

Fizyka cząstek elementarnych

warsztaty popularnonaukowe

Spotkanie 1

Metody opracowania wyników pomiarów

Rafał Staszewski
Maciej Trzebiński

Instytut Fizyki Jądrowej
Polskiej Akademii Nauk

Kilka słów o... IFJ PAN

Instytut Fizyki Jądrowej
im. Henryka Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk



Oddziały naukowe:

NO1 - Oddział Fizyki i Astrofizyki Cząstek

NO2 - Oddział Fizyki Jądrowej i Oddziaływań Silnych

NO3 - Oddział Fizyki Materii Skondensowanej

NO4 - Oddział Fizyki Teoretycznej

NO5 - Oddział Zastosowań Fizyki i Badań Interdyscyplinarnych

Zakłady NO1:

NZ11 - Zakład Oddziaływań Leptonów

NZ12 - Zakład Astrofizyki Promieniowania Gamma

NZ13 - Zakład Liniowego Zderzacza

NZ14 - Zakład Eksperymentu ATLAS

NZ15 - Zakład Promieni Kosmicznych

NZ16 - Zakład Neutrin i Ciemnej Materii

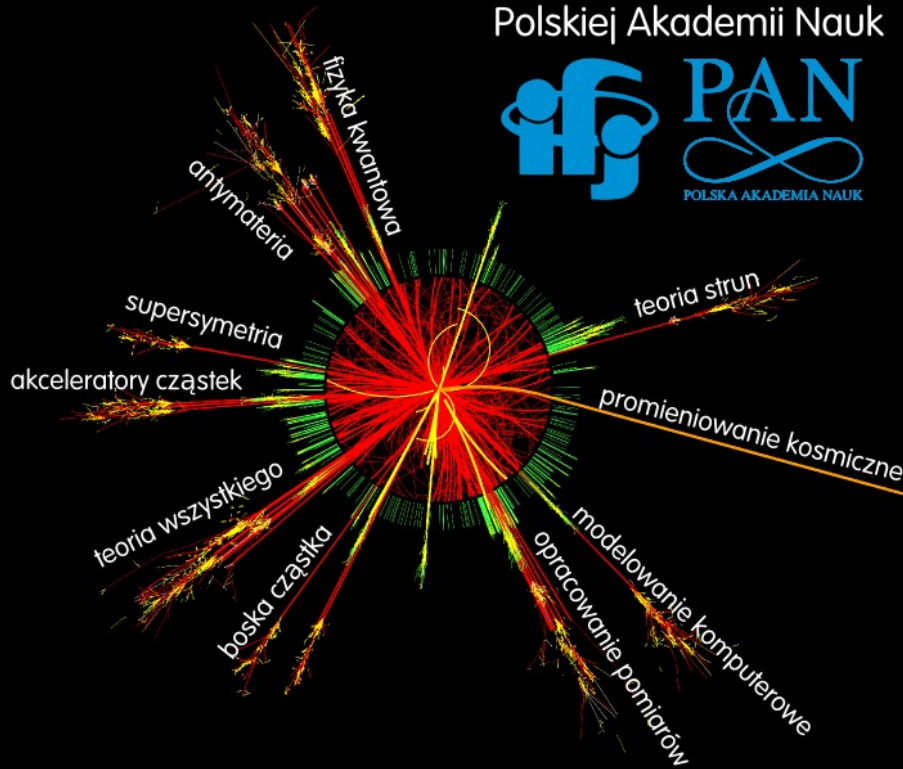
NZ17 - Zakład Eksperymentu LHCb

Kilka słów o projekcie

Fizyka cząstek elementarnych

warsztaty popularnonaukowe

Instytut Fizyki Jądrowej
Polskiej Akademii Nauk



warsztaty.ifj.edu.pl

Zajęcia 1

Metody opracowania wyników pomiarów

Zajęcia 2

Fizyka cząstek elementarnych i komputerowe modelowanie procesów rozpraszania

Zajęcia 3

Porównanie modeli rozpraszania do pomiarów na Wielkim Zderzaczu Hadronów LHC i przyszłość fizyki cząstek

Zanim zaczniemy:

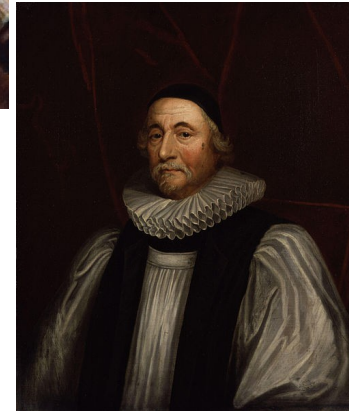
rzecz o dokonywaniu odkryć w nauce

Wiek Ziemi

Beda Czcigodny (VIII w.) - na podstawie **studiów Biblii** stwierdził, że stworzenie Ziemi nastąpiło **wiosną**.



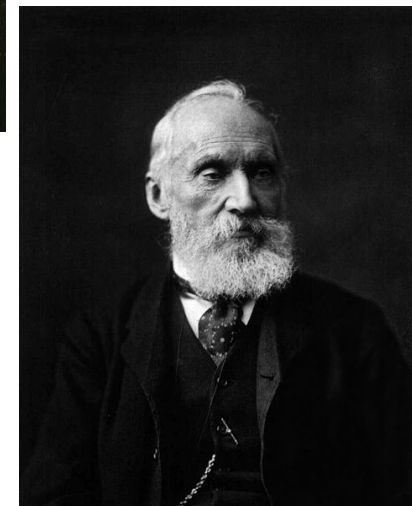
James Ussher (1658 r.) - na podstawie **studiów Biblii** przyjął za pewnik **rok 4004 p.n.e.**



Georges Leclerc de Buffon (1749 r.) - na podstawie **badania procesu stygnięcia rozgrzanych kul** oszacował wiek Ziemi na **74 832 lata**.



Wiliam Thomson (lord Kelvin) (1866 r.) - na podstawie **teorii przewodnictwa cieplnego** oszacował wiek Ziemi na **20 – 40 mln lat**.



Obecnie wiemy o **procesach promieniotwórczych** – najnowsze badania szacują wiek Ziemi na **ok. 4.5 mld lat**.

Promieniowanie N

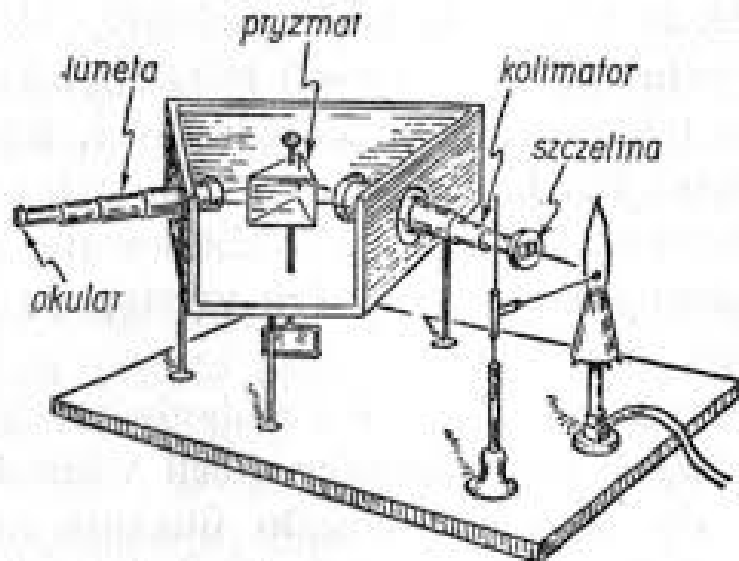
23 marca 1903 Rene Prosper Blondlot

profesor fizyki w Uniwersytecie Nancy przedstawił Francuskiej Akademii Nauk pracę „O nowym typie światła”

Właściwości promieniowania N:

- **źródła:** rury do wytwarzania promieni X, palniki gazowe, metale, Słońce,
- **detektory:** płytki pokryte siarczkiem kadmu, płomień gazowy (zwiększał jasność prod wpływem promieni N),
- **możliwość magazynowania,**
- **przechodzą z łatwością przez:** kilkumilimetrową warstwę platyny, suchą bibułę,
- **zatrzymywane przez:** mokry papier, parocentymetrową warstwę soli

Spektrometr promieni N (aluminiowy pryzmat):



Augustin Charpentier – profesor medycyny w Nancy: promienie N są emitowane przez nerwy i mięśnie ludzkie (nawet przez zwłoki) wzmacniają wzrok, słuch i powonienie

Jean Becquerel – zatrzymanie emisji promieni N przez „znieczulenie” chloroformem, eterem lub spirytusem

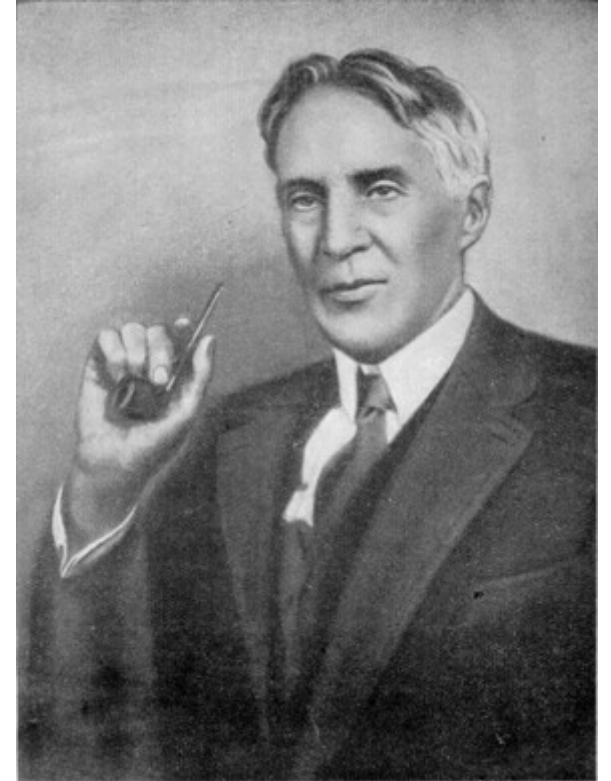
Ogółem opublikowane ok. **300 prac** na temat promieni N!

Promieniowanie N

Problem:

promieniowanie N mogli obserwować jedynie Francuzi
(poza nimi tylko Anglik i Irlandczyk opublikowali prace)

O weryfikację poproszono Roberta Wooda.



Wniosek: duża pomyłka.

Usiłowałem ciągle utrzymać umysł w stałej niezależności, tak aby móc odrzucić każdą hipotezę – bez względu na to jak mi była droga – skoro tylko fakty jej zaprzeczają (...). Nie przypominam sobie, abym jakiegś po raz pierwszy sformułowanej hipotezy nie musiał odrzucić lub zmodyfikować.

Charles Darwin

Świat nie wie, jak wiele myśli i teorii, które przeszły przez głowę badacza zostało stłumionych w cichości i tajemnicy przez jego własną surową ocenę krytyczną i przez negatywne wyniki badań. W przypadkach najszcześniejszych, ani dziesiąta część pomysłów, nadziei i pragnień nie doszła do ostatecznej realizacji.

Michael Faraday

Moje błędy podsunęły mi najważniejsze z moich odkryć. Wytrawny badacz ma wielką przewagę nad nowicjuszem w reagowaniu na błędy dostrzegane w swych koncepcjach. Wyciąga on korzyść ze swoich błędów w równej mierze jak ze swych osiągnięć.

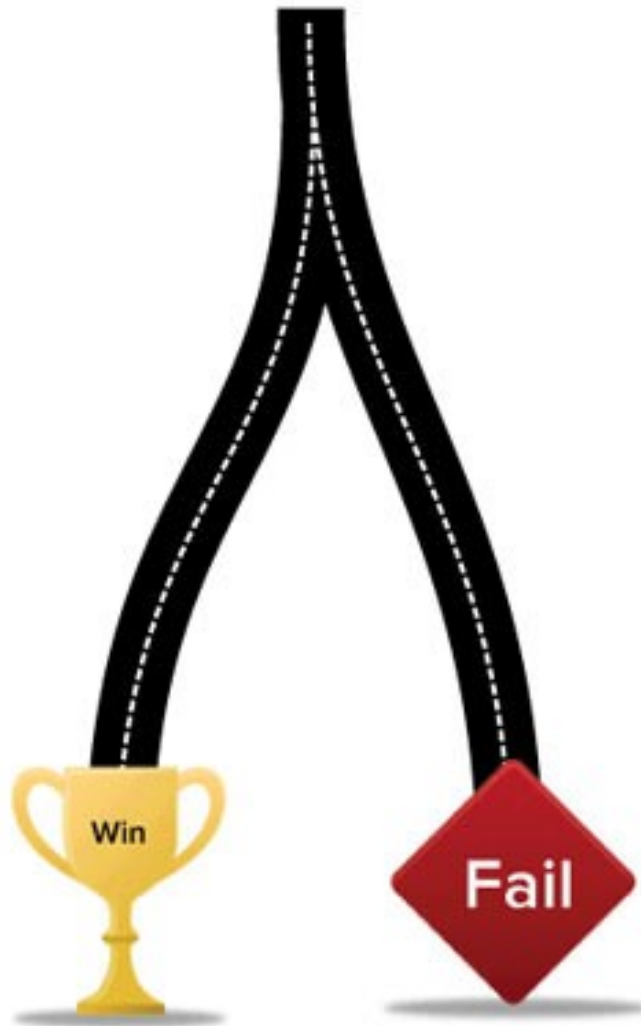
Humphry Davy

Własne błędy w rozumowaniu były przyczyną dwóch lat ciężkiej pracy, zanim w 1915 rozpoznałem je jako błędy (...). Ostatecznie wyniki wyglądają dość prosto, każdy inteligentny student zrozumie je bez wielkiego trudu.

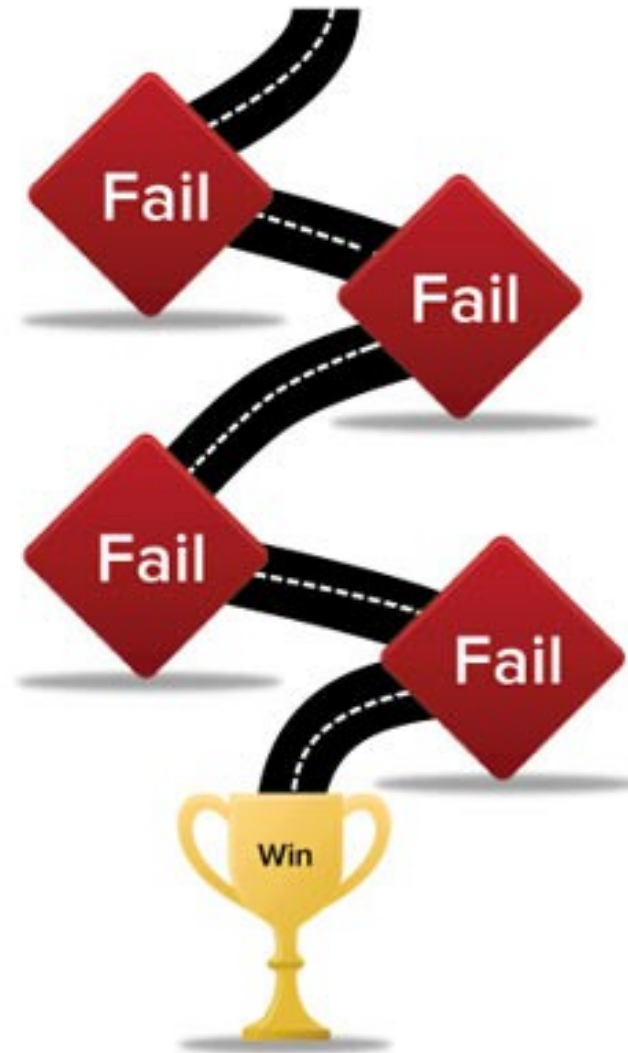
Albert Einstein

Errare humanum est

What Most People Think



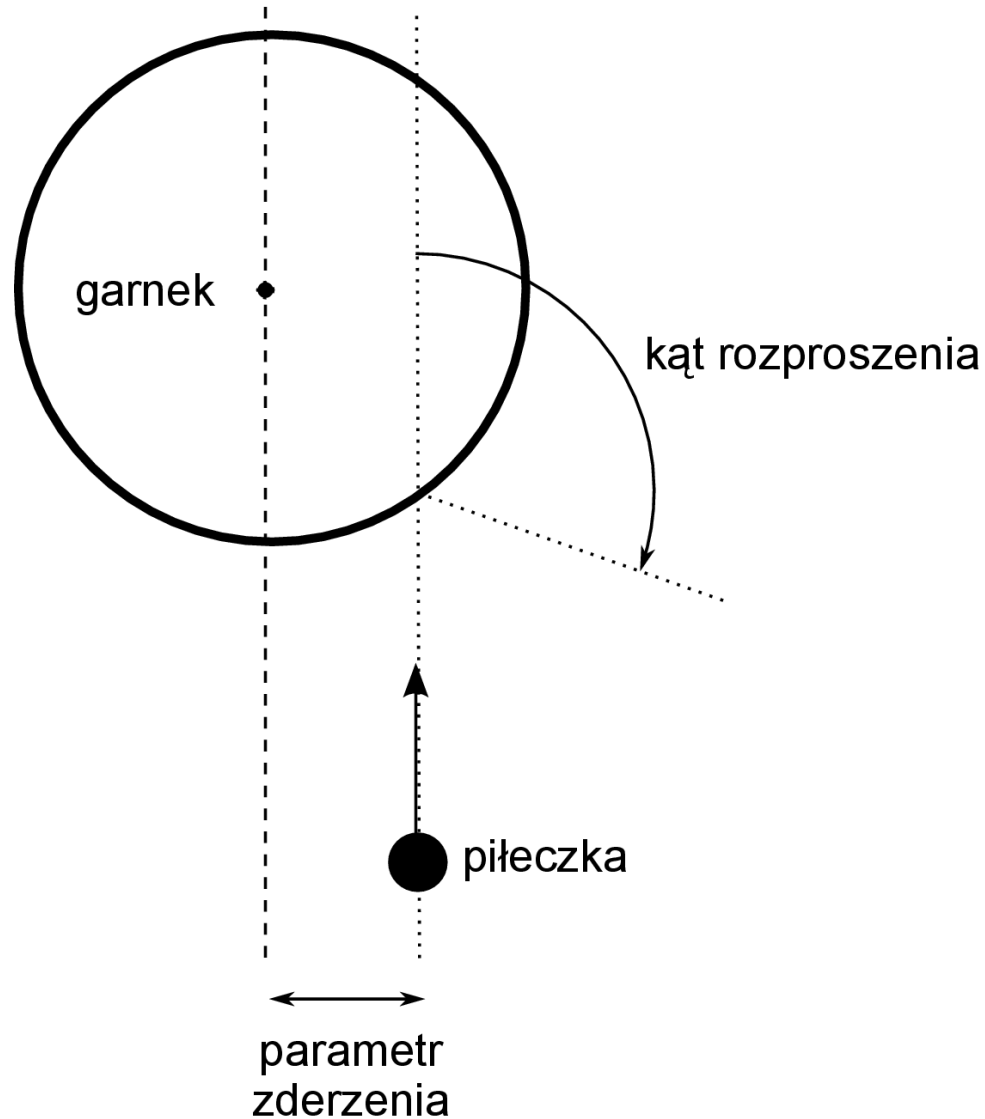
What Successful People Know



Zadanie kwalifikacyjne

Zadanie kwalifikacyjne

Cel: pomiar zależności kąta rozproszenia elastycznego na ciężkiej tarczy od parametru zderzenia



Obliczenia teoretyczne

Analiza danych

Przygotowanie danych

Pliki z danymi znajdują się na stronie:

<http://http://warsztaty.ifj.edu.pl/materials/gr2A.txt>

	A	B	C	D	
1	D=20cm				
2	d=4,3cm				
3		1	165	167	160
4		2	155	155	160
5		3	146	139	138
6		4	127	135	131
7		5	115	120	119
8		6	100	105	99
9		7	95	92	94



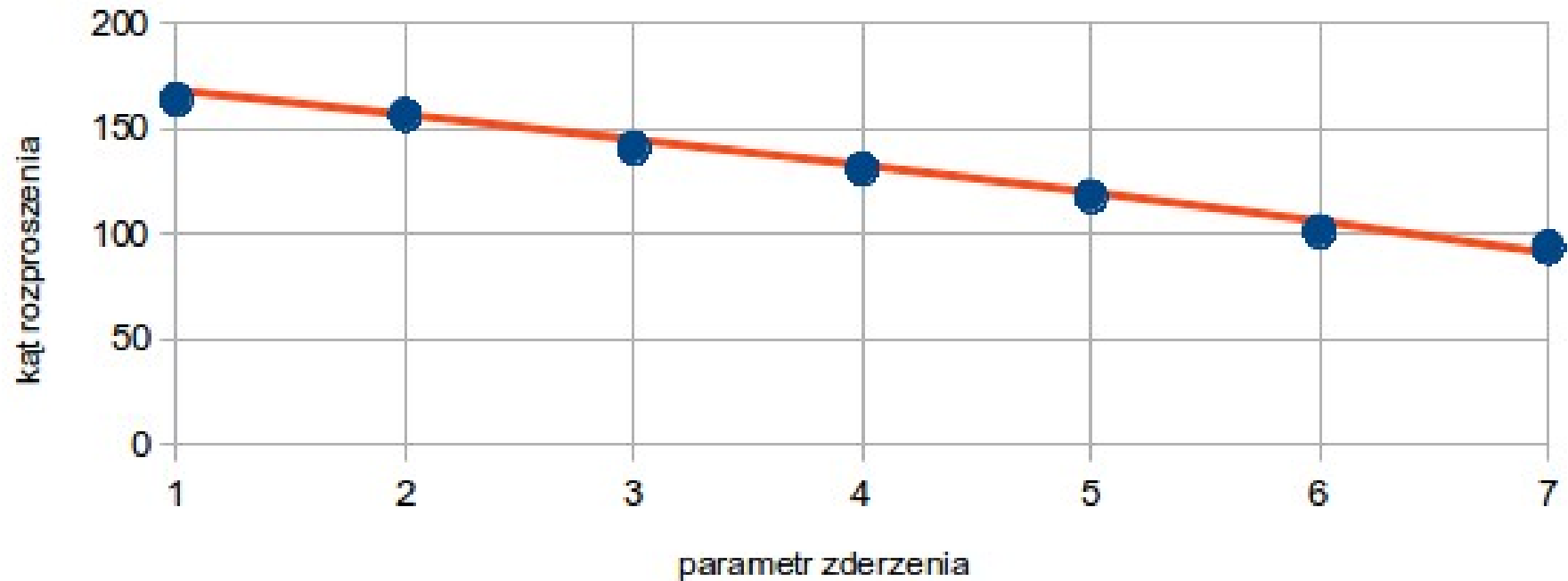
	A	B	C	D	E	F
1	D	20				
2	d	4,3				
3	b_bezwzgl	fi_1	fi_2	fi_3	fi_srednie	fi_theor_D
4	1	165	167	160	164	169
5	2	155	155	160	157	157

Wykres

Zależność kąta rozpraszania od parametru zderzenia

dla małej kulki ($d \ll D$)

— fi_theor_D ● fi_srednie



Kilka słów o...

niepewnościach pomiarowych

Dlaczego uwzględniamy błędy w pomiarach?

We wszystkich dziedzinach wiedzy doświadczalnej przy przejściu od jakościowego opisu zjawisk do badań ilościowych, mamy do czynienia z pomiarami. Po zakończeniu doświadczenia najważniejszym zadaniem jest dokładna ocena i pełne wykorzystanie wyników pomiarów.

S. Brandt

*Metody statystyczne i obliczeniowe
analizy danych*

Oszacowanie niepewności z jaką został wykonany pomiar jest konieczne do oceny jego przydatności.

Należy tak zaplanować pomiar, aby wyeliminować możliwie jak najwięcej źródeł błędów.

Niepewność przyrządu

- wynika z jakości użytego narzędzia
- **związany ze skalą lub**
- **klasą przyrządu przyrządu**

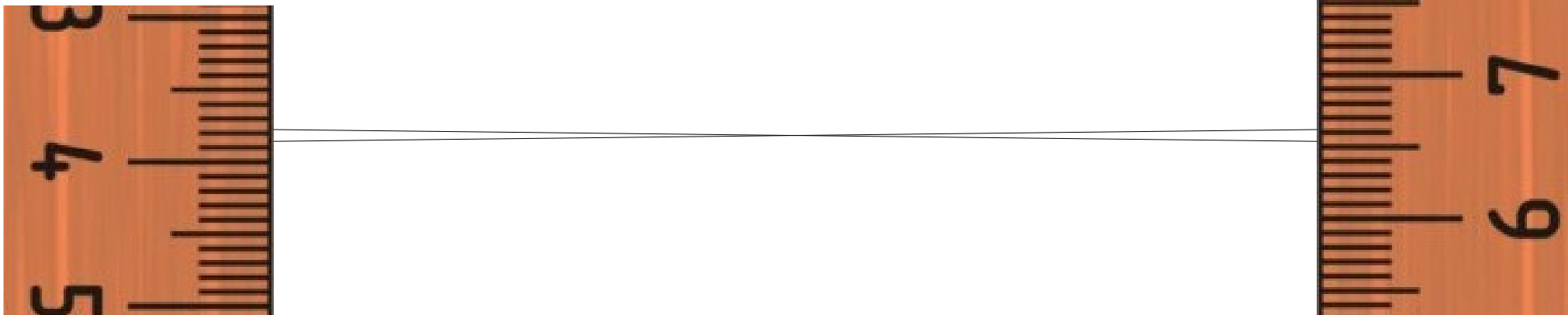
Klasa przyrządu – błąd wskazań przyrządu pomiarowego np. miernika elektrycznego.

Zwykle jest to liczba umieszczona na skali przyrządu, bez żadnego dodatkowego znaku (np. 0.5).

Wyraża ona dokładność wskazań przyrządu w % zakresu, w którym aktualnie ten przyrząd mierzy.



Przykład: uwzględnienie skali linijki przy pomiarze nachylenia prostej



Niepewności grube

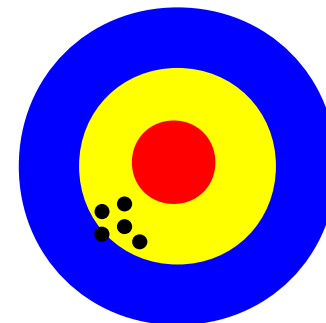
Pojawiają się w wyniku:

- pomyłki eksperymentatora
- niesprawności aparatury pomiarowej.

Zwykle są na tyle duże, że można je łatwo zauważyć i wyeliminować.

Niepewności systematyczne (I)

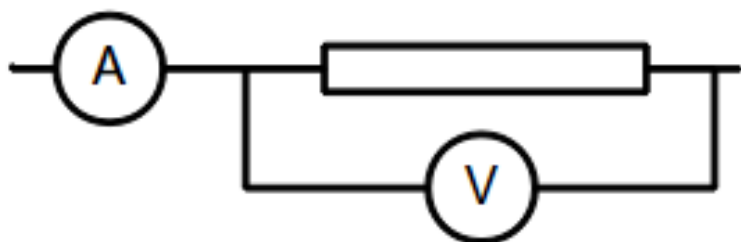
Wyniki przesuwane są w jedną stronę w stosunku do prawdziwej wartości.



Najczęstsze przyczyny:

- niewłaściwy sposób przeprowadzenia pomiaru (np. zły odczyt z przyrządu pomiarowego)
- złe przyrządy (np. nieskalibrowana luneta)
- nieprzemyślana metoda

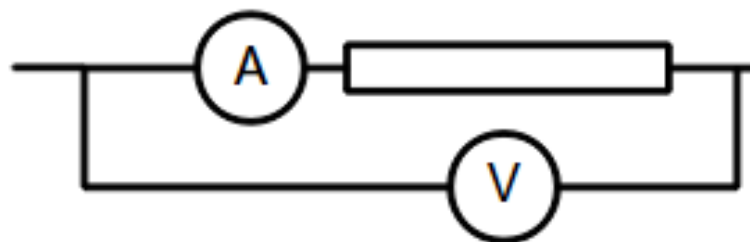
Przykład – pomiar oporu za pomocą woltomierza i amperomierza:



woltomierz podłączony równolegle do opornika
amperomierz podłączony do nich szeregowo

systematycznie

zawyżamy wartość prądu →
otrzymujemy **zaniżoną** wartość oporu



woltomierz podłączony równolegle do układu
amperomierz wpięty szeregowo do opornika

systematycznie

zawyżamy wartość napięcia →
otrzymujemy **zawyżoną** wartość oporu

Niepewności systematyczne (II)

Niepewności systematyczne są trudne do zauważenia i oszacowania!

W celu ich uniknięcia stosuje się:

- **starannie przemyślane metody pomiaru** – wybór metody:
 - która nie jest nimi obciążona (jeśli istnieje)
 - w której są one jak najmniejsze
- **stosowanie różnych metod pomiaru** w celu porównania wyników
- **pomiary względne** – tą samą metodą mierzymy dwie wielkości: tę którą chcemy zmierzyć oraz bardzo dobrze znaną

Niepewności przypadkowe

- zmieniają się od pomiaru do pomiaru
- powodują odchylenia od wartości prawdziwej zarówno w górę jak i w dół
- mogą być spowodowane przez wiele niezależnych przyczyn o porównywalnym znaczeniu

W przeciwieństwie do błędów grubych i systematycznych **można je oszacować w oparciu o metody statystyki.**

Szacowanie niepewności przypadkowych

Przykład:

pomiar 1	pomiar 2	pomiar 3	pomiar 4	pomiar 5
2	5	7	9	4

1. Obliczamy **średnią** ze wszystkich pomiarów: $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$
 $(2 + 5 + 7 + 9 + 4) / 5 = 5.4$

2. Błąd pomiaru wynosi: $S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$

a) obliczmy $(x_i - \bar{x})^2$ dla każdego z pomiarów:

	pomiar 1	pomiar 2	pomiar 3	pomiar 4	pomiar 5
wartość pomiaru	2	5	7	9	4
$(x_i - \bar{x})^2$	11.56	0.16	2.56	12.96	1.96

b) **błąd pojedynczego** wynosi: $S(x) = \sqrt{29.2/4} = 2.7$

c) **błąd ze wszystkich pomiarów**: $\overline{S(x)} = S(x) / \sqrt{n} = 1.2$

3. Ostateczny wynik zapisujemy jako: 5.4 ± 1.2

Zapis wyników

Zostawiamy **dwie cyfry znaczące** niepewności pomiarowej, np. **0.0023456** zapisujemy jako **0.0023**

Wynik pomiaru obliczamy tak aby wyznaczyć jedno miejsce dziesiętne dalej niż miejsce dziesiętne, na którym zaokrąglono niepewność pomiarową, a następnie zaokrąglamy do tego samego miejsca dziesiętnego, do którego wyznaczono niepewność pomiarową,

Przykład:

z obliczeń otrzymaliśmy **1.9980021234** z **błędem 0.0023**
zapisujemy całość jako 1.9980 ± 0.0023 .

Analiza danych – cd.

Przygotowanie danych – cd.

	A	B	C	D	E	F
1	D	20				
2	d	4,3				
3	b_bezwzgl	fi_1	fi_2	fi_3	fi_srednie	fi_theor_D
4	1	165	167	160	164	169
5	2	155	155	160	157	157



$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

	A	B	C	D	E	I	J
1	D	20					
2	d	4,3					
3	b_bezwzgl	fi_1	fi_2	fi_3	fi_srednie	fi_blad	fi_theor_D
4	1	165	167	160	164	2	169
5	2	155	155	160	157	2	157

Normalizacja oraz zależność dla dużych pocisków

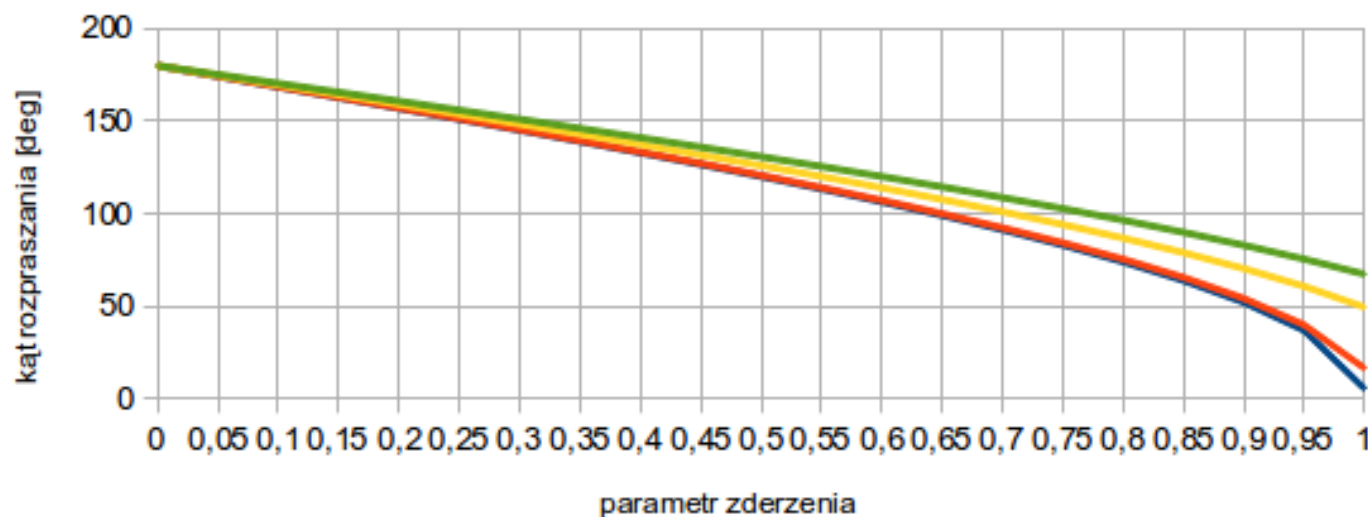
	A	B	C	D	E
1	R	r1	r2	r3	r4
2	1	0,001	0,01	0,1	0,2
3					
4	x	f(x)			
5		r/R = 0,001	r/R = 0,01	r/R = 0,1	r/R = 0,2
6	0	180	180	180	180
7	0,05	174,273763	174,3248309	174,7894975	175,2239691
8	0,1	168,5331644	168,6356819	169,5681829	170,4396163

$$f(x) = 180 - 360 * \text{ASIN}(\$A5 / (\$A\$2 + B\$2)) / \text{PI}()$$

Zależność kąta rozpraszania od parametru zderzenia

dla różnych stosunków promieni pocisków

— r/R = 0,001 — r/R = 0,01 — r/R = 0,1 — r/R = 0,2



Sprawozdanie

1. Wstęp teoretyczny:

- dyskusja zjawiska / procesu,
- przewidywania.

2. Opis doświadczenia:

- powinien pozwolić osobie postronnej na zbudowanie podobnego układu,
- przemyślane przeprowadzenie pomiaru (np. zagęszczenie pkt. pomiarowych w „newralgicznych” miejscach).

3. Wyniki pomiarów:

- czytelna tabela,
- odpowiednia ilość punktów pomiarowych,
- komentarze odnośnie warunków przeprowadzenia pomiarów,
- obliczenie wartości średniej oraz niepewności statystycznej.

4. Dyskusja wyników:

- zestawienie wyników eksperymentu z przewidywaniami teoretycznymi (najlepiej w formie wykresu),
- skomentowanie zgodności / różnic,
- dyskusja niepewności systematycznych.

5. Podsumowanie:

- co zostało zmierzone,
- w jakim stopniu zgadza się z przewidywaniami.