dotychczas wydane znaczki są bardzo różnorodne, nie pokazują jednak podobizn sławnych astronomów, lecz różne obiekty astronomiczne i instrumenty badawcze astronomii. Przykładowo pokazujemy znaczki z Wysp Alandzkich (gwiazdozbiór Wielkiej Niedźwiedzicy) i Wysp Owczych (planeta Saturn), blok znaczkowy Belgii (luneta Galileusza i współczesny teleskop) oraz znaczek Portugalii (radioteleskop). W Polsce ukazała się na razie karta-całostka (patrz s. 46) zawierająca logo Międzynarodowego Roku Astronomii i jego hasło „Odkryj wszechświat dla siebie”, wydanie znaczka zostało zapowiedziane.





## „Astronomia XXI wieku i jej nauczanie”

Grzegorz Sęk

*Młodzieżowe Obserwatorium Astronomiczne  
w Niepołomicach (MOA)*

Druża Międzynarodowa Konferencja „Astronomia XXI wieku i jej nauczanie” zakończyła się w sobotę 16 maja 2009 roku. Obrady toczyły się w Centrum Konferencyjnym im. Lecha Wałęsy na Zamku Królewskim w Niepołomicach, a imprezy towarzyszące w Krakowie i Wieliczce. Konferencja zaczęła się od pokazu wahadła Foucaulta w kościele św. Piotra i Pawła w Krakowie przy ul. Grodzkiej. Na dziedzińcu kościoła prezentowano (przez G. Sęka) protuberancje słoneczne za pomocą teleskopu wyposażonego w filtr słoneczny H-alfa Coronado. Po południu grupa uczestników wyruszyła do Puszczy Niepołomickiej. Wprost z Puszczy udano się na Kopiec Grunwaldzki, gdzie można było obserwować piękny zachód Słońca.

Po wysłuchaniu krótkiego historycznego wykładu o związku Niepołomic z bitwą pod Grunwaldem, syci wrażeń, ale nieco zmęczeni wróciliśmy do MOA, gdzie na ruszcie już skwierczały kielbaski, bowiem następnym punktem programu był „Piknik pod Gwiazdami” połączony z grillowaniem. W ruch poszły teleskopy, dobra pogoda umożliwiła oglądanie obiektów nocnego nieba, wśród których oczywiście królowała planeta Saturn ze swymi pierścieniami, ale doceniono też piękno gromady kulistej w Herkulesie, mgławicy planetarnej w Lirze czy Drogi Mlecznej w Łabędziu. Pokazy przy użyciu teleskopu Meade LX200 o średnicy zwierciadła 30 cm trwały do późnych godzin nocnych. W piątek, 15 maja o godzinie 9.00 w sali multimedialnej rozpoczęły się obrady konferencji. Sesja przedpołudniowa, której przewodniczył dyrektor MOA – M.J. Jagła, miała następujący program:

- 1) Edwin Wnuk, UAM w Poznaniu – „Od lunety Galileusza do współczesnych obserwacji astronomicznych”.
- 2) Bożena Czerny, CAMK w Warszawie – „Astronomia w Wikipedii”.
- 3) Agnieszka Kryszczyńska, UAM w Poznaniu – „Co słychać w rodzinach planetoid”.
- 4) Jerzy Kreiner, UP w Krakowie – „Słońce jako zegar”.
- 5) Vlaslava Marsakova, Uniwersytet w Odessie – „International Year of Astronomy in Odessa”.

Sesja popołudniowa:

- 1) Bogusław Malański, Remigiusz Jabłoński, PiOA w Łodzi – „Użycie teleskopów Faulkesa w edukacji”.
- 2) Maciej Mikołajewski, UMK w Toruniu – „Najpiękniejsze odkrycia toruńskich teleskopów”.

- 3) Henryk Brancewicz, ZG PTMA w Krakowie – „Osoba i dzieło Eugeniusza Rybki”.
- 4) Igor Kudzej, Pavol Dubawski, Obserwatorium w Humennem na Słowacji – „Program obserwacyjny Obserwatorium w Humennem”.
- 5) Robert Bury, LO w Krośnie – „Projekt *Karpackie niebo*”.
- 6) Mieczysław Borkowski, PiOA w Łodzi – „Planetarium – nie kino a narzędzie dydaktyczne”.
- 7) Lucyna Gut, ZSG w Libiążu – „Kampanie poszukiwania planetoid”.
- 8) Aleksandra Mrowińska, PiOA w Łodzi – „Myśli i osiągnięcia Galileusza” (złożono do protokołu).
- 9) Grzegorz Sęk, MOA w Niepołomicach – „Astronomia szkolna”.

Największym atutem sesji popołudniowej, poświęconej dydaktyce, były bezpośrednie obserwacje obiektów astronomicznych, przeprowadzone za pomocą zdalnie sterowanych teleskopów Faulkesa, położonych na Hawajach (FTN) oraz w Australii (FTS). W ich wyniku otrzymaliśmy sześć znakomitej jakości fotografii, z których jedną zamieszczamy. Po zakończeniu obrad uczestnicy udali się do piwnicy gotyckiej na uroczystą kolację, a następnie udali się na zwiedzanie Zamku Królewskiego w Niepołomicach i Zamku Żupnego w Wieliczce, gdyż właśnie nastąpiła Noc Muzeów. Sobota 16 maja była dniem przeznaczonym na zwiedzanie kopalni soli w Wieliczce, które poprowadził M.J. Jagła, a druga grupa uczestników wraz z autorem artykułu udała się w Gorce, aby tam zwiedzić górskie obserwatorium astronomiczne UP na Suhorze. Dobra pogoda i serdeczne przyjęcie przez dyżurującą na Suhorze D. Kozieł sprawiło, że ten punkt programu został szczególnie doceniony. Uczestnicy konferencji zegnali się słowami „do zobaczenia za rok”, a organizatorzy obiecali kontynuację tych pożytecznych spotkań. W pracach konferencji łącznie wzięło udział 66 osób, szczególnie cieszy liczny udział nauczycieli fizyki, na których spoczywa ciężar przekazania wiedzy i doświadczeń wyniesionych z naszych obrad do praktyki szkolnej.

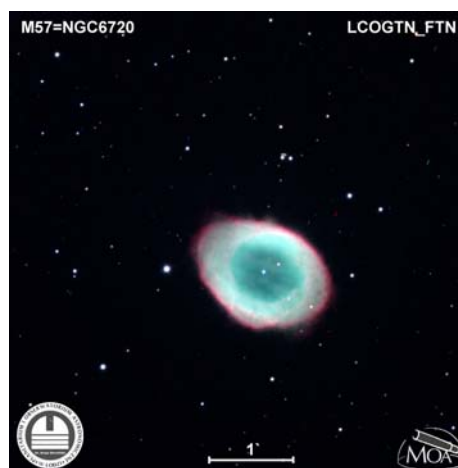


Foto: D. Latos, G. Sęk, K. Czura, uczestnicy





## XL Zjazd Fizyków 2009 Sesje związane z nauczaniem fizyki

Prosimy o śledzenie zmian i uzupełnień **sesji nauczycielskich**

Niedziela, **6 września**, Instytut Fizyki UJ, Reymonta 4, 14:30–17:30

- 14:30–15:15 – Wykład na temat roli fizyki w nauczaniu przedmiotów przyrodniczych – prof. dr hab. Władysław Błasiak (Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie),
- 15:30–16:15 – Warsztaty i pokazy e-learningu – dr Barbara Sagnowska,
- 16:30–17:30 – Prezentacja laureatów konkursu „Fizyka współczesna wokół nas”.

Poniedziałek, **7 września**, *Auditorium Maximum*, ul. Krupnicza 33, początek 14:30!

- 14:30–15:30 – Sesja plakatowa w ramach konkursu „Zgadnij i uzasadnij”; „Proste doświadczenia fizyczne”
- 15:30–15:50 – O projekcie FENIKS (współfinansowanym ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego) – długofalowym programie odbudowy, wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów – prof. dr hab. Antoni Pędziwiatr,
- 16:00–17:30 – Problemy nauczania fizyki współczesnej – dyskusja panelowa (udział potwierdzili: Anna Kamińska, Andrzej Majhofer, Krzysztof Fiałkowski, Marek Zrałek, Mirosław Trociuk),
- 17:30–18:15 – Prezentacja symulacji fizyki w czasie rzeczywistym na przykładzie gier komputerowych, a także o „Europejskiej Akademii Gier” – wspólnej inicjatywie krakowskich uczelni – dr hab. Paweł Węgrzyn.

Wtorek, **8 września**, *Auditorium Maximum*, 15:00–18:30

Popularyzacja fizyki, nauczanie poza szkołą

- 15:00–15:20 – O „Fizyce na Scenie” – prof. dr hab. Wojciech Nawrocik,
- 15:20–15:40 – Projekt dla nauczycieli „Fuzja w szkole i społeczeństwie” – prof. A. Gałkowski, dr H. Howaniec,
- 15:45–16:05 – Popularyzacja astrofizyki – prof. dr J. Kreiner (UP Kraków),

- 16:15–17:00 – Łapki gekona i fizyka – prof. dr Piotr Pierański (UAM) – laureat nagrody PTF za popularyzację fizyki,
- 17:05–17:30 – Popularyzacja Wielkiej Fizyki (LHC),
- 17:35–18:20 – Fizyka medycynie – dr Ludwik Dobrzyński.

Środa, **9 września**, w czasie przerwy obiadowej planowana jest **wolna trybuna „Hyde Park”** na temat **„O co chodzi w tej reformie”**.

**W czasie zjazdu czynna będzie dla nauczycieli „kawiarenka – mam problem”**. Można będzie wywieszać pytania do fizyków i kolegów nauczycieli dotyczące fizyki współczesnej oraz tego, jak konkretne problemy przedstawiać uczniom. Organizatorzy będą szukać fizyków chętnych do dyskusji na zgłoszone tematy i ustalać czas i miejsce spotkań przy kawie.

Ponadto w poniedziałek i wtorek w godzinach od 11:30–13:30 w *Auditorium Maximum* przewidziane są **wyklady popularne dla uczniów** i nauczycieli oraz **pokazy doświadczeń fizycznych demonstratorów z UŚ i szkolny teatr młodzieży z LO z Myślenie** (sztuka Bertolda Brechta).

Konieczne jest zgłaszanie grup młodzieży – tel.: 012 663 55 63 w godzinach od 9:00–15:00 lub e-mailem [foton@th.if.uj.edu.pl](mailto:foton@th.if.uj.edu.pl)



## Telewizyjne *Laboratorium* ma już 500 wydań!

*Alicja Rafalska-Łasocha*

*Wydział Chemii UJ*

19 maja w I programie TVP można było obejrzeć jubileuszowe wydanie najstarszego, polskiego programu popularnonaukowego. „Laboratorium”. Z czasem program ten przekształcił się w „Laboratorium XXI wieku”. Od 24 lat dostarcza telewizjom wielu ciekawych informacji o pracy i osiągnięciach uczonych. 500 wydań stawia telewizyjne „Laboratorium” w rzędzie rekordzistów w skali światowej. Ta okrągła liczba, podobnie jak wszystkie jubileusze i rocznice, skłania do krótkiej refleksji.

Głównym celem Wiktora Niedzickiego, z wykształcenia fizyka – twórcy, reżysera i realizatora programu, jest popularyzacja nauki i uczonych. Pokazanie, że nauka jest wszędzie, że dzięki nowym wynalazkom każdemu z nas żyje się lepiej, dłużej i zdrowiej. Każdy telewizor może zobaczyć jak wygląda prawdziwe naukowe laboratorium i jakie nowoczesne urządzenia konstruują i wykorzystują w swojej pracy współcześni badacze.



Z „Laboratorium” podpatrujemy najlepsze placówki badawcze w Polsce, ale także inne nowoczesne, zagraniczne laboratoria. Możemy zobaczyć prace badaczy nad nowymi technologiami stosowanymi we współczesnym świecie, w lotnictwie, w wojsku, a także w gabinecie kosmetycznym i w kuchni, dowiadujemy się, w jaki sposób wykorzystuje się naukę w codziennym życiu.

Telewizyjne „Laboratorium XXI wieku” może być bardzo pomocne w nauczaniu przedmiotów ścisłych. Kryształy i krystalizacja, fascynacja światłem i dźwięk, konserwacja zabytków i wielki zderzacz hadronów, praca mózgu i spirala DNA, odległy kosmos i fizyka w domu – to tylko niektóre poruszane w nim tematy. Dzięki takim ciekawym programom młodzi ludzie zaczynają interesować się chemią czy fizyką. Goście „Laboratorium”, uczeni z polskich i zagranicznych placówek naukowych, pracownicy chemicznych, fizycznych czy przemysłowych laboratoriów, mówią bowiem o swojej pracy językiem zrozumiałym dla każdego. Przekonują telewizorów, szczególnie tych młodych, że fizyka lub chemia to nie nudne, skostniałe, szkolne przedmioty, ale wspaniała przygoda wciąż pełna nierozwiązanych zagadek.

„Laboratorium XXI wieku” emitowane jest przez TVP zazwyczaj w poniedziałki przed południem. Można je również stale oglądać na stronie [www.laboratorium.tvp.pl](http://www.laboratorium.tvp.pl). Programy te, lub ich fragmenty, mogą być ciekawym uzupełnieniem lekcji fizyki, chemii lub biologii. W czasach, gdy każdy prawie uczeń ma dostęp do Internetu, programy te mogą też być wykorzystywane przez zainteresowanych uczniów w domu lub w czasie zajęć pozalekcyjnych.



**PIKNIK NAUKOWY** POLSKIEGO RADIA  
I CENTRUM NAUKI KOPERNIK



Badali skład światła, zaglądali w głąb umysłu, szukali meteorytów, gasili świeczkę muzyką, rozpoznawali DNA kosmity. Ok. 120 tys. osób uczestniczyło w 13. Pikniku Naukowym Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik, który odbył się w sobotę, 30 maja, na Rynku Nowego Miasta i Podzamczu w Warszawie.

Gwałtowne opady deszczu nie zniechęciły zwiedzających do eksperymentowania i odkrywania niezwykłości świata. W tej największej w Europie plenerowej imprezie popularyzującej naukę uczestniczyło 250 instytucji naukowych i badawczych z 21 krajów świata. Po raz pierwszy wzięły w niej udział: Austria, Belgia, Cypr, Hiszpania, Japonia i Rosja, a gościem specjalnym były Czechy. Miasteczko namiotowe zajmowało obszar ponad 40 tys. m<sup>2</sup>. Hasło tegorocznej imprezy – „Nauka wśród gwiazd” – nawiązywało do ogłoszenia przez ONZ roku 2009 Międzynarodowym Rokiem Astronomii. Dlatego nie zabrakło pokazów i doświadczeń dla miłośników astronomii i astronautyki.

W namiotach zwiedzający brali udział w doświadczeniach, dyskusjach i rozmowach z ekspertami, uczestniczyli też w happeningach artystycznych: rzeźbili w lodzie, tworzyli bajki czy „stali na wodzie” w ramach akcji Ludzie Blue. Na scenie ustawionej na Rynku Nowego Miasta oglądali pokazy najlepszych polskich i zagranicznych popularyzatorów nauki. Można było m.in. zobaczyć Punk Science – grupę z Wielkiej Brytanii – wyjaśniającą działanie siły grawitacji oraz Studenckie Koło Astronautyczne przy Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, które zaprezentowało zbudowany przez siebie łazik marsjański „Skarabeusz”.

Instytut Fizyki UJ był reprezentowany poprzez warsztaty dla Uniwersytetu Dzieci (pokazy z fizyki prezentowali: dr D. Sokołowska, mgr W. Zawadzki, G. Brzezinka).

Impreza miała bogatą oprawę muzyczną. Na scenie wystąpił japoński zespół bębniarzy KAIKO500, zespół Dobry Gooral oraz odbyła się „Gwiezdna wojna na słowa” – freestyle’owe improwizacje na tematy związane z podbojem kosmosu, z udziałem Flinta, Muflona, Trzy Sześć i Duże Pe. Przez cały czas trwania Pikniku grali didżeje: Mr Vinystealer i Barto.

Zdjęcia z tegoroczego Pikniku można już oglądać na stronie [www.piknik.naukowy.pl](http://www.piknik.naukowy.pl)

Zapraszamy na Piknik Naukowy za rok!

Anita Celarska  
Specjalista ds. Public Relations, Polskie Radio SA



## Turniej Młodych Fizyków 2009



30 maja odbyły się w Instytucie Fizyki PAN rozgrywki finałowe XX Turnieju Młodych Fizyków. Najlepsza drużyna – z XIV Liceum Ogólnokształcącego im. Stanisława Staszica w Warszawie – weźmie udział w 22. edycji Międzynarodowego Turnieju Młodych Fizyków (*International Young Physicist Tournament – IYPT*). W tym roku organizatorem Turnieju międzynarodowego jest Uniwersytet Nankai w TianJin w Chinach. Warszawiaków czeka więc w lipcu (21–26 VII 2009) ekscytująca podróż do Kraju Środka i pasjonujące zawody w gronie ponad dwudziestu drużyn z całego świata.

W Turnieju Młodych Fizyków – który w tym roku obchodził swoje dwudziestolecie – wzięło udział 20 drużyn. Każda z nich opracowała rozwiązania 10 spośród 17 zadań turniejowych i przesłała je do jednego z dwóch komitetów organizacyjnych – w Katowicach (Pałac Młodzieży) lub Warszawie (Instytut Fizyki PAN).

Drużyny wybrane na podstawie oceny nadesłanych prac referowały następnie swoje opracowania na zawodach II etapu Turnieju, zwanych półfinałami. Odbyły się one 26 marca w Katowicach z udziałem drużyn

- Liceum Ogólnokształcącego im. ONZ w Biłgoraju
- Zespołu Szkół Ogólnokształcących nr 2 w Kwidzynie
- I Liceum Ogólnokształcącego w Międzyrzeczu
- Grupy Twórczej „Quark” z Pałacu Młodzieży w Katowicach

oraz 18 kwietnia w Warszawie z udziałem drużyn

- XXXII Liceum Ogólnokształcącego im. Haliny Poświatowskiej w Łodzi
- III Liceum Ogólnokształcącego im. Unii Lubelskiej w Lublinie
- VIII Liceum Ogólnokształcącego im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
- XIV Liceum Ogólnokształcącego im. Stanisława Staszica w Warszawie
- I Liceum Ogólnokształcącego im. Ziemi Kujawskiej we Włocławku.

Specyfiką zawodów turniejowych – wzorowanych na konferencji naukowej – jest to, że po każdym referacie następuje dyskusja z oponentem (reprezentantem innej drużyny) i to od niej zależy w dużym stopniu końcowa ocena referenta przez jury. Poszczególne drużyny występują kolejno w roli referenta, oponenta oraz recenzenta, podsumowującego wystąpienia poprzedników.

Drużyny, które zajęły najwyższe miejsca w zawodach półfinałowych, wzięły udział w zawodach finałowych. Zawody te zostały rozegrane 30 maja w Insty-

tucie Fizyki PAN w Warszawie. Zgodnie z regulaminem wszystkie wystąpienia uczestników finału, włącznie z dyskusją, były prowadzone w języku angielskim.

Wystąpienia finałowe oceniało jury pod przewodnictwem prof. dr hab. Jana Mostowskiego z Instytutu Fizyki PAN z udziałem prof. dr hab. Reinharda Kulesy z Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie – Prezesa Polskiego Towarzystwa Fizycznego.

**I miejsce** w Turnieju zajęła drużyna **XIV Liceum Ogólnokształcącego im. Stanisława Staszica w Warszawie**.

**II miejsce** zajęła drużyna **Grupy Twórczej „Quark” z Pałacu Młodzieży w Katowicach**.



Andrzej Nadolny (pierwszy z lewej) i Jan Mostowski rozdają dyplomy drużynie z Biłgoraja



Fot. Ilya Marchenko

Kapitanowie drużyn, w kolejności od lewej: Katowice, Łódź, Warszawa, Biłgoraj

Warto podkreślić udział w Turnieju szkół z kilku nowych miejscowości, jak Międzyrzecz, Pilzno, Słupsk. Wszystkie drużyny finałowe pochodziły natomiast ze szkół o długoletnich tradycjach udziału w Turnieju, co niewątpliwie

jest zasługą nauczycieli. Do tradycyjnych ośrodków turniejowych należy również Grupa Twórcza „Quark” z Pałacu Młodzieży w Katowicach.

#### SKŁAD DRUŻYN BIORĄCYCH UDZIAŁ W FINALE TMF 2009

##### **Drużyna z Liceum Ogólnokształcącego im. ONZ w Bilgoraju**

pod opieką mgr Stanisława Rzęda, w składzie: Łukasz Komosa (*kapitan*), Dawid Dzido, Bartosz Gorczyca, Mateusz Kochan, Piotr Wardach, Wojciech Wojtak (*rez.*)

##### **Grupa Twórcza „Quark” z Pałacu Młodzieży w Katowicach**

pod opieką mgr Urszuli Woźnikowskiej-Bezak i mgr Anny Kazury w składzie: Piotr Żak (*kapitan*), Rafał Dudek, Jakub Polewka, Artur Kozubek, Jakub Królikowski, Aleksandra Książek (*rez.*), Franciszek Wołoch (*rez.*)

##### **Drużyna z XXXII Liceum Ogólnokształcącego im. Haliny Poświatowskiej w Łodzi**

pod opieką mgr Cezarego Opłatowskiego, w składzie: Iga Petri (*kapitan*), Sonia Dimitrowa, Damian Sokołowski, Krzysztof Zbiciński, Adam Leśniak, Małgorzata Efenberger (*rez.*)

##### **Drużyna z XIV Liceum Ogólnokształcącego im. Stanisława Staszica w Warszawie**

pod opieką: mgr Stanisława Lipińskiego i Piotra Podziemskiego, w składzie: Inga Rüb (*kapitan*), Urszula Włodkowska, Jan Stefan Białowicz, Piotr Suwara, Michał Tomaszewski, Albert Sławiński (*rez.*)

Pełniejsze informacje są dostępne na stronie internetowej

<http://ptf.fuw.edu.pl/tmf.html>

# Międzynarodowy rok astronomii 2009

