

można zapisać ogólnie jako

$$E_k = a_1|v| + a_2|v|^2 + a_3|v|^3 + \dots$$

(matematycy nazwaliby to rozwinięciem w szereg potęgowy).

Wyznamy współczynniki  $a_i$ . Przeanalizujemy zderzenie dwóch samochodów o jednakowych masach. Przed zderzeniem w układzie środka masy obydwa samochody poruszają się z prędkościami równymi co do wartości  $v$  i przeciwnie skierowanymi; po zderzeniu zaś spoczywają. Rozważmy teraz to samo zderzenie w układzie, w którym jeden z samochodów spoczywa. Oznacza to, że drugi samochód przed zderzeniem ma prędkość  $2v$ , a po zderzeniu oba samochody poruszają się razem z prędkością  $v$ . Obliczymy zmianę energii w trakcie zderzenia w obu układach.

Układ środka masy:

$$-2(a_1v + a_2v^2 + a_3v^3 + \dots).$$

Układ spoczynkowy jednego z samochodów:

$$-(a_12v + a_24v^2 + a_38v^3 + \dots) + 2(a_1v + a_2v^2 + a_3v^3).$$

Żądając, by zmiany te były równe, dostajemy

$$2a_1v - 4a_3v^3 - 12a_4v^4 + \dots = 0.$$

Ponieważ  $v$  jest dowolne, więc wszystkie współczynniki w tym równaniu muszą być równe zero. Zatem  $E_k = a_2v^2$  i nic więcej.

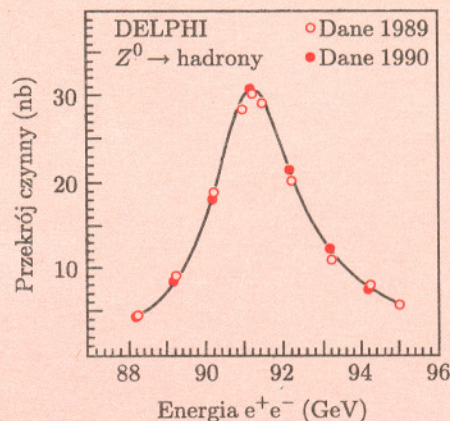
No trudno,  $E_k$  nie może być funkcją liniową prędkości. Wzór  $E = mv^2/2$  jest słuszny przynajmniej dla małych prędkości. Jadąc szybko samochodem można się pocieszać, że  $E_k$  nie rośnie szybciej niż kwadratowo, a w mianowniku stoi dwójka.

## Idylla maleńka taka

Wzór de Moivre'a odkrył Euler; twierdzenie Pitagorasa było znane kilkaset lat przed jego urodzeniem; Tales nie znał twierdzenia Talesa; wzory Cardano podali Tartaglia (dla równań stopnia 3) i Ferrari (dla stopnia 4); aksjomat Archimedesusa używano co najmniej 150 lat przed jego narodzinami, natomiast sam Archimedes był autorem zasady Cavalieriego (który żył 18 wieków później); jeszcze większy dystans dzieli Dedekinda od wynalazcy przekroju Dedekinda, czyli Eudoksosa (22 wieki); tenże Eudoksos jest wynalazcą pętli Vivianiego; sfery Dandelina wymyślił Apoloniusz; jeszcze śmieszniej jest z płaszczyzną Gaussa wprowadzoną kilkadziesiąt lat przed jego urodzeniem przez Eulera – jej odkrywcą, wedle większości podręczników historii matematyki, jest Wessel; trochę lepiej jest natomiast z prawami de Morgana – odkrył on jedno z nich (drugie 9 lat później Pierce); schemat Hornera jest wynalazkiem arabskim, podobnie jak stosowany do dowolnych wykładników dwumian Newtona; występujący w nim symbol Newtona obliczał Pascal – choć tutaj metodę nazwano uczciwie trójkątem Pascala; przestrzeń kartezjańska i kartezjański układ współrzędnych to dzieło Fermata; sito Eratostenesa występuje w napisanych przed jego urodzeniem *Elementach* Euklidesa; wielościany archimedesowe wymyślił Pappus i sam puścił plotkę, że znał je już jego wielki poprzednik sprzed sześciu wieków – Archimedes. Z bliższych nam okolic: przestrzenie Sobolewa wymyślił Nikodym i nazwał je przestrzeniami Beppa Leviego. W niczym nie zmienia to faktu, że przez cały czas kłócono się zawzięcie o priorytet każdego właściwie odkrycia.

M.K.

Precyzja wyznaczenia liczby cząstek  $Z^0$  i strumienia zderzających się  $e^+e^-$  wpływają na błąd wyznaczenia wartości przekroju czynnego. Zależność przekroju czynnego od energii  $e^+e^-$  w LEPie przedstawia rysunek 1. Punkty doświadczalne pochodzą z pomiarów eksperymentu z detektorem DELPHI, krzywe zaś są wynikiem dopasowania przewidywań modelu standardowego. Na tym rysunku bardzo wyraźnie widać rezonansowe maksimum odpowiadające produkcji  $Z^0$ .



Rys. 1. Wyniki dopasowania kształtu linii  $Z^0$  dla rozpadu  $Z^0$  na hadrony w detektorze DELPHI. Krzywa ciągła to przewidywania modelu standardowego, odpowiadające  $M_Z = (91,171 \pm 0,030 \pm 0,030)$  GeV,  $\Gamma_Z = (2,511 \pm 0,065)$  GeV. Drugi błąd podany dla  $M_Z$  odpowiada błędowi pomiaru energii  $e^+e^-$  w LEPie, który w latach 1981–1990 wynosił 30 MeV.

Błąd wyznaczenia energii początkowych  $e^+e^-$ , czyli błąd zmiennej niezależnej, jest głównym tematem tego artykułu.

## Od czego zależy energia wiązek w akceleratorze?

LEP jest jednocześnie akceleratorem elektronów (i pozytonów) i pierścieniem akumulacyjnym, to znaczy urządzeniem do długotrwałego utrzymywania wiązek o stałej energii. Przy napełnianiu LEPu wykorzystuje się cały CERNowski kompleks pięciu akceleratorów, które stanowią etapy wstępnego przyspieszania elektronów i pozytonów do energii 20 GeV. Przyspieszenie od 20 do 46 GeV zachodzi już w samym pierścieniu LEPu. Elektrony poruszające się w pierścieniu akceleratora doznają przyspieszeń, a więc promieniują fale elektromagnetyczne tracąc przy tym energię. Tak więc nawet po osiągnięciu energii końcowej musimy ciągle pompować energię z zewnątrz, żeby skompensować straty.