odcinek 1. „Teoria Alberta Einsteina i GPS”

Rafał Molenda: To jest podkast Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego.

Dzień dobry, witamy bardzo serdecznie w pierwszej części, choć nie wiem, czy to ma jakiekolwiek znaczenie, czy to pierwsza, czy ostatnia, czy środkowa część, naszego cyklu podkastów z ZUT –em. Natomiast dziś, te liczby będą ogrywały pewna rolę w naszym spotkaniu, bo bez liczb trudno będzie zorientować się w czasie i przestrzeni.

Wsiadamy do naszej kapsuły czasoprzestrzennej razem z panem doktorem Hubertem Fuksem z Katedry Fizyki Technicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Dzień dobry.

Hubert Fuks: Dzień dobry, witam Państwa serdecznie.

RM: Jest Pan gotowy?

HF: Zdaje się, że jestem gotowy.

RM:  Zapinamy pasy i startujemy.

HF: Startujemy zatem. Jakiś czas temu przygotowałem taki wykład popularnonaukowy na temat Teorii Względności, wynikało to chyba z tego, że ta teoria, jest  troszeczkę zaniedbana, trochę niszowa, to jest dziedzina, która właśnie być może jest wręcz lekceważona. Od kilkunastu lat ta dziedzina zniknęła z programu nauczania  fizyki w szkole średniej, być może szkoda. Prawdopodobnie ktoś   wymyślił, że ta teoria: po pierwsze jest mało zrozumiała, po drugie, może jest nieprzydatna w życiu codziennym. Mam nadzieję, że podczas dzisiejszej audycji, uda się wykazać, że to nie jest do końca prawdą.

Drodzy Państwo Teoria Względności została ogłoszona przez Alberta Einsteina w 1905 roku. Śmiem powiedzieć, że to jest jedna z najdonioślejszych  teorii naukowych nie tylko XX wieku, ale w ogóle w historii ludzkości. Teoria na początku niewątpliwie kontrowersyjna, niektórzy  powiedzieli, że zapewne też szalona.

RM: Bo to rzeczywiście w stu procentach teoria.

HF: Okazuje się, że nie. Teoria Względności jak się okazało wielokrotnie, była sprawdzana doświadczalnie i zawsze idealnie, doświadczalnie się sprawdziła.

RM: Tak, tylko, że gdy Einstein wpadł na to, a prawdopodobnie to było w windzie, to nie zastanawiał się nad tym, czy rzeczywiście jest to fakt i chyba nie zdążył też sprawdzić tego wszystkiego o czym pisał. Dopiero później pojawili się naukowcy, którzy punkt po punkcie sprawdzali wszystkie zagadnienia i okazało się, że Albert Einstein geniuszem był i basta!

HF: To prawda, ale Einstein parę takich odkryć przeżył. Na przykład przewidział, że w pobliżu masywnych ciał np. słońca, promienie świetlne powinny ulegać zakrzywieniu i faktycznie coś takiego stwierdzono i doniesiono o tym Einsteinowi, on wtedy, zamiast okazać jakiś entuzjazm, powiedział tak trochę z nonszalancją: - No ja widziałem, że tak musi być, bo moja teoria jest taka estetyczna.-   Ona jest kontrowersyjna, może dziwna, ale jednocześnie też w jakiś sposób spójna wewnętrznie sama z sobą.

Przypominam stało się to w roku 1905, ale mniej więcej dwadzieścia lat wcześniej należałoby się teraz  się cofnąć. W tamtym czasie okazało się, że naukowcom udało się zmierzyć prędkość światła. Z tą prędkością światła zawsze były problemy, bo  nie wiedziano, czy ona jest bardzo duża, czy wręcz nieskończenie duża. Okazało się, że prędkość światła owszem jest duża, ale ma konkretną wartość, która wynosi w przybliżeniu  300000 km / s. Oczywiście jak włączamy  światło w domu, to od żarówki do naszego biurka nie zauważymy żadnej różnicy, nie dostrzeżemy ile czasu światło biegnie. Przykładowo, jak patrzymy podczas pełni na księżyc, to możemy sobie zdawać sprawę, że to światło odbite od powierzchni księżyca dociera do nas w ciągu jednej sekundy. Słońce, które jest o wiele dalej, emituje światło które dociera do Ziemi w ciągu około ośmiu minut. Jakby słońce  zgasło, cieszylibyśmy się nim jeszcze przez osiem minut.

Także jeden z ważnych faktów, który został odkryty pod koniec XIX w. to jest  prędkość światła, którą jak przypomnę wynosi 300000 km/s. Kolejną istotną rzeczą, do tego co chcę powiedzieć, jest znajomość praw mechaniki nieba. Znajomość tego, że Ziemia w swoim ruchu obiegowym wokół Słońca, przemieszcza się z prędkością  około 30 km/s. Teraz tu siedzimy i rozmawiamy,  w ciągu każdej sekundy,  przemieszczamy się względem słońca o około 30 km. I te dwa fakty; prędkość Ziemi w ruchu obiegowym wokół słońca oraz znajomość prędkość światła, naprowadziła pewną grupę uczonych na pomysł  eksperymentu nazwanego  od nazwisk twórców: doświadczeniem Michelsona – Morleya.

W tym eksperymencie upatrzono sobie pewną gwiazdę i próbowano zmierzyć prędkość światła pochodzącą od tej gwiazdy. Podczas pomiaru Ziemia zbliżała się ze swoją prędkością 30 km /s do tej gwiazdy, przez co spodziewano się, że zmierzona  w laboratorium prędkość światła emitowana przez gwiazdę będzie powiększona o 30 km/s . Analogicznie, kiedy pół roku później Ziemia znalazła się w innym miejscu swojej orbity i oddalała się od tej gwiazdy,  prędkość powinna wynosić 300000 ale „minus” 30 km/s. To jest tak  jakbyśmy np. jadąc samochodem starali się oszacować prędkość innych pojazdów. Jeżeli jakiś samochód jedzie w tą samą stronę i nas wyprzedza, to relatywną prędkość, którą widzimy należy odjąć prędkość obu pojazdów.  Kiedy pojazd jedzie z naprzeciwka należałoby te prędkości dodawać, żeby mieć prędkość wypadkową. Na tym polegało doświadczenie Michelsona – Morleya, że do prędkości światła gwiazdy należałoby dodać lub odjąć prędkość Ziemi i zobaczyć co się stanie. Wynik tego eksperymentu był zupełnie zaskakujący, okazało się, że…

RM: Że się nic nie stało.

HF: Nic się nie stało. To znaczy prędkość światła ciągle pozostawała taka sama. I to było trochę zaskakujące. Wielu naukowców próbowało ten fakt  wyjaśnić.

RM: Taki trochę absurd prawda?

HF: Zgadza się.

RM: Zdroworozsądkowo z naszego, ziemskiego punktu widzenia, powinno być  zupełnie inaczej. Stoimy w miejscu, widzimy coś, co przelatuje z prędkością 100 km/h i dla nas jest to oczywiste. Gdy obok tego, co leci z prędkością 100km/h będziemy lecieć samolotem, który porusza się z prędkością 90km/h, a to coś, co obserwujemy, jest wiązką światła, to nie będzie tego wrażenia, że wiązka światła wyprzedza nas odrobinę, tyle co samochód jadący równoległym pasem po autostradzie, tylko ona tak samo nam śmignie, jak w sytuacji, gdy stoimy na ziemi.

HF: Zgadza się.

RM: Ja tego nie pojmuję. Nie wiem jak Pan. Ja tego do tej pory nie jestem w stanie pojąć.

HF: Do pewnego stopnia nie możemy tego pojąc, ale z drugiej strony, jeżeli spotkaliśmy się z wyjaśnieniem zaproponowanym przez Einsteina, to pewne rzeczy, być może, zaczną nam się tu układać.

Jeszcze raz wspomnę, że problemy z doświadczeniem Michelsona-Morleya, było to, że prędkość światła nie zależy od układu odniesienia. Niezależnie czy układ odniesienia jest nieruchomy, czy przemieszcza się do przodu, czy do tyłu, to prędkość światła wciąż była taka sama. Wspomnę, że wielkie zasługi w próbie wyjaśnienia tego fenomenu,  miał francuski uczony  Henri Poincare.

Lecz to dopiero Einsteinowi udało się to wszystko poprawnie sformułować. Stworzył  Teorię Względności. I teraz najważniejsze. Co jest w  idei tej teorii?

Einstein założył, że jeżeli prędkość światła ma być stała w kosmosie, nie zależnie od układu odniesienia, to niewątpliwym, nieuniknionym wnioskiem z tego faktu musi być to, że czas płynie inaczej, zależnie od tego czy się poruszamy, czy nie poruszamy. Wydaj się to takie absurdalne prawda. Dlaczego, jak stoję na chodniku to mój czas ma płynąć inaczej niż wtedy kiedy będę jechał w pociągu lub dajmy na to kiedy będę kręcił się na karuzeli? W pewnym sensie Einstein zachował się jak postać z książek o Sherlocku Holmesie, który prowadził swoje dochodzenie, rozwiązywał skomplikowaną zagadkę kryminalną.

RM: Dochodził  do rozwiązań drogą dedukcji.

HF: Tak jest i stopniowo odrzucał możliwości, które się nie sprawdziły.  Jak się okazało, została ostatnia,  nawet jeżeli jest najbardziej nieprawdopodobna, to musi być prawdziwa. Einstein zachował się dokładnie w ten sam sposób, skoro okazało się, że jedynym, prawdziwym wyjaśnieniem prędkości światła w kosmosie jest problem czasowy – czas musi płynąć inaczej, to pewnie tak jest.

Einstein opracował dosyć zgrabne równanie, które pozwala przeliczać jak upływa czas podczas ruchu i gdy jesteśmy w tzw. bezruchu. Generalnie wniosek z tego równania jest taki, że kiedy się poruszamy czas powinien płynąć wolniej, czyli czas troszeczkę nam się tu wydłuża.

RM: Ten nasz czas.

HF: Dojdziemy do tego, że wszystko tak naprawdę jest względne. Na razie uznajmy, że czas w ruchu jest troszeczkę spowolniony, ten czas się wydłuża. Powiedzmy, że grupę uczniów zabieramy na wycieczkę , na pokład odrzutowca. Oczywiście na lekcję fizyki. Odrzutowiec porusza się z prędkością naddźwiękową, powiedzmy 3000 km/h. Okazuje się, że ta lekcja będzie trwała troszeczkę dłużej. Dokładne obliczenia dla tego przypadku wskazują że czterdziestopięciominutowa lekcja wydłuży się o jedną piętnastomiliardową sekundy.

RM: Dla uczniów to będzie nie wielka różnica i bez znaczenia, ale  gdyby prędkość odrzutowca była jeszcze   większa, to sobie wyobraźmy, że to  będzie się  chyba wykładniczo zwiększało, prawda?

HF: Tak, ta różnica byłaby większa dla jeszcze większych prędkości. Ale oczywiście większość z nas może w tej chwili powiedzieć, że  dla normalnej, codziennej sytuacji  nie ma o co kruszyć kopii,  ta różnica czasowa jest nieznaczna.

RM: To znaczy, że każda podróż, którą odbywamy w życiu i poruszamy się z pewna prędkością,  sprawia, że przez te ułamki sekundy żyjemy dłużej, niż gdybyśmy mieli zostać w miejscu nie ruszając się wcale?

HF: Można powiedzieć, że z tego płynie wniosek: poruszajmy się, nie bądźmy zasiedziali …

RM: Będziemy żyli dłużej.

HF: Zgadza się, coś w tym jest, ale dokładniej to jeszcze później przedstawię jaka jest przyczyna tego „czasowego zysku”.

RM: Wracając do  wątku podróży  klasy w odrzutowcu. Załóżmy, że w samolocie leci uczeń, który ma bliźniaka, który z kolei został  na Ziemi. Po powrocie okazuje się, że ten, który leciał samolotem jest o tych kilka sekund młodszy od tego, który został w domu. Gdyby jednak podróż trwała dłużej i była przeprowadzona z o wiele większą prędkością, to co by się stało z tymi bliźniakami? Czy nie mamy tu do czynienia z - paradoksem bliźniąt-, doskonale znanym, ale czy do końca rozumianym?

HF: Zgadza się. Paradoks bliźniąt był niejednokrotnie opisywany w różnych pozycjach popularnonaukowych, które czytałem. Ze zgrozą jednak stwierdzić muszę, że jest w tych książkach sporo błędów. Kiedy A. Einstein zaproponował swoją teorię, okazało się bardzo szybko, że wielu uczonych starało się znaleźć w niej nieścisłości, czy jakieś luki.  Najbardziej znana nieprawidłowość w teorii względności Einsteina została opisana  właśnie jako - paradoks bliźniąt. Postaram się jednak nieco go przybliżyć. Przemieszczając się z dużymi prędkościami mamy szansę na pewien „zysk czasowy”, procesy zachodzące w organizmie zwalniają, puls uspokaja się . Mamy szansę po prostu żyć dłużej. Rozważmy teraz hipotetyczną sytuację, w której mamy dwóch braci, identycznych bliźniaków. Jednego wysyłamy w kosmos z dużą prędkością, drugi pozostaje na Ziemi, ma jednak pełen wgląd w procesy życiowe swojego brata wysłanego w kosmos. W pewnym momencie dzwoni do niego i  informuje, że zachodzące w jego ciele zmiany metaboliczne zachodzą znacznie wolniej. Drugi z braci – kosmonauta, obserwuje siebie, bada swój puls i stwierdza, że żadne istotne zmiany w jego ciele nie zachodzą, zachowuję się normalnie i wszystko przebiega naturalnie. Obserwując Ziemię ze swojego statku zauważa, że oddala się ona od niego z dużą prędkością. Na podstawie tej obserwacji, informuje swojego brata na Ziemi, że to właśnie on będzie o wiele młodszy, ponieważ wraz z Ziemią przemieszcza się z dużą prędkością. Paradoks polega na tym, że jeden drugiemu zazdrości, że będzie żył dłużej, co oczywiście nie jest możliwe. Należy zatem ten paradoks rozwiązać. Rozwiązanie znalazł właśnie Einstein formułując suplement do Teorii Względności nazywając go: Ogólną Teorią Względności. Na tej podstawie okazało się, że „zysk czasowy” ma jedynie ten z braci, który doznaje przyspieszenia. Zastanówmy się teraz, jak ostatecznie stwierdzić, który z braci będzie starzał się wolniej? Żeby móc tego dokonać, musimy doprowadzić do spotkania obu braci, zaprosić lekarza, który ich zbada i wyda ostateczny werdykt. Jednak, żeby doprowadzić do spotkania, podróżujący brat musi wyhamować rakietę i zawrócić ją na Ziemię. Zgodnie z Ogólną Teoria Względności „zysk czasowy” ma ten z braci, który doznaje przyspieszenia. Rozwiązaniem paradoksu bliźniąt jest tym samym stwierdzenie, że jedynie ten, który doznaje przyspieszenia ma szansę na dłuższe życie. Jak przełożyć to teraz na doświadczenie nasze i odnosząc się do słów Pana redaktora, należy stwierdzić, że w celu zachowania dłuższego życia należy być w pędzie i przemieszczać się.

W kosmosie istnieje możliwość zyskania czasu ze względu na dodatkowe przyspieszenia, tu w grę wchodzić będzie czarna dziura. Czarne dziury to obiekty kosmiczne, w pobliżu których istnieje bardzo duże przyciąganie grawitacyjne. Wyobraźmy sobie, że wysyłamy w kosmos podróżnika, który ma przelecieć w pobliżu niej. Po pół roku ów podróżnik wraca na Ziemię. Na jego statku podróż trwała dokładnie pół roku, z kolei na Ziemi minęło lat np. pięćdziesiąt. To jest możliwe. Nasz podróżnik po przylocie miałby zatem szansę spotkać swoje wnuka, który teraz jest od niego starszy. Innymi słowy mamy tu do czynienia z podróżami w czasie, ale zawsze w czasie do przodu. Teraz, gdyby naszemu kosmonaucie nie spodobało się to, co zastał na Ziemi i wyruszył ponownie w okolice czarnej dziury okazałoby się, że znowu na Ziemi minęło pięćdziesiąt lat, jest to zatem podróż w jedną stronę. Idea podróży w czasie jest możliwa, ale jest to podróż…

RM: W jedną stronę.

HF: Właśnie.

 Podsumowując jednak nasze  rozważania, Teoria Względności wynika z faktu stałej prędkości światła w kosmosie. Konsekwencją tego jest fakt, że czas płynie różnie i zależy od tego czy się poruszamy, czy nie.

Nawiązując jednak do tytułu audycji. Wszyscy wiemy, czym jest GPS. Wokół Ziemi krążą satelity ich zadaniem jest podawać współrzędne naszego położenia. Oczywiście satelity mierzą swoją prędkość i podają stale swój aktualny czas. Satelity muszą zatem na bieżąco wprowadzać poprawki relatywistyczne związane ze swoim ruchem, gdyby tak nie było, to w ciągu roku mogłyby się mylić o około trzy metry. Nawigacja i system GPS działa już około dwudziestu lat, gdyby nie poprawki relatywistyczne, szybko by się okazało, że dziś włączając nawigacje w Szczecinie mogłoby się okazać, że pokazuje moje położenie np. w Warszawie.

RM: Rozumiem, że te systemu muszą nastawiać swoje zegarki, czy tak?

HF: Satelity te są tak zaprogramowane, że poprawka relatywistyczna jest już im wgrana na stałe. Im większa prędkość, te różnice byłyby większe. Na szczęście systemy te działają całkiem prawidłowo.

Jest jeszcze inna konsekwencja teorii relatywistycznej. Obiekty poruszające się z dużymi prędkościami mogą ulec pewnemu skurczeniu. Załóżmy, że na Ziemi przygotowujemy rakietę do misji kosmicznej. Mierzymy ja w naszych warunkach i jej długość wynosi 100 metrów. Podczas lotu w kosmos jej długość, którą mierzymy na ziemi wynieść może nie 100 ale np. 95 metrów.

RM: Ale nie jest to właściwość fizyczna tylko złudzenie.

HF: Oczywiście. Nie obcinamy rakiety i nie skracamy jej o te pięć metrów. Warto jest wspomnieć jeszcze o kolejnej konsekwencji jaka wynika z Teorii Względności  - o jednoczesności zjawisk. Wyobraźmy sobie, że po mojej prawej i lewej stronie stoją dwie osoby wyposażone w latarki. Na hasło obie te osoby włączają je i oświetlają moją twarz.  Jeżeli  zrobią to równocześnie, to postronny obserwator stwierdzi, że obie połówki mojej twarzy zostały oświetlone równocześnie. Ale obserwator, który podróżuje w rakiecie poruszającej się z bardzo dużą prędkością mógłby stwierdzić, że mój prawy policzek został oświetlony wcześniej niż lewy. Wnioski jakie płyną z Teorii Względności dotyczą zaburzenia w równoczesności zjawisk i zdarzeń.

Wyobraźmy sobie teraz piękny sad pełen jabłoni. W pewnej chwili z jednej z nich dojrzałe jabłko odrywa się od gałęzi i spada na ziemię. Można założyć, że obserwator poruszający się znowu w rakiecie pędzącej w przestrzeni kosmicznej, której odpowiednio dobierzemy tor lotu i prędkość,  będzie świadkiem zupełnie odwrotnego zjawiska, mianowicie, że owo jabłko w niewyjaśnionych okolicznościach poderwało się z ziemi i przykleiło do gałęzi jabłoni. Takie historie są możliwe o ile założymy wybór pewnego układu odniesienia i   wybierzemy charakterystyczny tor   trajektorii lotu rakiety. Oczywiście przywołane przykłady są  jedynie skrajnościami wynikającymi z teorii Einsteina.

RM: Mówiliśmy na początku o naszej czasoprzestrzennej podróży, że zapomniano o Teorii Względności w szkolnych programach nauczania. Czy oznacza to, że w dalszym ciągu poruszamy się w świadomości newtonowskiej fizyki?

HF: Zgadza się, ponieważ fizyka newtonowska ma zastosowanie w sensie praktycznym. Fizyka einsteinowska nie zaprzecza jej, jest jej rozszerzeniem. Obowiązuje wtedy, kiedy poruszamy się z dużymi prędkościami. Na razie jednak wiemy, że nie mamy możliwości technicznych budowania rakiet, które poruszałyby się z dużymi prędkościami. Na co dzień jednak mamy możliwość zetknięcia się z Teorią Względności w zderzaczach hadronów, czyli w akceleratorach cząstek. Na pewno nasi słuchacze słyszeli o czymś takim jak Wielki Zderzacz Hadronów, gdzie rozpędzamy protony do prędkości bliskich prędkości światła, w tych przypadkach musimy brać pod uwagę właśnie poprawki relatywistyczne. Co więcej, jeżeli dochodzi do zderzeń protonów to w ich wyniku powstaje całe mnóstwo cząstek elementarnych, w tym takich, które mają bardzo krótki czas życia. Jednak fakt , że poruszają się z bardzo dużą prędkością pozwala nam na rejestrowanie ich obecności zaznaczonym  ich śladem.

RM: To nie pozostaje nam nic innego jak teraz odkodować i rozszyfrować najbardziej znany wzór fizyczny świata.

HF: Wzór: E=mc2 kojarzy się z osobą Alberta Einsteina i jego teorią relatywistyczną. E to jest energia, m - oczywiście masa, a c - to prędkość światła. Wzór jest bardzo znany i nawet zagościł już w kulturze masowej.  Równanie to mówi nam o tym , że istnieje przelicznik i związek pomiędzy masą i energią, zetem część masy możemy zamienić na energię lub energię zamienić na masę. Z naszego punktu widzenia najbardziej ciekawy jest przypadek zamiany masy na energię, ponieważ taka zamiana daje nam możliwość uzyskania bardzo dużej energii.

RM: Mam takie skojarzenie, jeżeli na siłownię przychodzą ludzie, którzy chcą zrzucić swoje zbędne kilogramy , to żeby w ich przypadków zamienić masę na energię podnoszą ciężary, skaczą,  czy to jest taka zależność?

HF: Przypadek taki niestety nie ma nic wspólnego ze wzorem E=mc2, to jest zamiana masy na energię, ale równanie Einsteina nie ma w tym przypadku zastosowania. Żeby dokonać tej zamiany, musimy masę niejako unicestwić, czyli anihilować. Załóżmy, że spalam węgiel w piecu np. kilogram węgla, czy zamieniam masę na energię, przecież ze spalenia zostaje nam popiół i dym , bilans masy się zatem zgadza, doszło, jak w przypadku siłowni, do zamiany jakiejś części masy na energię, ale nie ma to niestety nic wspólnego z równaniem Einsteina. Przypominam, żeby zamienić masę na energię według wzoru E=mc2 należy unicestwić przynajmniej jakąś część masy, czego dokonano w bombie atomowej.  W tym przypadku dochodzi do wykorzystania efektu opisanego przez wzór. W wyniku reakcji jaka jest inicjowana w bombach tego typu, dochodzi właśnie do unicestwienia drobnego fragmentu masy. Przypomnijmy, że bomby zostały użyte w trakcie bombardowania Hiroszimy i Nagasaki w roku 1945. W tych dwóch bombach doszło do anihilacji zaledwie jednego grama masy. Proszę sobie wyobrazić tą skalę, jeden gram masy został w czysty sposób zamieniony na energię i całe miasto niemal zniknęło z powierzchni ziemi.

Oczywiście ludzkość potrafi zamienić ten efekt w sposób konstruktywny do budowy elektrowni atomowych. W reaktorach elektrowni atomowych pręty uranowe są poddawane anihilacji ich masy, zamienianej na energię. Proszę jeszcze spojrzeć, słońce również działa według zasady opisanej tym wzorem, tam wodór zamienia się w hel, podczas tej przemiany zawsze dochodzi do drobnych ubytków masy. Warto jest tu wspomnieć, że na ziemi ludzie próbują rozpalić małe słońce i uzyskać z tego energię, prawdopodobnie to Chińczycy prowadzą takie eksperymenty. Sądzę osobiście, że to jednak kwestia kilku lat, kiedy ludziom uda się właśnie takie słońce rozpalić. Dodam, że na południu Francji, Unia Europejska buduje taki ośrodek, w którym mają się rozpocząć eksperymenty nad naszym, ziemskim słońcem. To będzie elektrownia termojądrowa, w pracach badawczych uczestniczy również ZUT. Innymi słowy, jeżeli taka elektrownia powstanie, ropa naftowa przestanie nam być potrzebna.

RM: Paliwa kopalne tym samy przejdą do lamusa.

HF: Dopowiem może jeszcze, że taka elektrownia będzie działała na zasadzie reakcji termojądrowej, gdzie do jej przeprowadzenia potrzebna jest zwykła woda, zaś produktem ubocznym będzie po prostu hel, nieszkodliwy zupełnie gaz, ten sam co w balonikach unoszących się swobodnie w powietrzu. Ta elektrownia, jeżeli to się uda, da nam spory zysk energetyczny i będzie w stu procentach czystą energią, ekologiczną.

RM: Nasza przygoda się w ten sposób kończy, przygoda odbyta z prędkością 30km/s.

HF: Niech każdy sobie obliczy jaki dystans pokonaliśmy w tym czasie.

RM: To jest zadanie domowe. Ja dziękuję za to spotkanie i tę podróż w czasoprzestrzeni. Naszym gościem był dr Hubert Fuks z Katedry Fizyki Technicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego.