

Fizyka najcenniejszych klejnotów



Kamienie szlachetne

« wykorzystywane w jubilerstwie najtwardsze odmiany niektórych minerałów charakteryzujące się piękną barwą, dużą przezroczystością, żywym połyskiem i dużym współczynnikiem załamania światła »

Słownik Języka Polskiego



Kamienie szlachetne



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

„Wielka Czwórka”: **diamant (10), szafir (9,0), rubin (9,0), szmaragd (8,0)**

twierdź > 7,0 w skali Mohsa odporności na zarysowanie - od 0 do 10

Kamienie szlachetne i ozdobne - **minerały i skały powstałe w warunkach naturalnych**

Fizyka najcenniejszych klejnotów:

- SiO_2 (szkło)
- Al_2O_3 (korund)
- ZrO_2 (cyrkonia)
- C (diamant)
- SiC



Kamienie szlachetne

« (...) odmiany niektórych minerałów charakteryzujące się piękną barwą (...) »

Czy można je rozpoznać po kolorze?

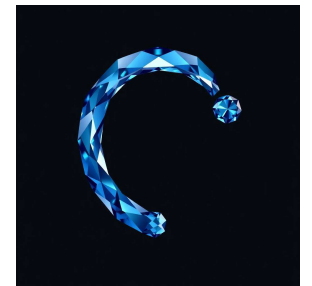


Kamienie kolorowe

Co oznacza KOLOR?



Odbicie światła od śnieżynki



Kamienie szlachetne

Jak fizyka rozpoznaje **kolor** ?

Spektrometrem



Kamienie szlachetne

Świecenie kolorami – luminescencja



W świetle UV oraz lasera fioletowego



Kamienie szlachetne

Świecenie kolorami – luminescencja

Nie zawsze świeci



W fiolecie, zieleni, żółci, czerwieni

Pomiary widma luminescencji spektrometrem



ZAPYTAJ
FIZYKA

**WYDZIAŁ
FIZYKI**
UNIWERSYTET
WARSZAWSKI

Nie wszystko świeci, ale...



Kamienie szlachetne



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

« (..) minerałów charakteryzujące się piękną barwą, **dużą przezroczystością** (...) »

Co czyni pięknymi kryształy **przezroczyste** ?



Zapytaj Fizyka 11 grudnia 2025 r.

Kamienie szlachetne



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

« (..) minerałów charakteryzujące się piękną barwą, **dużą przezroczystością** (...) »

Co czyni pięknymi kryształy **przezroczyste** ?

Domieszki



<https://www.nobbier.com/wp-content/uploads/2025/01/yellow-diamond-gemstone.jpg>



https://www.naturaldiamonds.com/wp-content/uploads/2025/10/The-Blue-Moon-of-Josephine_Courtesy-Christies.jpg

Zapytaj Fizyka 11 grudnia 2025 r.



Kamienie szlachetne

Kryształy przezroczyste - czyste chemicznie, bez domieszek

Kryształy kolorowe - zawierają **domieszki innych atomów**,
odpowiedzialnych za transmisję wybranych kolorów

Al_2O_3 Fe, Ti, Cr - niebieski (**szafir**), Cr – czerwony (**rubin**)

diamant N – odcień żółty, B – niebieski („Hope”), Cr, H - zielony



<https://www.nobbier.com/wp-content/uploads/2025/01/yellow-diamond-gemstone.jpg>



https://www.naturaldiamonds.com/wp-content/uploads/2025/10/The-Blue-Moon-of-Josephine_Courtesy-Christies.jpg



Kamienie szlachetne



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

« (..) minerałów charakteryzujące się piękną barwą, **dużą przezroczystością** (...) »

Co czyni pięknymi kryształy **przezroczyste** ?

Kształt



<https://jewelrydesigns.com/wp-content/uploads/Diamond-Shapes.jpg>



Zapytaj Fizyka 11 grudnia 2025 r.



Kamienie szlachetne



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

Bonus dla znawców fizyki: **zwiększenie odbicia wstecznego**

**poprzez stworzenie warunków do
całkowitego wewnętrznego odbicia światła w kryształach**



Kamienie szlachetne

Klucz do zrozumienia własności kryształów:

Współczynnik załamania światła, n



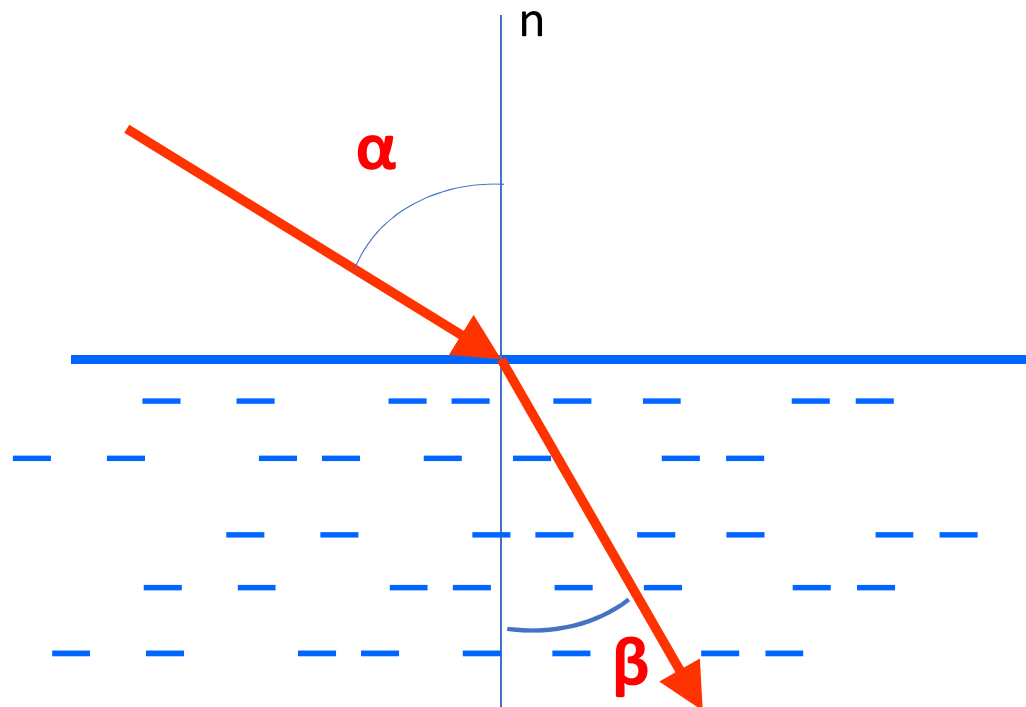
Współczynnik załamania światła



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$



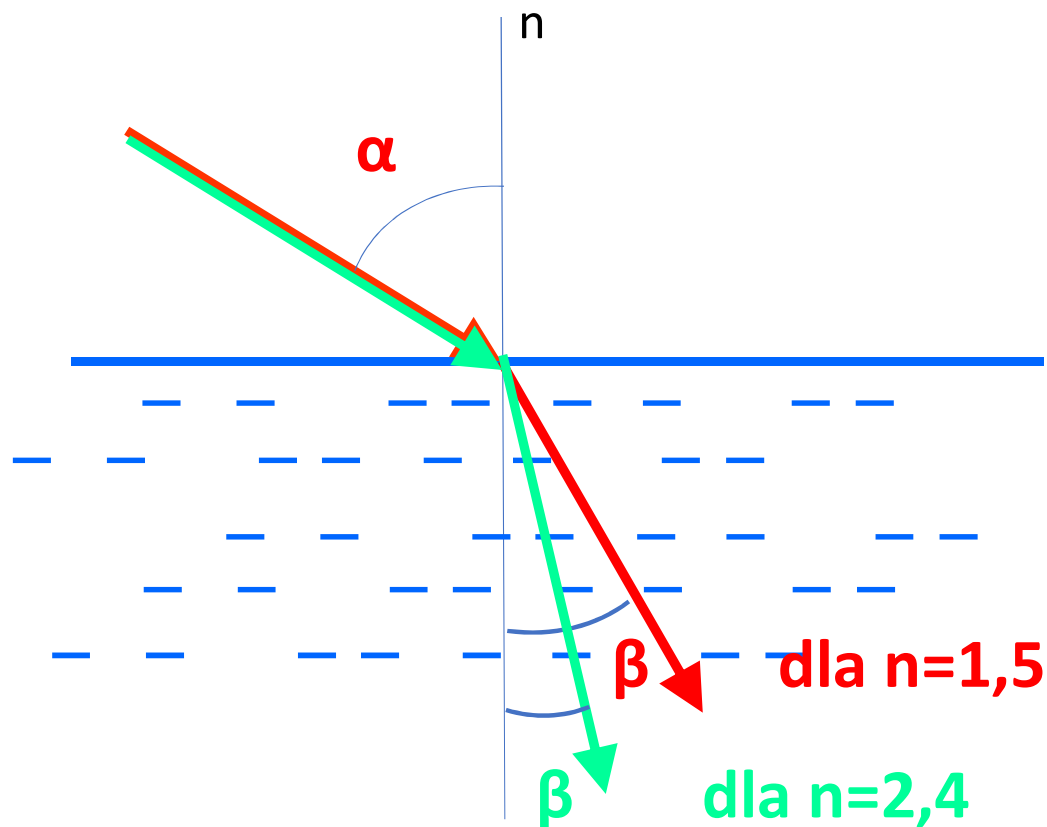
Współczynnik załamania światła



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$



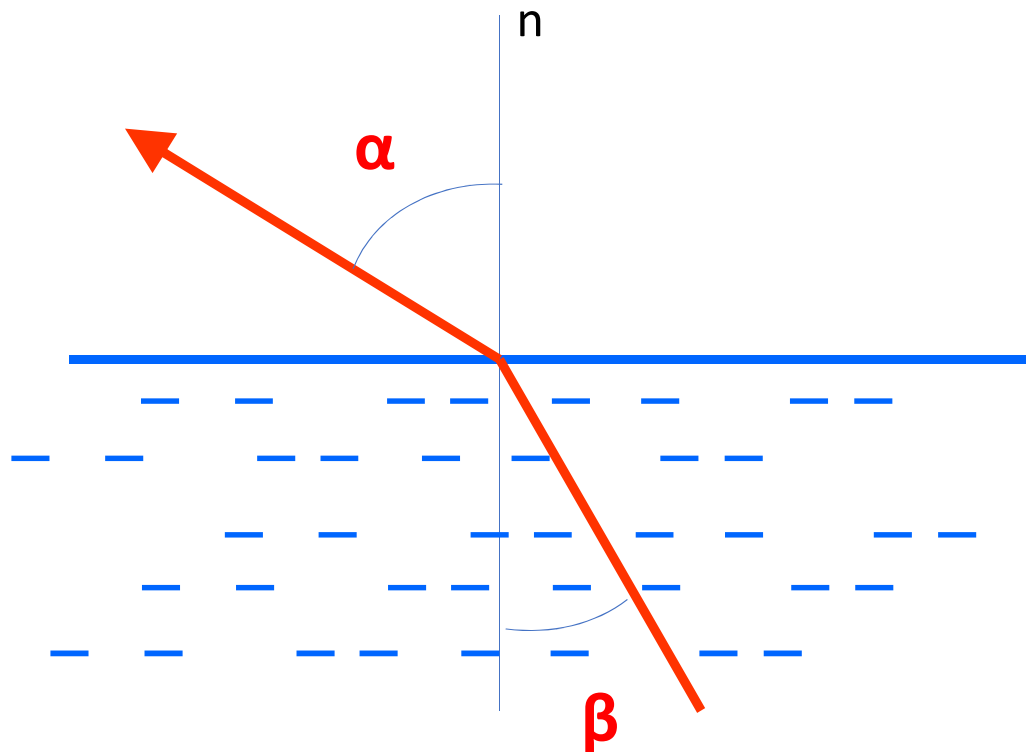
Współczynnik załamania światła



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$



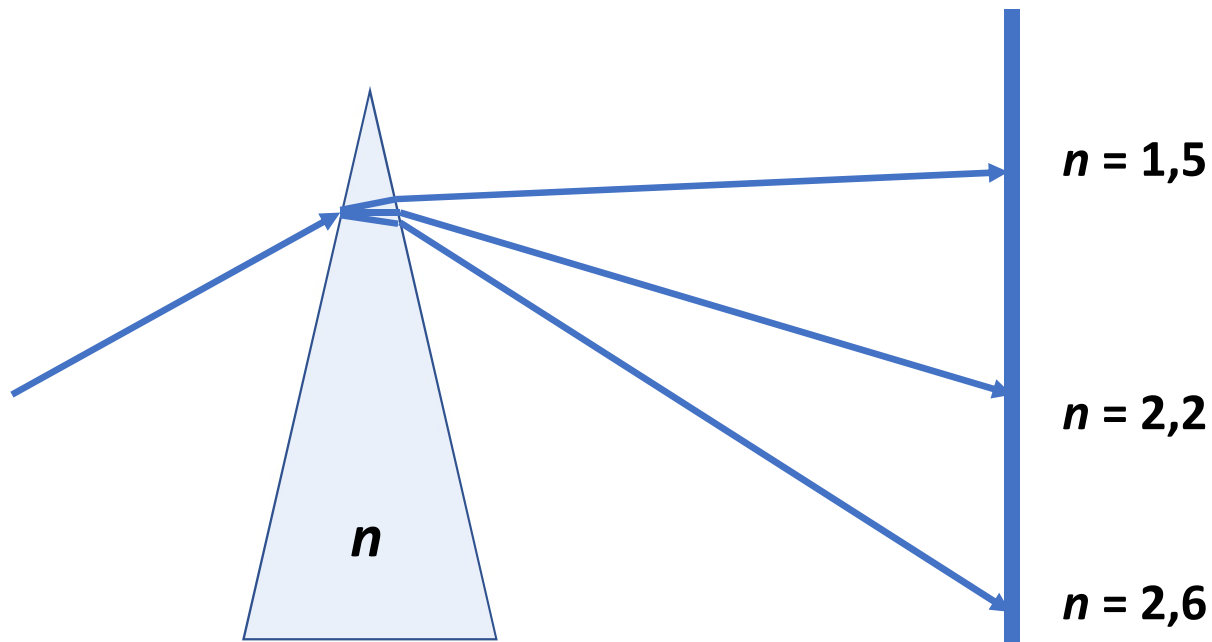
Kamienie szlachetne



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

Jak n wpływa na odchylenie toru światła w pryzmatach z różnych kryształów

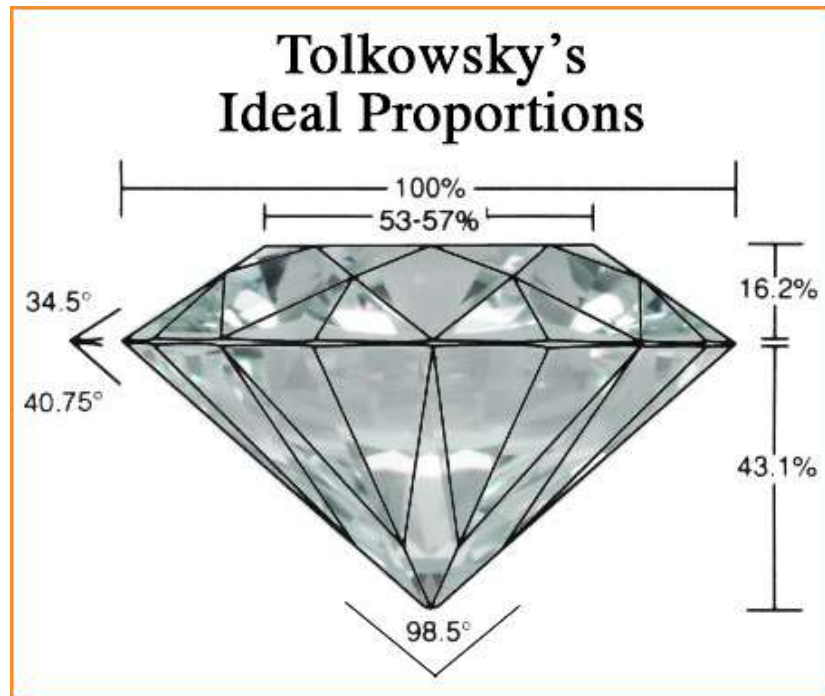


Zapytaj Fizyka 11 grudnia 2025 r.



Szlif brylantowy diamentu

Marcel Tolkowski, 1919 rok – 21-letni szlifierz - matematyk



https://skarbiec.biz/wp-content/uploads/ideal_proportions.jpg

Zapytaj Fizyka 11 grudnia 2025 r.

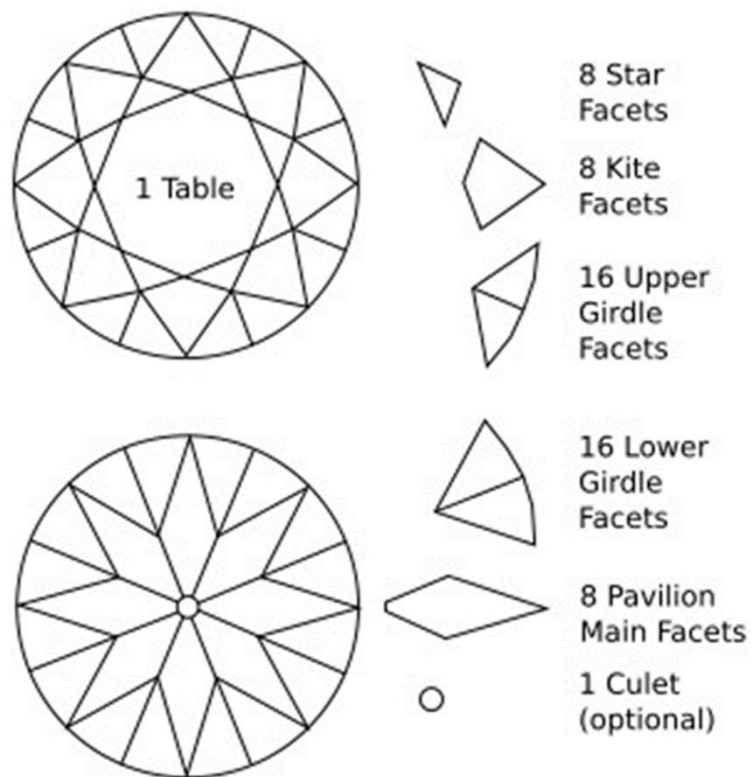


Brylant - klasyczny szlif



ZAPYTAJ
FIZYKA

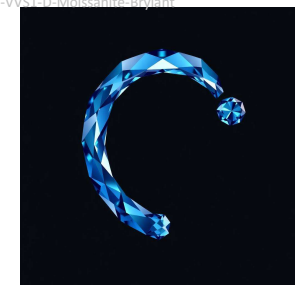
WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski



<https://www.polished-diamonds.co.uk/blog/diamond-cutting-process>



<https://a.allegroimg.com/s512/1174b5/605377ac4d2496706afa753f5198/Moissanit-1-5ct-7-5mm-VVS1-D-Moissanite-Brylant>

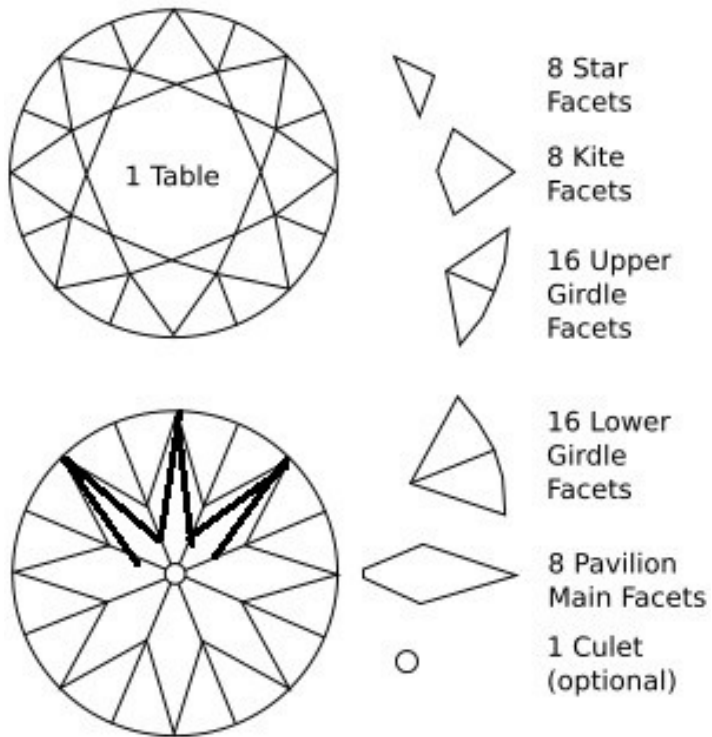


Brylant - brylantowy szlif



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski



<https://www.polished-diamonds.co.uk/blog/diamond-cutting-process>



Old European



Round Brilliant

<https://taylorandhart.com/diamond-guidance/advanced-diamond-guidance/vintage-diamond-cuts>



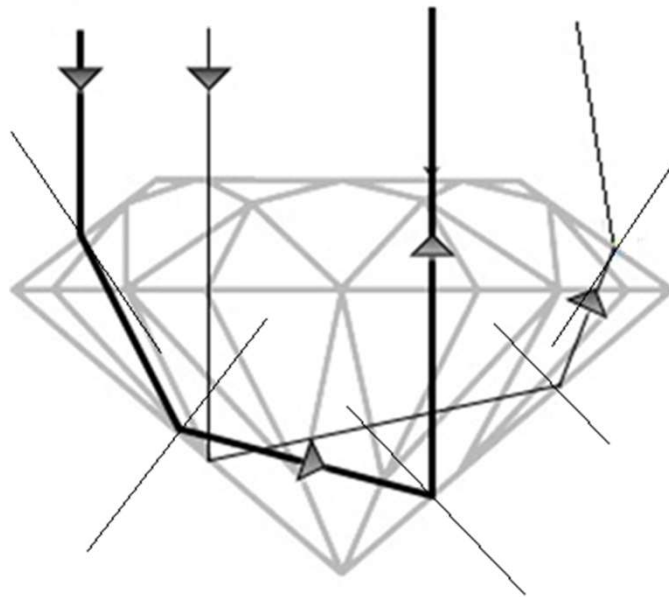
Całkowite wewnętrzne odbicie



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

w brylancie (= oszlifowany szlifem brylantowym diament)



Brylant niedoskonały



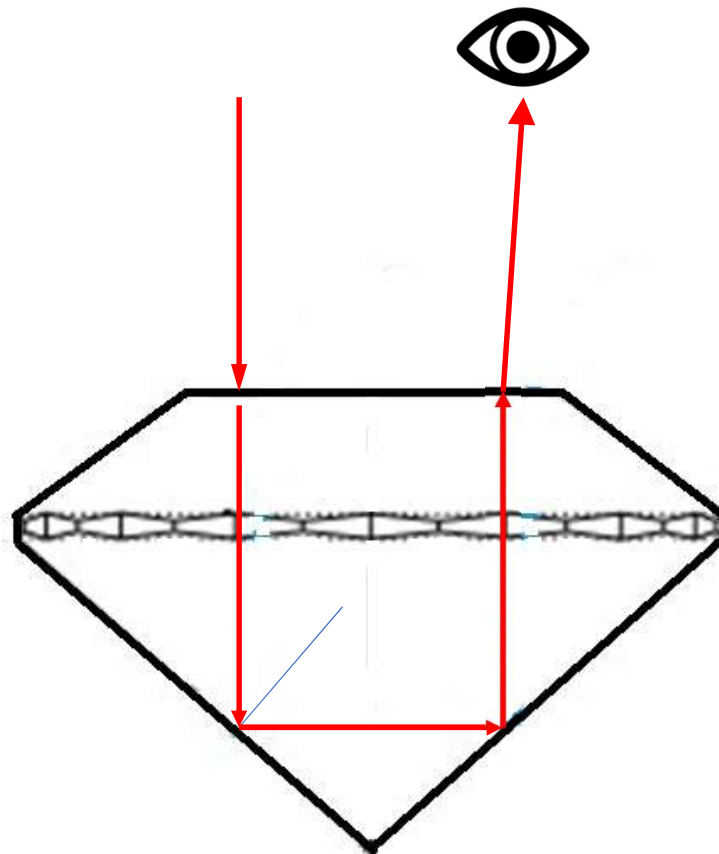
<https://aclari.pl/cms/assets/Uploads/szlif-diamentow-800x300.jpg>



<https://www.pearl.com/pearl-education/diamond-cut-quality>



Brylant idealny



Metoda ciemnego pola
Krzysztofa Karpierza

$$n = 2,42$$

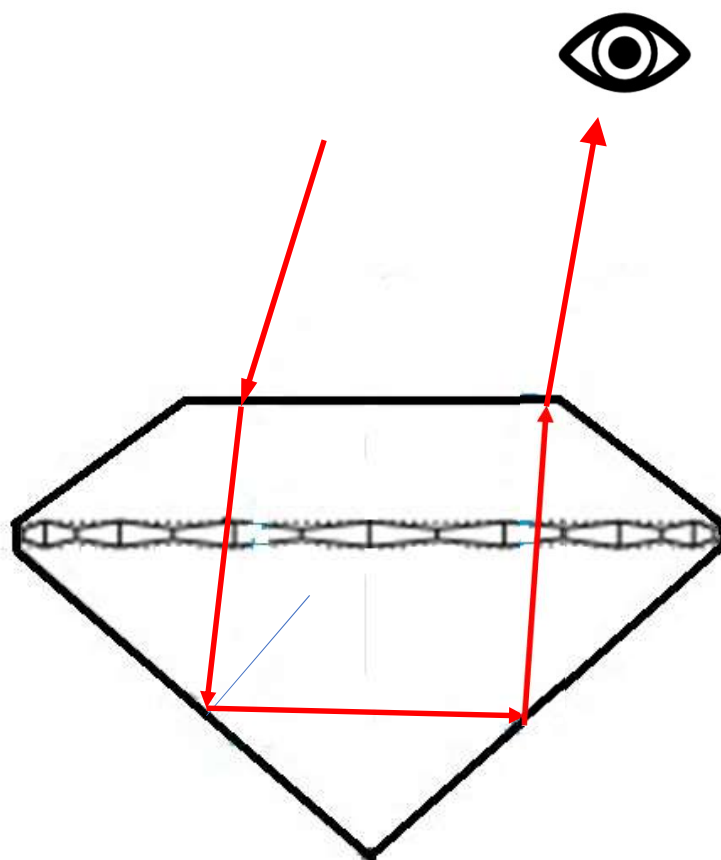


Brylant idealny



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski



$$n = 2,42$$

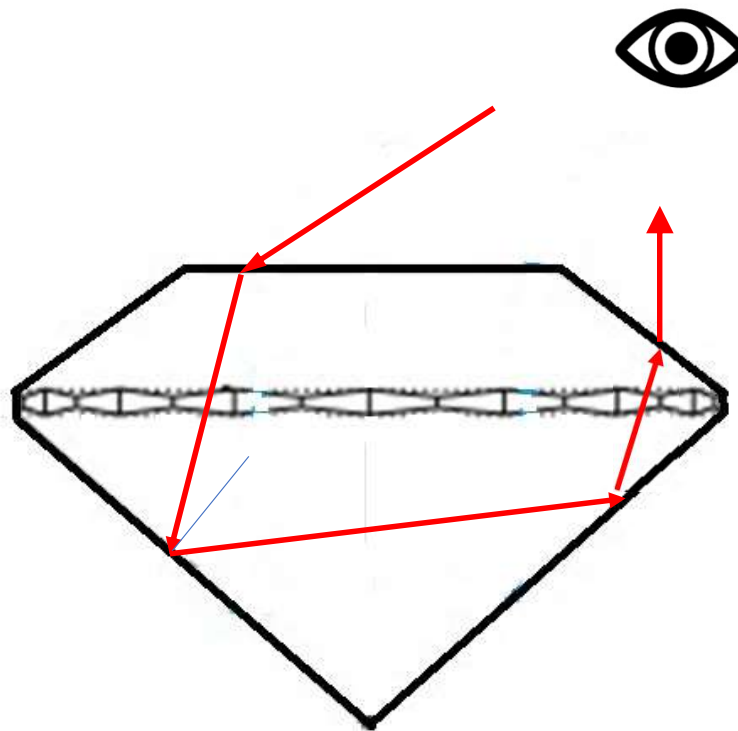


Brylant idealny

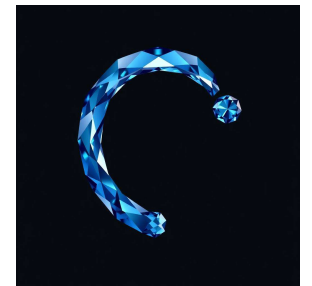


ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski



$$n = 2,42$$

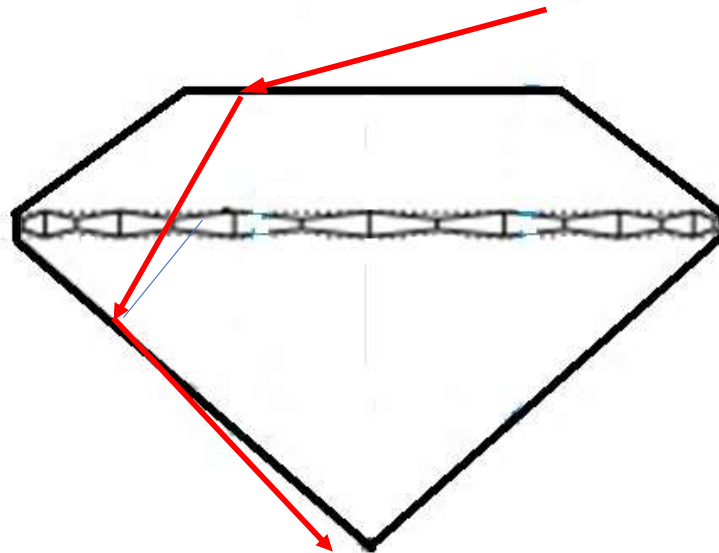


Brylant idealny



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski



$$n = 2,42$$

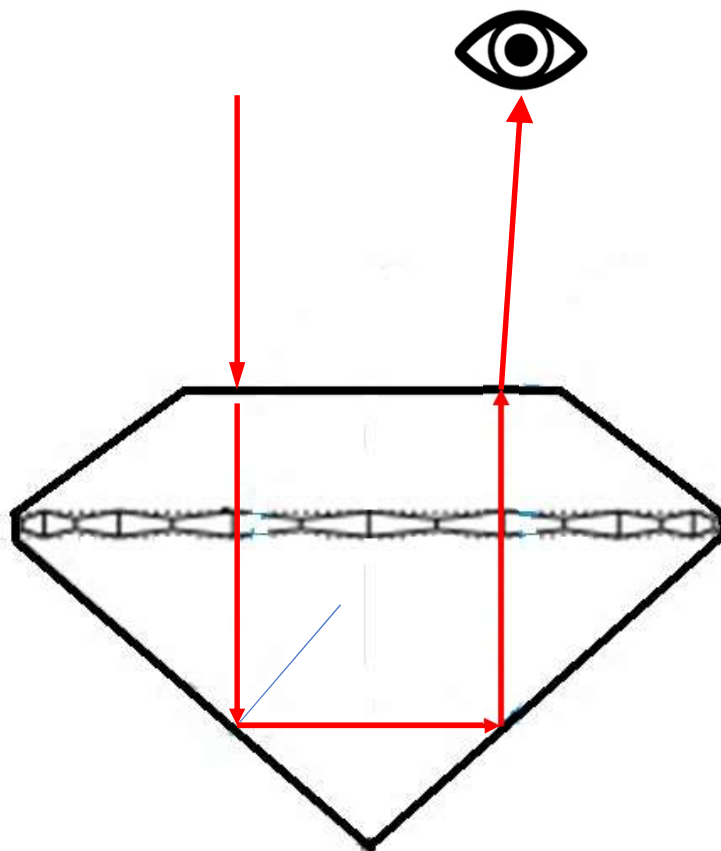


Szafir ze szlifem brylantowym



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski



$$n = 1,77$$

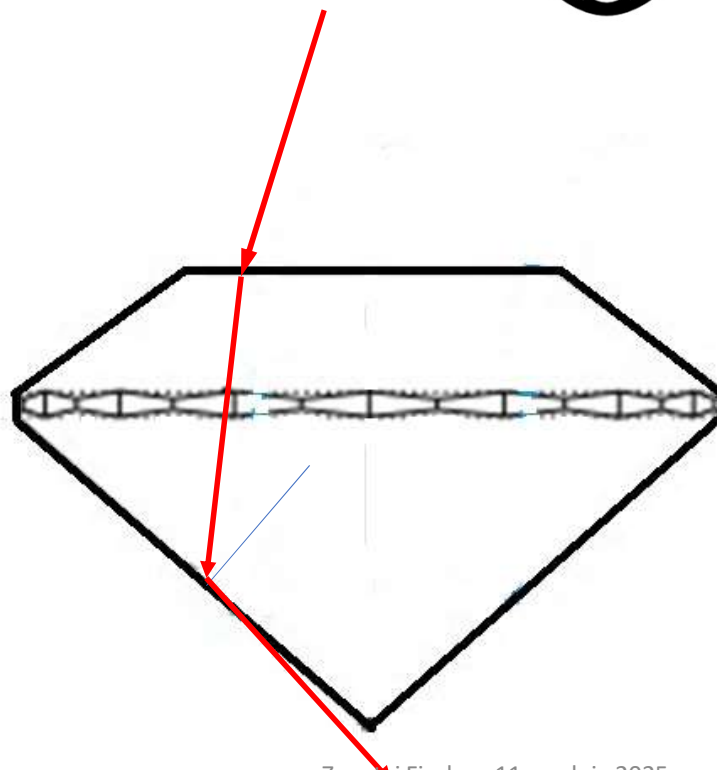


Szafir ze szlifem brylantowym



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski



$$n = 1,77$$

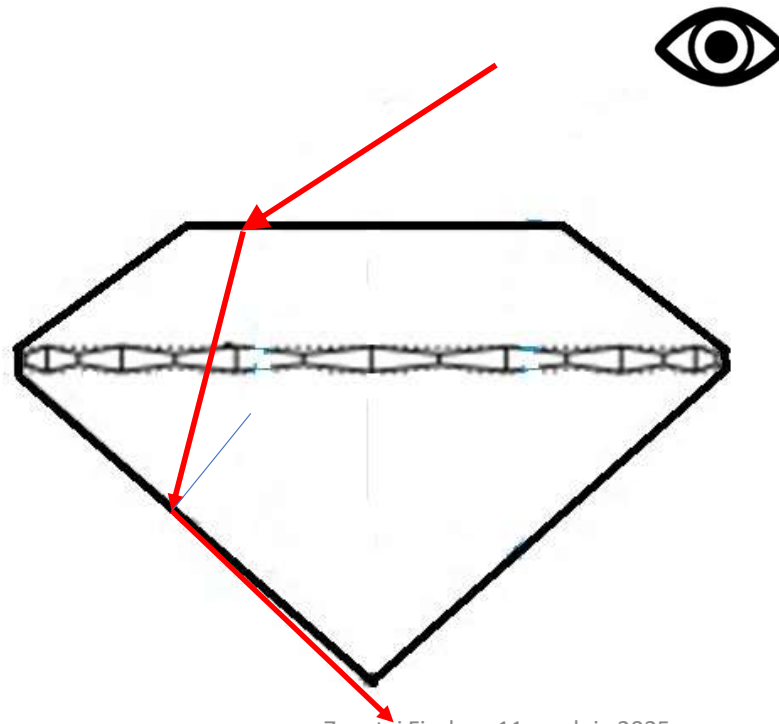


Cyrkonia ze szlifem brylantowym



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski



$$n = 2,18$$

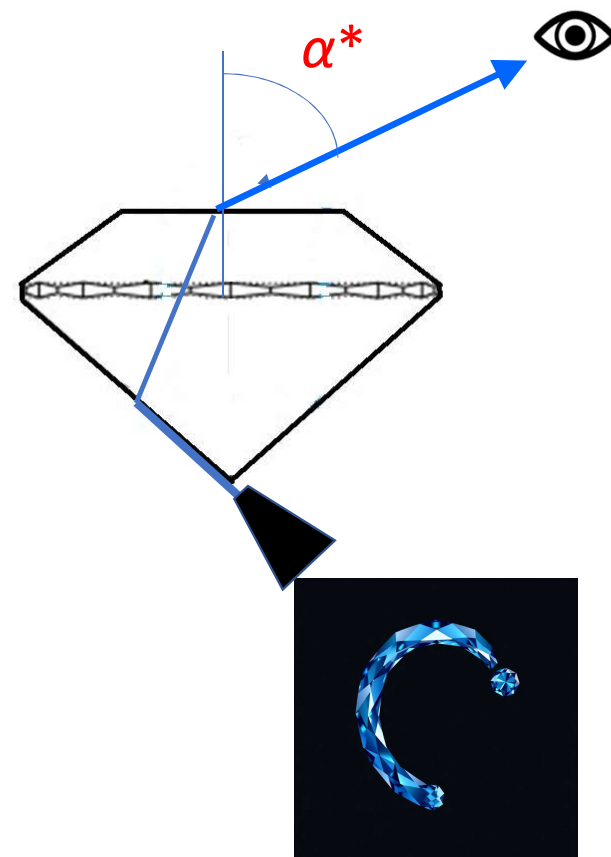
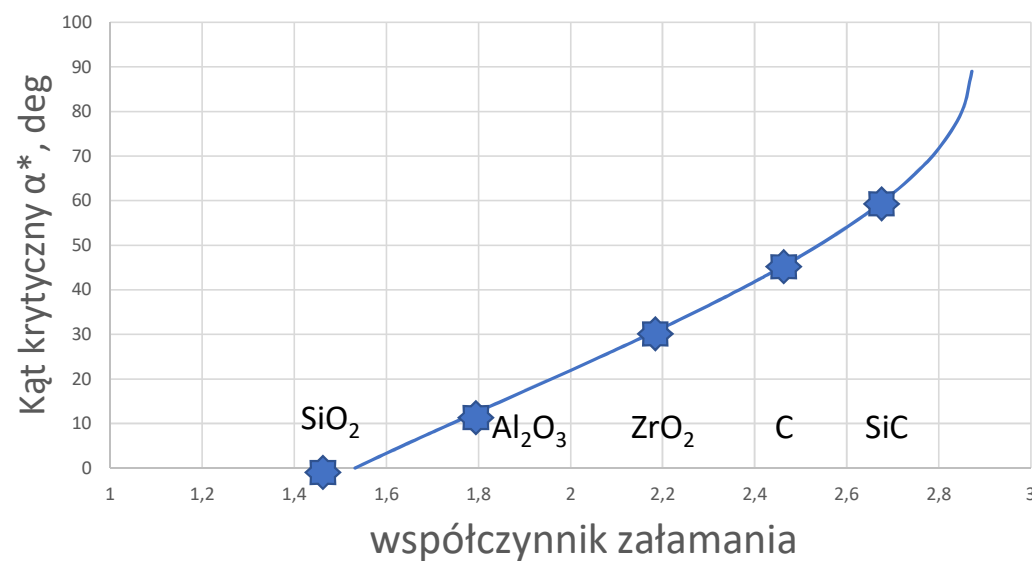


Krytyczny kąt obserwacji kamieni



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski





ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

Test ciemnego pola kamieni szlachetnych

Krzysztofa Karpierza



Szkło i szafir



Szkło, cyrkonia, SiC



Piątka minerałów

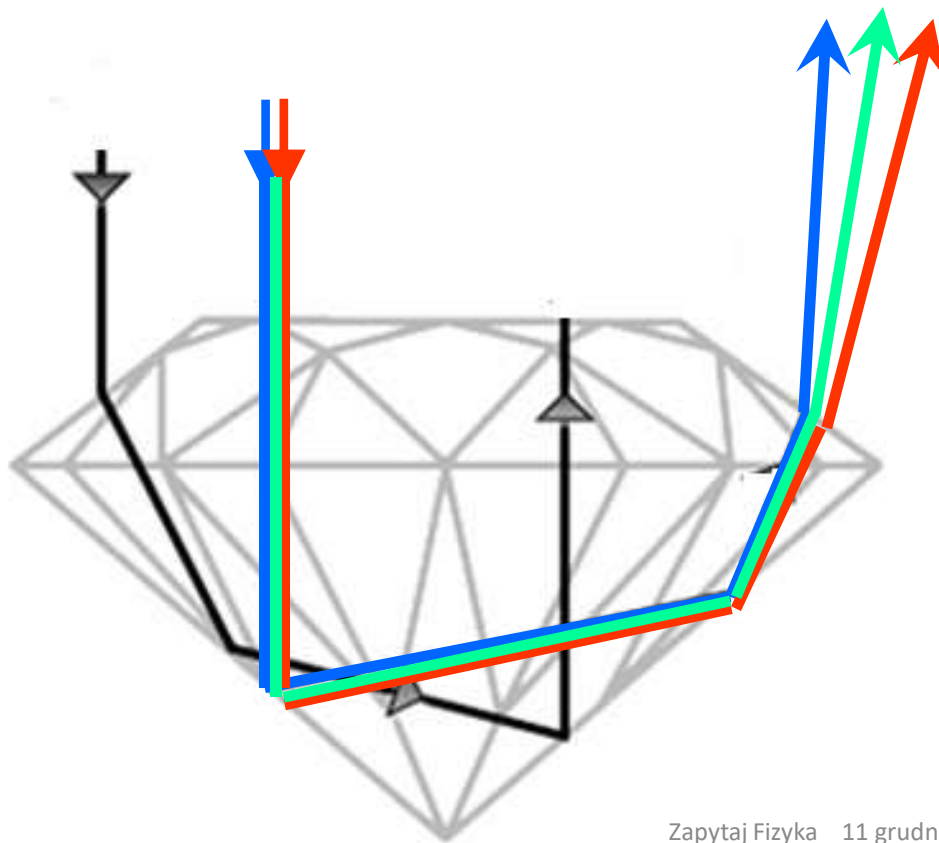
Skrzenie się kamieni szlachetnych



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

« (..) minerałów charakteryzujące się piękną barwą, dużą przezroczystością, **żywym połyskiem** (...) »



Dyspersja
– różne załamanie światła o
różnych kolorach



Kamienie szlachetne - dyspersja



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

- $\Delta_{SiO_2} = 0,020$

$$n = 1,500$$

- $\Delta_{Al_2O_3} = 0,018$

$$n = 1,770$$

- $\Delta_{ZrO_2} = 0,062$

$$n = 2,165$$



- $\Delta_C = 0,044$

$$n = 2,418$$

- $\Delta_{SiC} = 0,104$

$$n = 2,650$$



Skrzenie się brylantów

Który to brylant?



<https://sc04.alicdn.com/kf/Had820fe9b2c74bbb8cd59857a492ee83S/226961875/Had820fe9b2c74bbb8cd59857a492ee83S.jpg>

Zapytaj Fizyka 11 grudnia 2025 r.



Kamienie - współczynnik załamania



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

« (..) minerałów charakteryzujące się piękną barwą, dużą przezroczystością, żywym połyskiem i **dużym współczynnikiem załamania światła** (...) »

- $n_{SiO_2} = 1,500$

- $n_{Al_2O_3} = 1,770$

- $n_{ZrO_2} = 2,165$



- $n_C = 2,418$

- $n_{SiC} = 2,650$

Odblask



Kamienie - gęstość

Ciężar

- $\rho_{SiO_2} = 2,65 \text{ g/cm}^3$

$$M_{SiO_2} [\text{ct}] = 0,71 \cdot (0,1539 \cdot \Phi [\text{mm}])^3$$

- $\rho_{Al_2O_3} = 4,0 \text{ g/cm}^3$

$$M_{Al_2O_3} [\text{ct}] = 1,14 \cdot (0,1539 \cdot \Phi [\text{mm}])^3$$

- $\rho_{ZrO_2} = 5,8 \text{ g/cm}^3$

$$M_{ZrO_2} [\text{ct}] = 1,65 \cdot (0,1539 \cdot \Phi [\text{mm}])^3$$

-  $\rho_C = 3,52 \text{ g/cm}^3$

$$M_C [\text{ct}] = 1,00 \cdot (0,1539 \cdot \Phi [\text{mm}])^3$$

- $\rho_{SiC} = 3,22 \text{ g/cm}^3$

$$M_{SiC} [\text{ct}] = 0,91 \cdot (0,1539 \cdot \Phi [\text{mm}])^3$$



Kamienie – twardość Mohsa



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

« (..) **najtwardsze odmiany** niektórych minerałów charakteryzujące się piękną barwą, dużą przezroczystością, żywym połyskiem i dużym współczynnikiem załamania światła (...) »



$$\bullet Mo_C = 10,0$$

$$\bullet Mo_{SiC} = 9,5$$

$$\bullet Mo_{Al_2O_3} = 9,0$$

$$\bullet Mo_{ZrO_2} = 8,5$$

$$\bullet Mo_{SiO_2} = 7,0$$

Twardość



Kamienie – przewodnictwo cieplne



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

- $\lambda_{SiO_2} = 0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

- $\lambda_{Al_2O_3} = 30 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

- $\lambda_{ZrO_2} = 3 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

- $\lambda_C = 2600 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

- $\lambda_{SiC} = 2000 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$



Czy to prawdziwy brylant?



ZAPYTAJ
FIZYKA

WYDZIAŁ
FIZYKI
UNIwersytet
Warszawski

Kryształ↓	parametr →	współczynnik załamania, n	dyspersja, Δ	gęstość, g/cm ³	twardość, Mo	przewodność cieplna, W/(m·K)
	cecha →	Odblask, Test ciemnego pola KK	skrzywienie się	ciężar	zarysowanie	diamond tester
 C		2,42	0,044	3,52	10,0	2600
SiC		2,65	0,104	3,22	9,5	2000
ZrO ₂		2,16	0,062	5,80	8,5	3
Al ₂ O ₃		1,77	0,018	4,00	9,0	30
SiO ₂		1,50	0,020	2,65	7,0	0,02

Zapytaj Fizyka 11 grudnia 2025 r.



Fizyka najcenniejszych klejnotów

- **Anita Gardias**
- **Adam Kubiela**
- **Urszula Podgórska**
- **Mateusz Wolniewicz**
- **Krzysztof Karpierz**
- **po raz pierwszy na scenie: Mateusz Wróblewski**
- Pracownia Pokazów Wykładowych Centrum Dydaktycznego Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

