

# Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

---

Vladimír Novák

O skládání barev [I.]

*Časopis pro pěstování matematiky a fysiky*, Vol. 31 (1902), No. 2, 145--156

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121590>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1902

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

## O skládání barev.

Napsal

**Dr. Vladimír Novák,**  
docent české university v Praze.

Sotva že na počátku minulého století učiněny byly první pokusy fotografické, přistoupeno hned k řešení problému nejsložitějšího, t. j. zobraziti fotografií předměty v přirozených barvách. Vedle metody přímé, která pro složitost a nesnadnost svou dosud málo jest přístupna, zdokonaleny a zjednodušeny byly v posledním desetiletí metody nepřímé, při nichž se obrázek skládá ze tří obrázků, provedených v jednotlivých barvách. Vývoj fotografie v přirozených barvách, o jehož praktické i vědecké důležitosti netřeba šířiti slov, souvisí úzce s vývojem theorie barev a jich skládání.

V článku tomto, přihlížeje k hořejší souvislosti, chci uvéstí nejdůležitější fakta a výklady o barvách a jich skládání.

Především poukázáno budiž na dvojí význam slova „barva“, které ve fysice značí obyčejně světlo určitého druhu — barevné světlo — v obecné mluvě pak nejčastěji má význam barviva — pigmentu. Aby nenastala mýlka, bude tento význam barvy vždy v dalším důrazně vytknut.

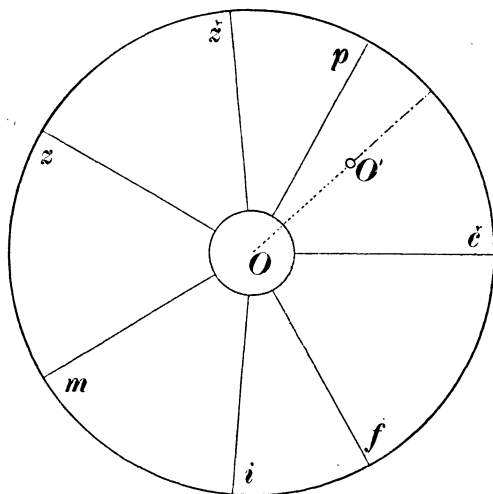
Zíráme-li na oblohu, pravíme, že jest modrá, o trávě díme, že jest zelená, o krvi, že jest rudá atd. Slovy těmito označujeme určité dojmy zrakové, jichž poslední příčinou vnější jest podráždění sítnice oka, způsobené paprsky světla od předmětů těch do oka vnikajícími. Po stránce fysikalní závislou jest barva předmětu na povaze *zdroje svítícího*, na *povrchu tělesa*, po případě na *povaze ústředí*, kterým světlo prochází.

Dojem barvy záleží pak po stránce fyziologické na organu zrakovém a jeho stavu (na př. umdlení a pod.). Dojem barvy může vzniknouti také bez vnějšího účinku světla, barvy takto povstávající zoveme subjektivními. Barvu předmětu nebo nějakého ústředí nazýváme přirozenou, osvětlen-li jest předmět nebo prochází-li ústředím, světlo sluneční.

Pokusem snadno se přesvědčíme, že světlo sluneční, ač v nás vzbuzuje dojem světla jednoduchého, jest složené. Důkaz tento provedl již *Newton*, rozloživ světlo sluneční hranolem. Pokus upravíme objektivně nejlépe takto. Do zatemněné světnice vnikají sluneční paprsky odražené heliostatem úzkou přímkovou štěrbinou. Achromatickou čočkou utvoříme ostrý obraz štěrbinu na bílém stínítku, pak vložíme za čočku hranol, jehož lámavou hranu postavíme rovnoběžně se štěrbinou a jejíž stočíme tak, aby úchylka paprsků byla minimální. Na stínítku přiměřeně odchyleném objeví se široký zbarvený pruh, spektrum sluneční. *Newton* rozeznával v spektru slunečním sedm hlavních barev, veden jsa k tomuto rozdělení analogií sedmi tónů v stupnici diatonické. Tyto hlavní barvy *Newtonovy* jsou: *červená, pomerančová, žlutá, zelená, modrá, indigová a fialová*. Akustická analogie *Newtonova* má sice velmi důležitý význam fysikální připomínajíc souhlas, v němž se jeví stanovení výšky tonu počtem výchvějů za určitý čas a stanovení barvy délkou světelné vlny, ale nesmí býti analogie tato přenášena též na dojmy sluchové a zrakové. Kdežto na př. v akordech rozeznáváme jen na základě vjemu sluchového jednotlivé tóny, z nichž akord jest složen, nerozeznáváme na př. v barvě bílé na základě dojmu nic složitého. Vedle tohoto rozdílu důležita jest ještě okolnost následující. Změní-li se výška tonu v určitém poměru, jest změna dojmu sluchového nezávisla na absolutní výšce tónu; zcela něco jiného platí pro zrakové dojmy barev. Kdežto v červené části spektra nerozeznáváme druhy světla, ačkoliv se délkou vlny značně liší, způsobuje malá změna v délce vlny v části žluté nebo modrozelené dojem patrně různý. *A. König*, zkoumající citlivost oka na světla různé délky vlny, jak ve spektru slunečním přicházejí, rozeznal 160 různých barev.

*Newtonovo* rozdělení barev, z nichž skládá se světlo bílé,

*pouhými názvy* bylo by velmi neurčité, proto Newton přisoudil každé barvě hlavní určitý rozsah, nevěda ovšem o závislosti disperse na látce hranolové. Rozsah hlavních barev Newtonových udán jest zlomky celého spektra  $\frac{1}{9}, \frac{1}{16}, \frac{1}{10}, \frac{1}{9}, \frac{1}{10}, \frac{1}{16}, \frac{1}{9}$ . Představíme-li si kruh vedený poloměrem jednotky a rozdělíme-li obvod jeho na sedm dílů, úměrných uvedeným zlomkům, označují dělicí body místa sedmi Newtonových barev, oblouky mezi nimi pak plynulý přechod barev, jak jej ve spektru spatřujeme.



Obr. 1.

Na obr. 1. vyznačen jest kruh, jehož obvod dělen jest dle pravidla Newtonova, oblouky úměrné uvedeným zlomkům odpovídají tu úhlům:  $60^{\circ}8$ ,  $34^{\circ}1$ ,  $54^{\circ}7$ ,  $60^{\circ}8$ ,  $54^{\circ}7$ ,  $34^{\circ}1$  a  $60^{\circ}8$ .

Toto znázornění jednoduchých barev spektrálních, které mělo ještě jiný, důležitý účel, o němž v dalším bude pojednáno, jest ovšem stále ještě neurčité. Přesné označení určitého druhu světla dáno jest *délkou jeho světelné vlny*. Uspořádání barev ve spektru hranolovém závislo jest na lámavém ústředí hranolu,

proto navrhl *Listing* pro tyto úvahy konstruovati spektrum, v němž by barvy byly uspořádány dle diferencií jich počtů kmitů.

Poněvadž počet kmitů převratný jest s délkou vlny  $\lambda$ , bude poloha barvy na kruhu Newtonově určena výrazem

$$\frac{1}{\lambda} = a + b\varphi,$$

kde  $\varphi$  značí úhel středový a  $a$  a  $b$  konstanty. Konstantě  $b$  vzhledem k dělení obloukovému dáme formu

$$b = \frac{c}{2\pi}.$$

Složením všech barev ve spektru obdržíme barvu bílou kterou proto *fyzikálně* považujeme za složenou. Složení lze provésti druhým hranolem, shodným s tím, jímž rozklad světla byl způsoben, nebo čočkou cylindrickou, kterou se paprsky rozloženého světla spojí na jedno místo v bílý obraz štěrbiny.

Prisoudíme-li dle Newtona každé barvě hlavní intenzitu, úměrnou hmotě příslušného oblouku kruhového (viz obr. 1.), bude každá barva hlavní znázorněna těžištěm příslušného oblouku, v němž soustředěna jest hmota odpovídající jeho délce. Vyhledáme-li společné těžiště všech těchto hmotných středů, obdržíme ovšem střed kruhu  $O$ . Vyznačuje tedy bod  $O$  barvu bílou.

Jiný zdroj světelný rozložen ve své spektrum, neposkytne barvy v těch poměrných intenzitách, jak jsou zastoupeny ve spektru slunečním, aby i v tom případě předešlé pravidlo platnosti své nepozbylo, nutno násobiti hmotu soustředěnou v jednotlivých středech oblouků určitými koeficienty. Výsledný střed hmotný neпадne pak do středu  $O$ , ale na př. do bodu  $O'$  ve vzdálenosti  $r$ . Barva zdroje nebude bílá, ale toho zabarvení, k němuž ukazuje prodloužený paprsek  $OO'$  na obvodu kruhu (barva pomerančově červená), smés výsledná jest ekvivalentní určitému množství spektrální barvy, vyjádřenému veličinou  $r$ , zvětšenému o množství světla bílého, úměrného veličině  $(1 - r)$ .

Spektrální barvy nazýváme *syťými*, přimísením barvy bílé syťosti jich ubývá, jest tedy mírou syťosti veličina  $r$ .

K určení barev jednoduchých ve směsi barev poslouží nám

kruh Newtonův, poopravíme-li rozdělení barev spektrálních dle úvahy *E. Lommel-a.* \*)

V rovnici

$$\frac{1}{\lambda} = a + \frac{c}{2\pi} \varphi$$

nutno určit velikost konstant  $a$  a  $c$ .

Obě tyto konstanty určit lze na základě pozorování. Skládáme dvě barvy, které leží na koncích téhož průměru kruhu Newtonova. Společný střed hmotný dvou bodů stejně hmotných padne do středu přímky je spojující, tedy do bodu  $O$ . Skládáním takových dvou barev obdržíme světlo bílé. Lze tedy určit hořejší konstantu  $c$ , podaří-li se změřit délku vln barev *komplementárných*.

Komplementární čili doplňkové barvy, dle měření Helmholtzova sestaveny jsou v následující tabulce, v níž přidány jsou názvy příslušných tónů barevných:

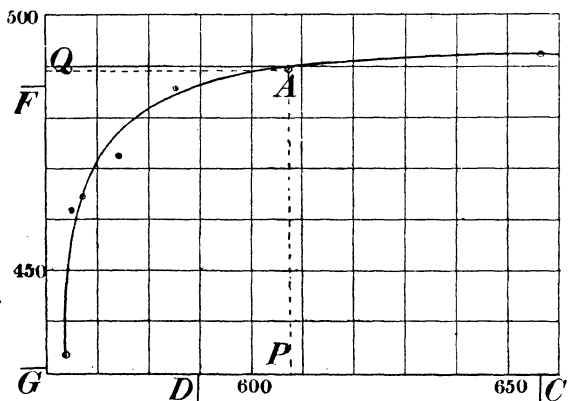
Barva	délka vlny v $\mu\mu$	barva doplňková	délka vlny v $\mu\mu$
červená . . . . .	656·2	zelenomodrá . . . . .	492·1
pomerančová . . . . .	607·7	modrá . . . . .	489·7
zlatožlutá . . . . .	585·3	modrá . . . . .	485·4
zlatožlutá . . . . .	573·9	modrá . . . . .	482·1
žlutá . . . . .	567·1	indigová . . . . .	464·5
žlutá . . . . .	564·4	indigová . . . . .	461·8
zelená . . . . .	573·6	fialová . . . . .	433.

Sestrojíme-li z těchto čísel diagram, tak že čísla prvního sloupce nanášíme jako abscissy a čísla druhého sloupce jako ordinaty, obdržíme řadu bodů, kterými lze proložit křivku, charakterisující komplementarost barev spektrálních. Bod  $A$  (viz obr. 2.) sestojen jest na př. z čísel  $\lambda = 607·7$  jako abscissy  $\overline{OP}$  a  $\lambda' = 489·7$  jako ordinaty  $\overline{OQ} = \overline{PA}$  atd.

Náhly spád křivky v části oranžové, jež odpovídá skládání barvy indigové až cyanově modré s barvami žlutou a pome-

\*) Viz *E. Lommel*: „Berechnung von Mischfarben.“ Wied. Ann. 43 pg. 472, r. 1891.

rančovou, souvisí s velikou změnou barev v střední části spektra — při měnící se délce vlny — a s malými změnami barev na



Obr. 2.

koncích spektra. Značí-li  $\lambda_1$  a  $\lambda_2$  délky vlny barev komplementárných, platí dle pravidla Newtonova

$$\frac{1}{\lambda_1} = a + \frac{c}{2\pi} \varphi$$

a

$$\frac{1}{\lambda_2} = a + \frac{c}{2\pi} (\varphi + \pi)$$

a tudíž

$$\frac{c}{2} = \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}.$$

Vypočítáme-li dle Helmholtzovy tabulky pro barvy komplementární hodnoty  $c$ , obdržíme čísla následující

$$c = 0\cdot001016$$

793

703

664

779

787

$$0\cdot001170.$$

Čísla tato nejsou konstantou proto, poněvadž nejsou intenzity uvedených barev komplementárných sobě rovny. Rovnost tato platí nejspíše pro barvu červenou ( $\lambda_1 = 656.2 \mu\mu$ ) a barvu modro-zelenou ( $\lambda_2 = 492.1$ ), zvolme tudíž v rovnici hořejší

$$c = 0.001016.$$

K určení konstanty  $a$  musí býti známa závislost intenzity světelného úkazu nějakého na délce vlny, neboť intenzita při znázornění Newtonově odpovídá hmotnosti bodu určité na kruhu barev umístěnému. *Lommel* použil k určení  $a$  známého výrazu pro intenzitu barev tenkých vrstev. Konstanta  $a$  dána jest dle toho číslem

$$a = 0.001308,$$

i jest možno dělití kruh dle různých  $\lambda$ , výpočtem příslušných  $\varphi$  dle rovnice

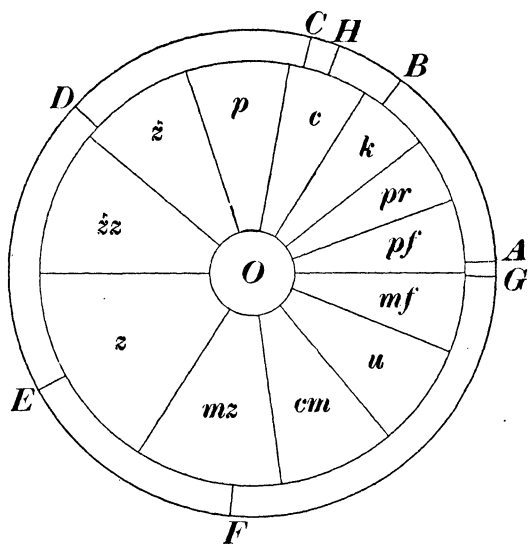
$$\frac{1}{\lambda} = 0.001308 + \frac{0.001016}{2\pi} \varphi.$$

Data k dělení kruhu potřebná obsahuje tato tabulka:

Čára Fraunhoferova	délka vlny světelné $\lambda$	úhel středový $\varphi$
<i>A</i>	760.4	2°31'
<i>B</i>	686.7	52 30
<i>C</i>	656.2	76 28
<i>D</i>	589.6	137 28
<i>E</i>	526.9	208 57
<i>F</i>	486.1	265 24
<i>G</i>	430.7	359 3
<i>H</i>	396.8	429 20.

V obr. 3. znázorněn jest kruh dělený dle čísel předešlé tabulky. Na obvodě mezi dvěma kruhy soustřednými vyznačeny jsou též nejdůležitější čáry Fraunhoferovy; mimo to rozdělena jest plocha kruhu na výseče, které na obvodu kruhu vymezují oblouk určité barvy.





Obr. 3.

Obloukem vyznačena jest barva		v mezích $\varphi$	v mezích $\lambda$
<i>pf</i>	purpurověřialová . . . . .	0°—20°	765°—733°; 430°—420°
<i>pr</i>	purpurová . . . . .	20—38	733—707 420—411
<i>k</i>	karminová . . . . .	38—58	707—679 411—402.
<i>c</i>	červená . . . . .	58—80	679—652
<i>p</i>	pomerančová . . . . .	80—108	652—620
<i>ž</i>	žlutá . . . . .	108—140	620—587
<i>žz</i>	žlutozelená . . . . .	140—180	587—551
<i>z</i>	zelená . . . . .	180—238	551—505
<i>mz</i>	modrozelená . . . . .	238—278	505—478
<i>cm</i>	cyanověmodrá . . . . .	278—310	478—458
<i>u</i>	ultramarinová . . . . .	310—338	458—442
<i>mf</i>	modrofialová . . . . .	338—360	442—430

Každý bod v začátku oblouku (viz obr. 3.), počínaje  $\varphi = 0$  až k  $\varphi = 58^\circ$  náleží dvěma barvám jednoduchým, které dávají barevné směsi ve spektru neexistující, syté barvy purpu-

rové. Těmto barvám komplementárnou jest barva zelená. Každý bod plochy kruhové označuje určitou barvu, kterou lze *vždy nahraditi*, chceme-li docíliti *téhož* dojmu zrakového, *určitým množstvím světla bílého a určitým množstvím světla sytě zbarveného*. Kruhové rozdělení v rovině vystačí, pokud přidělujeme všem jednoduchým barvám původním tutéž intenzitu, jinak nutno k znázornění přibrati ještě třetí rozměr,<sup>\*)</sup> sestrojiti pyramidu nebo kužel, který by třetím rozměrem vyznačoval intenzitu příslušného zbarvení. V úplné soustavě barev zahrnuta jest závislost těchto tří veličin, *barevného tonu, intenzity a barevné sytosti*. Prvá určuje se délkou vlny, druhá množstvím tohoto světla (barevného, sytého), třetí množstvím světla bílého. Čím méně jest barva podobná barvě bílé, tím jest sytější. Rovná-li se intenzita světla nulle, mluvíme o barvě černé, odráží-li plocha nějaká všechny barvy světla bílého, tak že intenzita všech jest v stejném poměru zmenšena, nazýváme barvu plochy šedou.

Skládáme-li barvy jednoduché, nikoliv komplementární, odpovídá výsledek kruhovému schematu Newtonovu. Čím blíže k sobě jsou tyto barvy ve spektru, tím sytější jest jich směs, čím více se vzdalují, blížíce se barvám komplementárným, tím jsou méně nasyceny. Překročí-li vzdálenost obou jednoduchých barev vzdálenost barev doplňkových, jest výsledkem barva purpurová nebo taková, která leží mezi jednou z daných barev a příslušným koncem spektra. Čím vzdálenější jsou takové dvě barvy jednoduché, tím jest sytější barva výsledná, čím bližší (předpokládaje, že vzdálenost přesahuje také mez barev doplňkových), tím méně sytou jest barva výsledná.

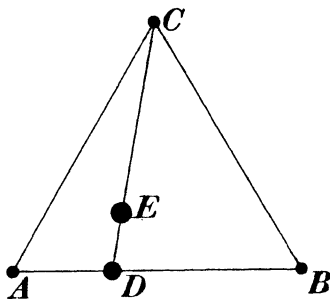
Kruhové schema Newtonovo, zdokonalené Lommelem tak, jak právě bylo vyloženo, předpokládá rovnou sytost všech barev spektrálních. Měření Helmholtzovo, týkající se barev doplňkových, ukázalo však nestejnou sytost těchto barev, tak že se stupně jest tato sytost

	největší	při	barvě	fialové,
	menší	"	"	indigové,
	ještě menší	"	"	červené a cyanové-modré,
	"	"	"	pomerančové a zelené,
	nejmenší	"	"	žluté.

<sup>\*)</sup> Tohoto způsobu znázornění skládání barev poprvé použil *Lambert*.

Pak ovšem, chceme-li setrvati při skládání barev jednoduchých při pravidlu Newtonově, nelze podržeti schemata kruhového.

*Koenig a Dieterici* na základě důkladných prací o skládání barev sestrojili křivku barev spektrálních, která určuje svým těžištěm barvu bílou. Křivka tato, vyhovující nestejně sytosti barev spektrálních, sestrojena jest na základě *geometrického* skládání barev.



Obr. 4.

V obr. 4. vyznačují tři vrcholy trojúhelníka  $A$ ,  $B$ ,  $C$  tři různé barvy. Skládáme-li dvě barvy  $A$  a  $B$ , jichž intenzity buďtež  $a$  a  $b$ , v jedinou, výsledná barva bude se nalézati na přímce, spojující body  $A$  a  $B$  a to v bodě  $D$  určeném podmínkou

$$a \cdot \overline{AB} = b \cdot \overline{BD}.$$

Na přímce  $AB$  ležeti budou pak všechny barvy, kterých lze docíliti skládáním dvou barev určitých tónů (délek vln) v rozmanitém poměru jich intenzit. Přistoupí-li ke dvěma barvám  $A$  a  $B$  ještě třetí,  $C$ , které nelze skládáním z  $A$  a  $B$  docíliti (kterou tudíž nutno naznačiti bodem mimo přímku  $AB$  ležícím), můžeme dosáhnouti jiných barev složených připojením barvy  $D$  k této nové barvě  $C$ .

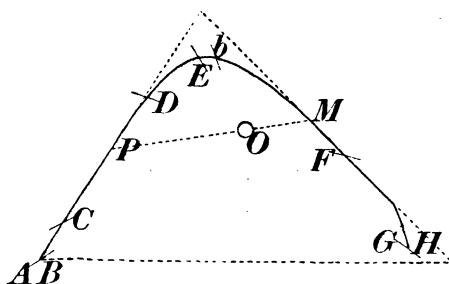
Je-li intenzita barvy  $C$  rovna  $c$ , jest dána výsledná barva polohou bodu  $E$  na přímce spojující  $C$  s  $D$  a to podmínkou

$$c \cdot \overline{CE} = (a + b) \overline{DE}.$$

Z toho následuje, že všechny body trojúhelníka  $ABC$  označují barvy, kterých lze skládáním barev  $A$ ,  $B$ ,  $C$  docíliti.

Označíme-li barvu červenou bodem, můžeme všechny barevné tóny až za Fraunhoferovu čáru  $D$  naznačiti přímkou z onoho bodu vycházející, neboť všechny tyto barvy lze utvořiti skládáním jednoduchých barev koncových. Podobně lze na přímku nanést barvy modré, indigové a fialové, vyjma fialový konec spektra. Barvy zelené v okolí čar  $E$  a  $b$  nelze na přímku nanést.

Celkový obraz dle Koeniga a Dietericiho znázorněn jest výkresem 5.



Obr. 5.

Písmena  $A, B, C$  atd. značí čáry Fraunhoferovy, bod  $O$  je těžištěm křivky, jest nejbliže nejsytějších barev, barvy complementarné jsou na koncích přímky bodem  $O$  procházející, na př. v bodech  $P$  a  $M$  (barva pomerančová a modrozelená). Tečkovanými přímkami naznačen jest trojúhelník, k němuž se křivka nejvíce blíží; základna jest místem doplňkových barev světla zeleného, tedy tónů purpurových, které ve spektru neexistují.

Úchylka křivky v části fialové od přímky tečkované vysvětluje se změnou paprsků fialových na sítnici oka. Má se za to, že vidíme tyto paprsky jen proto, že se na sítnici mění fluorescencí.

Křivka Koenig-Dietericiho podává důkaz, že lze vhodnou volbou tří barev docíliti skládáním s velkou přibližností všech barev vůbec. Tři tyto barvy základní nutno voliti tak, aby v hořejším trojúhelníku ležely na jeho vrcholech, jsou tedy barvami základními barva červená, zelená a fialová. Barvy zá-

kladní nemusí býti zároveň jednoduchými, pro barvu zelenou na př. vůbec nelze této podmínce vyhověti.

Můžeme tedy ze tří barev základních skládáním jich v rozmanitých intenzitách dosáhnouti všech možných barevných odstínů.

Výsledek tento veliké jest důležitosti pro nepřímé metody *fotografie v přirozených barvách* a pro *trojbarvý tisk*. O této okolnosti stane se později ještě zmínka.

(Pokračování.)

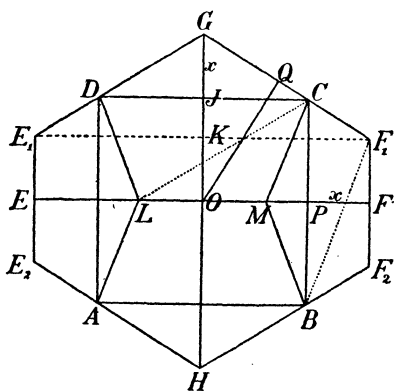
## Kterak přikročiti k řešení pravidelného dvanáctistěnu, nejsou-li dány číselné vztahy částek pravidelného pětiúhelníka.

Napsal

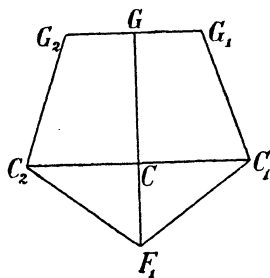
**Ant. Jeřábek.**

professor c. k. akad. gymnasia v Praze.

Znač  $a$  hranu pravidelného dvanáctistěnu,  $d$  úhlopříčku



Obr. 1.



Obr. 2.

stěny téhož,  $r$  poloměr koule témuž vepsané. Položíme-li řez dvěma protějšími rovnoběžnými hranami  $E_1 E_2$  a  $F_1 F_2$ ,