

# Bevezetés a modern optikába

**II. BSc fizikus hallgatóknak**

6.

Szivárvány, korona és a glória



# Fő- és mellékszivárvány



# Fő- és mellékszivárvány



# Fő- és mellékszivárvány



Horváth Ákos felvételei

# Járulékos ívek



Horváth Ákos felvétele

# Járulékos ívek



## Történeli előzmények

Arisztotelész (Kr. e 384-322) – Felhőkön való visszaverődés

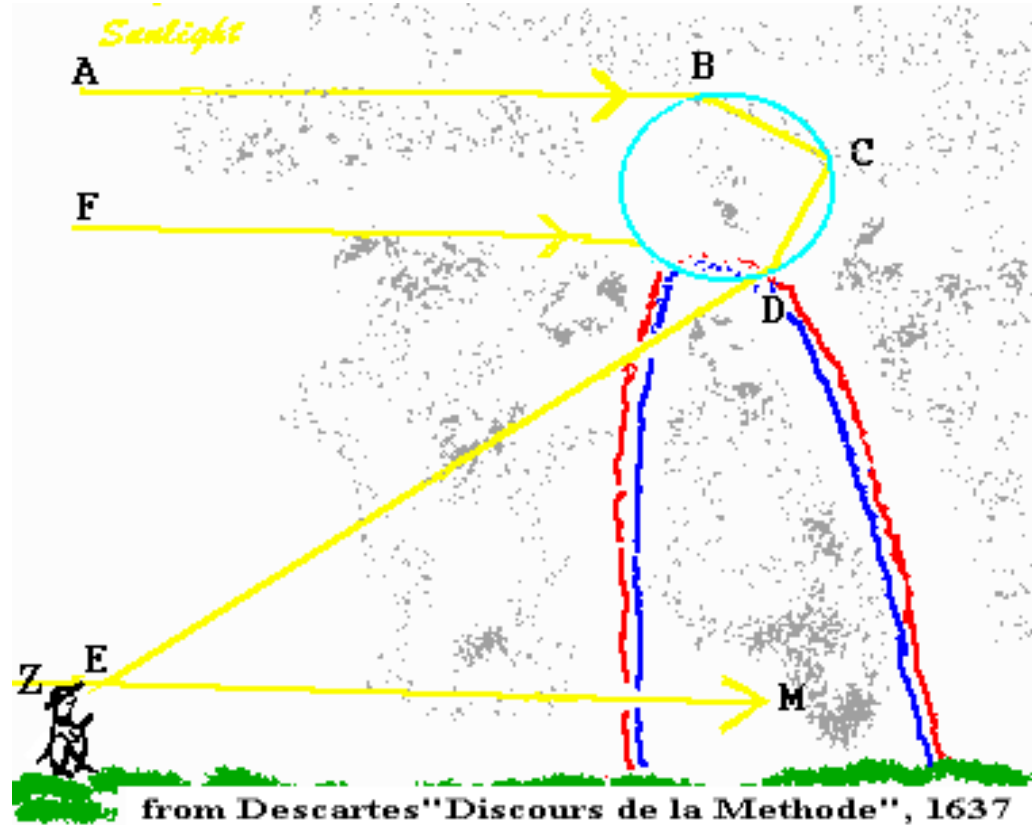
Aphrodisias Alexander: Kr. 200 – Sötét sáv

Roger Bacon: 1266 – Az első szögmérés

Theodoric Freiberg: ~ 1500 – Első kísérleti magyarázat üvegpalackkal

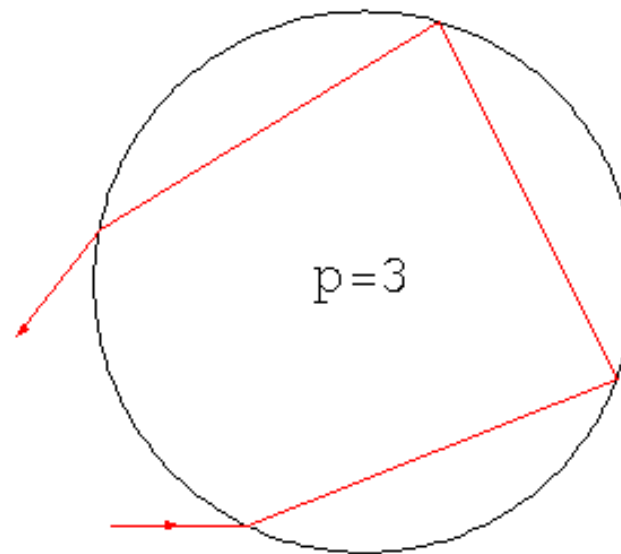
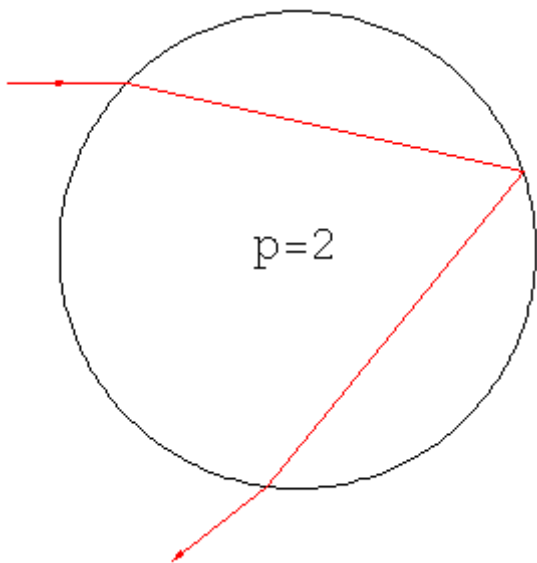
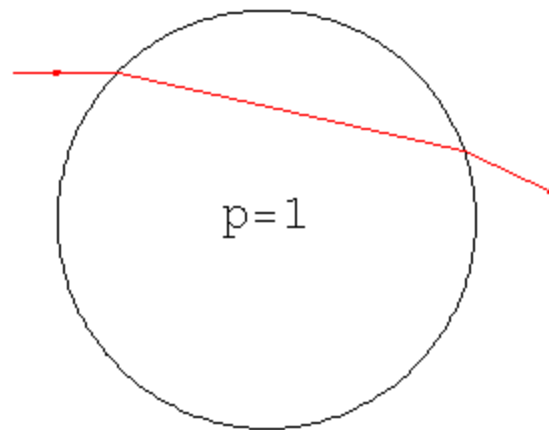
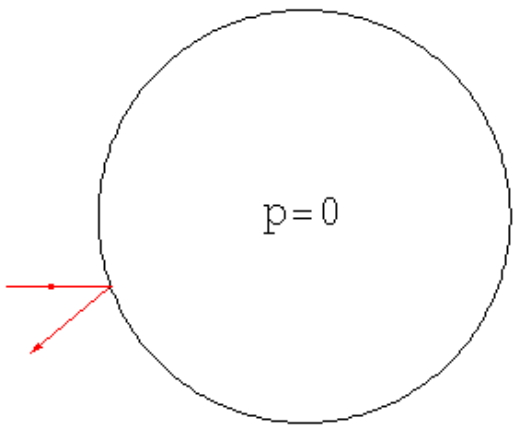
Rene Descartes: 1637 – Geometriai optika

# Rene Descartes: geometriai optika (1637)





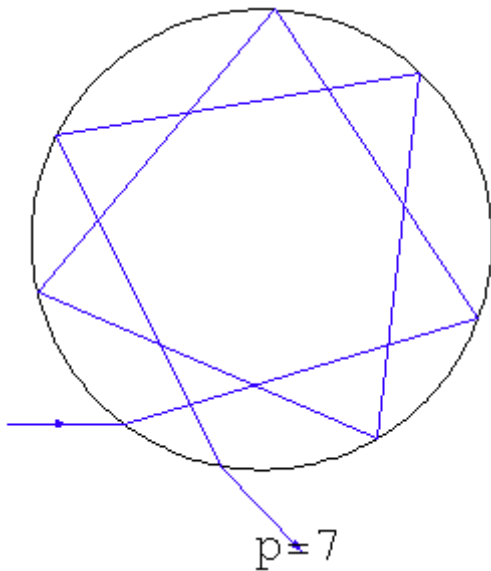
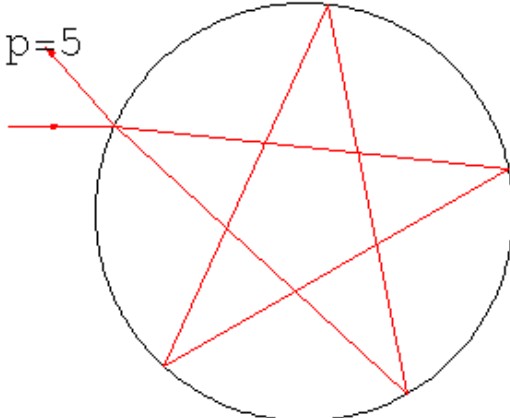
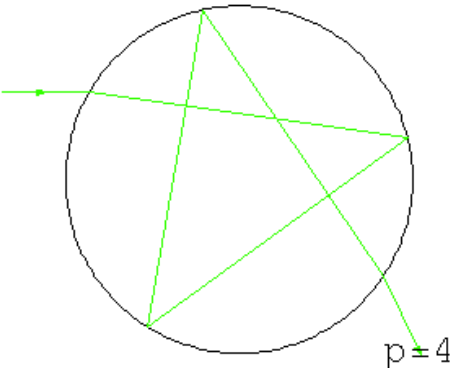
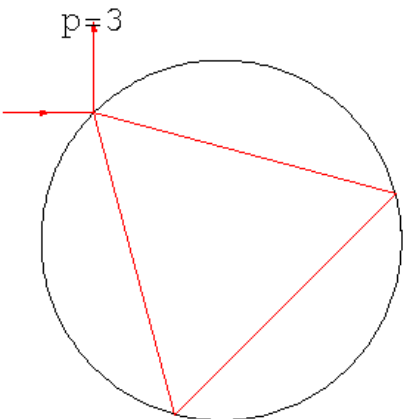
## Húrok száma = p



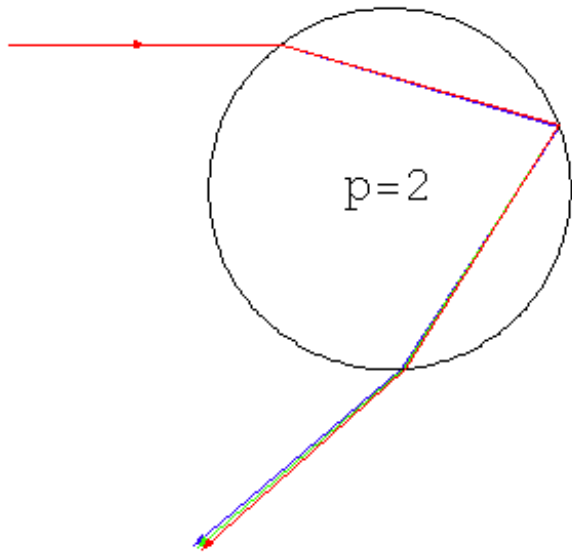
főszivárvány:  $p = 2$

mellékszivárvány:  $p = 3$

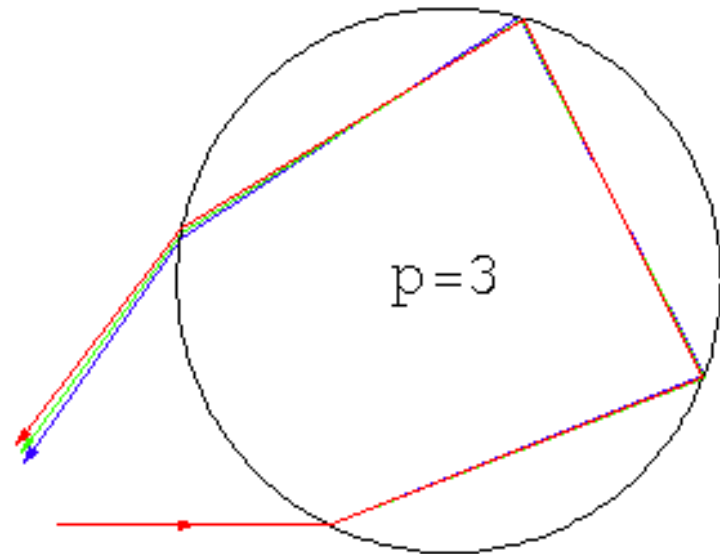
# Lehetséges sugármenetek



## A fehér fény felbomlik színekre

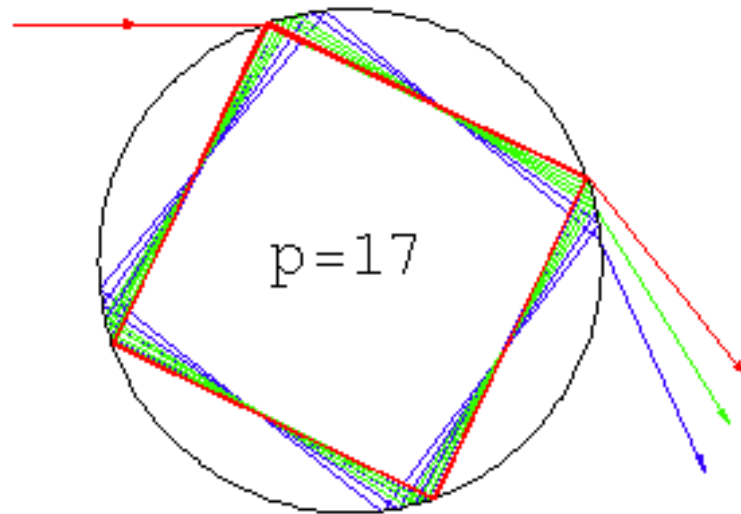
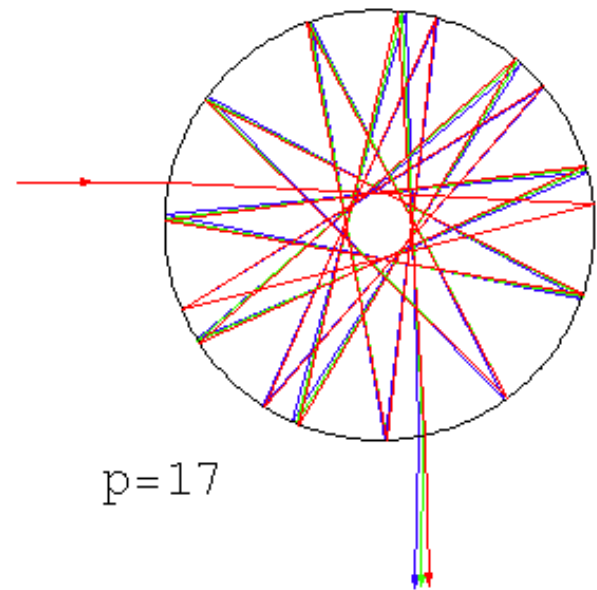
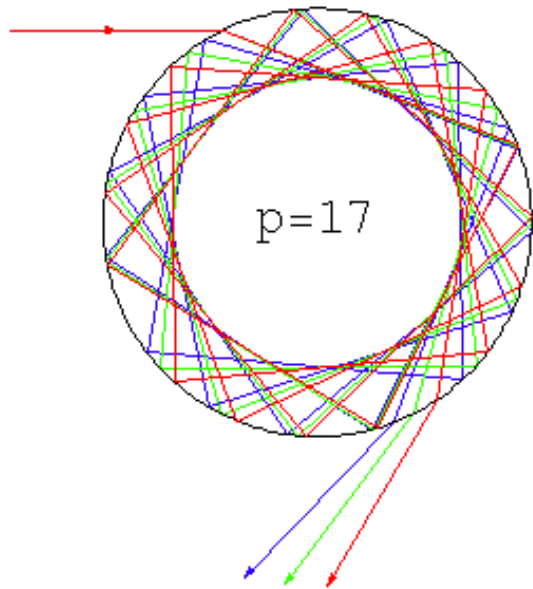


főszivárvány:  $p = 2$

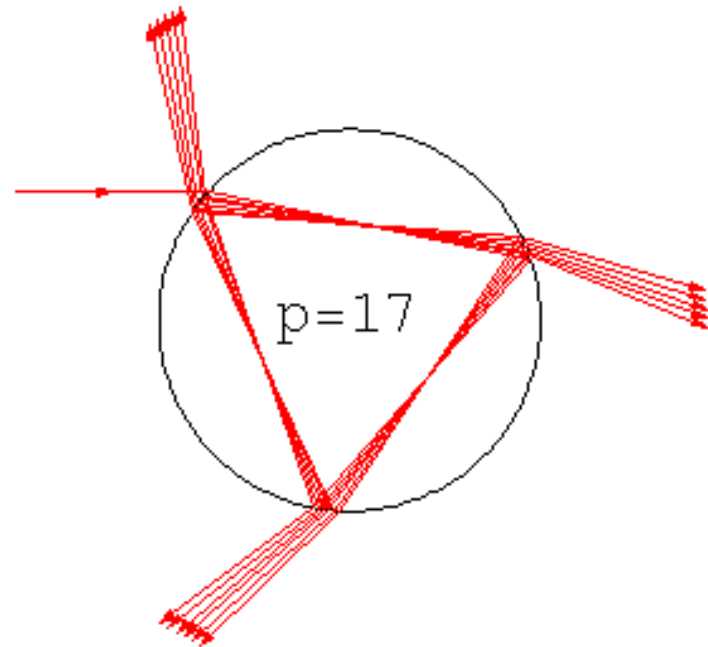
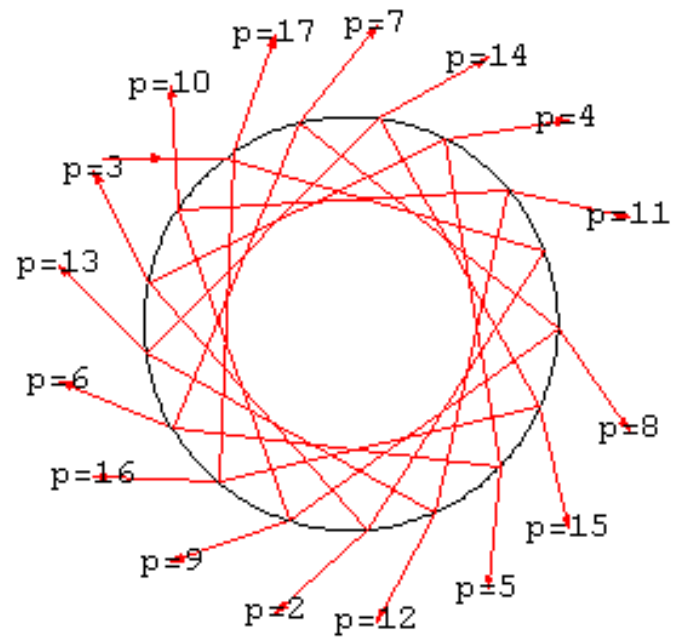


mellékszivárvány:  $p = 3$

## Az impakt paraméter szerepe

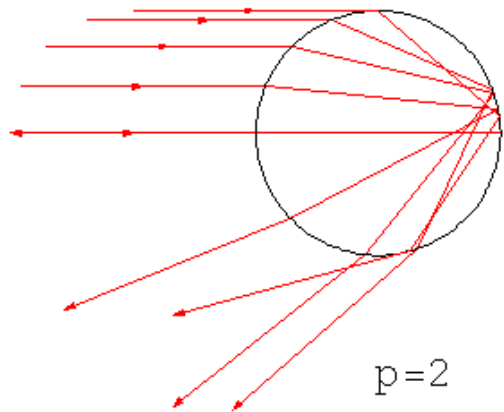


## Az impakt paraméter szerepe

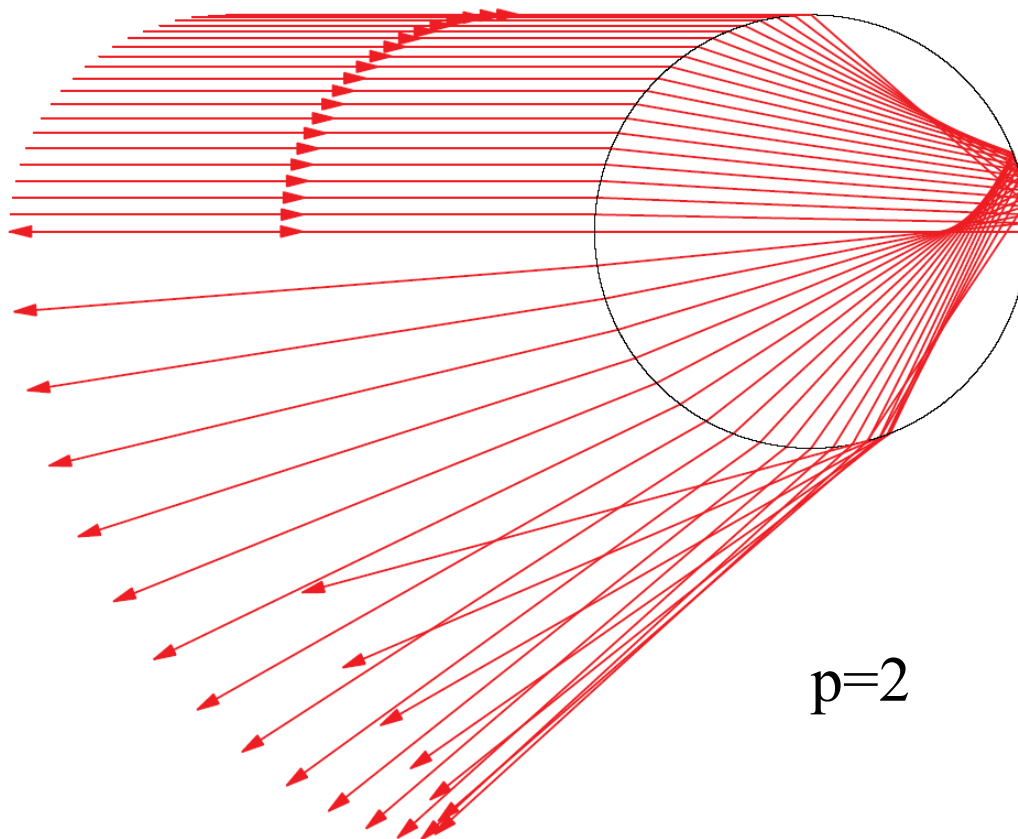


# Párhuzamosan bejövő fénysugarak menete

főszivárvány



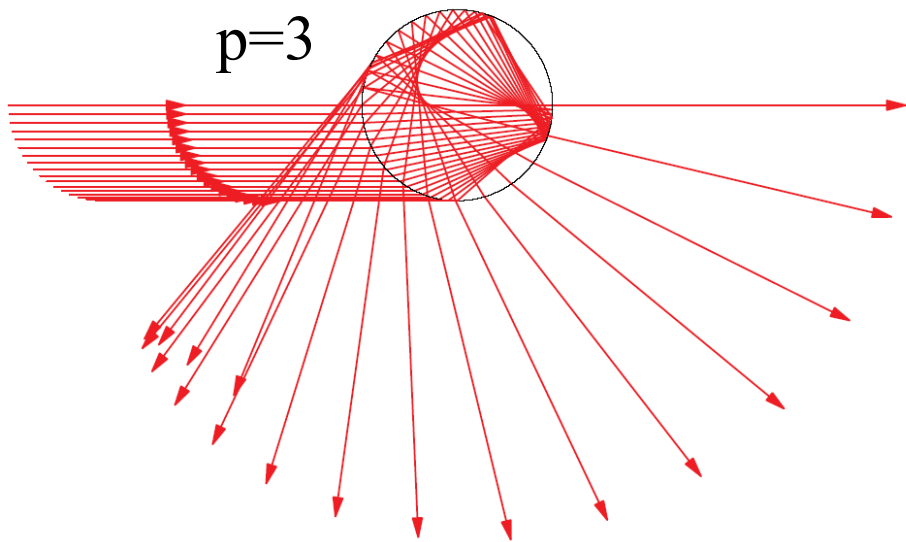
maximális szög



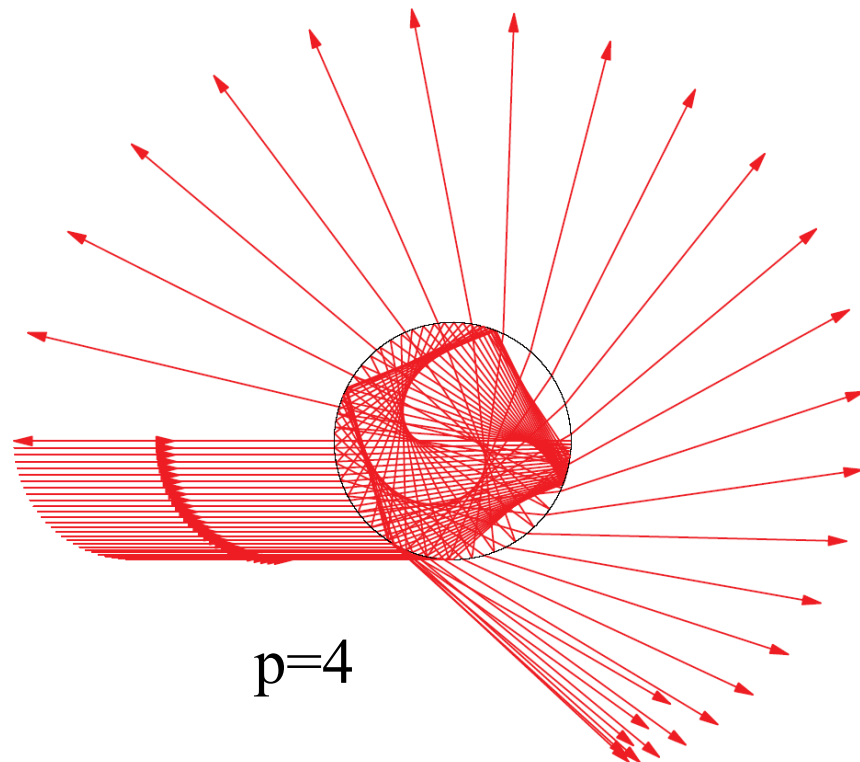
$p=2$

# Magasabb rendű szivárványok

$p=3$



← mellékszivárvány

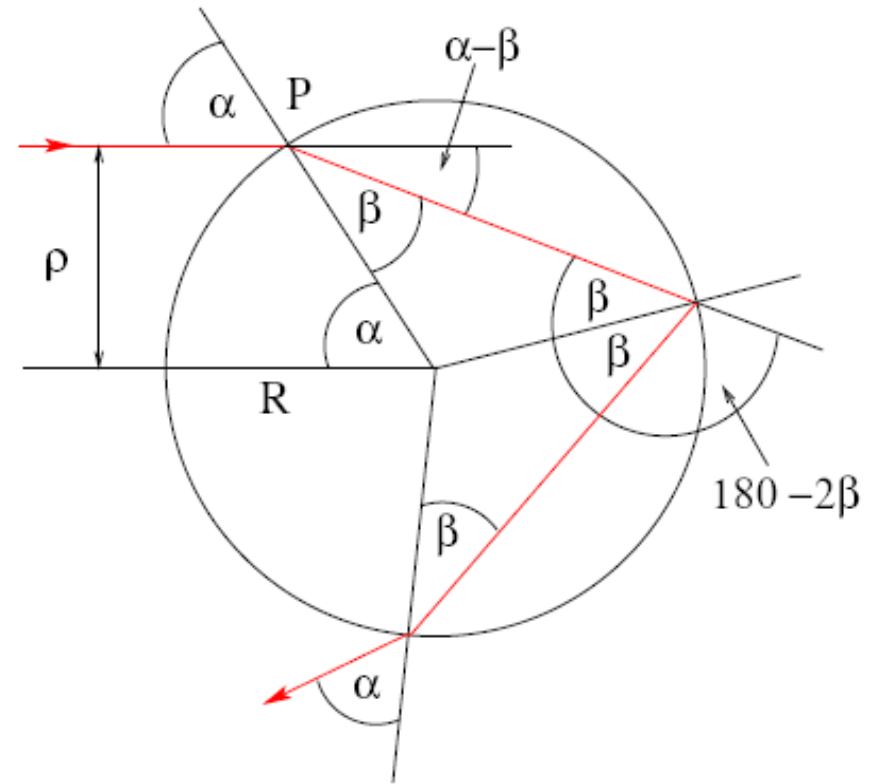


$p=4$

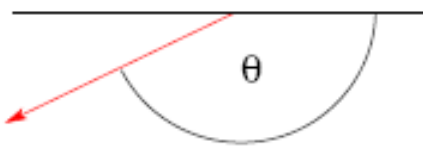
# Snellius-Descartes-töréstörvény

impakt paraméter:

$$b = \frac{\rho}{R} = \sin \alpha \quad \longrightarrow$$



szórási szög:

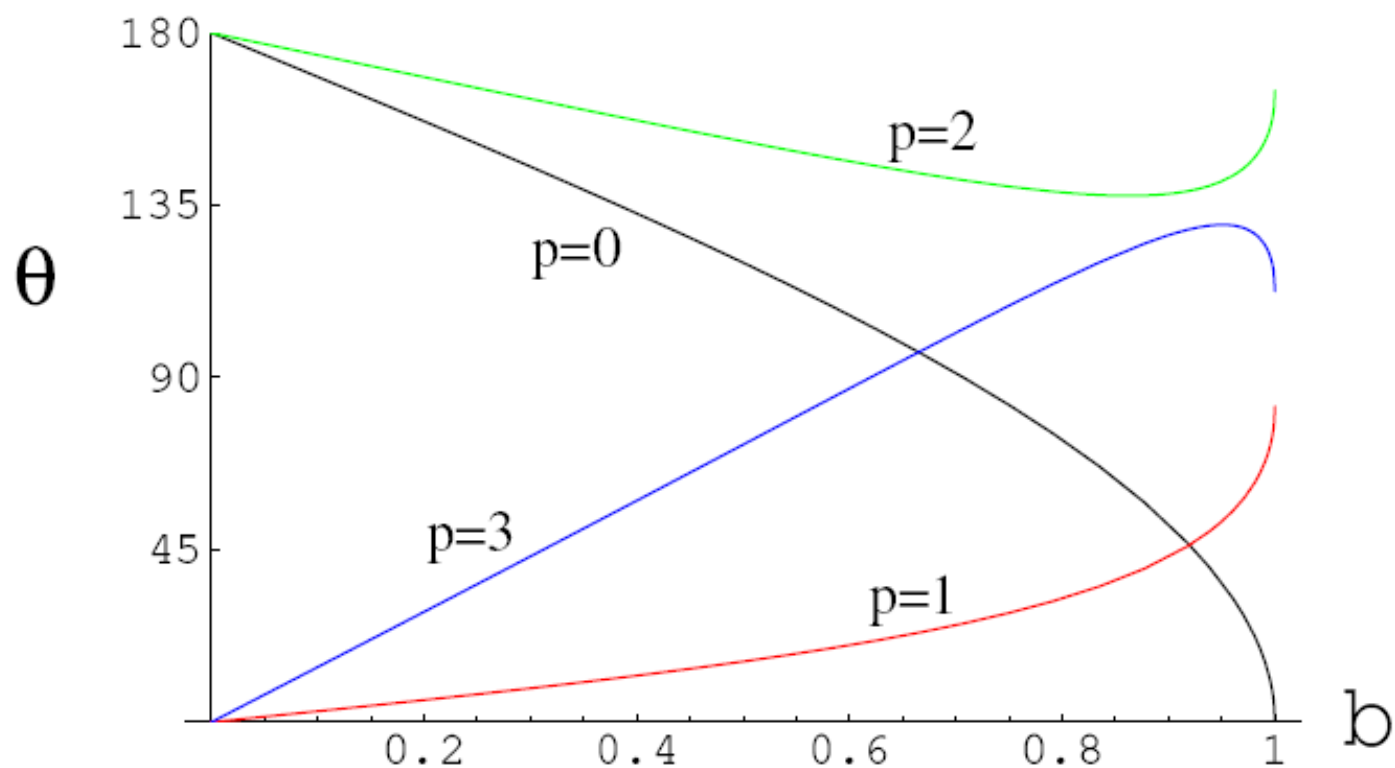


$$\theta = (\alpha - \beta) + (p - 1)(\pi - 2\beta) + (\alpha - \beta)$$

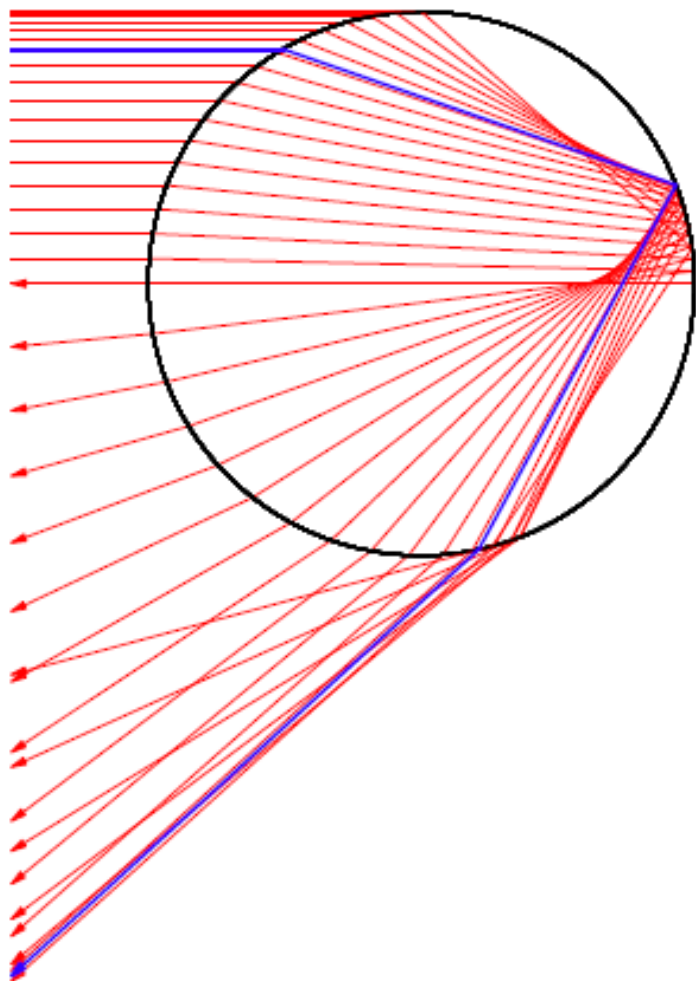


## A szórási szög szélsőértékei

$$\theta = (p - 1)\pi + 2 \arcsin b - 2p \arcsin \frac{b}{n} \quad b = \frac{\rho}{R} = \sin \alpha$$



# Cartesius-sugármenet

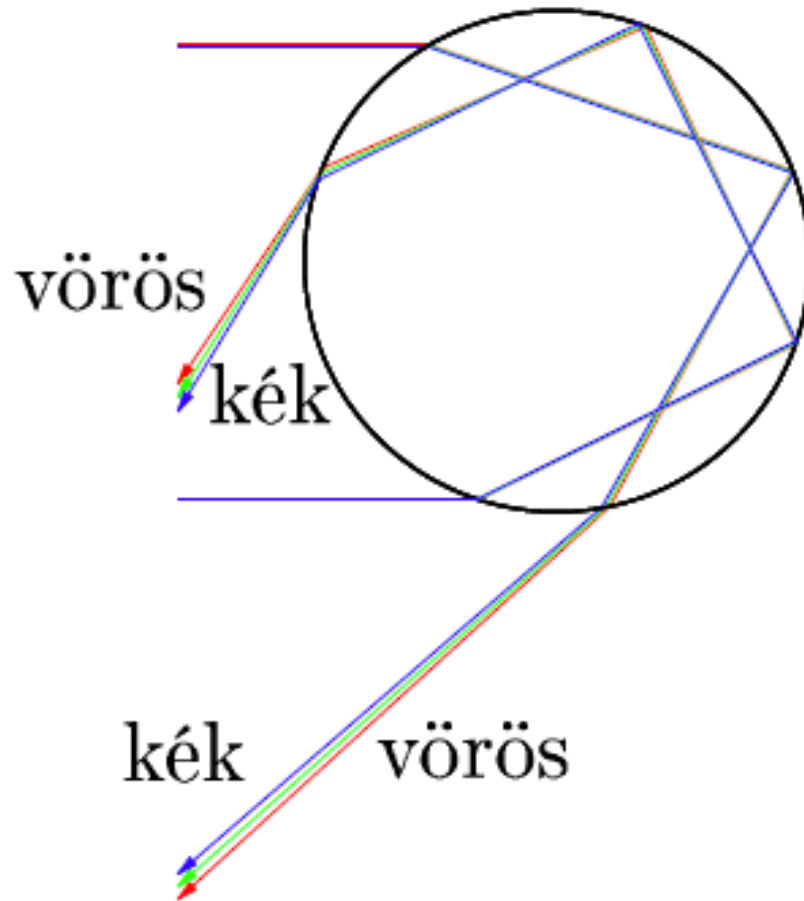


$$b_c \equiv \sin \alpha_c = \sqrt{\frac{p^2 - n^2}{p^2 - 1}}$$

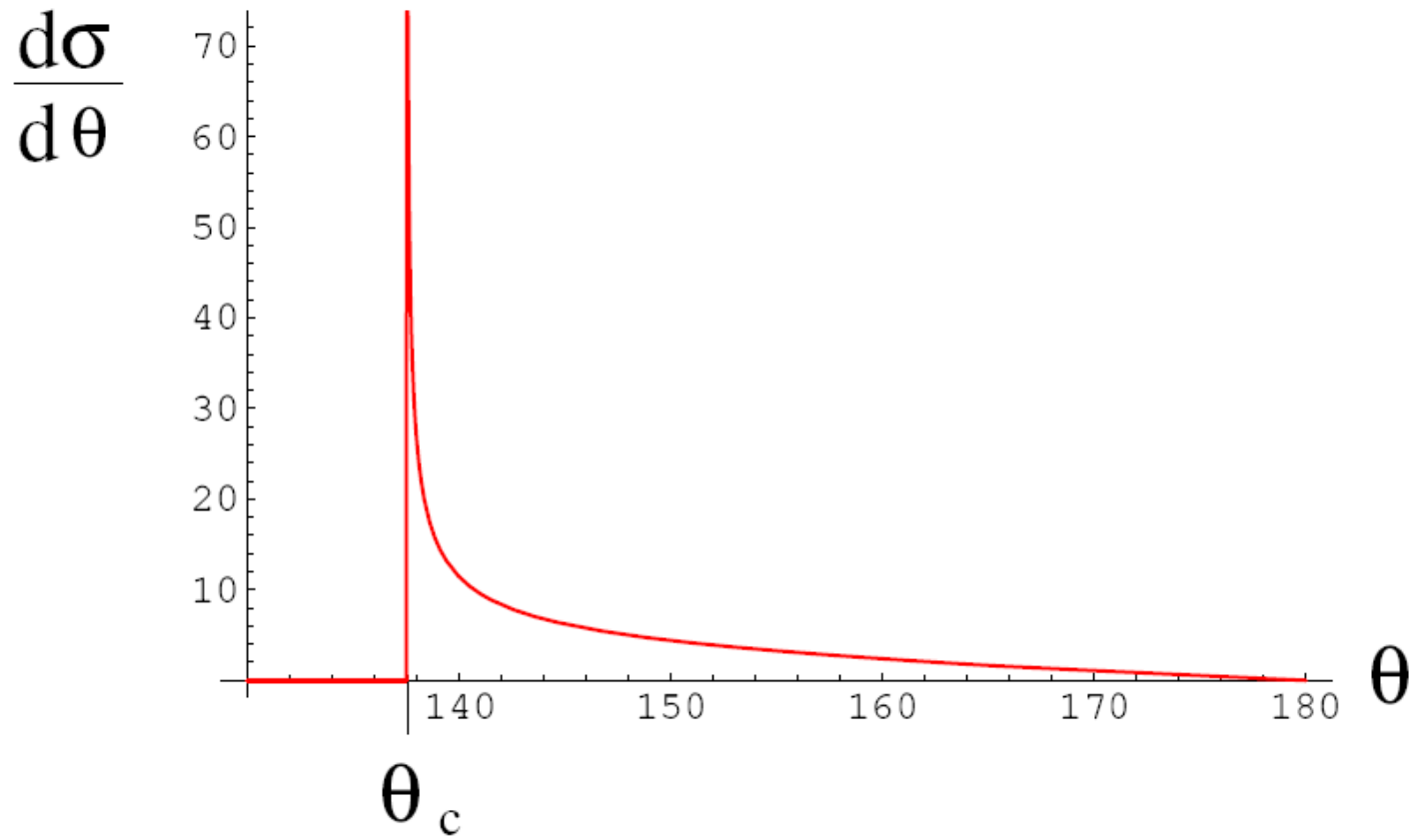
$$\theta_c = \theta(b = b_c)$$

színek	$n$	$\pi - \theta_c$	
		p=2	p=3
vörös	1,330	42,5°	50,1°
zöld	1,335	41,8°	51,4°
kék	1,340	41,1°	52,7°

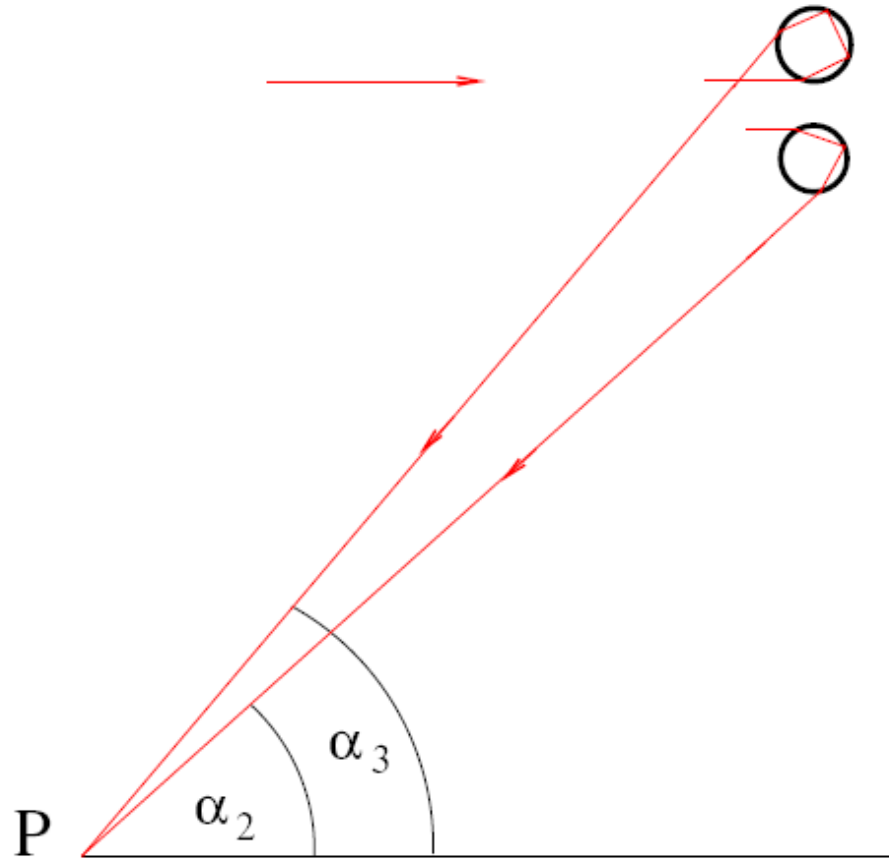
# Cartesius sugarak különböző színekre fő- és mellékszivárvány esetén



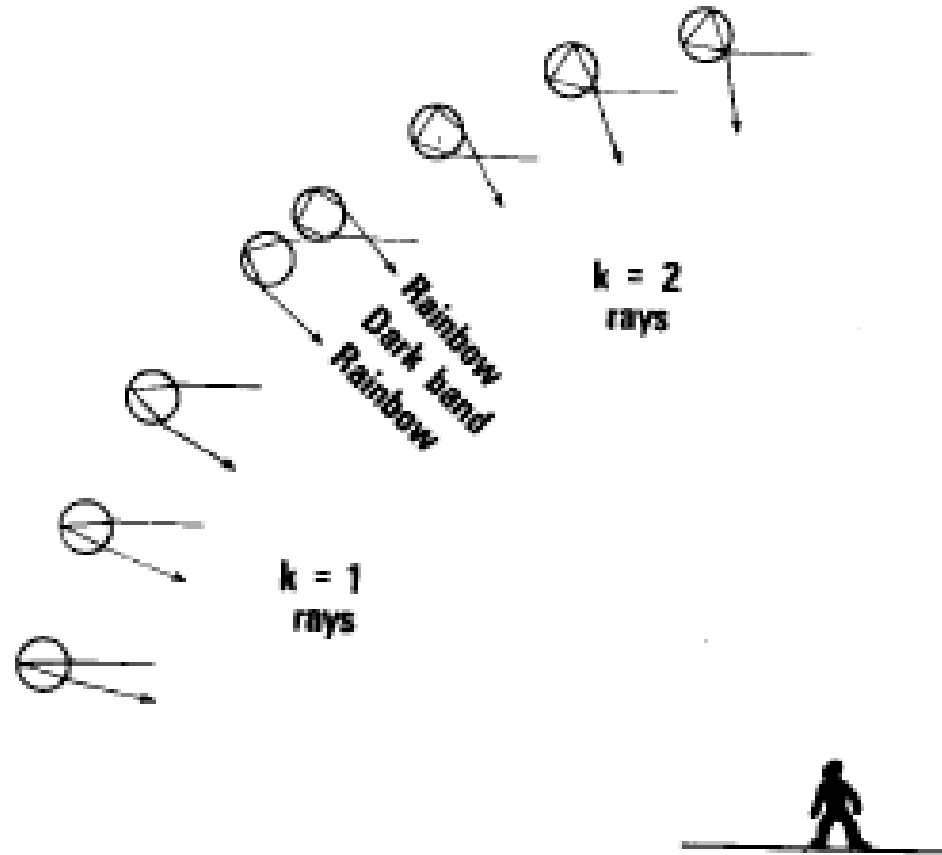
# Klasszikus szórási hatáskeresztmetszet



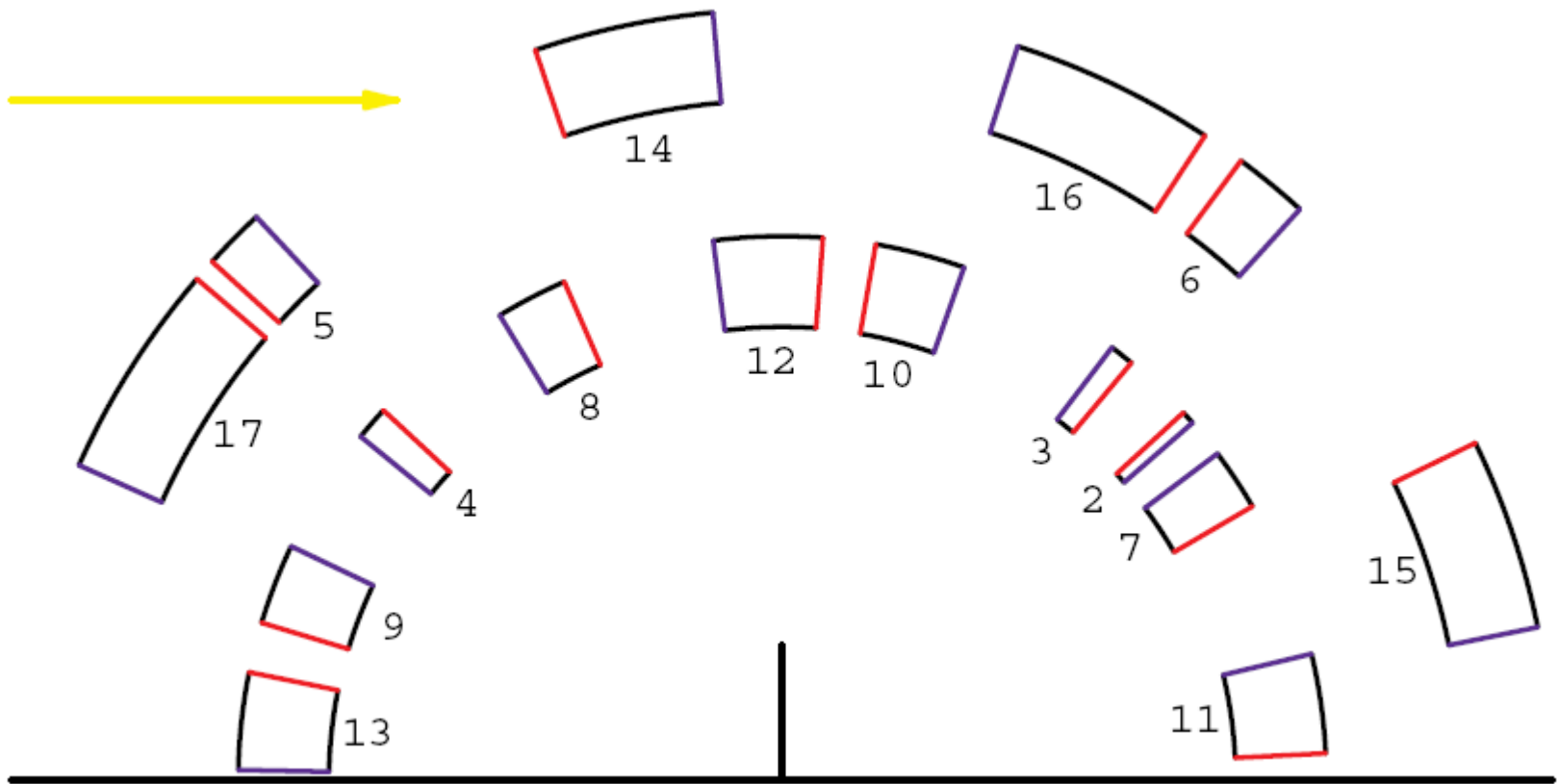
# A szivárvány íveinek kialakulása



# A szivárvány íveinek kialakulása



# Magasabb rendű szivárványok elhelyezkedése



# Polarizáció szögfüggése

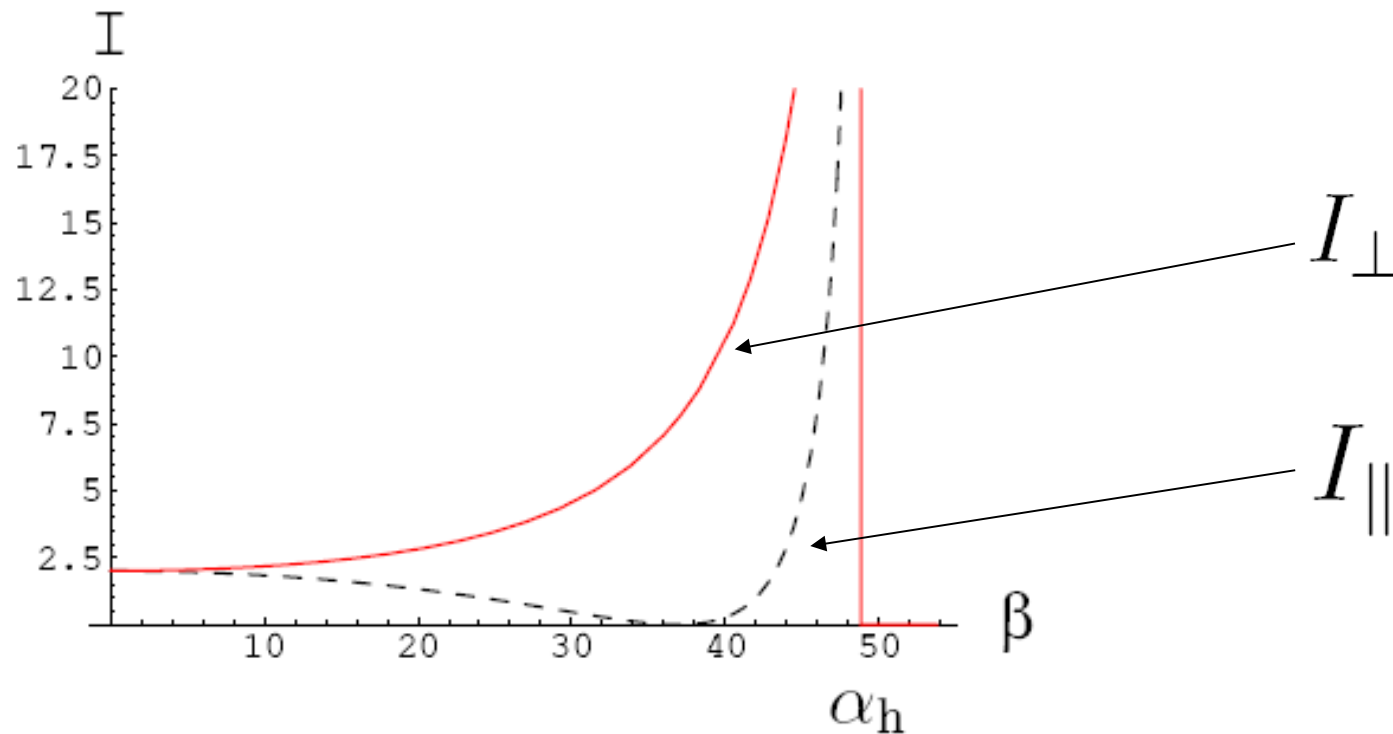
David Brewster (1815)

Agustin-Jean Fresnel (1817)

$$I = I_{\parallel} + I_{\perp}, \text{ ahol}$$

$$I_{\parallel} = \left[ 1 - \frac{\operatorname{tg}^2(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}^2(\alpha + \beta)} \right]^2 \left( \frac{\operatorname{tg}^2(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}^2(\alpha + \beta)} \right)^{p-1},$$

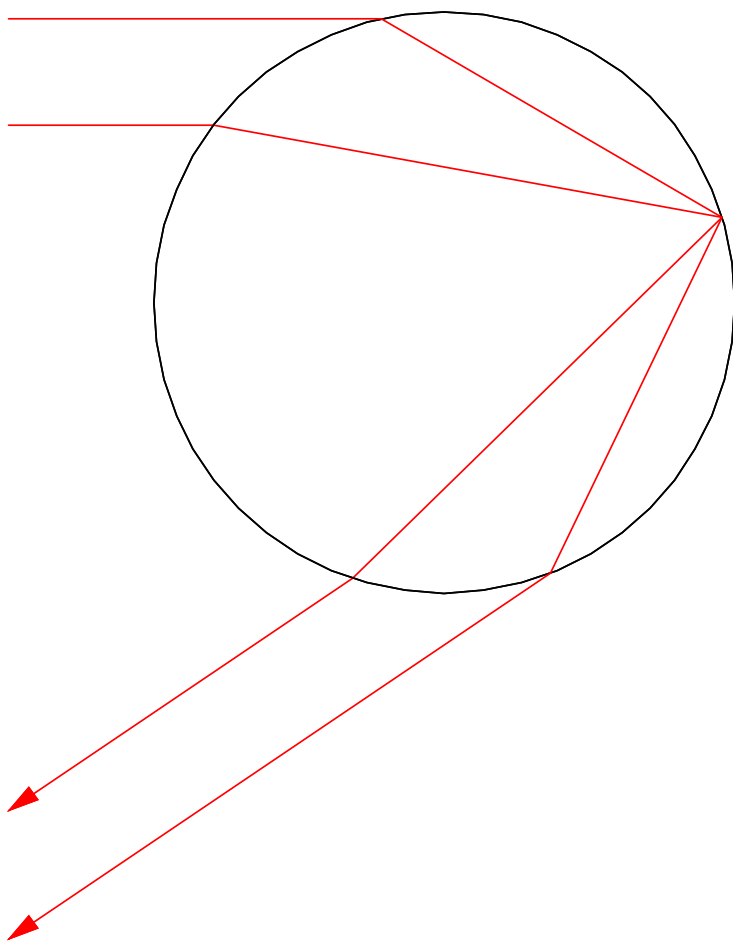
$$I_{\perp} = \left[ 1 - \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)} \right]^2 \left( \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)} \right)^{p-1}.$$





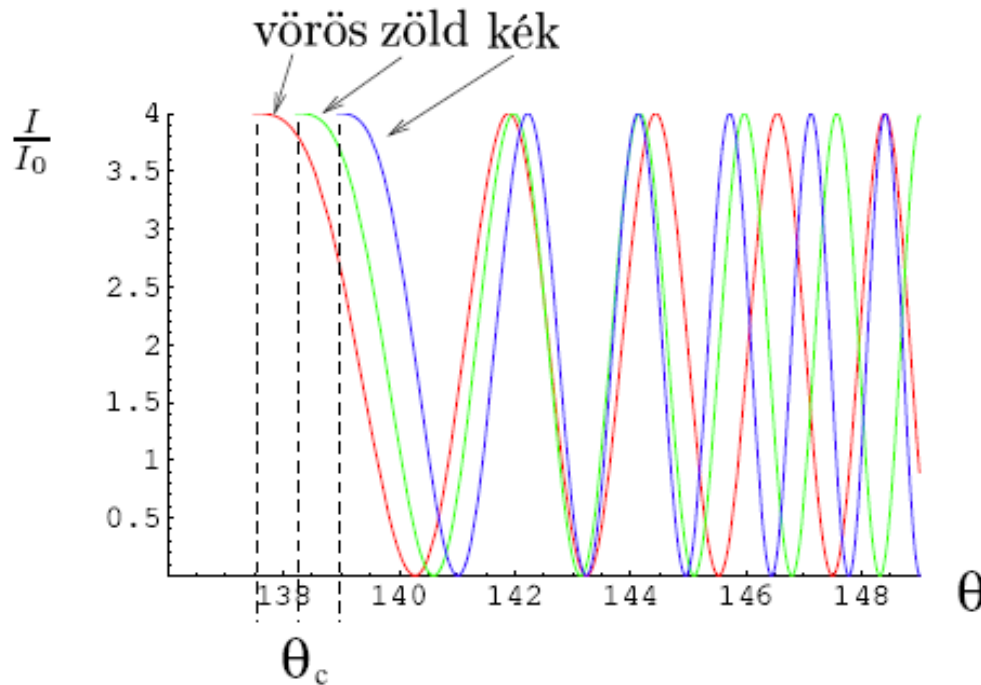
## Járulékos ívek

### Thomas Young interferencia-elmélete (1804)



d: optikai útkülönbség

# Intenzitás szögfüggése (interferencia-csúcsok)



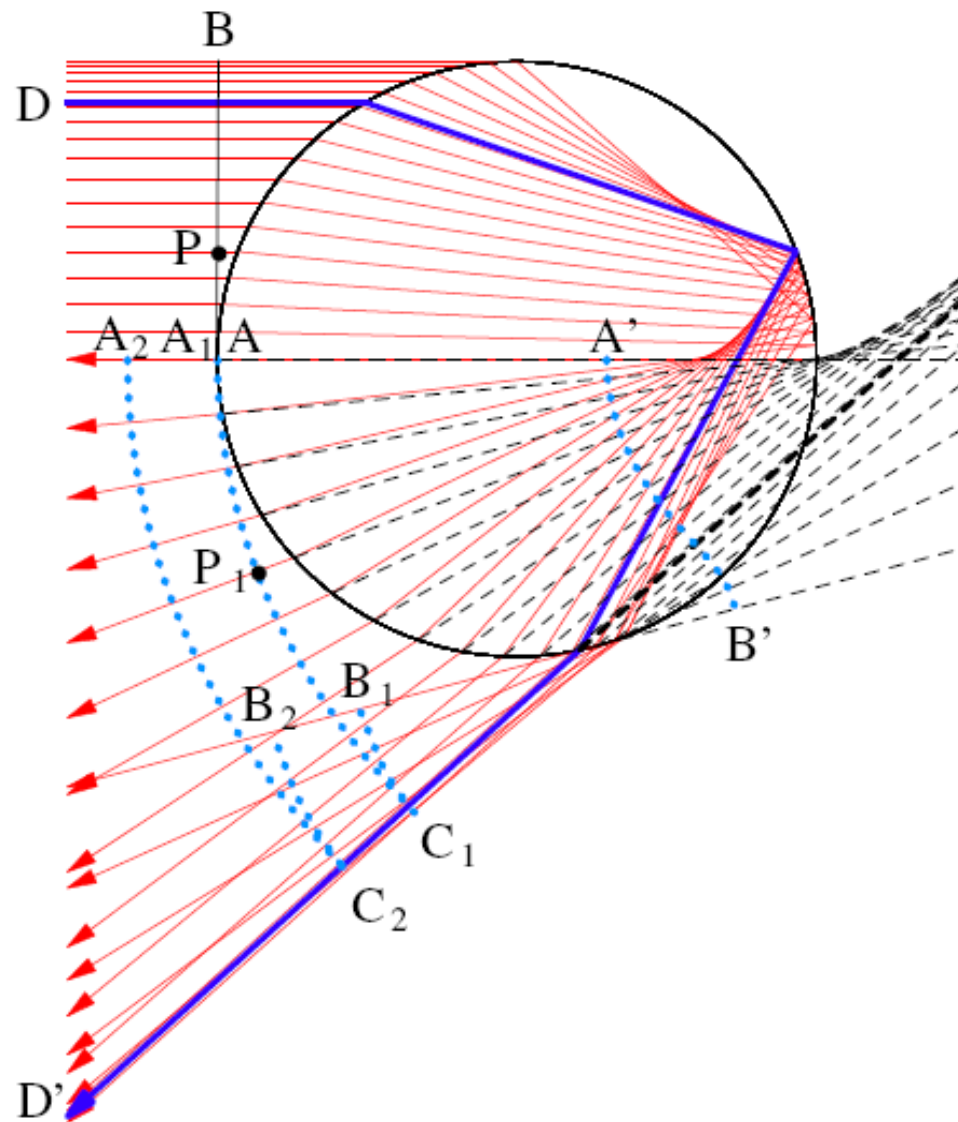
$$\frac{I(\theta)}{2I_0} = 1 + \cos kd(\theta)$$

hullámszám:  $k = 2\pi/\lambda$

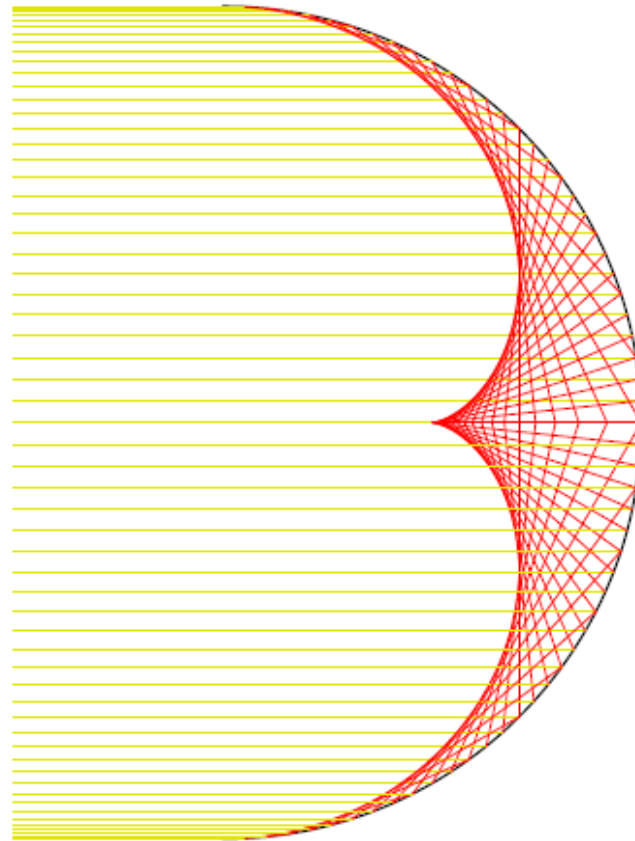
**$kR \sim 100$**

vízcsepp ( $n = 1,33$ ),  $R = 0,01$  mm,  
vörös ( $\lambda = 650$  nm), zöld ( $\lambda = 520$  nm), kék ( $\lambda = 430$  nm)

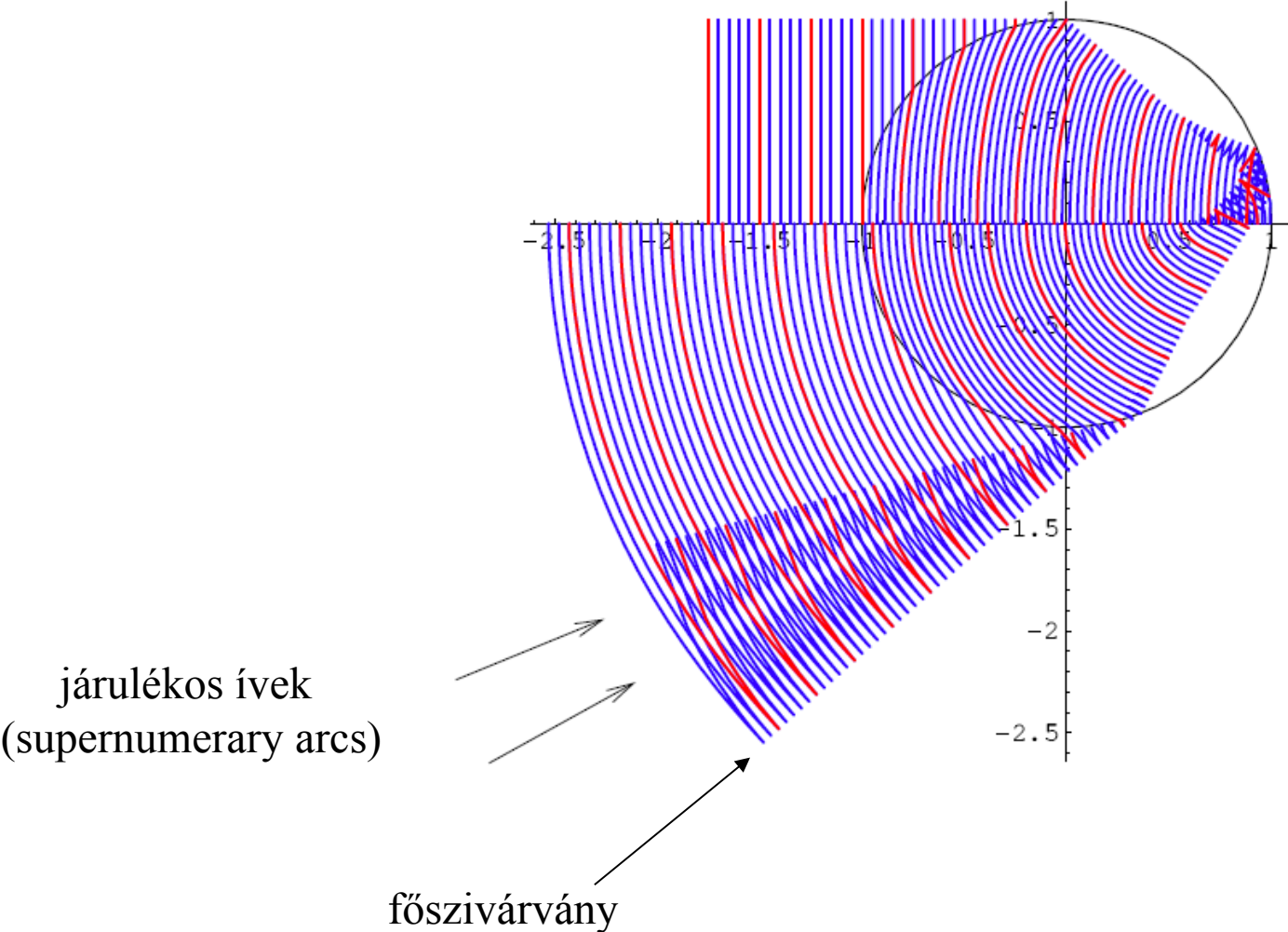
# George Biddell Airy elmélete (1838)



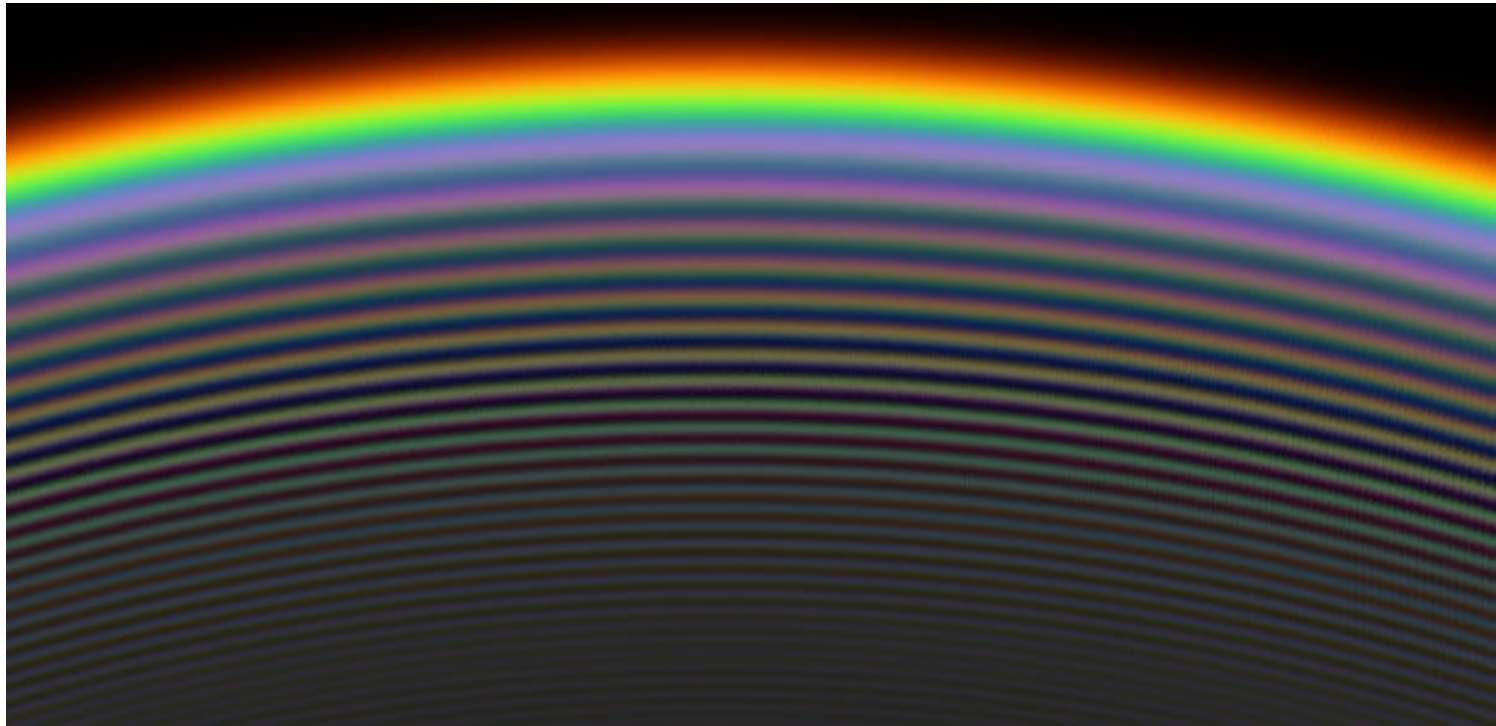
# Egy pohár belső falán visszaverődő fénysugarak kausztikája



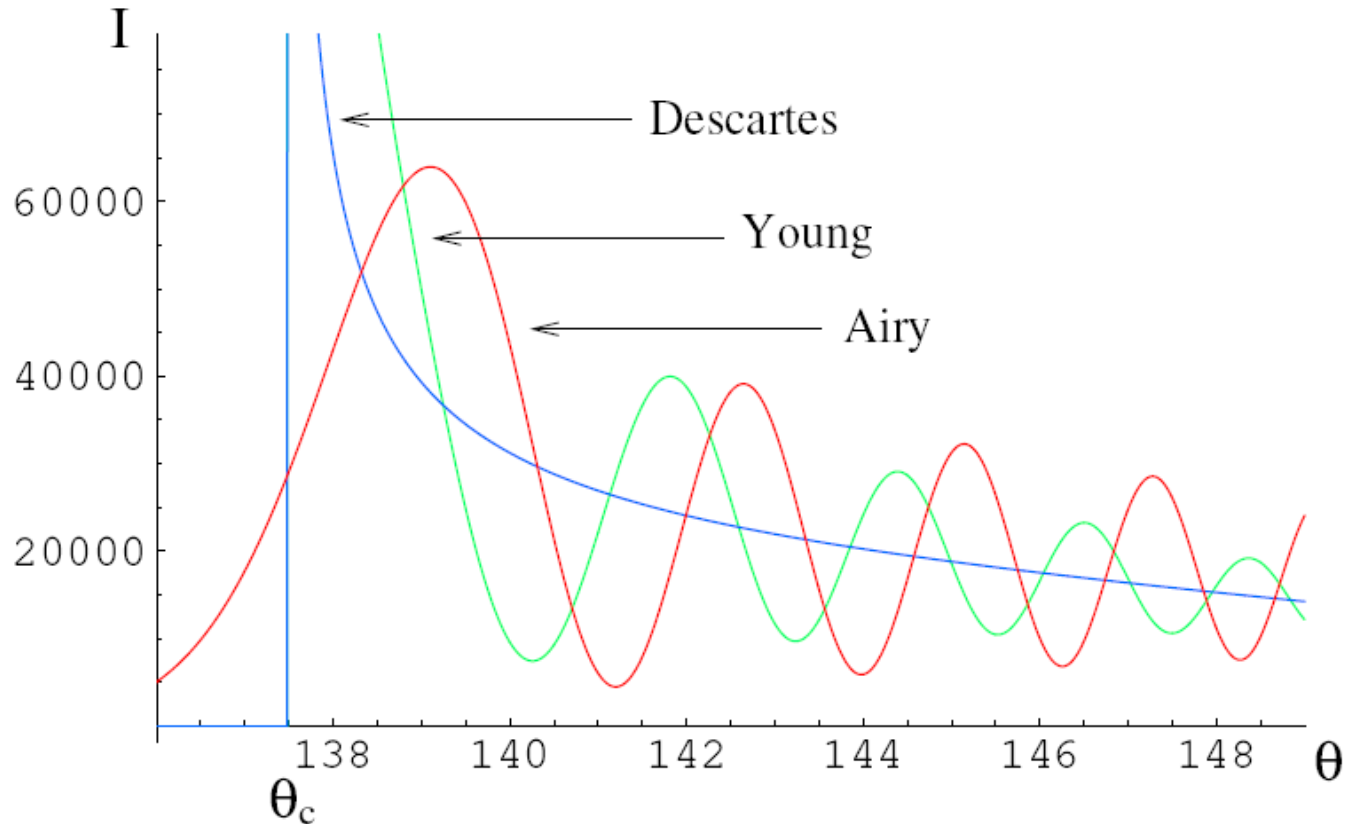
# Járolékos ívek kialakulása



# Járulékos ívek numerikus szimulációja



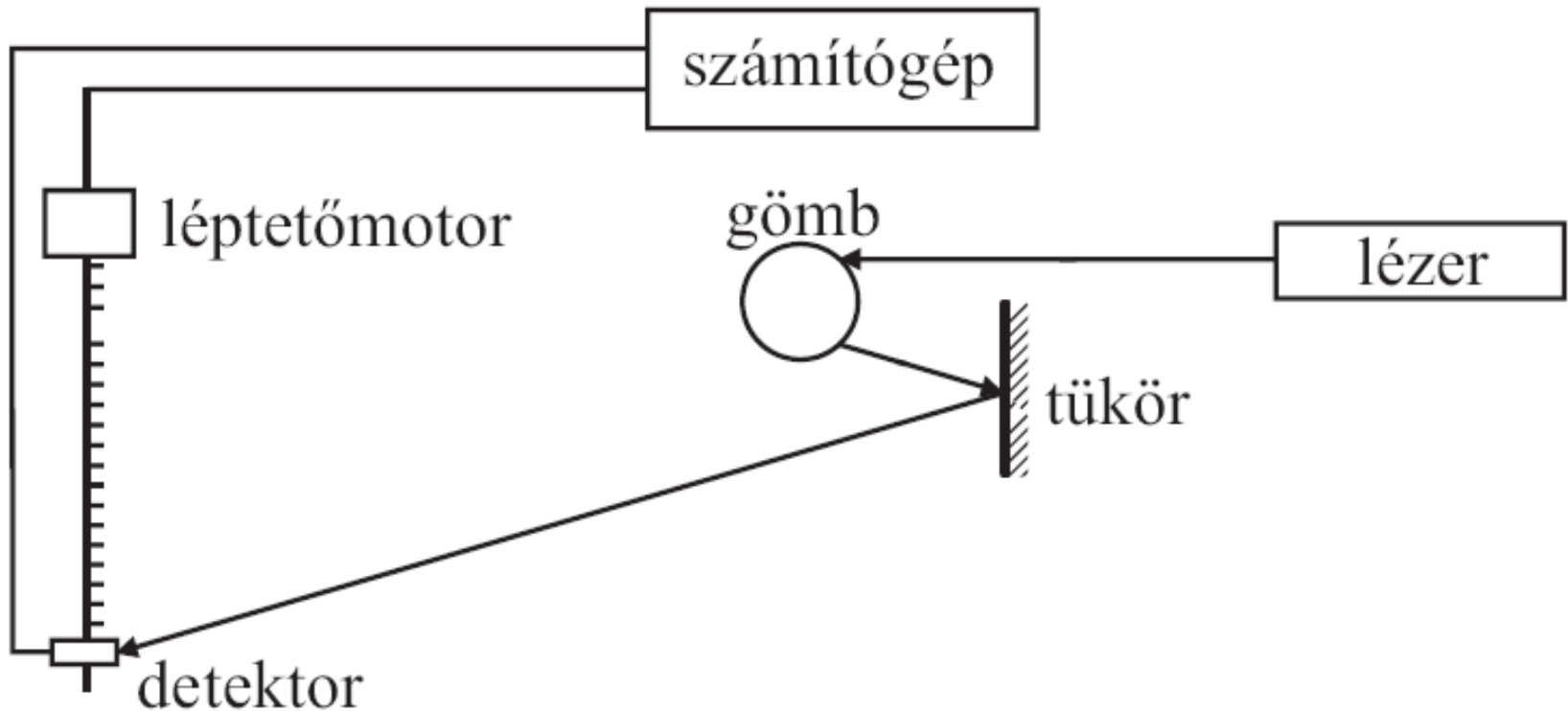
# Descartes-, Young-, és az Airy-elmélet összehasonlítása



vízcsepp ( $n = 1,33$ ), lézerfény ( $\lambda = 650 \text{ nm}$ )

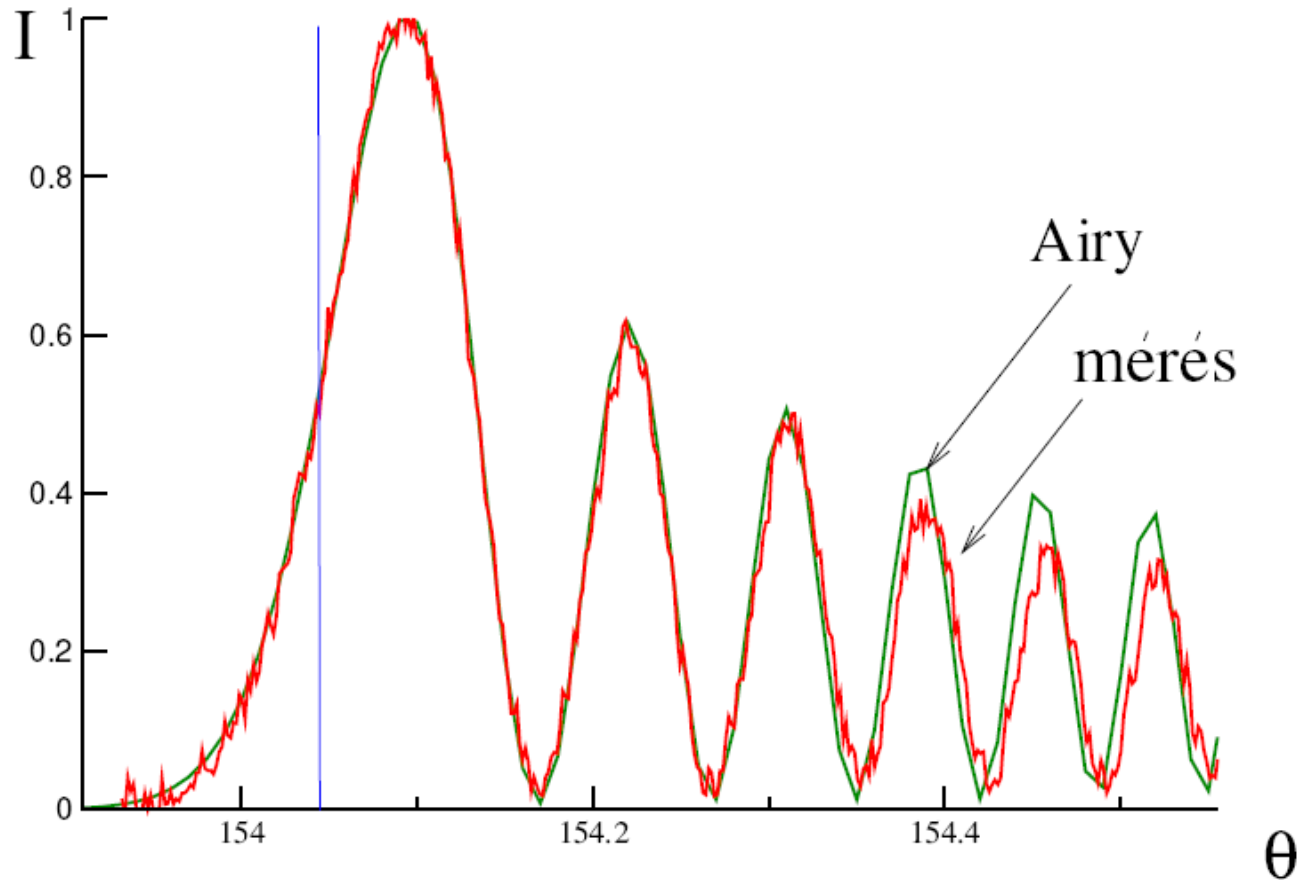
$R = 0,05 \text{ mm}$ ,  $kR = 483.3$

**Huhn Andrásné:**  
**ELTE, Szilárdtestfizika Tanszék**





# A mérés és az Airy-elmélet összehasonlítása



üveg ( $n = 1,467$ ), lézerfény ( $\lambda = 650 \text{ nm}$ ),  $R = 5,25 \text{ mm}$ ,  **$kR = 50749$**

## Egzakt leírás: Mie-elmélet

James Clerk Maxwell: 1862 - On the Physical Lines of Force

Ludvig V. Lorenz: 1890 – Egzakt elmélet

Gustav Mie: 1908 – Egzakt elmélet

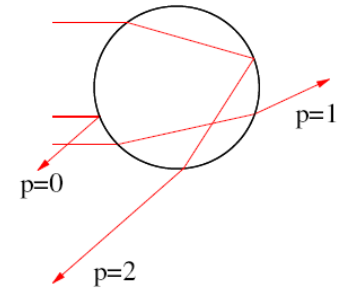
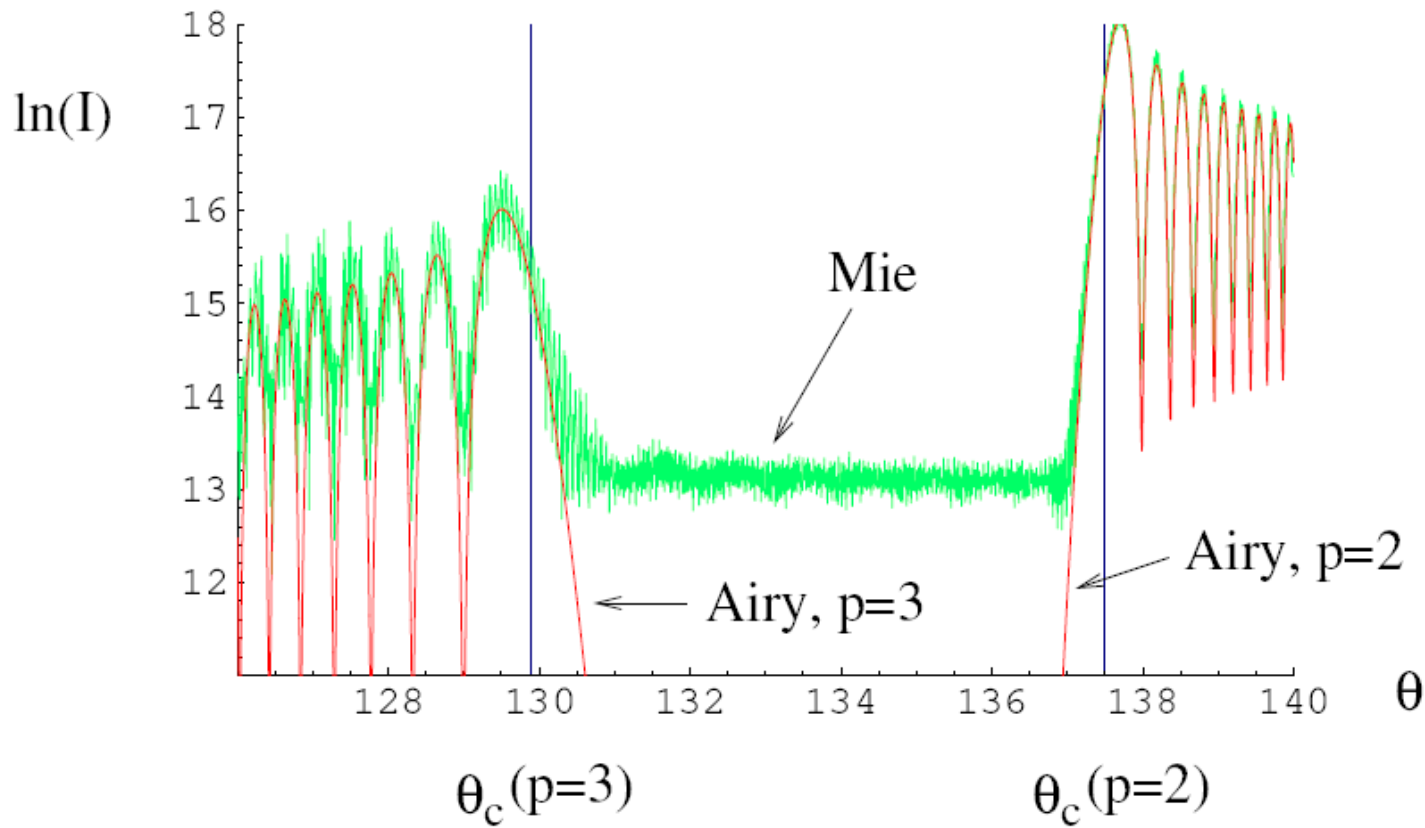
Peter J. W. Debye: 1909 – Egzakt elmélet

Elektromágneses tér szórása gömb alakú törőközegeen:

**Helmholtz-egyenlet:**

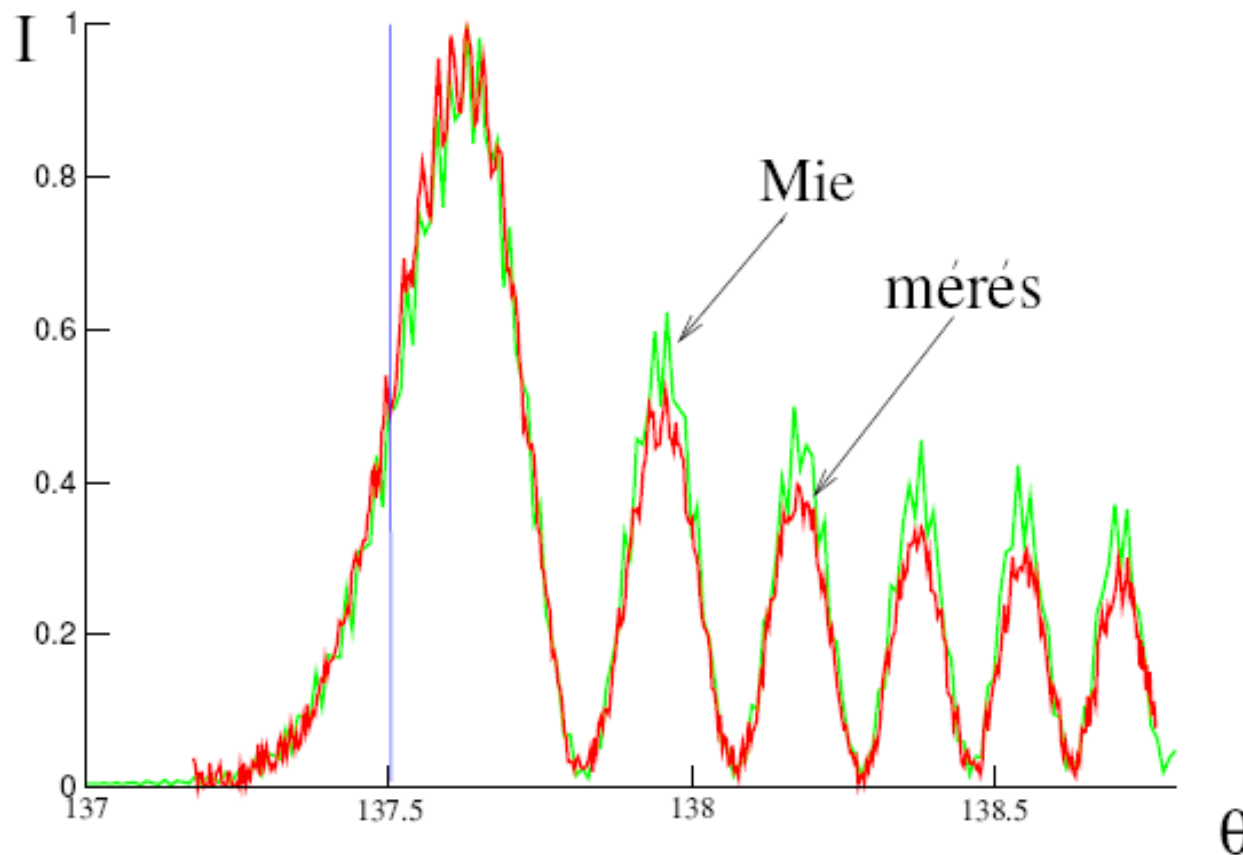
$$\nabla^2 \psi + n^2 k^2 \psi = 0$$

# Mie- és Airy-elmélet összehasonlítása



vízcsepp ( $n = 1,33$ ), lézerfény ( $\lambda = 650 \text{ nm}$ ),  $R = 1 \text{ mm}$ ,  $kR = 9666$

# A mérés és a Mie-elmélet összehasonlítása (Huhn Andrásné)



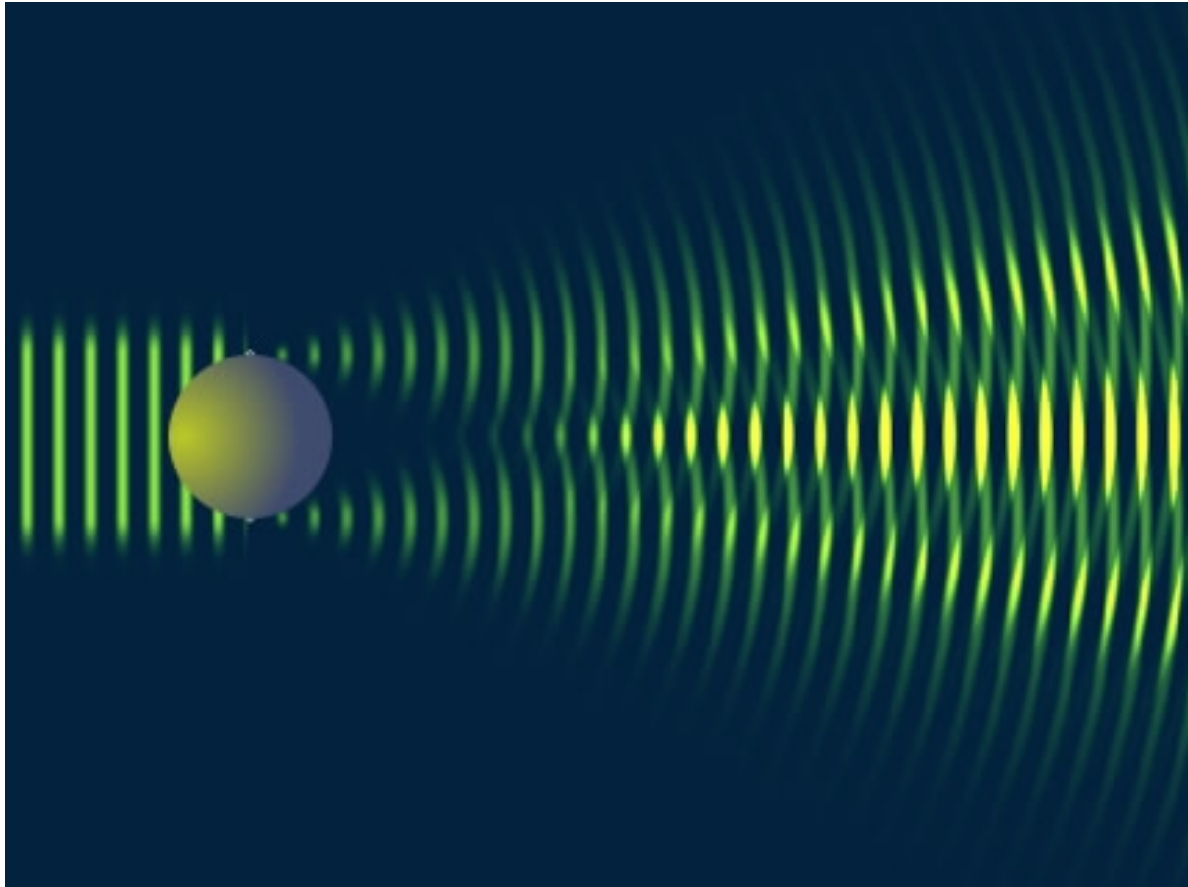
vízcsepp ( $n = 1,33$ ), lézerfény ( $\lambda = 650$  nm),  $R = 1,82$  mm,  $kR = 17593$

## Koszorú: Holdudvar



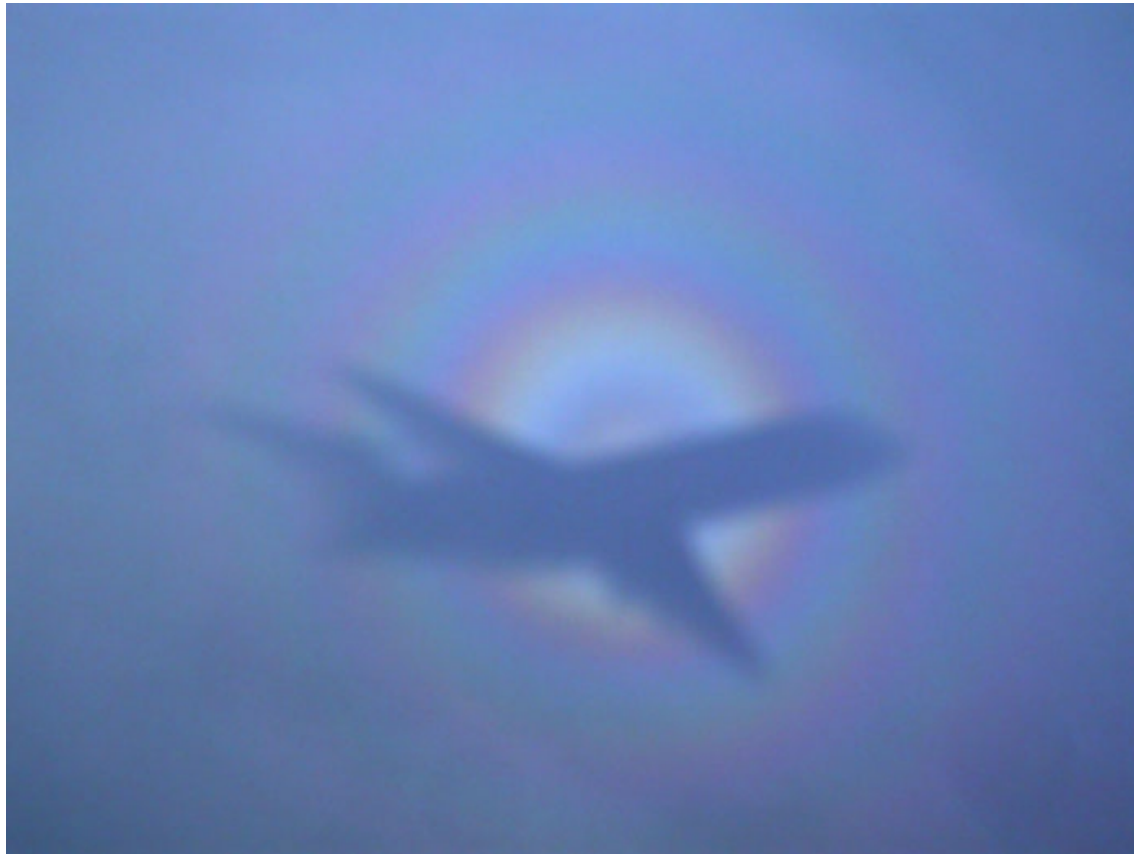
Krakatau vulkán, 1883

# Kisszögű szórás



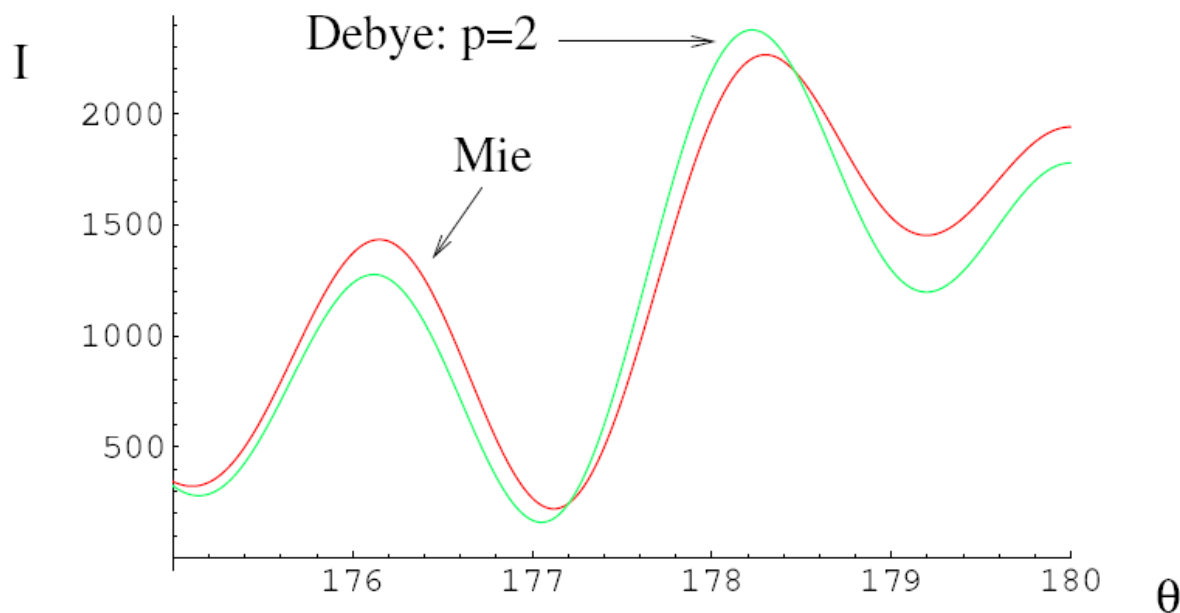
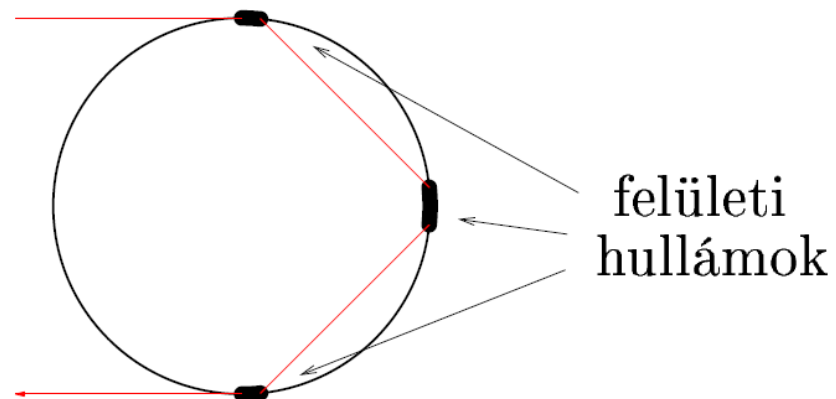
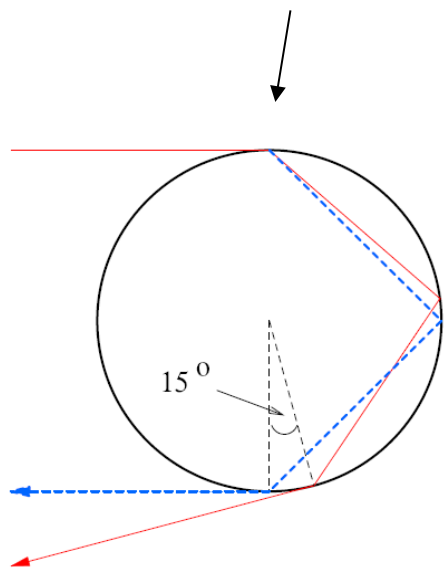
# Glória repülön

Antonio de Ulloa: 1735 – Első leírás a glóriáról



# A glória avagy a felületi hullámok

A geometriai optika alapján **nem** értelmezhető a glória



vízcsepp ( $n = 1,33$ ), lézerfény ( $\lambda = 650 \text{ nm}$ ),  $R = 0,01 \text{ mm}$ ,  **$kR = 96,7$**



Arisztotelész (Kr. e 384-322) – Felhőkön való visszaverődés  
Aphrodisias Alexander: Kr. 200 – Sötét sáv  
Roger Bacon: 1266 – Az első szögmérés  
Theodoric Freiberg: ~ 1500 – Első kísérleti magyarázat üvegpalackkal  
Rene Descartes: 1637 – Geometriai optika  
Antonio de Ulloa: 1735 – Első leírás a glóriáról  
Thomas Young: 1804 – Fény hullámtermészete  
George Biddell Airy: 1838 – A kausztika szerepe  
James Clerk Maxwell: 1862 - On the Physical Lines of Force  
Billet: 1868 – Kísérletileg mért 20-ad rendű szivárvány  
Ludvig V. Lorenz: 1890 – Egzakt elmélet  
Gustav Mie: 1908 – Egzakt elmélet  
Peter J. W. Debye: 1909 – Egzakt elmélet  
Ford & Wheeler: 1959 – Kvantummechanikai szórás  
Michael V. Berry: 1966 - Uniform közelítés kvantummechanikai szórásra  
Khare & Nussenzveig: 1974 - Uniform közelítés fényszórásra  
Wang & van de Hulst: 1991- A Mie-elmélet első numerikus szimulációja  
Philip Laven: 2003 – Hatékony szimuláció a Mie-elmélet alapján  
Horváth G. & Varjú D.: 2003 – Polarizációs mérések

Ingyenesen letölthető program található a

<http://www.philiplaven.com/mieplot.htm>

és sok ábra, illetve fénykép

További web címek:

<http://www.atoptics.co.uk>

<http://my.unidata.ucar.edu/content/staff/blynds/rnbw.html>

[http://www.usna.edu/Users/oceano/raylee/RainbowBridge/Chapter\\_8.html](http://www.usna.edu/Users/oceano/raylee/RainbowBridge/Chapter_8.html)

<http://hjem.get2net.dk/Hemmingsen/Rainbow/>

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/Rainbow/rainbow.html>

Cserti József: *A szivárvány fizikája – az esőcseppek fényszórási jelenségei*,  
Fizikai Szemle, **9.** szám, 297. old.; **10.** szám, 349.old.; **12.** szám, 422. old. (2005).

# Mágneses szivárvány

