univ. ION CUCULESCU

Prof. CONSTANTIN OTTESCU

Matematică

Geometrie

Manual pentru clasa a VII-a

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, BUCUREȘTI

Manualul a fost elaborat pe baza programei şcolare aprobate de Ministerul Educaţiei şi Învăţământului cu nr. 39489/79

Referenţi: Prof. univ. dr. **Dan Papuc**
Prof. **Ioan Mitrache**
Prof. **Theodor Emil Popescu**
Prof. **Lucia Ericka Suhay**

La definitivarea manualului s-a ţinut seama şi de propunerile unor cadre didactice din Bucureşti şi Constanţa.

ISBN 973—30—0051—5

Redactor: prof. **Ioan Şt. Muşat**
Tehnoredactor: **Condopol Viorica**
Coperta: **Nicolae Sîrbu**

PROBLEME RECAPITULATIVE DIN MATERIA CLASEI A 6-a

(Notăm cu asterisc pe cele pe care le considerăm mai dificile)

1. Dîndu-se dreptunghiul $ABCD$ $(AB > BC)$ construim în interiorul său triunghiul echilateral EBC şi în exteriorul său triunghiul echilateral GAB. Să se demonstreze că GE este congruentă cu diagonala dreptunghiului.

2*. În triunghiul ABC, $\sphericalangle A = 60°$, BB' şi CC' sînt înălţimi (B' şi C' sînt respectiv pe AC şi AB). Fie H ortocentrul triunghiului (punctul de intersecţie al înălţimilor). Demonstraţi că:

a) Dacă T este simetricul lui H faţă de AC, $\triangle HTC$ este echilateral.

b) Dacă bisectoarea unghiului BHC taie cercul circumscris triunghiului ABC în I şi $IB \equiv IC$, atunci $\triangle BIH$ şi $\triangle CIH$ sînt echilaterale.

3. Dacă $ABCD$ este un paralelogram şi dacă înălţimea din A pe DC este congruentă cu cea dusă din A pe BC, paralelogramul este romb.

4. Într-un patrulater convex diagonalele sînt şi bisectoare. Precizaţi natura lui! (Cu ce fel de patrulater avem de-a face?)

5. Pe laturile AB, BC, CA ale unui triunghi luăm respectiv punctele C', A', B'. Demonstraţi că perimetrul triunghiului $A'B'C'$ este mai mic decît cel al triunghiului ABC.

6. În triunghiul ABC, unghiurile B şi C au măsurile de 70°, respectiv 60°. Fie BB', CC' înălţimi şi BD bisectoare în triunghiul ABC. Să se determine măsurile unghiurilor triunghiului determinat de dreptele BB', CC', BD.

7. În triunghiul AOB din figura 0.1, care este isoscel $(OA \equiv OB)$, segmentele $AC \equiv CD \equiv DB$. Să se demonstreze că unghiurile $\sphericalangle O_1$, $\sphericalangle O_2$, $\sphericalangle O_3$ nu pot fi toate trei congruente între ele.

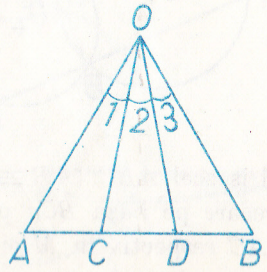


Fig. 0.1

8. Două cercuri de centre O și O' sînt tangente exterioare în punctul A. Fie T, T' punctele în care o tangentă comună exterioară „atinge" respectiv cercurile. Linia centrelor OO' taie a doua oară cercurile în M și M'. Demonstrați că $TMM'T'$ este patrulater inscriptibil.

9. Cercurile de centre O respectiv O' și de diametre AA' și AA'' au comune punctele A și B (fig. 0.2). Să se demonstreze că:

a) Punctele A', B și A'' sînt coliniare.

b) Unghiurile triunghiurilor variabile AMN (unde M este pe cercul O și MB taie a doua oară cercul O' în N) au măsuri constante.

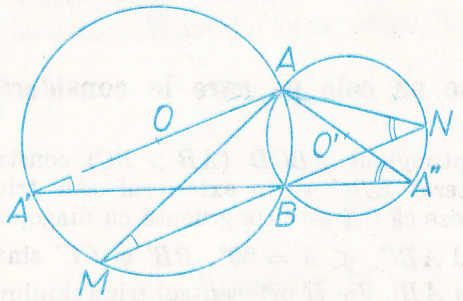


Fig. 0.2

10. Triunghiul ABC, înscris în cercul de centru O, are punctele B și C fixe și A descrie „arcul mare" BC. Să se arate că bisectoarea unghiului A trece printr-un punct fix. Are vreo importanță faptul că A descrie „arcul mare" sau putem formula o problemă analoagă privind „arcul mic"?

11*. Dîndu-se 4 puncte fixe, să se ducă prin fiecare din ele cîte o dreaptă, astfel încît aceste drepte să formeze un pătrat.

12. În triunghiul ABC, I este centrul cercului înscris și dreapta AI intersectează cercul circumscris triunghiului ABC a doua oară în L. Demonstrați că $LI \equiv LB \equiv LC$.

13. Două cercuri secante de centre O și O' (fig. 0.3) se taie în A și B. Prin A și B ducem două drepte paralele care taie a doua oară cercurile respectiv în M și M', N și N'. Demonstrați că $MNN'M'$ este paralelogram.

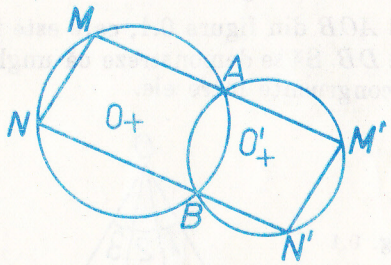


Fig. 0.3

14. Se dă triunghiul isoscel ABC ($AB \equiv AC$) și fie AH înălțimea sa din A și P un punct oarecare pe baza BC; perpendiculara din P pe bază întîlnește dreptele AB și AC respectiv în M și N. Se cere să se arate că:

a) triunghiul AMN este isoscel;

b) $AH = \frac{MP + NP}{2}$. Să se deducă de aici că suma $MP + NP$ este constantă cînd P descrie segmentul BC;

c*) care este locul geometric al mijlocului segmentului MN, cînd P descrie segmentul BC.

15. În triunghiul ABC, A_1 este piciorul înălțimii coborîte din A pe BC și A', B', C' sînt mijloacele laturilor BC, AC, respectiv AB. Să se arate că $A'B'C'A_1$ este un trapez isoscel.

16. În triunghiul ABC, H este ortocentrul și A', B', C' sînt mijloacele laturilor opuse respectiv vîrfurilor A, B și C. Dacă A_2 este mijlocul segmentului HA, să se demonstreze că:

a) $\sphericalangle A_2C'A' = 90°$;

b) patrulaterul $A'B'A_2C'$ este inscriptibil.

17*. *Cercul celor 9 puncte* (cercul lui Euler)

Folosind problemele 15 și 16 să se demonstreze că:

Într-un triunghi, picioarele înălțimilor, mijloacele laturilor și mijloacele segmentelor determinate de ortocentru și vîrfuri sînt conciclice (se găsesc pe un același cerc).

18. Dacă într-un triunghi ABC, $\sphericalangle B = 60°$, $AB = 2BC$, demonstrați că triunghiul este dreptunghic.

19*. Pe latura AB a triunghiului echilateral ABC se ia punctul E, astfel încît $2BE = EA$. La fel, pe latura AC se ia punctul D astfel încît $CD = 2AD$. Demonstrați că $\sphericalangle AFC = 90°$, unde F este punctul de întîlnire a segmentelor BD și EC.

20. Să se construiască un triunghi cunoscînd lungimile a două laturi (AB și AC) și lungimea înălțimii corespunzătoare laturii a treia (AA').

21**. În figura 0.4 patrulaterul $ABCD$ este înscris în cercul dat, $AE \parallel BC$, $AE \equiv AD$, $CF \parallel AB$, $CF \equiv CD$. Demonstrați că $DF \perp DE$.

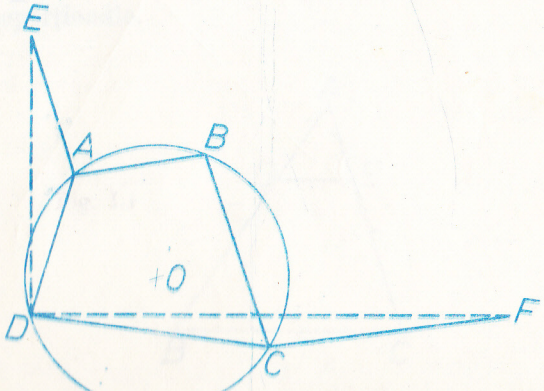


Fig. 0.4

22. Construiți un triunghi ABC în care se cunosc lungimea laturii BC, măsura unghiului A și lungimea înălțimii BB'.

23*. Să se construiască triunghiul ABC în care se cunosc: lungimea laturii BC, a medianei AM și mărimea unghiului A. Discuție.

24. Pe laturile triunghiului ABC se construiesc: „în afară“ trei triunghiuri echilaterale: $A'BC$, $B'AC$, $C'AB$. Demonstrați că:

a) $BB' \equiv CC' \equiv AA'$;

b) cercurile circumscrise celor trei triunghiuri echilaterale au un punct comun.

25*. Să se construiască triunghiul ABC în care se cunosc lungimile laturii BC și ale medianelor BB' și CC'.

26. În triunghiul ABC se cunosc: lungimile laturii BC și ale înălțimilor BB' și CC'. Să se construiască triunghiul.

27. Să se construiască un triunghi cunoscînd lungimile a două laturi și a medianei laturii a treia.

28*. Să se construiască un triunghi ABC cînd se cunosc lungimile înălțimii, bisectoarei și medianei care pornesc din A (luate ca segmente).

29*. Două cercuri (O) și (O') sînt tangente exterioare într-un punct A. Fie TT' una din tangentele comune exterioare și M, M' intersecțiile celor două cercuri cu o dreaptă variabilă ce trece prin A. Să se afle locul geometric al punctului P de intersecție a lui MT cu $M'T'$.

30. Să se construiască un triunghi ABC în care se cunosc lungimile înălțimii BB', a laturii BC și a razei cercului circumscris lui ABC.

31. Dîndu-se trei semidrepte OX, OY și OZ (OZ interioară unghiului XOY), fie M un punct pe OZ. Să se ducă prin M o dreaptă care să intersecteze pe OX în A și pe OY în B, astfel încît M să fie mijlocul segmentului AB.

32. Pe cercul circumscris triunghiului echilateral ABC se ia, pe arcul mic BC, punctul variabil M. Bisectoarea unghiului BMC taie coarda BC în T. Din T ducem $TQ \perp MB$ și $TS \perp MC$. ($Q \in MB$, $S \in MC$).

a) Demonstrați că $\triangle TQS$ este echilateral;

b) Demonstrați că punctele M, T, A sînt coliniare.

CAPITOLUL 1

RELAȚII METRICE

INTRODUCERE

În acest manual vom prezenta, ca și în cel pentru clasa a 6-a, teoreme de geometrie în plan. Stilul va fi același.

În acest capitol urmărim să demonstrăm teoreme pe baza cărora să putem calcula lungimile unor segmente și mărimile unor unghiuri ce apar în diferite construcții geometrice. Astfel ni se va deschide și perspectiva, de exemplu, de a demonstra congruența a două segmente calculînd lungimile lor și constatînd că acestea sînt egale. Bineînțeles că, datorită scopului descris mai sus, vor fi multe probleme în care concluzia va fi „incompletă“, de tipul „$AB = \ldots$“ (în care în loc de punctele de suspensie urmează să punem, abia la sfîrșitul sau în cursul raționamentului, expresia corespunzătoare).

TEOREMA LUI THALES

O paralelă la una din laturile unui triunghi determină pe celelalte două laturi segmente proporționale.

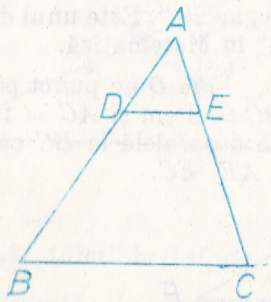


Fig. I.1

Ipoteza: $DE \parallel BC$.

Concluzia: $\frac{AD}{AB} = \frac{AE}{AC}$.

Demonstrația o vom face deocamdată, în acest paragraf, numai în cazul cînd unul din cele două rapoarte este un număr rațional.

Să presupunem, de exemplu, că $\frac{AD}{AB} = \frac{2}{7}$. Să împărțim segmentul AB în 7 părți congruente prin punctele D_1, D_2, ..., D_6. Vom avea deci $AD_1 \equiv D_1D_2 \equiv \ldots \equiv D_5D_6 \equiv D_6B$. Să ducem prin punctele D_1, ..., D_6 paralele la BC; ele vor tăia latura AC respectiv în E_1, ..., E_6. Deci, în figura I.2, vom avea $D_1E_1 \parallel D_2E_2 \parallel \ldots \parallel D_6E_6 \parallel BC$.

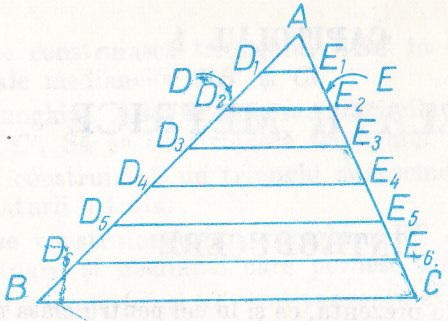


Fig. I.2

Aplicînd teorema asupra liniei mijlocii în triunghiul AD_2E_2, precum și în trapezele $D_1E_1E_3D_3$, $D_2E_2E_4D_4$,..., $D_4E_4E_6D_6$, D_5E_5CB, obținem $AE_1 \equiv E_1E_2 \equiv \ldots \equiv E_5E_6 = E_6C$.

Să observăm acum că $\frac{AD_2}{AB} = \frac{2}{7} = \frac{AD}{AB}$; deci $AD_2 = AD$, adică $D = D_2$. Deducem acum că $E = E_2$ și, în sfîrșit, este vizibil că $\frac{AE}{AC} = \frac{2}{7}$.

Observația 1. La fel se dovedește că, în notațiile figurii I.2, avem $\frac{DB}{AB} = \frac{EC}{AC}$.

Împărțind relația din concluzia teoremei cu cea scrisă aici, obținem și $\frac{AD}{DB} = \frac{AE}{EC}$. Deci, oricum am scrie concluzia teoremei lui Thales (determină segmente proporționale), obținem un enunț adevărat.

Observația 2. Lungimea unui segment depinde de unitatea de măsură aleasă pentru segmente, în schimb cîtul lungimilor a două segmente nu depinde. Acest cît se numește, după cum s-a învățat la Aritmetică, și „raportul lungimilor celor două segmente". Este unul din primele locuri în care noțiunea de raport, „spune ceva" în Matematică.

Fie D un punct pe latura AB a unui triunghi ABC în care $AB = 5$ cm, $BC = 8$ cm și $AC = 10$ cm (fig. I.3). Se știe că $AD = 2$ cm. Prin D ducem o paralelă la BC care taie AC în E. Să se calculeze lungimile segmentelor AE, EC.

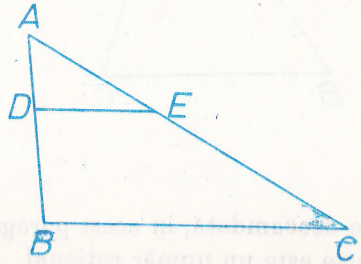


Fig. I.3

Ipoteza
$AB = 5$, $BC = 8$, $AC = 10$, $AD = 2$.
$DE \parallel BC$

Concluzia
$AE = \ldots$, $EC = \ldots$.

Rezolvare.* Triunghiul despre care este vorba există deoarece $8 - 5 < 10 < 8 + 5$. Teorema lui Thales dă $\frac{AD}{AB} = \frac{AE}{AC}$, deci $\frac{2}{5} = \frac{AE}{10}$, de unde obținem $AE = 4$ și apoi $EC = AC - AE = 6$. Deci concluzia completă este: $AE = 4$, $EC = 6$.

Observație. Dacă scriam teorema lui Thales sub forma $\frac{AD}{DB} = \frac{AE}{EC}$, atunci, notînd $AE = x$, deci $EC = 10 - x$, obțineam $\frac{2}{3} = \frac{x}{10 - x}$ și, rezolvînd ecuația, găsim $x = 4$ etc.

2. Pe laturile unui unghi cu vîrful în O se dau punctele A, B respectiv C, D (fig. I.4). Să se precizeze poziția punctului M de intersecție a dreptelor AC și BD calculînd raportul $\frac{MA}{MC}$.

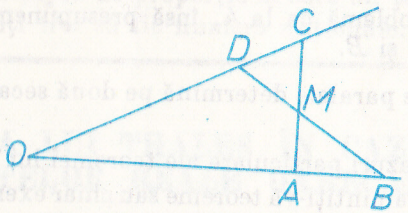


Fig. I.4

Rezolvare. Pentru a putea aplica teorema lui Thales, să ducem prin A paralela la BD și să notăm cu X punctul în care ea intersectează pe OC ($AX \parallel BD$) (fig. I.5).

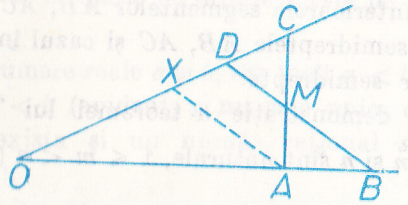


Fig. I.5

Teorema lui Thales în $\triangle CXA$, „tăiat" de DM, dă $\frac{MA}{MC} = \frac{DX}{DC}$. Lungimea segmentului DX este încă necunoscută, dar teorema lui Thales în $\triangle OBD$ tăiat de AX dă $\frac{DX}{DO} = \frac{BA}{BO}$. Acum este ușor de obținut concluzia dorită (ipoteza fiind formată din figura I.4): $\frac{MA}{MC} = \frac{DO}{DC} \cdot \frac{BA}{BO}$.

* Aceasta este tot o demonstrație, dar nu „demonstrăm" ci „rezolvăm" o problemă.

Putem trece acum la *demonstrația teoremei lui Thales în cazul general* (bazîndu-se pe valabilitatea acestei teoreme în cazul cînd unul din rapoartele ce apar este rațional).

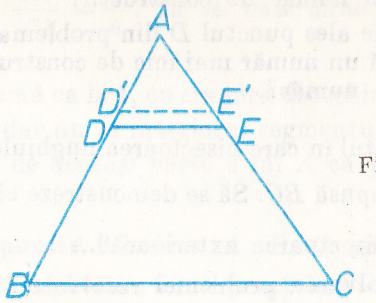


Fig. I.6

Fie r un număr rațional astfel ca $r < \frac{AD}{AB}$, deci $r \cdot AB < AD$. Să construim un punct D' situat în interiorul segmentului AD (fig. I.6), astfel încît $AD' = r \cdot AB$. Paralela prin D' la BC va tăia AC într-un punct E' situat în interiorul segmentului AE. Conform teoremei lui Thales pentru raport rațional, vom avea $\frac{AE'}{AC} = r$, deci $r < \frac{AE}{AC}$.

Am arătat astfel că, pentru r rațional avem $\left(r < \frac{AD}{AB}\right) \to \left(r < \frac{AE}{AC}\right)$.

La fel se arată că pentru r rațional avem $\left(r < \frac{AE}{AC}\right) \to \left(r < \frac{AD}{AB}\right)$.

Pe baza proprietății c) de mai sus, teorema lui Thales este complet demonstrată.

Observație. Vom vedea în cele ce urmează că, efectuînd construcții geometrice asupra unor segmente cu lungimi raționale (chiar naturale), obținem foarte ușor segmente de lungimi irraționale. De exemplu, lungimea diagonalei unui pătrat de latură 1 este un număr irațional. De aceea este important să știm că teorema lui Thales este adevărată în cazul cînd rapoartele ce apar în ea sînt numere reale oarecare.

TEOREMA FUNDAMENTALĂ A ASEMĂNĂRII*

Teoremă. O paralelă la una din laturile unui triunghi formează cu celelalte laturi un alt triunghi care are toate unghiurile respectiv congruente și toate laturile respectiv proporționale cu ale celui inițial.

Deci în triunghiul ABC ducem PQ paralelă cu BC ($P \in AB$ $Q \in AC$), notațiile fiind cele din figura I.7.

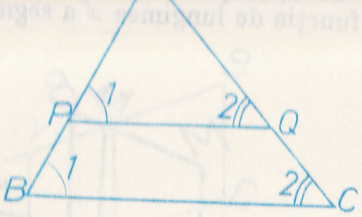


Fig. I.7

Ipoteza
$PQ \parallel BC$.

Concluzia
1) $\sphericalangle A \equiv \sphericalangle A$, 2) $\sphericalangle P_1 \equiv \sphericalangle B_1$,
3) $\sphericalangle Q_2 \equiv \sphericalangle C_2$, 4) $\frac{AP}{AB} = \frac{AQ}{AC} = \frac{PQ}{BC}$.

Demonstrație

Relația 1) este evidentă. Congruențele 2), 3) se referă la unghiuri corespondente. Prima proporție din 4) rezultă direct din teorema lui Thales. Rămîne de demonstrat că $\frac{AQ}{AC} = \frac{PQ}{BC}$. Pentru aceasta ducem $QT \parallel AB (T \in BC)$, (fig. I.8). Se formează astfel, pe de o parte, paralelogramul $PQTB$ și deci

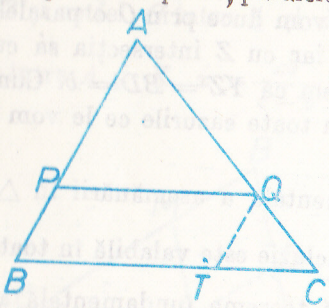


Fig. I.8

$PQ \equiv BT$, pe de altă parte se poate aplica teorema lui Thales ($QT \parallel AB$) și se obține: $\frac{AQ}{AC} = \frac{BT}{BC}$. În ultima proporție înlocuind pe BT cu PQ, obținem și ultima relație căutată.

Observație. Putem să considerăm că paralela PQ întîlnește prelungirile laturilor triunghiului ABC; demonstrația rămîne în esență aceeași (fig. I.9).

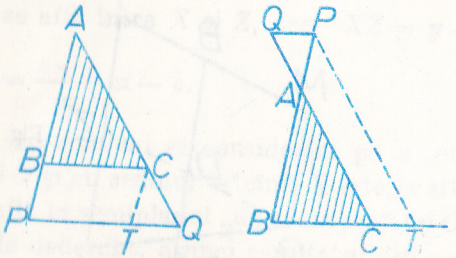


Fig. I.9

Problemă rezolvată. Se consideră un trapez $OABM$, de baze $OM = b$ și $AB = c$, în care $OA = a$. Se alege un punct X pe dreapta OA; paralela prin X

* Această formulare își va găsi semnificația mai tîrziu.

. Probleme

. În interiorul unui segment AB cu lungimea de 55 cm se consideră
n punct C astfel ca $\frac{AC}{CB} = \frac{5}{6}$. Să se determine lungimile segmen-
elor AC și CB.

2. Aceeași problemă ca la 1, cu singura deosebire că se presupune C situat pe dreapta AB dar nu în interiorul segmentului AB.

Unde rezultă C: de aceeași parte a lui A ca și B sau de cealaltă parte?

3. Se dau trei puncte coliniare A, B, C astfel încît C să fie situat ntre A și B. Să se exprime fiecare din rapoartele $x = \frac{CA}{CB}$, $y = \frac{CA}{AB}$ și $z = \frac{CB}{AB}$ n funcție de fiecare din celelalte două.

4. Dacă A, B, C, D sînt puncte coliniare, dacă C și D sînt situate între A și B și dacă $\frac{CA}{CB} = \frac{DA}{DB}$, să se demonstreze că $C = D$.

5. Aceeași problemă ca la 4, însă presupunem că nici C și nici D nu este situat între A și B.

6. Trei drepte paralele determină pe două secante segmente proporționale.

7. Enunțați cazuri particulare ale teoremei lui Thales; și ale teoremei din problema 6 (amintiți-vă teoreme sau chiar exerciții de anul trecut!)

8. Care este reciproca teoremei lui Thales? Este ea adevărată?

9. Fie M și N puncte pe laturile AB, AC ale unui triunghi ABC, astfel ca $MN \parallel BC$. Dacă $\frac{AM}{AB} = \frac{3}{11}$, să se calculeze $\frac{AN}{NC}$.

10. Demonstrați teorema lui Thales în cazul în care punctele D și E nu se află în interioarele segmentelor AB, AC; deosebiți cazul în care ele se află pe semidreptele AB, AC și cazul în care ele se află pe prelungirile acestor semidrepte.

11. Scrieți o demonstrație a teoremei lui Thales, considerînd $\frac{AD}{AB} = \frac{m}{n}$ în care m și n sînt naturale, $1 \leqslant m < n$ (deci fără a particulariza pe m și n).

12. Fiind date trei segmente de lungimi u, v, w, să se construiască un segment de lungime x, astfel ca $x = \frac{uv}{w}$. Caz particular: $u = 6$ cm, $v = 10$ cm, $w = 15$ cm.

13. (Întrebare.) Puteți folosi teorema lui Thales pentru a construi un segment cu lungimea $x = \sqrt{uv}$, u și v fiind lungimile unor segmente date?

14. Se consideră trei semidrepte Ox, Oy, Oz, punctele A, A_1 pe Ox, punctul B pe Oy și punctul C pe Oz. Paralela prin A_1 la AB taie Oy în B_1, iar paralela la BC prin B_1 taie Oz în C_1. Să se demonstreze că $C_1A_1 \parallel CA$.

15. Se consideră un punct D pe latura BC a triunghiului ABC. Paralela prin D la AB taie AC în E, paralela la BC prin E taie AB în F etc. Să se arate că după un anumit număr de astfel de construcții „ne întoarcem" în D. Care este acel număr de construcții?

16. Cum trebuie ales punctul D din problema 15, pentru ca întoarcerea în D să aibă loc după un număr mai mic de construcții decît în cazul general? Care este acel nou număr?

17. Fie D punctul în care bisectoarea unghiului A al unui triunghi intersectează latura opusă BC. Să se demonstreze că $\frac{DB}{DC} = \frac{AB}{AC}$. Aceeași problemă pentru „bisectoarea exterioară"... .

18. Scrieți rezolvarea problemei rezolvate 2 în cazul în care punctul C este între O și D. Ce constatați cu privire la rezultat?

19. Pe dreapta Ox se consideră punctele A, B, C, iar pe dreapta Oy punctele A', B', C'. Dacă $AB' \parallel BA'$ și $BC' \parallel CB'$, să se demonstreze că $AC' \parallel CA'$.

20. Dați un exemplu de proporție în care un termen să fie număr întreg, iar toți ceilalți trei să fie numere iraționale.

TEOREMA LUI THALES ÎN CAZUL RAPOARTELOR REALE OARECARE

Înainte de a demonstra teorema în acest caz, să amintim cîteva fapte relativ la numerele reale.

a) Fiind date două numere reale a și b, este adevărată una și numai una din relațiile $a < b$, $a = b$, $b < a$.

Cu alte cuvinte, $<$ este o relație de ordine totală pe mulțimea numerelor reale.

b) Fiind date două numere reale a și b, așa încît $a < b$, există un număr rațional r astfel ca $a < r < b$ (evident, r nu este unic, deoarece, conform aceleiași proprietăți, va exista și un număr rațional s cu proprietatea $a < s < r$, deci $s < b$ etc.).

Exemplificăm această proprietate astfel. Dacă $a = 2{,}738...$ și $b = 3{,}069...$ putem lua $r = 2{,}9$; dacă $a = 2{,}839997...$ și $b = 2{,}8400002...$ putem lua $r = 2{,}839998$.

c) Dacă avem două numere reale a și b așa încît, *pentru r rațional*, este adevărat că $(r < a) \longleftrightarrow (r < b)$ atunci $a = b$.

Aceasta este o consecință a proprietăților a), b). Într-adevăr, dacă, de exemplu, am avea $a < b$, atunci alegem un r rațional cu proprietatea $a < r < b$ și avem $r < b$ adevărat dar $r < a$ fals, deci $\longleftarrow$ ar fi neadevărată, contrar ipotezei.

la baze taie MB în Y. Presupunînd $c > b$, să se exprime lungimea y a segmentului XY în funcţie de lungimea x a segmentului OX.

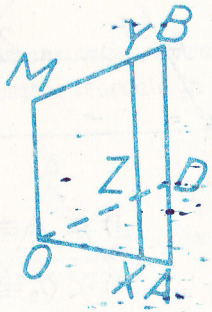


Fig. I.10

Ipoteza
$OM \parallel XY \parallel AB$,
$OA = a$, $OM = b$, $AB = c$,
$OX = x$, $XY = y$.

Concluzia :
$XY = \ldots$

Rezolvare. Va trebui să deosebim mai multe cazuri, după poziţia lui X pe dreapta OA.

În toate cazurile vom duce prin O o paralelă la BM şi vom nota cu I intersecţia sa cu AB, iar cu Z intersecţia sa cu XY. Din paralelogramel $OMYZ$, $OMBD$ deducem că $YZ = BD = b$. Cum $b < c$, rezultă că punctu D, care va fi acelaşi în toate cazurile ce le vom deosebi, este situat între A şi B, iar $AD = c - b$.

Teorema fundamentală a asemănării în $\triangle OAD$ tăiat de XZ dă $\frac{x}{a} = \frac{XZ}{c-b}$. Această concluzie este valabilă în toate cazurile, dacă ţinem seam de observaţia de după teorema fundamentală a asemănării.

Cazul 1 (fig. I.10): X se află între O şi A.

În cazul 1, Z va fi între X şi Y, deci $\frac{x}{a} = \frac{y-b}{c-b}$; în acest caz rezu tatul este $y = b + \frac{c-b}{a}x$.

Cazul 2 (fig. I.11): A se află între O şi X

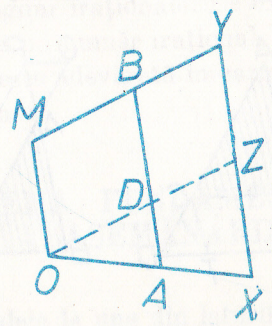


Fig. I.11

corespunde tot situaţiei „Z între X şi Y“, deci raţionamentul şi rezultatul sî aceleaşi ca şi în cazul 1.

Cazul 3 (fig. I.12): X se află între O şi intersecţia C a dreptelor OA şi MB.

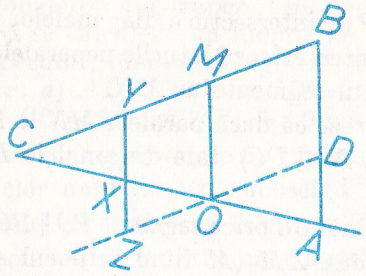


Fig. I.12

În acest caz, X se află între Y şi Z, deci $XZ = b - y$ şi obţinem $\frac{x}{a} = \frac{b-y}{c-b}$, iar rezultatul este $y = b - \frac{c-b}{a}x$.

Alegînd $X = C$ obţinem $\frac{OC}{a} = \frac{b}{c-b}$, deci $OC = \frac{ab}{c-b}$, ceea ce ne permite să descriem cazul 3 şi astfel: O între A şi X, $x < \frac{ab}{c-b}$.

Cazul 4 (fig. I.13): O între A şi X, $x > \frac{ab}{c-b}$ (cu alte cuvinte C între O şi X).

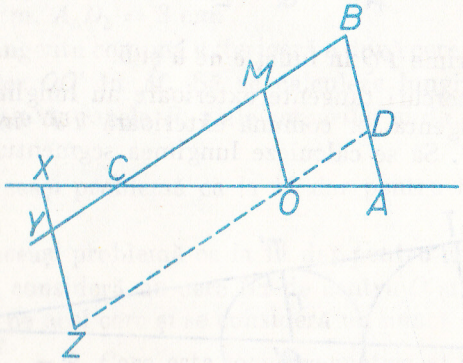


Fig. I.13

În acest caz, Y se află între X şi Z, deci $XZ = y + b$, $\frac{x}{a} = \frac{y+b}{c-b}$, iar rezultatul este $y = \frac{c-b}{a}x - b$.

Observaţie. Dacă am conveni să considerăm pe x „cu semnul +“ cînd X este „la dreapta“ lui O şi cu semnul —“cînd X este „la stînga“ lui O, pe y cu semnul + cînd Y se află în semiplanul „de deasupra“ lui OA şi cu semnul — cînd Y se află în cel de dedesubt, atunci rezultatul din cazul 1 ar fi valabil în toate celelalte cazuri.

Această observaţie ne arată că se apropie momentul cînd vom învăţa să considerăm şi „lungimi negative“.

2. Probleme

1. Prin punctul P de intersecţie a diagonalelor unui trapez, se duce o paralelă la baze. Ea intersectează laturile neparalele în M şi N. Demonstraţi că P este mijlocul segmentului MN.

2. Să se demonstreze că dacă paralela MN la bazele AD şi BC ale unui trapez ($M \in AB$, $N \in DC$) taie diagonalele BD în T şi AC în S, atunci $MT \equiv SN$.

3. Într-un triunghi ABC orice segment $PQ \parallel BC$ ($P \in AB, Q \in AC$) este împărţit de mediana AM (M fiind mijlocul segmentului BC) în două segmente congruente.

4. Să se construiască o paralelă la bazele unui trapez oarecare care să fie împărţită de diagonale în trei părţi congruente.

5. În figura de mai jos $AD = a$ şi $BC = b$ sînt două segmente paralele. DB şi AC se taie în P. Segmentul PQ este paralel cu AD ($Q \in AB$).

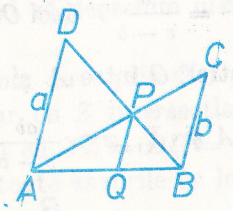


Fig. I.14

Să se exprime PQ în funcţie de a şi b.

6. Două cercuri tangente exterioare au lungimile razelor R şi r (fig. I.15). Tangenta lor comună exterioară TT' întîlneşte linia centrelor OO' în S. Să se calculeze lungimea segmentului $O'S$ în funcţie de R şi r.

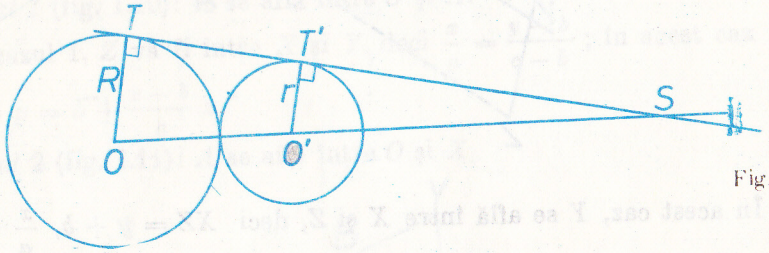


Fig. I.15

7. Un triunghi ABC are laturile $AB = 9$ cm, $BC = 15$ cm şi $AC = 18$ cm. Se ia pe latura AB un punct D, astfel ca $AD = 6$ cm; paralela prin D la BC taie AC în E. Să se calculeze lungimile laturilor triunghiului ADE.

8. Laturile neparalele BC, AD ale unui trapez $ABCD$ se intersectează în M. Să se calculeze lungimile segmentelor MA, MB, MC, MD în funcţie de laturile trapezului (se va presupune că baza mare este AB). Aplicaţii numerice: a) $AB = 20$ cm, $BC = 6$ cm, $CD = 15$ cm, $DA = 8$ cm, b) $AB = 20$ cm, $BC = 3$ cm, $CD = 15$ cm. $DA = 9$ cm.

9. Diagonalele unui trapez $ABCD$ de baze AB, CD se intersectează în N. Să se calculeze, în funcţie de lungimile bazelor şi ale diagonalelor trapezului, lungimile segmentelor NA, NB, NC, ND. Aplicaţii numerice: *a)* $AB = 20$ cm, $CD = 10$ cm, $AC = 21$ cm, $BD = 12$ cm; *b)* $AB = 20$ cm, $CD = 10$ cm, $AC = 15$ cm, $BD = 9$ cm.

Observaţie. Cu cunoştinţele de pînă acum, nu putem calcula lungimile diagonalelor unui trapez, cunoscînd laturile sale. Vom ajunge să rezolvăm o astfel de problemă la pagina 53. Din acest motiv nu putem unifica problemele 8 şi 9 într-una singură.

10. Se consideră o dreaptă d şi pe ea punctele A_0, A_1, A_2, ... aşa încît $A_0A_1 = A_1A_2 = \ldots = 1$ cm. Se duc perpendicularele a_0, a_1, a_2, ... pe d în punctele A_0, A_1, A_2, ...

a. Se consideră punctele B_1 şi C_1 pe a_1 şi punctele B_2, C_2 pe a_2, toate în acelaşi semiplan determinat de d, astfel ca $A_1B_1 = 2$ cm. $A_1C_1 = 7$ cm, $A_2B_2 = 6$ cm, $A_2C_2 = 3$ cm. Să se precizeze poziţia punctului M de intersecţie al dreptelor B_1B_2, C_1C_2, calculînd A_0N şi NM, unde N este piciorul perpendicularei din M pe d.

b. Aceeaşi problemă pentru punctul de intersecţie al dreptelor D_1D_2, D_4D_5, în care D_1 este situat pe a_1, D_2 pe a_2, D_4 pe a_4, D_5 pe a_5, toate în acelaşi semiplan determinat de d, iar $A_1D_1 = 1$ cm, $A_2D_2 = 5$ cm, $A_4D_4 = 10$ cm, $A_5D_5 = 3$ cm.

11. Tangenta comună exterioară a două cercuri exterioare întîlneşte linia centrelor OO' în M. Să se calculeze lungimile segmentelor MO, MO' în funcţie de razele R, r ale cercurilor şi de distanţa $d = OO'$ între centrele lor.

12. Aceeaşi problemă ca la 11 dar pentru tangenta comună interioară.

13. Aceeaşi problemă ca la 11 dar pentru cercuri secante.

14. Se consideră un cerc fix de centru O şi un punct fix A. Se ia un punct M pe acel cerc şi se consideră un punct N pe semidreapta AM astfel ca $\frac{AN}{AM} = k$. Care este locul geometric al lui N cînd M parcurge cercul dat, k rămînînd şi el fix.

15. Aceeaşi problemă ca la 14, însă alegînd punctul N pe dreapta AM astfel ca A să fie între M şi N.

16. Se consideră două cercuri neconcentrice, de raze neegale.

a) Găsiţi un punct A şi un număr k astfel încît locul geometric din problema 14, relativ la unul din cercuri, la A şi la k, să fie tocmai celălalt cerc.

b) Aceeaşi problemă în ceea ce priveşte locul geometric din problema 15.

c) Ce se întîmplă dacă razele cercurilor ar fi egale?

d) În cazurile în care cercurile ar fi exterioare, tangente exterioare, precizaţi poziţia punctelor de la a şi b, iar în cazurile în care cercurile ar fi secante, tangente interioare, precizaţi poziţia punctului de la a).

17. Se consideră un patrulater convex $ABCD$ și un punct M interior segmentului AC. Paralela prin M la AB taie BC în N, iar paralela prin M la CD taie AD în P. Să se demonstreze că $\frac{MN}{AB} + \frac{MP}{CD} = 1$.

18. În paralelogramul $ABCD$ unim A cu mijlocul lui BC și B cu mijlocul lui CD; cele două drepte se taie în X. Care este valoarea raportului $\frac{XA}{XM}$, unde M este mijlocul lui BC?

19. Locul geometric al punctelor din interiorul unui unghi nealungit pentru care raportul distanțelor la laturile unghiului este egal cu un număr dat, este o semidreaptă cu originea în vîrful unghiului.

Aplicație. Problema 11 ne permite să analizăm ceva mai de aproape fenomenul eclipselor de Soare. Știți, desigur, că o eclipsă de Soare are loc în situația în care Pămîntul, Soarele și Luna sînt coliniare, iar Luna se află între Pămînt și Soare (fig. I.16).

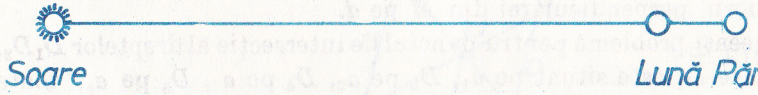


Fig. I.16

Aceste corpuri cerești nu sînt puncte, așa încît pentru a înțelege mai bine fenomenul este preferabil să privim figura I.17 (unde Pămîntul n-a fost figurat).

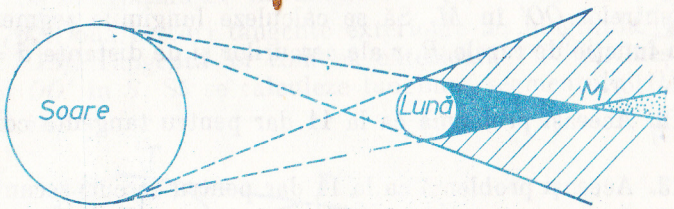


Fig. I.17

Eclipsa de Soare se vede de orice observator de pe suprafața Pămîntului, cînd acesta este plasat în una din cele trei zone, însă ceea ce vede el pe cer diferă de la zonă la zonă:

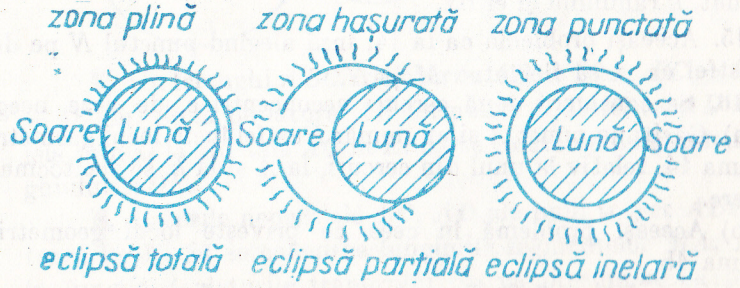


Fig. I.18

Întrebarea care se pune este: de pe Pămînt vedem eclipsa totală, parțială sau inelară? Adică: distanța de la Lună la punctul M (cea din figura I.17) este mai mare, egală sau mai mică decît distanța de la Lună la Pămînt?

Rezolvarea problemei 11 de la pagina 17 ne permite să calculăm distanța de la Lună la punctul M prin formula $\frac{dr}{R-r}$, unde R este raza Soarelui, r este raza Lunii, iar d este distanța între Soare și Lună în situația corespunzătoare eclipsei, deci diferența dintre distanța de la Soare la Pămînt și distanța de la Pămînt la Lună.

Datele numerice astronomice sînt: raza Soarelui = 695 300 km, raza Lunii = 1 738 km, distanța Pămînt-Soare = 149 450 000 km, distanța Pămînt-Lună = 384 000 km.

Efectuînd calculele, conform formulei de mai sus, obținem, pentru distanța de la Lună la punctul M, o valoare de aproximativ 373 000 km. Valoarea obținută este foarte apropiată de distanța Pămînt-Lună. Datele numerice de mai sus sînt „medii": Pămîntul se mișcă în jurul Soarelui, și Luna în jurul Pămîntului nu pe cercuri, ci pe elipse și distanțele de mai sus variază. Calculele de mai sus sînt cel mai mult influențate de variațiile distanței Lună-Pămînt, distanță ce poate lua valori între 356 000 km și 407 000 km.

Putem afirma deci: de pe Pămînt se pot observa eclipse totale, eclipse parțiale și eclipse inelare de Soare. Cum punctul M este totdeauna aproape de Pămînt cînd are loc o astfel de eclipsă, rezultă că zona de pe Pămînt din care putem observa, la un moment dat, o eclipsă de Soare totală sau inelară este foarte mică în comparație cu întreg Pămîntul. Într-un punct dat de pe Pămînt, eclipsele de Soare totale, parțiale sau inelare se pot observa, în *medie*, o dată la 400 de ani. Ultima eclipsă de soare, vizibilă de pe teritoriul țării noastre (de fapt, numai din sudul țării) a fost eclipsa totală din 15 februarie 1961; următoarea eclipsă, de asemenea totală, va avea loc la 11 august 1999.

TRIUNGHIURI ASEMENEA. CAZURILE DE ASEMĂNARE

Faptul pus în evidență în teorema fundamentală a asemănării ne conduce la următoarea:

Definiție. Fie A, B, C trei puncte necoliniare și A', B', C' alte trei puncte necoliniare. Spunem că $\triangle ABC \sim \triangle A'B'C'$ (și citim aceasta: triunghiul ABC este asemenea cu triunghiul $A'B'C'$) dacă $\sphericalangle A \equiv \sphericalangle A'$, $\sphericalangle B \equiv B'$, $\sphericalangle C \equiv \sphericalangle C'$ și $\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'C'}{BC} = \frac{C'A'}{CA}$*.

Cu alte cuvinte, două triunghiuri se numesc asemenea dacă unghiurile unuia sînt respectiv congruente cu unghiurile celuilalt și laturile ce se opun unghiurilor congruente sînt proporționale.

* Valoarea comună a acestor rapoarte se numește „raportul de asemănare" al triunghiurilor.

Care sînt exemplele de triunghiuri asemenea? Să observăm întîi că două triunghiuri congruente sînt asemenea; dar nu pentru a considera astfel de exemple am introdus definiția. Teorema fundamentală a asemănării ne arată un mod de a construi un triunghi asemenea cu un triunghi dat, dar necongruent cu acesta.

Observație. La noțiunea de asemănare a triunghiurilor se ajunge și pe cale intuitivă, considerînd două desene, al doilea (fig. I.20) fiind obținut „mărind" pe primul (fig. I.19).

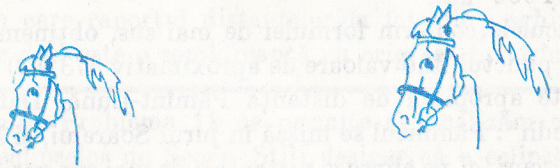


Fig. I.20

Ele „seamănă", dar nu pot fi făcute să coincidă prin suprapunere. Un segment din primul desen nu este congruent cu segmentul corespunzător din al doilea, însă raportul lungimilor lor este același pentru toate segmentele ce le putem considera în modul de mai sus în cele două desene. Unghiul a două direcții din primul desen este congruent cu unghiul corespunzător din cel de-al doilea (aceasta și dă senzația de asemănare). Considerînd cea mai simplă figură — triunghiul — ajungem la definiția de mai sus.

La fel putem să gîndim privind două hărți ale aceleiași regiuni făcute la scări diferite.

Există trei teoreme ce se numesc cazuri de asemănare ale triunghiurilor ale căror enunțuri sînt analoage cu cele trei cazuri de congruență. Înainte de a le enunța și demonstra, să observăm că dacă $\triangle ABC \sim \triangle A'B'C'$ și $\triangle A'B'C' \equiv \triangle A''B''C''$, atunci $\triangle ABC \sim \triangle A''B''C''$ cu alte cuvinte un triunghi asemenea cu un triunghi dat este asemenea cu orice triunghi congruent cu triunghiul dat.

Cazul 1 de asemănare. *Două triunghiuri ce au un unghi congruent și laturile ce-l formează proporționale sînt asemenea* (fig. I.21).

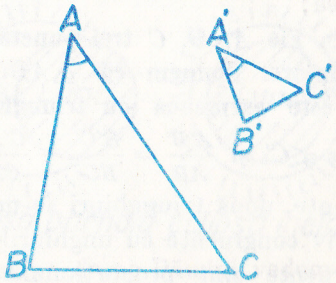


Fig. I.21

Ipoteza

$\sphericalangle A \equiv \sphericalangle A'$, $\dfrac{A'B'}{AB} = \dfrac{A'C'}{AC}$.

Concluzia

$\triangle ABC \sim \triangle A'B'C'$.

Cazul 2 de asemănare. *Două triunghiuri ce au două unghiuri respectiv congruente sînt asemenea* (fig. I.22).

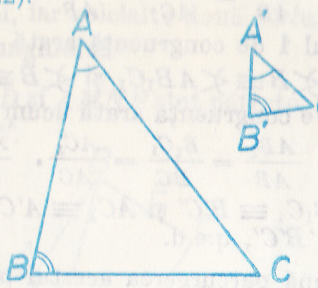


Fig. I.22

Ipoteza

$\sphericalangle A \equiv \sphericalangle A'$, $\sphericalangle B \equiv \sphericalangle B'$.

Concluzia

$\triangle ABC \sim \triangle A'B'C'$.

Cazul 3 de asemănare. *Două triunghiuri ce au cele trei laturi proporționale sînt asemenea* (fig. I.23).

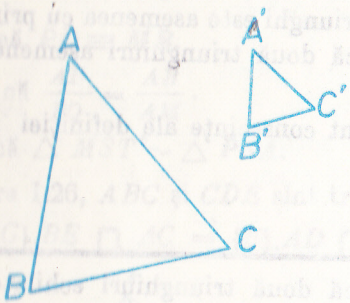


Fig. I.23

Ipoteza

$\dfrac{AB}{A'B'} = \dfrac{BC}{B'C'} = \dfrac{CA}{C'A'}$.

Concluzia

$\triangle ABC \sim \triangle A'B'C'$.

Demonstrațiile celor trei teoreme au o parte comună. Anume:

Considerăm pe semidreapta AB un punct B_1 astfel ca $AB_1 \equiv A'B'$, ducem prin B_1 paralela la BC și notăm cu C_1 intersecția ei cu AC (fig. I.24).

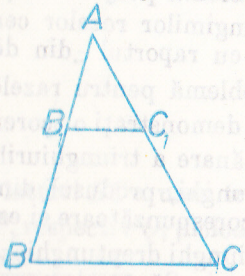


Fig. I.24

Conform teoremei fundamentale a asemănării avem $\triangle ABC \sim \triangle AB_1C_1$.

Deci $\sphericalangle B \equiv \sphericalangle AB_1C_1$, $\dfrac{AB_1}{AB} = \dfrac{B_1C_1}{BC} = \dfrac{AC_1}{AC}$.

Rămîne de demonstrat că $\triangle AB_1C_1 \equiv \triangle A'B'C'$ (și observația dinaintea enunțurilor va încheia demonstrația). Aceasta se va face în mod diferit pentru fiecare din cele trei teoreme, folosind cazul de congruență corespunzător.

Cazul 1. Din $\frac{AB_1}{AB} = \frac{AC_1}{AC}$, $\frac{A'B'}{AB} = \frac{A'C'}{AC}$ și $A'B' \equiv AB_1$ deducem $C_1 \equiv A'C'$ și cazul 1 de congruență arată că $\triangle AB_1C_1 \equiv \triangle A'B'C'$.

Cazul 2. Din $\sphericalangle B \equiv \sphericalangle AB_1C_1$ și $\sphericalangle B \equiv \sphericalangle B'$ deducem că $\sphericalangle AB_1C_1 \equiv \sphericalangle B'$ și cazul 2 de congruență arată acum că $\triangle AB_1C_1 \equiv \triangle A'B'C'$.

Cazul 3. Din $\frac{AB_1}{AB} = \frac{B_1C_1}{BC} = \frac{AC_1}{AC}$, $\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'C'}{BC} = \frac{C'A'}{CA}$ și $AB_1 \equiv A'B'$ deducem $B_1C_1 \equiv B'C'$ și $AC_1 \equiv A'C'$ și cazul 3 de congruență arată $\triangle AB_1C_1 \equiv \triangle A'B'C'$, q.e.d.

Credem că după parcurgerea acestui paragraf este clar de ce teorema de la pagina 12 a fost numită „teorema fundamentală a asemănării".

Observație. Relația de asemănare între două triunghiuri are următoarele proprietăți:

a. *Este reflexivă*; adică orice triunghi este asemenea cu el însuși.

b. *Este simetrică*; adică dacă un triunghi este asemenea cu un al doilea triunghi, atunci și al doilea triunghi este asemenea cu primul.

c. *Este tranzitivă*; adică două triunghiuri asemenea cu al treilea sînt asemenea.

Proprietățile *a*, *b*, *c* sînt consecințe ale definiției sau, mai simplu, ale cazului 2 de asemănare.

Probleme

1. Demonstrați că două triunghiuri echilaterale sînt asemenea.

2. Două triunghiuri dreptunghice isoscele sînt asemenea.

3. Dacă $\triangle ABC \sim \triangle A'B'C'$ și dacă D și D' sînt intersecțiile lui BC respectiv $B'C'$ cu bisectoarele unghiurilor din A respectiv A' atunci $\triangle ABD \sim \triangle A'B'D'$.

4. Aceeași problemă ca la 3 pentru mediane în loc de bisectoare.

5. Aceeași problemă pentru înălțimi.

6. Raportul lungimilor razelor cercurilor înscrise în două triunghiuri asemenea este egal cu raportul „din definiția asemănării".

7. Aceeași problemă pentru razele cercurilor circumscrise.

8. Enunțați și demonstrați o teoremă ce ar trebui să poarte numele de „cazul 2 de asemănare a triunghiurilor dreptunghice".

9. Într-un triunghi, produsul dintre lungimea unei laturi ale sale și lungimea înălțimii corespunzătoare ei este același pentru toate cele trei laturi.

10. Într-un triunghi dreptunghic ABC se duce înălțimea AD corespunzătoare ipotenuzei. Să se demonstreze că $AB^2 = BD \cdot BC$ și că $AD^2 = BD \cdot DC$.

11. Se consideră un segment AB și un punct M în interiorul său. Se construiesc, de aceeași parte a dreptei AB, pătratele $AMNP$ și $BMDC$. Să se demonstreze că $\frac{PC}{NB}$ este același, oricare ar fi poziția lui M în interiorul segmentului AB.

12. Să se construiască un pătrat care să aibă două vîrfuri alăturate pe latura BC a unui triunghi, iar celelalte două vîrfuri pe cîte una din celelalte două laturi ale triunghiului.

13. În figura I.25, $ABCD$ și $AMNP$ sînt pătrate, E este mijlocul lui BC și Q este mijlocul lui MN.

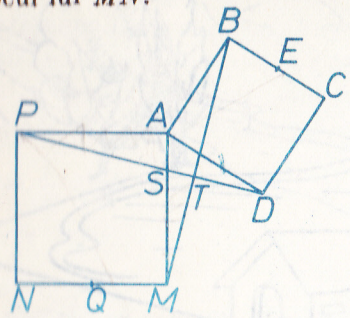


Fig. I.25

a. Arătați că $PD \equiv MB$.

b. Arătați că $\frac{AE}{PQ} = \frac{AB}{AM}$.

c. Arătați că $\triangle MST \sim \triangle PSA$.

14. În figura I.26, ABC și CDE sînt triunghiuri echilaterale. $BE \cap AD = \{G\}, BE \cap AC = \{F\}, AD \cap CE = \{N\}$.

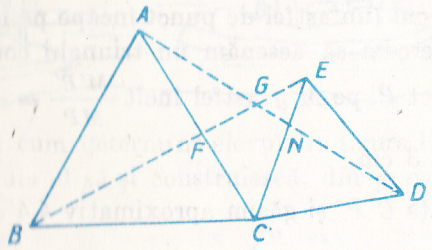


Fig. I.26

Să se demonstreze că:

a. $BE \equiv AD$.

b. $\triangle AGF \sim \triangle BCF$.

c. $\triangle EGN \sim \triangle DCN$.

15. Din mijlocul D al laturii BC a unui triunghi ABC ducem perpendiculare pe AB, AC; fie P, respectiv Q, picioarele acestor perpendiculare. Să se demonstreze că $\frac{DP}{DQ} = \frac{AC}{AB}$.

16. Triunghiurile ABC și MNP au $\sphericalangle A \equiv \sphericalangle M$, $\sphericalangle A = 90°$, $\sphericalangle B = 37°$, $\sphericalangle P = 53°$. Să se demonstreze că sînt asemenea.

17. Se știe că $\triangle ABC \sim \triangle DEF$, $AB = 9$ cm, $BC = 5$ cm, $AC = 10$ cm, $DE = 99$ cm. Să se calculeze EF și DF. (Vîrful A corespunde lui D, B lui E și C lui F).

Aplicație practică. Determinați, prin măsurători, distanța dintre casă și pomul din figura I.27.

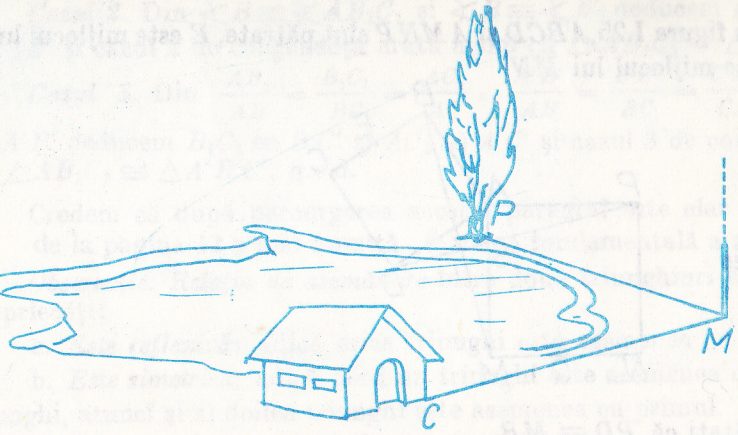


Fig. I.27

Ar fi greu s-o măsurăm direct, din cauza lacului. Procedăm astfel: alegem un punct M (și-l marcăm, de exemplu, cu un țăruș). Măsurăm distanțele CM și MP și găsim, de exemplu, $CM = 250$ m, $MP = 150$ m. Măsurăm și unghiul CMP și găsim, de exemplu, $\measuredangle CMP = 60°$.

Desenăm apoi pe hîrtie un triunghi $C'M'P'$ asemenea cu $\triangle CMP$ astfel: luăm un unghi $xM'y$ de 60°, alegem un punct C' pe $M'x$ oarecare, de exemplu astfel încît $M'C' = 5$ cm (un astfel de punct încape pe hîrtie, ceea ce nu s-ar fi întîmplat dacă încercam să desenăm un triunghi congruent cu $\triangle CMP$) și apoi alegem un punct P' pe $M'y$ astfel încît $\frac{M'P'}{MP} = \frac{M'C'}{MC}$, deci $\frac{M'P'}{150} = \frac{5}{250}$ adică $M'P' = 3$ cm.

Măsurăm distanța $C'P'$ și găsim aproximativ 4,4 cm.

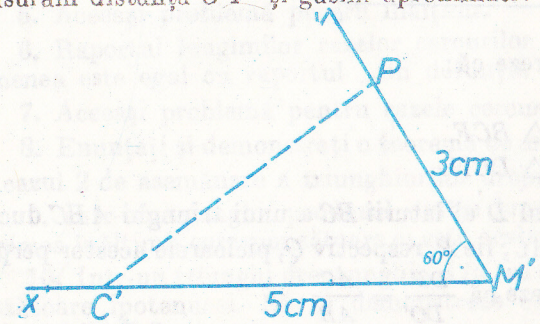


Fig. I.28

Triunghiul $C'M'P'$ este asemenea cu triunghiul CMP, conform cazului I de asemănare. Rezultă că $\frac{CP}{C'P'} = \frac{MC}{M'C'}$, deci $\frac{CP}{4,4} = \frac{250}{5}$, de unde deducem că distanța CP dintre casă și pom este de aproximativ 220 m.

Observație. Vom învăța mai tîrziu să *calculăm* CP, cunoscînd MC, MP și $\measuredangle CMP$.

4. Exerciții

1. Determinați, prin măsurători, distanța de la A la B, unde B este inaccesibil (fig. I.29).

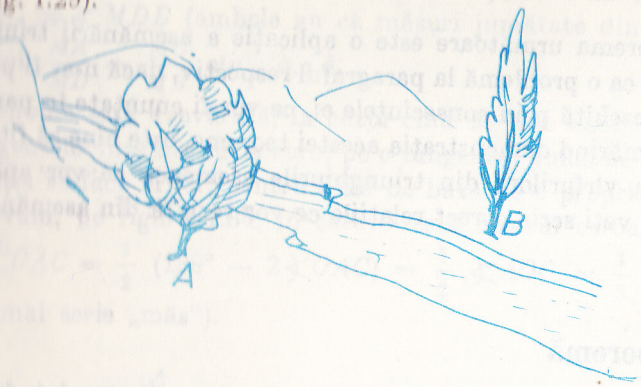


Fig. I.29

2. Determinați, prin măsurători, distanța între punctele A și B, fără a „vizita" insulele (fig. I.30).

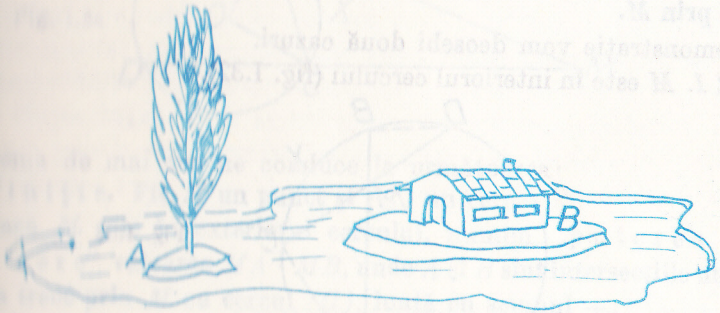


Fig. I.30

3. Explicați cum determină elevul din figura I.31 înălțimea copacului și cum trebuie el să-și construiască, din punct de vedere geometric, instalația.

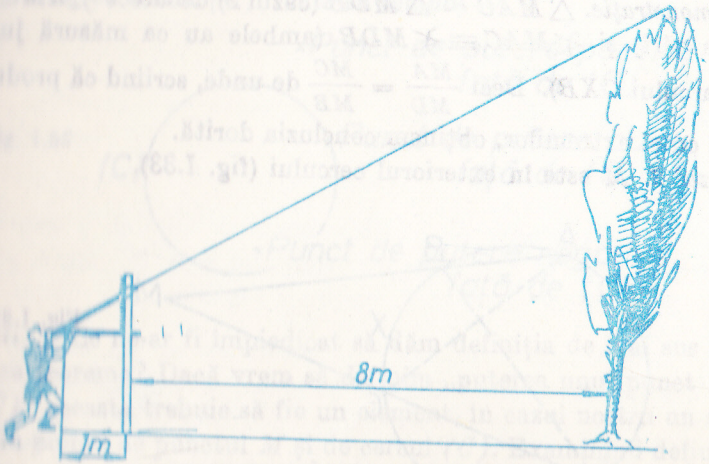


Fig. I.31

PUTEREA UNUI PUNCT FAȚĂ DE UN CERC

Teorema următoare este o aplicație a asemănării triunghiurilor. Ea ar fi apărut ca o problemă la paragraful respectiv, dacă n-ar fi prezentat o importanță deosebită prin consecințele ei, ce vor fi enunțate în paragraful următor.

Urmărind demonstrația acestei teoreme, este bine să fiți atenți la „corespondența vîrfurilor" din triunghiurile asemenea ce vor apărea, pentru a fi siguri că veți scrie corect relațiile ce vor rezulta din asemănarea acelor triunghiuri.

Teoremă

Dacă printr-un punct fix M, nesituat pe un cerc dat, ducem o secantă ce taie cercul în A, B, atunci produsul $MA \cdot MB$ este același pentru toate secantele ce trec prin M.

În demonstrație vom deosebi două cazuri.

Cazul 1. M este în interiorul cercului (fig. I.32).

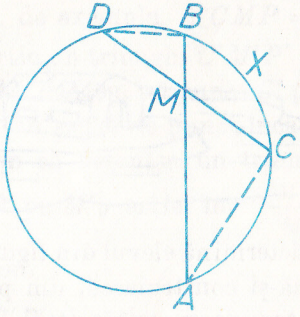


Fig. I.32

Concluzia

$$MA \cdot MB = MC \cdot MD.$$

Demonstrație. $\triangle MAC \sim \triangle MDB$ (cazul 2) deoarece $\sphericalangle AMC \equiv \sphericalangle DMB$ (opuse la vîrf) și $\sphericalangle MAC \equiv \sphericalangle MDB$ (ambele au ca măsură jumătate din măsura arcului CXB). Deci $\frac{MA}{MD} = \frac{MC}{MB}$ de unde, scriind că produsul mezilor este egal cu al extremilor, obținem concluzia dorită.

Cazul 2. M este în exteriorul cercului (fig. I.33).

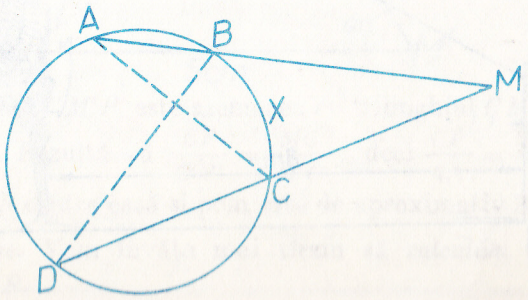


Fig. I.33

Concluzia

$$MA \cdot MB = MC \cdot MD.$$

Demonstrație. $\triangle MAC \sim \triangle MDB$ (cazul 2) deoarece $\sphericalangle AMC \equiv \sphericalangle DMB$ (identice) și $\sphericalangle MAC \equiv \sphericalangle MDB$ (ambele au ca măsuri jumătate din cea a arcului BXC). Deci $\frac{MA}{MD} = \frac{MC}{MB}$ etc., q.e.d.

Observație. Teorema este adevărată, în cazul cînd M este exterior cercului, și pentru tangentele duse din M la cerc; pe o tangentă, punctele A și B coincid. Demonstrația se face la fel; pentru a nu ne baza pe o proprietate a tangentei, să observăm, pe figura I.34, în care O este centrul cercului, că $\sphericalangle MAC = 90° - \sphericalangle OAC = \frac{1}{2}(180° - 2\sphericalangle OAC) = \frac{1}{2}\sphericalangle AOC = \frac{1}{2}\overset{\frown}{AXC}$ (unde am omis a mai scrie „măs").

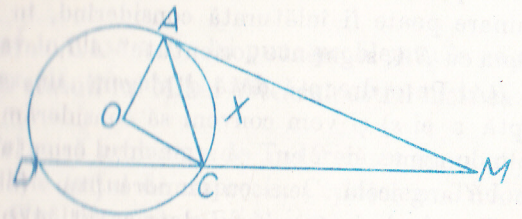


Fig. I.34

Teorema de mai sus ne conduce la următoarea

Definiție. Fie M un punct și (C) un cerc.

a) Dacă M este în exteriorul cercului, numim „**puterea lui M față de cerc**" valoarea $MA \cdot MB$, unde A și B sînt intersecțiile unei drepte oarecare ce trece prin M cu cercul (C), luată cu semnul $+$.

b) Dacă M este pe cerc, spunem că puterea lui față de cerc este 0.

c) Dacă M este în interiorul cercului, numim „**puterea lui M față de cerc**" valoarea $MA \cdot MB$, unde A și B sînt intersecțiile unei drepte oarecare ce trece prin M cu cercul (C), luată cu semnul $-$.

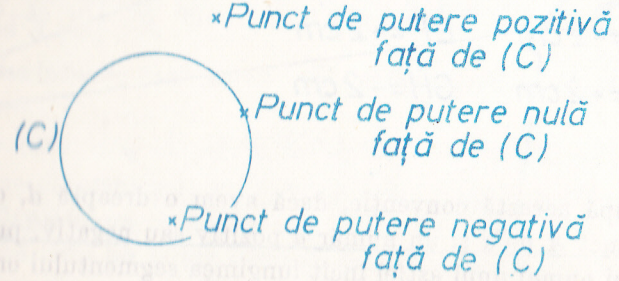


Fig. I.35

Observații. 1. Ce ne-ar fi împiedicat să dăm definiția de mai sus înainte de a demonstra teorema? Dacă vrem să definim „puterea unui punct M față de un cerc (C)" aceasta trebuie să fie un element, în cazul nostru un număr, care să depindă numai de punctul M și de cercul (C). Examinînd definiția de mai sus, vedem că numărul $MA \cdot MB$ definit în ea poate în principiu să

depindă nu numai de M și de cercul (C) ci și de „direcția" secantei MAB, ce alte cuvinte, încercînd să calculăm puterea lui M față de cercul (C) există „pericolul" de a obține rezultate diferite dacă folosim secante diferite. Dacă într-adevăr așa ceva s-ar întîmpla, am spune că „definiția este incorectă". Teorema de mai sus arată că așa ceva nu se întîmplă, deci că definiția „este corectă", adică, oricum am alege secanta MAB, obținem aceeași valoare pentru $MA \cdot MB$.*

2. De ce considerăm puterea unui punct față de un cerc ca avînd semnul $+$ sau $-$, după cum punctul este în exteriorul sau în interiorul cercului? Este primul pas pe calea „folosirii numerelor negative în geometrie" în acest manual. Știm că dacă spunem: fiind dat un punct A pe o dreaptă d, alegeți pe d un punct B astfel încît segmentul AB să aibă lungimea de 2 cm, problema are două soluții, deci poziția lui B nu este precizată prin fraza de mai sus. Această nedeterminare poate fi înlăturată considerînd, în loc de segmente AB, care sînt tot una cu BA, segmente „orientate" AB, care nu vor fi socotite drept tot una cu BA. Pe o dreaptă dată d alegem „un sens" (materializat printr-o semidreaptă a ei s) și vom conveni să considerăm, dacă segmentul AB are, de exemplu, lungimea de 2 cm, că segmentul orientat AB are $+2$ cm dacă semidreapta AB are același sens cu semidreapta s (deci dacă este conținută în s sau conține pe s) și că segmentul orientat AB are -2 cm, dacă semidreapta AB este de sens contrar cu semidreapta s (deci dacă n-are punctele comune cu s sau dacă intersecția lor este interiorul unui segment).

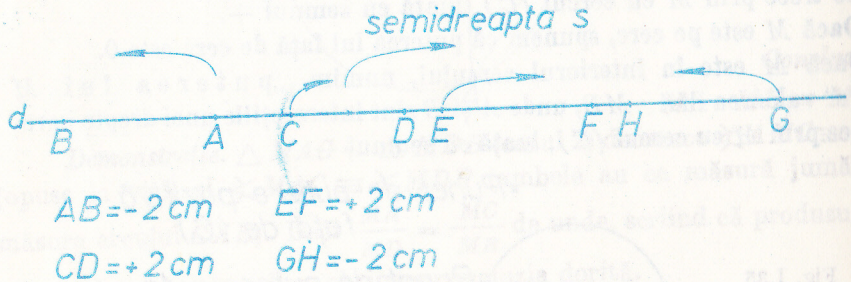


Fig. I

După această convenție, dacă avem o dreaptă d, o semidreaptă s, un punct A pe d și un număr a pozitiv sau negativ, putem găsi un punct B pe d și numai unul astfel încît lungimea segmentului orientat AB să fie

* În cazul de față am fi putut ocoli discuția de mai sus, definind puterea punctului cu ajutorul unei secante precizate (cea mai naturală alegere ar fi fost: secanta ce trece prin centrul cercului, față de cerc). Pe de o parte o astfel de definiție ar fost artificială, iar pe de altă parte nu în toate cazurile în care se dau definiții situații cum este cea descrisă mai sus se pot alege astfel de „cercuri privilegiate" ca a fost aici secanta ce trece prin centru.

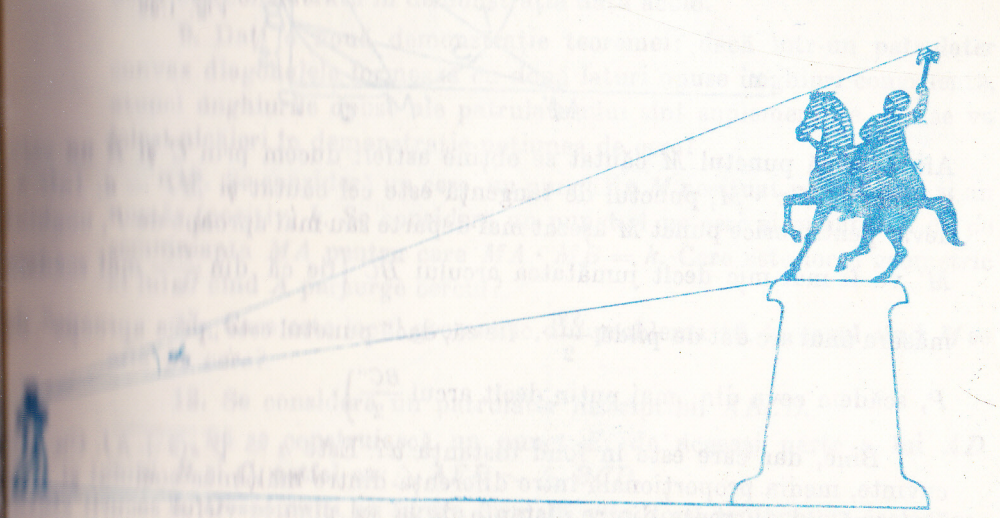
Dacă acceptăm și segmente orientate de forma AA, de lungimea nulă, atunci cele spuse sînt valabile și în cazul $a = 0$. Vom reveni la această problemă la pagina 58.

În cazul puterii punctului față de cerc, în definiția de mai sus, este clar că, oricum am alege sensul pe secanta MAB, segmentele orientate MA și MB vor avea același sens, deci același semn, cînd M va fi în exteriorul cercului și vor avea sensuri contrare, deci semne contrare, cînd M va fi în interior. Cînd M este pe cerc, unul din aceste segmente este nul. Deci produsul $MA \cdot MB$ al lungimii segmentelor orientate MA, MB va fi pozitiv cînd M va fi în exterior, nul cînd M va fi pe cerc și negativ cînd M va fi în interior. În acest mod se explică definiția de mai sus.

Problemă rezolvată

Tudorică, elev în clasa a 7-a, își pune problema: la ce distanță trebuie el să se așeze în fața statuii lui Mihai Viteazul, astfel încît ea să-i apară cît mai mare?

Evident astfel pusă problema de Tudorică ea nu poate fi rezolvată pentru că este formulată destul de imprecis. Ce înțelege Tudorică prin „cît mai mare"? E vorba de înălțimea statuii? Nu, mi-a precizat Tudorică, este vorba de unghiul α pe care îl „mătură" privirea mea, de la copita calului pînă la vîrful securii (fig. I.37). Îi atragem atenția lui Tudorică asupra faptului că,


Fig. I.37

dacă stă foarte aproape, s-ar putea să nu mai vadă nici copita calului ci numai soclul și nici vîrful securii, ci numai creștetul și urechile calului. Din plus că statuia are „relief"! Și atunci Tudorică a acceptat să simplifice pro-

blema. A formulat-o astfel: segmentul AC este perpendicular pe dreapta A (fig. I.38), B este un punct fix interior segmentului AC. Unde trebuie să

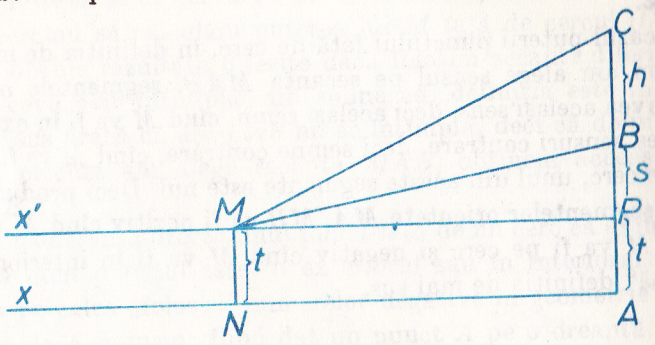


Fig. I

plaseze un segment MN ($N \in Ax$ și $MN \perp Ax$) astfel încît $\sphericalangle BMC$ să

maxim.

Vom simplifica și mai mult problema. Este evident că segmentul M reprezintă înălțimea t de la tălpile lui Tudorică pînă la nivelul ochilor săi, **diferența dintre înălțimea AB a soclului și t, iar h înălțimea statuii.** Se cere distanța $d = NA$. Mai desenăm o dată figura (fig. I.39).

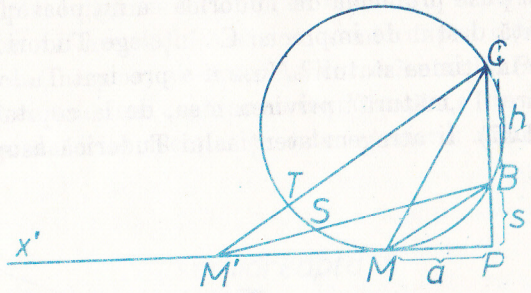


Fig. I.39

Afirmăm că punctul M căutat se obține astfel: ducem prin C și B un cerc tangent la $Px' \cdot M$, punctul de tangență este cel căutat și $MP = a$. Într-devăr pentru orice punct M așezat mai departe sau mai aproape de P, unghiul M' va fi mai mic decît jumătatea arcului BC (fie că din $\frac{BC}{2}$ mai scădem măsura unui arc dat de pildă $\frac{ST}{2}$, fie că, dacă punctul este „prea aproape" de P, scădem ceva din „mai puțin decît arcul $\frac{BC}{2}$").

Bine, dar care este în fond distanța a? Este $a = \sqrt{s(s+h)}$. Cu alte cuvinte, media proporțională între diferența dintre înălțimea soclului și statuia Tudorică, cu diferența dintre distanța de la sol pînă la vîrful securii statuii și înălțimea lui Tudorică. Evident apare mai ușor de rezolvat problema decît de formulat nematematic soluția ei.

În multe din explicațiile care se dau cu ajutorul ei, matematica dă o formă de exprimare mai simplă. Numai că trebuie să ne obișnuim cu ea...

6. Probleme

1. Să se arate că puterea unui punct exterior unui cerc față de acel cerc este egală cu pătratul distanței de la acel punct la punctul de contact al tangentei dusă din el la cerc.

2. Tangentele duse la două cercuri secante dintr-un punct situat pe dreapta ce trece prin cele două puncte comune celor două cercuri (și în exteriorul celor două cercuri) au lungimi egale.

3. Dacă un punct are puteri egale față de două cercuri secante, atunci el este situat pe dreapta ce unește cele două puncte comune celor două cercuri.

4. Care este locul geometric al punctelor ce au puteri egale față de două cercuri tangente?

5. Trei cercuri cu centrele necoliniare sînt secante două cîte două. Să se arate că cele trei coarde comune sînt concurente.

6. Se dau două segmente u, v. Construiți un segment de lungime $\sqrt{uv}$.

7. Se dau două puncte A, B și o dreaptă d. Să se construiască un cerc ce trece prin A, B și este tangent dreptei d (A, B sînt în același semiplan față de dreapta d). Cîte soluții are în general problema? Care este cazul de excepție?

8. Dați o nouă demonstrație teoremei de la pagina 26, în cazul cînd M este exterior cercului, arătînd asemănarea altei perechi de triunghiuri decît cea considerată în demonstrația dată acolo.

9. Dați o nouă demonstrație teoremei: dacă într-un patrulater convex diagonalele formează cu două laturi opuse unghiuri congruente, atunci unghiurile opuse ale patrulaterului sînt suplementare. Nu se va folosi nicăieri în demonstrație noțiunea de cerc!

10. Se consideră un cerc, un punct fix M nesituat pe acel cerc și un număr (pozitiv) k. Se consideră un punct A pe cerc și punctul B de pe semidreapta MA pentru care $MA \cdot MB = k$. Care este locul geometric al lui B cînd A parcurge cercul?

11. Care este locul geometric din problema 10, în cazul cînd M se află pe cerc?

12. Se consideră un patrulater inscriptibil $ABCD$.

a. Să se construiască un punct E, de aceeași parte a lui AD ca și B și C, astfel ca $\triangle AED \sim \triangle BCD$.

b. Descoperiți pe figura formată alte două triunghiuri asemenea.

c. Demonstrați că $AC \cdot BD = AD \cdot BC + AB \cdot CD$.

13. Reluați construcția din problema precedentă în cazul unui patrulater convex oarecare $ABCD$ și demonstrați că, dacă $AC \cdot BD = AD \cdot BC + AB \cdot CD$, atunci patrulaterul este inscriptibil.

14. Ce devine enunțul problemei 5 dacă două din cercuri sînt tan gente, iar al treilea este secant cu fiecare din ele? Folosiți rezultatu pentru a construi un cerc ce trece prin două puncte date și este tangent la un cerc dat.

RELAȚII METRICE ÎN TRIUNGHIUL DREPTUNGHIC

Pentru a deduce o primă consecință a teoremei din paragraful precedent (teoremă care se va numi „teorema asupra puterii punctului față de cerc") să considerăm un triunghi dreptunghic ABC cu $\sphericalangle A = 90°$, să ducem cercul de centru B și rază AB și să considerăm intersecțiile sale D și E cu BC.

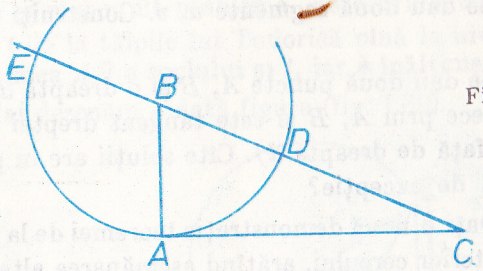


Fig. I.40

Cercul va fi tangent în A la AC, iar $BE = BD = BA$. Teorema asupra puterii punctului C față de acest cerc ne spune că $AC^2 = CE \cdot CD = (CB + AB)(CB - AB) = CB^2 - AB^2$. Obținem, ca primă consecință a teoremei puterii punctului față de cerc:

Teorema lui Pitagora. Într-un triunghi dreptunghic, suma pătratelor catetelor este egală cu pătratul ipotenuzei.

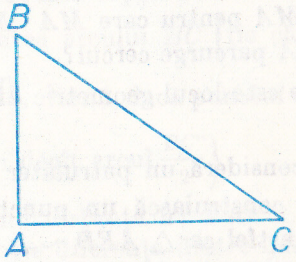


Fig. I.41

$BC^2 = AB^2 + AC^2$

Importanța acestei teoreme este foarte mare. Ea reprezintă soluția unei probleme de tipul: se cunosc lungimile a două laturi ale unui triunghi și măsura unghiului cuprins între ele, să se calculeze lungimea celei de a treia laturi (unghiul cuprins avînd o valoare particulară, de 90°).

Altă consecință a teoremei puterii punctului față de cerc se obține ducînd un diametru AB al unui cerc, alegînd un punct C pe tangenta în A la cerc și considerînd celălalt punct comun D al dreptei CB și al cercului (fig. I.42).

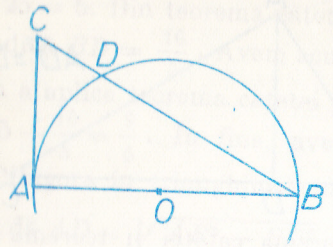


Fig. I.42

Vom avea $AB \perp AC$, $AD \perp BC$ și $AC^2 = CB \cdot CD$.

Luînd orice triunghi dreptunghic se poate considera în situația triunghiului ABC din figură, obținem:

Teorema catetei. Într-un triunghi dreptunghic, o catetă este medie proporțională între ipotenuză și proiecția acestei catete pe ipotenuză*.

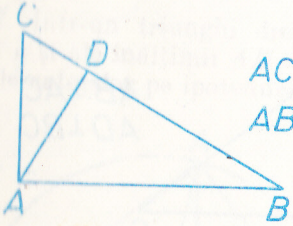


Fig. I.43

$AC^2 = CB \cdot CD$

$AB^2 = BC \cdot BD$

În fine, să considerăm un punct D în interiorul unui cerc și să ducem diametrul BC și coarda AA' perpendiculară pe acest diametru ce trec prin D (fig. I.44).

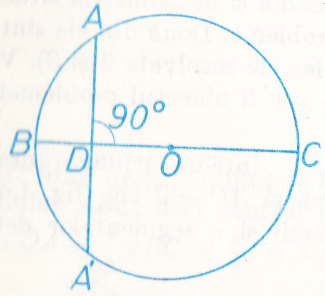


Fig. I.44

Avem $AD \equiv DA'$, $\sphericalangle BAC = 90°$, iar $DB \cdot DC = DA \cdot DA' = DA^2$.

* Prin proiecție a unui punct pe o dreaptă înțelegem piciorul perpendicularei duse din acel punct pe acea dreaptă. Proiecția unui segment este segmentul determinat de proiecțiile capetelor sale; se poate evident întîmpla ca proiecția unui segment să se „reducă" la un punct.

Teorema înălțimii. **Într-un triunghi dreptunghic, înălțimea dusă din vîrful unghiului drept este medie proporțională între cele două segmente determinate de ea pe ipotenuză.**

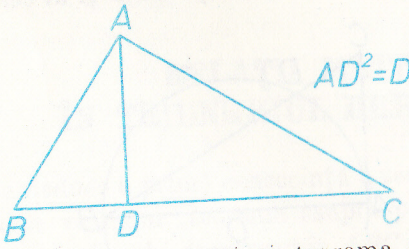


Fig. I.45

Observație. Teorema catetei și teorema înălțimii se pot demonstra și observînd că $\triangle ABC \sim \triangle DAC$ și că $\triangle ABD \sim \triangle CAD$ și alegînd, din relațiile de proporționalitate ale laturilor, cîte două rapoarte egale, relativ la care se scrie egalitatea dintre produsul mezilor și cel al extremilor.

Cele trei teoreme de mai sus ne permit să „stăpînim situația" din figura I.46, în care este desenat un triunghi dreptunghic ABC și înălțimea sa AD dusă din vîrful unghiului drept A.

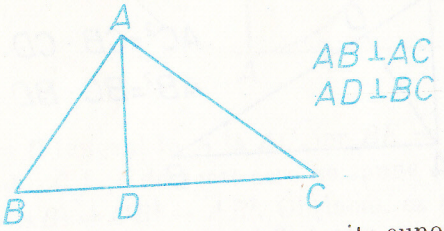


Fig. I.46

Mai precis, aceste teoreme ne permit, cunoscînd lungimile a două din cele șase segmente ce apar în figura I.46 — două catete, ipotenuza, înălțimea, cele două proiecții ale catetelor pe ipotenuză — să calculăm lungimile celorlalte patru. Ținînd seamă și de „simetria situației" (nu a figurii!), se pot formula nouă astfel de probleme. Două din ele sînt mai dificile și vor fi rezolvate în continuare (problemele rezolvate 2 și 3). Vom începe cu una din cele simple, iar celelalte șase vor fi obiectul problemelor 1—6 ce le veți avea de rezolvat.

Problemă rezolvată 1. Într-un triunghi dreptunghic ABC, lungimile catetelor sînt $AB = 4$ cm și $AC = 3$ cm (fig. I.47). Să se determine lungimile ipotenuzei, a înălțimii și a segmentelor determinate pe ipotenuză de piciorul înălțimii.

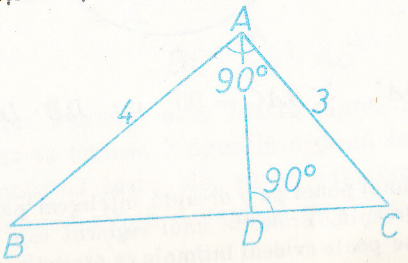


Fig. I.47

Ipoteza $AB \perp AC$, $AD \perp BC$, $AB = 4$, $AC = 3$.

Concluzia $BC = \ldots$, $AD = \ldots$, $BD = \ldots$, $CD = \ldots$.

Rezolvare. Din teorema lui Pitagora deducem $BC^2 = AB^2 + AC^2 = 4^2 + 3^2 = 25$, deci $BC = \sqrt{25} = 5$. Din teorema catetei deducem $AB^2 = BD \cdot BC$, deci $BD = \frac{AB^2}{BC}$ adică $BD = \frac{16}{5}$. Avem acum două posibilități de a calcula CD: una constă în a aplica teorema catetei pentru AC, cealaltă în a scrie $CD = BC - BD = 5 - \frac{16}{5} = \frac{9}{5}$. În fine, avem trei posibilități de a calcula AD: teorema lui Pitagora în triunghiurile dreptunghice ABD, ACD și teorema înălțimii. Prima dă $AD = \sqrt{AB^2 - BD^2} = \sqrt{4^2 - \left(\frac{16}{5}\right)^2} = \frac{12}{5}$.

Observație. Din $\triangle ABC \sim \triangle DAC$ deducem și $\frac{AB}{AD} = \frac{BC}{AC}$, sau $AB \cdot AC = AD \cdot BC$, relație care oferă o a patra posibilitate de calcul al lui AD. Această relație nu reprezintă altceva decît „aria lui ABC, calculată în două moduri" (vezi și pag. 59—60).

Problemă rezolvată 2. Într-un triunghi dreptunghic ABC cunoaștem lungimile ipotenuzei $BC = a$ și ale înălțimii $AD = h$. Să se determine lungimile proiecțiilor BD, DC ale catetelor pe ipotenuză (fig. I.48).

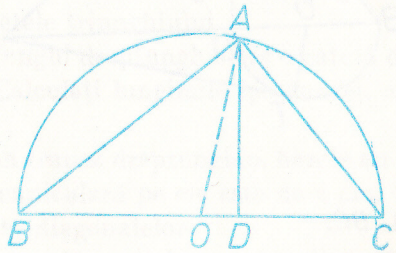


Fig. I.48

Ipoteza $AB \perp AC$, $AD \perp BC$, $BC = a$, $AD = h$.

Concluzia $BD = \ldots$, $CD = \ldots$.

Rezolvare. Unghiul BAC fiind drept, rezultă că BC este un diametru al cercului circumscris triunghiului ABC, deci centrul O al acestui cerc se află la mijlocul lui BC. Deducem $OA = \frac{1}{2}BC = \frac{a}{2}$ și acum este simplu de continuat: teorema lui Pitagora în $\triangle OAD$ dă $OD = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - h^2}$ și obținem ca rezultat $BD = BO + OD = \frac{a}{2} + \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - h^2}$, $CD = CO - OD = \frac{a}{2} - \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - h^2}$. Evident că acest rezultat corespunde modului de a scrie astfel figura încît D să fie între O și C.

a și h fiind date, condiția necesară și suficientă de existență a triunghiului din enunț este $h \leqslant \frac{a}{2}$ (aceasta este condiția necesară și suficientă pentru a putea construi $\triangle OAD$...).

Odată determinate BD, CD, putem calcula AB, AC aplicînd teorema lui Pitagora în $\triangle ABD$, $\triangle ACD$.

Observație. Ținînd seamă de teorema înălțimii, formulele obținute rezolvă și problema: cunoscînd suma a și produsul h^2 a două numere (lungimile BD, CD), să se afle cele două numere. Verificați și cu ajutorul calculului algebric aceasta.

Problemă rezolvată 3. Într-un triunghi dreptunghic ABC se cunosc lungimile unei catete AC și a proiecției BD a celeilalte catete pe ipotenuză. Să se afle lungimile ipotenuzei BC și a proiecției CD a celeilalte catete pe ipotenuză (fig. I.49).

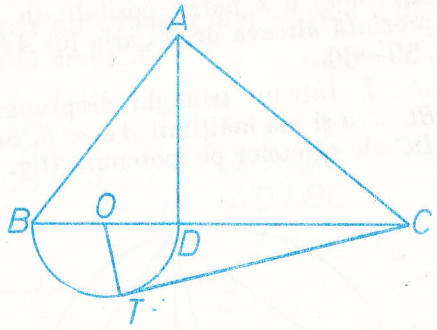


Fig. I.49

Ipoteza

$AB \perp AC$, $AD \perp BC$.

$AC = b$, $BD = d$.

Concluzia

$BC = \ldots$, $CD = \ldots$.

Rezolvare. Să considerăm cercul de diametru BD și să ducem o tangentă CT la acest cerc. Fie O centrul cercului. Teorema catetei spune că $AC^2 = CD \cdot CB$, iar teorema asupra puterii punctului că $CT^2 = CD \cdot CB$. Deducem că $CT = AC = b$. Avem $OT \perp CT$ și teorema lui Pitagora în $\triangle CTO$ dă $CO = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + b^2}$; obținem $BC = CO + OB = \frac{d}{2} + \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + b^2}$ iar $CD = CO - OD = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + b^2} - \frac{d}{2}$.

Oricum am alege două numere b, d, există un triunghi ce îndeplinește condițiile din enunț (se construiește $\triangle COT$ cu $\sphericalangle T = 90°$ etc.).

Formulele obținute rezolvă și problema: cunoscînd diferența d și produsul b^2 a două numere (lungimile CB, CD) să se afle cele două numere (verificați aceasta și prin algebră).

6. Probleme

1. Ipotenuza unui triunghi dreptunghic este de 13 cm, iar una din catete este de 5 cm. Aflați cealaltă catetă, înălțimea și proiecțiile catetelor pe ipotenuză.

2. O catetă a unui triunghi dreptunghic este de 10 cm, iar înălțimea de 8 cm. Aflați celelalte elemente ale triunghiului.

3. O catetă a unui triunghi dreptunghic este de 15 cm, iar proiecția sa pe ipotenuză de 9 cm. Aflați celelalte elemente.

4. Înălțimea unui triunghi dreptunghic este de 24 cm, iar proiecția unei catete pe ipotenuză de 10 cm. Aflați celelalte elemente.

5. Ipotenuza unui triunghi dreptunghic este de 50 cm, iar proiecția unei catete pe ea este de 5 cm. Aflați celelalte elemente.

6. Proiecțiile catetelor unui triunghi dreptunghic pe ipotenuză sînt de 7 cm și 63 cm. Aflați celelalte elemente.

7. Enunțați și demonstrați o reciprocă a teoremei lui Pitagora.

8. Deduceți teorema lui Pitagora din teorema catetei.

9. Redactați o demonstrație a teoremei lui Pitagora fără a folosi cercuri, și nici teorema catetei (însă reconstituind figura I.40).

10. Care este lungimea diagonalei unui pătrat de latură a?

11. Care este lungimea înălțimii unui triunghi echilateral de latură 4 cm?

12. Ipotenuza unui triunghi dreptunghic isoscel este de 4 cm. Să se calculeze catetele triunghiului.

13. Un triunghi dreptunghic are o catetă de 5 cm, iar unghiul opus ei este de 30°. Calculați lungimile ipotenuzei, a celeilalte catete, a înălțimii etc.

14. Într-un trapez dreptunghic, bazele au 10 cm și 7 cm, iar latura neparalelă perpendiculară pe ele este de 4 cm. Calculați lungimile celeilalte laturi și ale diagonalelor.

15. Un trapez dreptunghic are bazele de 11 cm și 7 cm, iar una din diagonale de 15 cm. Să se calculeze lungimile laturilor neparalele și a celeilalte diagonale.

16. Un triunghi isoscel are laturile congruente de 10 cm iar baza de 8 cm. Calculați înălțimea corespunzătoare bazei.

17. În problema precedentă calculați și celelalte înălțimi ale triunghiului.

18. O coardă a unui cerc de rază 15 cm are lungimea de 8 cm. Calculați distanța de la centrul cercului la acea coardă.

19. Care este cea mai mică putere ce o poate avea un punct față de un cerc de rază R? Care este punctul de putere minimă?

20. Care este lungimea tangentei dusă dintr-un punct la un cerc de rază 3 cm, dacă distanța de la acel punct la centrul cercului este de 8 cm?

21. Calculați lungimea tangentelor comune a două cercuri tangente exterioare de raze R și r.

22. Calculați lungimile tangentelor comune exterioare și interioare a două cercuri de raze 8 cm și 5 cm, dacă distanța dintre centrele lor este de 20 cm.

23. Dați diferite metode de a construi un segment de lungime $\sqrt{uv}$, u și v fiind lungimile unor segmente date.

24. Găsiți un triunghi dreptunghic astfel încît lungimile laturilor, a înălțimii și a proiecțiilor catetelor pe ipotenuză să fie toate numere naturale.

25. Latura unui romb este de 11 cm, iar lungimea unei diagonale de 15 cm. Este această diagonală mai mare sau mai mică decît cealaltă diagonală?

26. Diagonala unui dreptunghi este 10 cm iar una din laturi este de 7 cm. Este acea latură „lungimea" sau „lățimea"?

27. Un patrulater $ABCD$ înscris într-un cerc de rază 25 cm are diagonalele perpendiculare, depărtate de centrul cercului la 7 cm respectiv 15 cm. Să se calculeze lungimile laturilor patrulaterului. Să se calculeze și lungimile diagonalelor și să se verifice relația din problema 12 de la pag. 31, adică $AB \cdot CD + AD \cdot BC = AC \cdot BD$.

28. Enunțați o reciprocă a teoremei înălțimii care să fie incorectă!

29. Într-un triunghi ABC, unghiul A este ascuțit dacă și numai dacă $BC^2 < AB^2 + AC^2$.

Observație. Desigur că ați rezolvat cu ușurință problema 10, aflînd astfel că lungimea diagonalei unui pătrat de latură 1 cm este $\sqrt{2}$ cm. Deci construcții simple aplicate unor segmente cu lungimi raționale (chiar întregi) conduc la segmente de lungimi iraționale. Descoperirea acestui fapt a produs o mare surpriză în lumea matematicienilor greci, înaintea erei noastre.

Există totuși triunghiuri dreptunghice ale căror laturi au toate trei lungimi întregi. Unul din ele este cel de catete 3 și 4 și de ipotenuză 5.

vînd probleme ați întîlnit probabil și altele. Se cunoaște forma generală a tripletelor de numere naturale $\neq 0$ (x, y, z) pentru care $x^2 + y^2 = z^2$, anume $x = k(p^2 - q^2)$, $y = 2kpq$, $z = k(p^2 + q^2)$ sau același cu x permutat cu y, în care k, p, q sînt numere naturale, $p > q$ și, pentru a evita repetițiile, se presupune că p și q sînt prime între ele și sînt unul par și celălalt impar. Prezența factorului k este ușor de înțeles dacă avem în vedere noțiunea de triunghiuri asemenea. Să dăm cîteva exemple, (toate cu $k = 1$) $p = 2$, $q = 1$ dă (3, 4, 5), $p = 3$, $q = 2$ dă (5, 12, 13), $p = 4$, $q = 1$ dă (15, 8, 17), $p = 4$, $q = 3$ dă (7, 24, 25), $p = 5$, $q = 2$ dă (21, 20, 29), $p = 5$, $q = 4$ dă (9, 40, 41) etc. Puteți folosi aceste triplete pentru a compune voi înșiși probleme în care să nu „apară radicali" în cursul rezolvării lor. Puteți verifica ușor că x, y, z definiți prin formulele de mai sus verifică relația $x^2 + y^2 = z^2$.

Mai greu, dar nu dincolo de posibilitățile voastre de înțelegere, este de a dovedi că orice triplet de numere întregi (x, y, z) pentru care $x^2 + y^2 = z^2$ se obține prin formulele de mai sus cu k, p, q întregi.

SINUSUL ȘI COSINUSUL UNUI UNGHI

După ce în ultimul paragraf am învățat să calculăm, cunoscînd lungimile a două laturi ale unui triunghi dreptunghic, lungimea celei de-a treia laturi, ne vom pune aci problema de a determina, cunoscînd lungimea ipotenuzei unui triunghi dreptunghic și măsura unuia din unghiurile sale ascuțite, lungimea laturii opuse acelui unghi (fig. I.50).

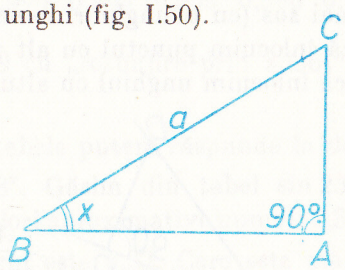


Fig. I.50

Răspunsul la această problemă nu se poate da cu ajutorul unei formule care să conțină numai operații cu numere cunoscute pînă acum. Situația nu este însă atît de „gravă" încît să fim obligați să rezolvăm de fiecare dată o astfel de problemă printr-o măsurătoare. Anume, să observăm că dacă în două triunghiuri dreptunghice cu $\sphericalangle A = \sphericalangle A' = 90°$ unghiurile din B și B' sînt congruente atunci triunghiurile sînt asemenea (cazul 2) și deci $\frac{AC}{A'C'} = \frac{BC}{B'C'}$, deci cunoscînd ipotenuzele lor și cateta AC din primul determinăm cu ușurință cateta $A'C'$ din celălalt (fig. I.51).

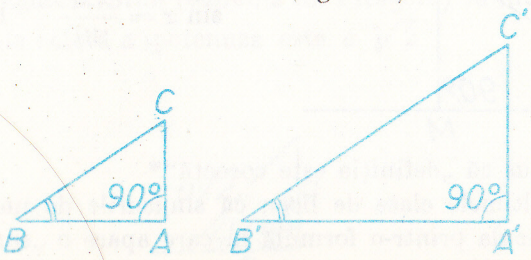


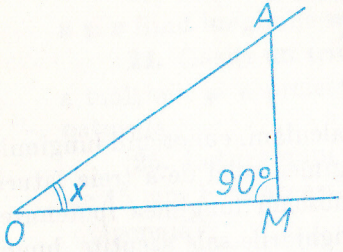
Fig. I.51

$$A'C' = B'C' \cdot \frac{AC}{BC}$$

Cu alte cuvinte este suficient să cunoaștem raportul $\frac{AC}{BC}$ într-un triunghi dreptunghic care are măsura unghiului B egală cu x, pentru a putea calcula

ateta opusă unui unghi de măsură x în orice triunghi dreptunghic căruia se cunoaște ipotenuza.

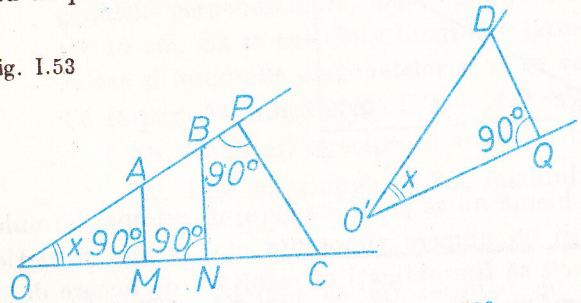
Ajungem la concluzia că este preferabil să caracterizăm mărimea unui unghi ascuțit nu prin numărul său de grade, ci prin raportul dintre distanța de la un punct de pe una din laturile sale la cealaltă latură și distanța de la acel punct la vîrful unghiului (fig. I.52).



Nu x ci $\frac{AM}{AO}$ Fig. I.52

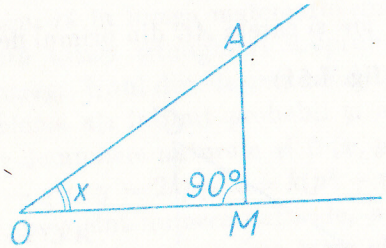
Raționamentul de mai sus (cu triunghiuri asemenea) ne arată că acest raport nu se schimbă dacă înlocuim punctul cu alt punct de pe acea latură sau de pe cealaltă sau dacă înlocuim unghiul cu altul congruent.

Fig. I.53



$$\frac{AM}{AO} = \frac{BN}{BO} = \frac{CP}{CO} = \frac{DQ}{DO'}$$

Definiție. Dacă $0° < x < 90°$, se numește sin x, și se citește „sinus de x“, raportul dintre cateta opusă unghiului x și ipotenuză într-un triunghi dreptunghic care are unul din unghiurile sale ascuțite de măsură x.



$\sin x = \frac{AM}{AO}$ Fig. I.54

Am văzut mai sus că „definiția este corectă“*

Veți vedea în ultimele clase de liceu că sinusurile de unghiuri nu se măsoară, ci se pot calcula printr-o formulă în care apare o „sumă infinită“, formulă ce „începe“ astfel:

$$\sin x = \frac{\pi x}{180} - \frac{1}{6}\left(\frac{\pi x}{180}\right)^3 + \frac{1}{120}\left(\frac{\pi x}{180}\right)^5 - \ldots$$

* Vezi la pag. 28 sensul acestei expresii.

Dăm mai jos o tabelă (calculată, de exemplu, pe baza formulei de mai sus), în care figurează valorile lui sin x, cu trei zecimale exacte, pentru toți x exprimați printr-un număr întreg de grade, cuprins între 0° și 90°.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0°		0,017	0,035	0,052	0,070	0,087	0,105	0,122	0,139	0,156
10°	0,174	0,191	0,208	0,225	0,242	0,259	0,276	0,292	0,309	0,326
20°	0,342	0,358	0,375	0,391	0,407	0,423	0,438	0,454	0,469	0,485
30°	0,500	0,515	0,530	0,545	0,559	0,574	0,588	0,602	0,616	0,629
40°	0,643	0,656	0,669	0,682	0,695	0,707	0,719	0,731	0,743	0,755
50°	0,766	0,777	0,788	0,799	0,809	0,819	0,829	0,839	0,848	0,857
60°	0,866	0,875	0,883	0,891	0,899	0,906	0,914	0,921	0,927	0,934
70°	0,940	0,946	0,951	0,956	0,961	0,966	0,970	0,974	0,978	0,982
80°	0,985	0,988	0,990	0,993	0,995	0,996	0,998	0,999	0,999	1,000

(ultima valoare este 1,000 cu „rotunjire prin adaos“)

Cu ajutorul acestei tabele putem răspunde la două tipuri de întrebări:

1) Să se afle sin 23°. Găsim din tabel sin 23° = 0,391; mai precis, deoarece tabelul conține valori aproximative numai: $0{,}3905 < \sin 23° < 0{,}3915$.

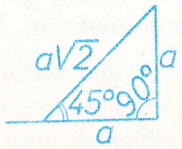
2) Sinusul unui unghi este 0,32. Care este măsura x a acelui unghi? Din tabel găsim că $\sin 18° = 0{,}309 < 0{,}32 < 0{,}326 = \sin 19°$, deci x este cuprins între 18° și 19°.

Există și tabele mai precise, cu mai multe zecimale, și din „minut în minut“ etc.

Observația 1. Putem determina măsura x a unui unghi și dacă știm de exemplu că $\sin \frac{x}{2} = 0{,}16$. Din tabel obținem $9° < \frac{x}{2} < 10°$, deci $18° < x < 20°$.

2. Din cele cunoscute pînă acum putem deduce valoarea exactă a sinusurilor a trei unghiuri. Știm (teorema lui Pitagora) că într-un triunghi dreptunghic isoscel de catetă a ipotenuza este $a\sqrt{2}$.

Fig. I.55



Deci $\sin 45° = \frac{a}{a\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$.

Știm că într-un triunghi dreptunghic de ipotenuză a ce are un unghi ascuțit de 30° cateta opusă acelui unghi este $\frac{a}{2}$ (deoarece „completînd" triunghiul se obține un triunghi echilateral, fig. I.56).

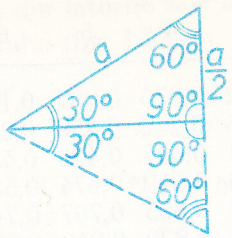


Fig. I.56

Deci $\sin 30° = \frac{1}{2}$.

În același triunghi lungimea celeilalte catete este $\frac{a\sqrt{3}}{2}$ (teorema lui Pitagora), deci $\sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}$.

Problemă rezolvată 1. Cunoscînd ipotenuza și un unghi ascuțit ale unui triunghi dreptunghic, să se afle catetele (fig. I.57).

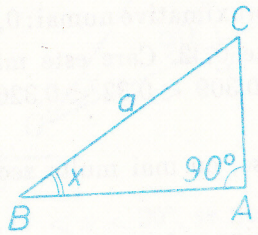


Fig. I.57

Ipoteza $BC = a$, $\sphericalangle B = x$, $\sphericalangle A = 90°$. *Concluzia* $AB = \ldots$, $AC = \ldots$

Rezolvare. Avem, prin definiție, $\frac{AC}{a} = \sin x$, deci $AC = a \sin x$. Teorema lui Pitagora dă $AB = \sqrt{a^2 - AC^2} = \sqrt{a^2 - a^2 \sin^2 x} = a\sqrt{1 - \sin^2 x}$.

Mai putem scrie, deoarece $\sphericalangle C = 90° - x$, și $AB = a \sin C = a \sin (90° - x)$.

Observație. Să remarcăm că am scris $\sin^2 x$ în loc de $(\sin x)^2$; aceasta este o convenție de scriere.

Cunoscînd o catetă și ipotenuza unui triunghi dreptunghic, să se afle unghiurile triunghiului (fig. I.58).

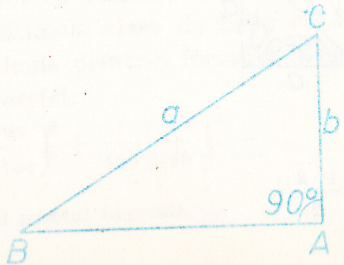


Fig. I.58

Ipoteza $\sphericalangle A = 90°$, $BC = a$, $AC = b$, *Concluzia* $\sphericalangle B = \ldots$, $\sphericalangle C = \ldots$.

Rezolvare. Conform definiției avem $\sin B = \frac{b}{a}$ și această relație constituie un răspuns la întrebarea „care este măsura $\sphericalangle B$?"

Măsura $\sphericalangle C$ se determină fie din $\sphericalangle C = 90° - \sphericalangle B$, fie din $\sin C = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$ $\left(\text{teorema lui Pitagora, } \sin C = \frac{AB}{a}\right)$.

Ținînd seamă de rezultatul din problema rezolvată 1, se dă:

Definiție. Dacă $0° < x < 90°$ se numește cos x și se citește „cosinus de x" numărul $\sin(90° - x)$.

Sinusul și cosinusul unui unghi se numesc și „funcții trigonometrice ale acelui unghi".

CE ȘTIM DESPRE SINUS ȘI COSINUS?

a. Într-un triunghi dreptunghic ABC cu $\sphericalangle A = 90°$ avem $AC = BC \sin B$, $AB = BC \cos B$

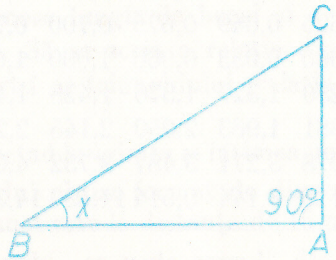


Fig. I.59

b. $0 < \sin x < 1$; $0 < \cos x < 1$.

c. $\cos x = \sin(90° - x)$. Aceasta ne permite să folosim tabelul de la pagina 41 și la calculul cosinusului unui unghi dat și la determinarea unui unghi cînd i se cunoaște cosinusul.

d. Din rezolvarea problemei 1 am văzut că $\cos x = \sqrt{1 - \sin^2 x}$ deci $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ pentru orice x (cuprins între 0° și 90°).

Aceasta este o expresie „trigonometrică" a teoremei lui Pitagora.

$\sin 30° = \frac{1}{2}$, $\sin 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}$, $\sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}$; deci: $\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2}$, $\cos 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}$, $\cos 60° = \frac{1}{2}$.

TANGENTA UNUI UNGHI

Dacă într-un triunghi dreptunghic ABC cu $A = 90°$ cunoaștem $AC = b$ și $C = x$, atunci ipotenuza $BC = \frac{b}{\cos x}$, iar cealaltă catetă $AB = BC \sin x = b \frac{\sin x}{\cos x}$. Cu aceasta am rezolvat problema: cunoscînd lungimea unei catete și unghiul alăturat dintr-un triunghi dreptunghic, să se determine lungimea celeilalte catete.

În rezolvarea numerică a acestei probleme, sîntem în situația de a face o împărțire a două numere ($\sin x$ și $\cos x$) pe care le luăm din tabelul de la pag. 41. Să introducem:

Definiție. Se numește tangentă a unui unghi x, pentru care $0° < x < 90°$, cîtul dintre sinusul acelui unghi și cosinusul său.

$$\operatorname{tg} x = \frac{\sin x}{\cos x}.$$

Tabela de valori a tangentei ușurează calculul de mai sus.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0°		0,017	0,035	0,052	0,070	0,087	0,105	0,123	0,141	0,158
10°	0,176	0,194	0,213	0,231	0,249	0,268	0,287	0,306	0,325	0,344
20°	0,364	0,384	0,404	0,424	0,445	0,466	0,488	0,510	0,532	0,555
30°	0,577	0,601	0,625	0,649	0,675	0,700	0,727	0,754	0,781	0,810
40°	0,839	0,869	0,900	0,933	0,966	1,000	1,036	1,072	1,111	1,150
50°	1,192	1,235	1,280	1,327	1,376	1,428	1,483	1,540	1,600	1,664
60°	1,732	1,804	1,881	1,963	2,050	2,145	2,246	2,356	2,475	2,605
70°	2,747	2,904	3,078	3,271	3,487	3,732	4,011	4,331	4,705	5,145
80°	5,671	6,314	7,115	8,144	9,514	11,430	14,301	19,081	28,636	57,290

Se introduce și:

Definiție. Se numește cotangentă a unghiului x pentru $0° < x < 90°$ cîtul dintre cosinusul acelui unghi și sinusul său, $\operatorname{ctg} x = \frac{\cos x}{\sin x}$.

7. Probleme

1. Examinați tabelul de valori al sinusului și răspundeți la întrebarea: dacă $x < y$ atunci avem $\sin x < \sin y$, $\sin x > \sin y$ sau $\sin x = \sin y$?

Demonstrați apoi răspunsul (evident că tabelul, ce nu conține decît valorile lui $\sin x$ pentru x întreg, nu ne poate ajuta în această demonstrație); amintiți-vă teoremele de la „inegalități" (Geometria cl. a VI-a).

2. Aceeași întrebare pentru cosinus.

3. Examinați diferențele dintre valorile succesive ale sinusului din tabelul de la pagina 41; mai precis examinați valorile expresiei $\sin(x + 1°) - \sin x$ pentru x întreg. Unde crește sinusul mai repede, în zona valorilor mici sau a celor mari ale lui x?

4. Care sînt valorile lui x pentru care $\sin x = \cos x$?

5. Ce puteți spune despre măsura x a unui unghi ascuțit pentru care $\sin x = 0{,}8$? Dar dacă știm că $\cos y = 0{,}55$?

6. Ipotenuza unui triunghi dreptunghic are lungimea a, iar unul din unghiurile ascuțite măsura x. Să se exprime lungimile catetelor, ale înălțimii, ale proiecțiilor catetelor pe ipotenuză.*

7. Înălțimea unui triunghi dreptunghic corespunzătoare unghiului drept are lungimea h, iar unul din unghiurile ascuțite ale triunghiului are măsura x. Exprimați lungimile ipotenuzei, ale catetelor etc.

8. Baza mică a unui trapez dreptunghic are lungimea b, latura „oblică" are lungimea c, iar unghiul ascuțit măsura x. Să se exprime baza mare, latura perpendiculară și diagonalele.

9. Într-un cerc de rază R se consideră un unghi la centru de măsură x. Care este lungimea coardei „corespunzătoare"?

10. Un triunghi isoscel are unghiurile de la bază de măsură x, iar laturile congruente de lungime a. Să se calculeze baza, înălțimea corespunzătoare bazei și înălțimile corespunzătoare laturilor congruente.

11. Se cunosc lungimile bazei și a laturilor congruente dintr-un triunghi isoscel. Să se scrie o relație din care să se poată determina unghiul de la vîrf al triunghiului (relația va conține, evident, „sinus" sau „cosinus").

12. Cunoscînd lungimea și lățimea unui dreptunghi, să se determine măsura unghiului obtuz format de diagonalele sale.

13. Un punct este la distanța de 15 m de centrul unui cerc de rază 2 m. Sub ce unghi „se vede cercul" din acel punct (cu alte cuvinte, care este unghiul format de tangentele duse din acel punct la cerc)?

14. Două cercuri de raze R și r au distanța d între centre. Sub ce unghi se văd cercurile din punctul de intersecție al tangentelor comune exterioare? Dar din cel al tangentelor comune interioare?

15. O dreaptă este la distanța d de centrul unui cerc de rază R. Care este unghiul format de dreaptă cu tangenta la cerc într-un punct de intersecție al dreptei cu cercul?

16. În $\triangle ABC$ cu $\sphericalangle A = 90°$ ducem $AD \perp BC$, $DE \perp AB$, $EF \perp BC$. Exprimați BF și AF cunoscînd $BC = a$ și $\sphericalangle B = x$.

17. Arătați că $\operatorname{ctg} x = \frac{1}{\operatorname{tg} x}$.

18. Arătați că $\operatorname{ctg} x = \operatorname{tg}(90° - x)$.

19. Calculați $\operatorname{tg} 29°$, $\operatorname{ctg} 44°$ etc.

* La această problemă ca și la cele ce urmează se vor considera și exemple numerice.

20. Ce puteți spune despre unghiurile x, y, dacă $\operatorname{tg} x = 2{,}1$ și $\operatorname{ctg} y = 0{,}5$?

21. Arătați că dacă $x < y$ atunci $\operatorname{tg} x < \operatorname{tg} y$ iar $\operatorname{ctg} x > \operatorname{ctg} y$.

22. Determinați tangenta și cotangenta unghiurilor de 30°, 45° și 60°.

Rezolvarea triunghiurilor oarecare

În acest paragraf vom rezolva cele trei probleme puse încă de anul trecut, la lecția despre construcția triunghiurilor.

Problemă rezolvată 1. Într-un triunghi se cunosc lungimile a două laturi și măsura unghiului cuprins. Să se determine lungimea celei de-a treia laturi și măsurile celorlalte două unghiuri.

Să considerăm întîi un caz concret, în care să presupunem că „unghiul cuprins" este dat nu prin măsura sa ci prin cosinusul său (fig. I.60).

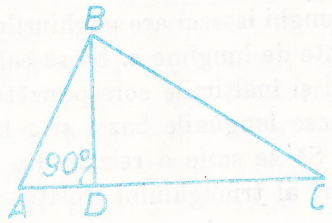


Fig. I.60

Ipoteza *Concluzia*

$AB = 5$, $AC = 7$, $\sphericalangle A < 90°$, $\cos A = 0{,}4$. $BC = \ldots$, $\sphericalangle C = \ldots$, $\sphericalangle B = \ldots$.

Rezolvare. Pentru a putea aplica relațiile din triunghiul dreptunghic ce le cunoaștem, să ducem înălțimea BD. Vom avea din $\triangle ABD$, $AD = AB \cos A = 5 \cdot 0{,}4 = 2$, $BD = \sqrt{AB^2 - AD^2} = \sqrt{21}$, apoi $DC = 7 - 2 = 5$ și din $\triangle BDC$, $BC = \sqrt{BD^2 + DC^2} = \sqrt{46}$, $\sin C = \frac{\sqrt{21}}{\sqrt{46}} = \sqrt{\frac{21}{46}} \simeq \sqrt{0{,}4565} \simeq 0{,}67 \ldots$, $C \simeq 42° \ldots$ iar $\sphericalangle ABC = 180° - (\sphericalangle A + \sphericalangle C) \simeq 180° - (66° + 42°) \simeq 71°$ (unghiurile din paranteză sînt ambele puțin mai mari decît valorile scrise...)*.

Vom rezolva însă prima parte a problemei și în cazul general, cu date literale; se va vedea cum rezultatul ce-l vom obține va fi esențial în special pentru problema 3.

* Putem determina pe BD și ca $AB \sin A$, iar pe C și din $\cos C = \frac{CD}{CB} = \frac{5}{\sqrt{46}}$.

Va trebui să deosebim două cazuri.

Cazul 1. Unghiul cuprins este ascuțit (fig. I. 61).

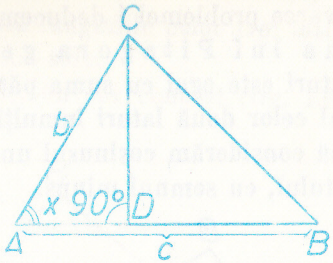


Fig. I.61

Ipoteza *Concluzia*

$AB = c$, $AC = b$, $b \leqslant c$, $\sphericalangle A = x$. $BC = \ldots$.

Rezolvare. Rolurile ce le joacă $\sphericalangle B$ și $\sphericalangle C$ în enunț sînt simetrice, de aceea am precizat că $b \leqslant c$, pentru a ști că $\sphericalangle B \leqslant \sphericalangle C$, deci că $\sphericalangle B$ este ascuțit și că figura arată așa cum a fost desenată. Vom proceda la fel ca în cazul concret de mai sus: vom considera piciorul D al perpendicularei din C pe AB, care, datorită ipotezelor, se va afla între A și B.

În $\triangle ACD$ avem $CD = b \sin x$, $AD = b \cos x$; apoi $BD = c - b \cos x$. Teorema lui Pitagora în $\triangle BDC$ dă $BC = \sqrt{BD^2 + DC^2} = \sqrt{b^2 \sin^2 x + (c - b \cos x)^2} = \sqrt{b^2(\sin^2 x + \cos^2 x) + c^2 - 2bc \cos x} = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cos x}$.

Cazul 2. Unghiul cuprins este obtuz.

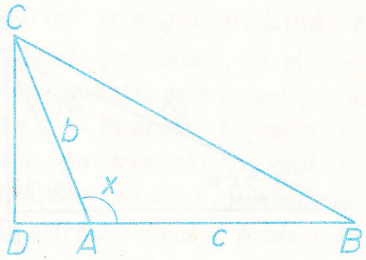


Fig. I.62

Ipoteza *Concluzia*

$AB = c$, $AC = b$, $\sphericalangle A = x$. $BC = \ldots$.

Rezolvare. În acest caz $\sphericalangle B$ este sigur ascuțit. Avem $\sphericalangle CAD = 180° - x$ și în continuare procedăm în același mod ca în cazul 1 : $AD = b \cos(180° - x)$, $CD = b \sin(180° - x)$, $BD = c + b \cos(180° - x)$, $BC = \sqrt{CD^2 + BD^2} = \sqrt{b^2 \sin^2(180° - x) + (c + b \cos(180° - x))^2} = \sqrt{b^2 + c^2 + 2bc \cos(180° - x)}$ și apoi $\sin B = \frac{CD}{CB}$.

Observație. Dacă examinăm cele două formule obținute în cele două cazuri pentru lungimea lui BC observăm că, dacă definim, pentru $90° < x < 180°$, $\cos x$ drept $-\cos(180° - x)$, atunci formula de la cazul 1 este vala-

la piciorul înălțimii prin formula de mai sus și am găsi $AD = \frac{5}{2}$, iar apoi

din teorema lui Pitagora am deduce $BD = \sqrt{AB^2 - AD^2} = \sqrt{\frac{75}{4}} = \frac{5\sqrt{3}}{2}$.

8. Probleme

1. Care sînt toate valorile ce le ia cos x, cînd x variază de la 0° la 180°? De cîte ori este luată fiecare din aceste valori?

2. Aceleași întrebări ca la problema 1 pentru sin x.

3. „Rezolvați ecuațiile" cos $x = 0{,}75$ cos $x = -0{,}39$, cos $x = 1{,}6$ precum și sin $x = 0{,}4$, sin $x = -0{,}34$, sin $x = 2$.

4. Să se arate că relația $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ este adevărată pentru orice x cuprins între 0° și 180°.

5. Exprimați, pentru $0° < x < 90°$, sin(90° + x) și cos(90° + x) în funcție de sin x, cos x.

6. Este adevărat că cos $x = \sqrt{1 - \sin^2 x}$ pentru orice x între 0° și 180°? Dar sin $x = \sqrt{1 - \cos x^2}$?

7. În problema rezolvată 2, figura I.64, determinați lungimea AB fără a mai duce perpendiculara din B pe AC.

8. Un triunghi are unghiurile de 60°, 45° și 75° iar latura dintre unghiurile de 75° și 45° de 4 cm.

a. Determinați lungimile celorlalte laturi.

b. Folosind și metoda găsită în problema 7, deduceți o expresie exactă pentru sin 75° și cos 75°.

9. Cele trei laturi ale unui triunghi au lungimile de 10, 12 și 14.

a. Calculați lungimile medianelor acestui triunghi.

b. Calculați unghiurile dintre mediane și laturile corespunzătoare.

10. Un triunghi are două laturi de 8 și 11, iar unghiul cuprins între ele de 60°. Calculați lungimea celei de a treia laturi și măsurile celorlalte două unghiuri.

11. Un triunghi isoscel are laturile congruente de 8, iar unghiul din vîrf de 45°. Calculați baza sa, înălțimea corespunzătoare bazei. Deduceți valorile exacte ale lui sin 22°30′ și cos 22°30′ (în expresiile lor vor apărea, bineînțeles, radicali).

12. Rezolvați problema 11 cu un unghi oarecare x în loc de 45°.

13. Laturile unui triunghi ABC au lungimile de $AB = 6$, $BC = 7$, $CA = 8$. Pe latura BC se alege un punct D astfel ca $BD = 3$. Determinați lungimea AD.

14. Un triunghi are o latură de 12, unghiul opus de 56°, iar unul dintre celelalte unghiuri de 62°. Determinați raza cercului circumscris triunghiului.

15. În problema precedentă, determinați și raza cercului înscris în triunghi.

16. Două laturi ale unui triunghi au lungimile de 80 și 14, unghiul cuprins între ele este de 60°. Calculați lungimea bisectoarei corespunzătoare laturii de 80.

17. Laturile unui paralelogram au lungimile de 5 și 8, iar unul din unghiurile sale are 50°.

a. Calculați lungimile diagonalelor.

b. Calculați unghiurile dintre diagonale și laturi.

c. Calculați unghiul dintre diagonale.

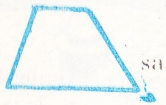
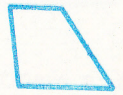
18. Distanța dintre centrele a două cercuri de raze 9 și 13 este de 20.

a. Calculați lungimea coardei lor comune.

b. Calculați unghiul dintre tangentele la cele două cercuri într-unul din punctele lor de intersecție.

19. Aceeași problemă, distanța dintre centre fiind de 5.

20. Bazele unui trapez au 15 respectiv 9 ca lungimi iar laturile neparalele au 11 și 13.

a. Cum arată trapezul, așa  sau așa  ?

(Cu alte cuvinte: unghiurile ascuțite ale trapezului sînt alăturate sau opuse?)

b. Calculați lungimile diagonalelor trapezului.

c. Calculați unghiurile trapezului.

d. Calculați unghiurile dintre diagonale și laturi.

e. Calculați unghiul dintre diagonale.

Încercați să rezolvați fiecare din puncte bazîndu-vă pe cît mai puține din rezultatele punctelor precedente.

21. Bazele unui trapez sînt lungi de 16 și 4, una din laturile neparalele are 6, iar una din diagonale 12. Rezolvați pentru acest trapez punctele a–e din problema precedentă.

22. Din două puncte ale unei drepte depărtate între ele cu 4, ducem două segmente perpendiculare pe acea dreaptă, de lungimi 5 și 7. Care este distanța dintre celelalte capete ale acestor segmente?

23. Într-un patrulater convex $ABCD$ avem $AB = 13$, $BC = 25$, $CD = 20$, $DA = 12\sqrt{2}$, iar $BD = 17$. Calculați lungimea diagonalei AC.

24. În problema 23 calculați și unghiurile patrulaterului, unghiurile dintre diagonale și laturi, unghiul dintre diagonale.

25. În problemele 23–24, punctul D este în interiorul, în exteriorul sau chiar pe cercul ce trece prin A, B, C?

Aplicații practice

Reamintiți-vă aplicația practică de la pag. 24 și rezolvați din nou problemele respective, fără a mai măsura nimic pe hîrtie.

Întrebări. Cu ce se ușurează munca elevului din figura I.31 dacă el are la dispoziție tabelul de la pagina 44?

Cum puteți afla, fără a trece rîul, dacă aparatul meteorologic din figura I.67 este văzut de observatorul din punctul O?

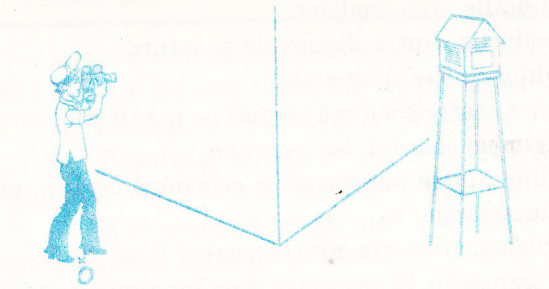
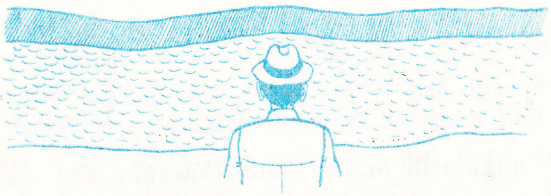


Fig. I.67



CÎTEVA TEOREME ÎN PLUS (FACULTATIV)

În problema 17 de la pagina 11 s-a cerut să se demonstreze:

Teorema bisectoarei. Bisectoarele interioară și exterioară, ale unui unghi dintr-un triunghi, împart latura opusă într-un raport, egal cu raportul laturilor ce formează unghiul (fig. I.68).

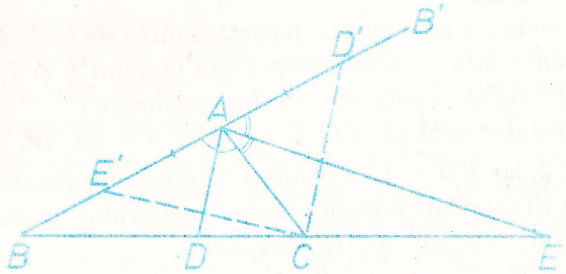


Fig. I.68

Ipoteza

$\sphericalangle DAB \equiv \sphericalangle DAC$, $\sphericalangle EAB' \equiv \sphericalangle EAC$.

Concluz

$\frac{DB}{DC} = \frac{EB}{EC} = \frac{AB}{AC}$

Demonstrația o vom schița numai. Alegem pe dreapta AB puncte D', E' așa încît $AD' \equiv AE' \equiv AC$, D fiind pe semidreapta AB' iar E'

semidreapta AB. Se arată că $CD' \parallel AD$, $CE' \parallel AE$ și se aplică teorema lui Thales în $\triangle BD'C$ tăiat de AD și în $\triangle BAE$ tăiat de CE' etc.

Pe baza teoremei bisectoarei vom rezolva:

Problemă. Fiind date două puncte A, B și un număr k diferit de 1, să se afle locul geometric al tuturor punctelor M pentru care $\frac{MA}{MB} = k$ (fig. I.69).

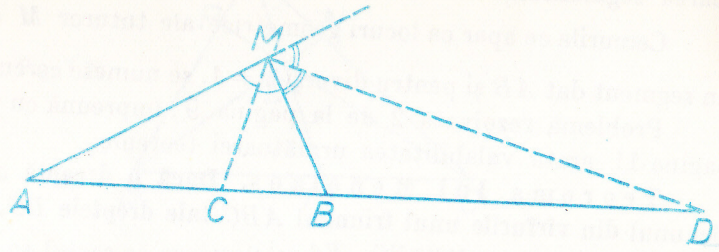


Fig. I.69

Ipoteza

$\frac{MA}{MB} = k$.

Rezolvare. Să ducem bisectoarea interioară și cea exterioară a $\sphericalangle AMB$. Ele vor tăia dreapta AB în două puncte C și D astfel încît, conform teoremei bisectoarei, $\frac{CA}{CB} = \frac{DA}{DB} = k$. Deci punctele C și D sînt fixe, nu depind de M, ci doar de A, B și k (vezi problemele 4 și 5 de la pag. 10). Avem și $MC \perp$ $\perp MD$..., deci M se află pe cercul de diametru CD.

Pentru a rezolva complet problema, urmează să demonstrăm că orice punct M de pe cercul de diametru CD are proprietatea $\frac{MA}{MB} = k$ (scrieți ipoteza și concluzia acestei părți a rezolvării). Această demonstrație întîmpină dificultăți mai mari decît ne așteptăm. Vom proceda prin următoarea metodă. Vom alege un punct M pe cercul de diametru CD, vom considera dreapta CM și simetricul B' al lui B față de CM (fig. I.70).

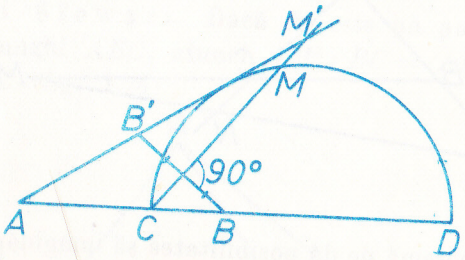


Fig. I.70

Despre punctele C și D știm că au proprietatea ce trebuie stabilită, deci presupunem că M este diferit de aceste puncte. Rezultă că CM nu este perpendiculară pe AB, deci B' nu se află pe AB și dreapta AB' taie dreapta CM într-un punct M' (acest ultim fapt rezultă din $BC \neq CA$, deci $AB' \nparallel CM$). Rezultă ușor că $M'C$ este bisectoarea $\sphericalangle AM'B$, deci (teorema bisectoarei) $\frac{AC}{CB} = k$.

Conform primei părți a rezolvării, M' se va afla pe cercul de diametru CD. Dar dreapta CM nu poate avea mai mult de două puncte comune cu acest cerc, deci $M' = M$ și $\frac{MA}{MB} = k$, q.e.d.

Observație. Pentru $k = 1$, locul geometric din problemă este mediatoarea segmentului AB.

Cercurile ce apar ca locuri geometrice ale tuturor M cu $\frac{MA}{MB} = k$, pentru un segment dat AB și pentru diverși $k \neq 1$, se numesc cercurile lui Apollonios.

Problema rezolvată 2 de la pagina 9, împreună cu problema 18 de la pagina 11 arată valabilitatea următoarei teoreme.

Teorema lui Menelaos. Dacă o dreaptă d ce nu trece prin nici unul din vîrfurile unui triunghi ABC taie dreptele BC, CA, AB respectiv în M, N, P, atunci $\frac{MB}{MC} \cdot \frac{NC}{NA} \cdot \frac{PA}{PB} = +1$.

Convenim, la fel ca în cazul puterii unui punct față de un cerc, să considerăm că $\frac{MB}{MC}$ este negativ dacă M se află în interiorul segmentului BC și pozitiv dacă M se află pe dreapta BC, dar nu în interiorul segmentului BC. Valoarea $+1$ din enunțul teoremei spune că sînt două posibilități: două din punctele M, N, P sînt în interioarele segmentelor respective iar al treilea nu (fig. I.71) sau nici unul dintre cele trei puncte nu se află în interiorul segmentului respectiv (fig. I.72).

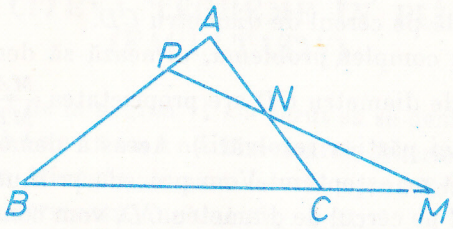


Fig. I.71

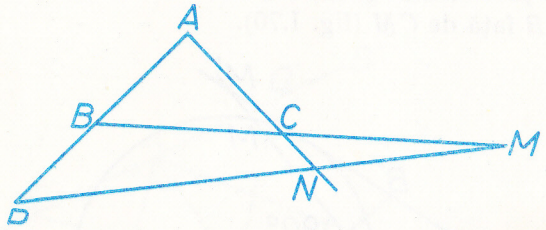


Fig. I.72

Această teoremă ne dă posibilitatea să imaginăm o metodă de a demonstra că trei puncte sînt coliniare.

Următoarea teoremă ne oferă o metodă de a demonstra că trei drepte sînt concurente.

Teorema lui Ceva. Dacă D este un punct nesituat pe nici una din dreptele AB, BC, CA, unde ABC este un triunghi, și dacă M, N, P sînt punctele de intersecție respective ale lui AD cu BC, lui BD cu CA și CD cu AB, atunci avem $\frac{MB}{MC} \cdot \frac{NC}{NA} \cdot \frac{PA}{PB} = -1$ (unde facem convenția de mai sus cu privire la semnele rapoartelor ce apar) (fig. I.73).

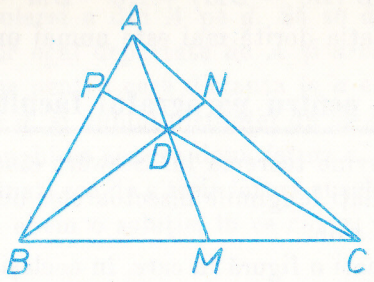


Fig. I.73

(Se poate întîmpla ca figura să arate altfel: numai unul din punctele M, N, P să se afle în interiorul segmentului respectiv.)

Demonstrație. Teorema lui Menelaos în $\triangle ABM$ tăiat de PDC dă $\frac{PA}{PB} \cdot \frac{CB}{CM} \cdot \frac{DM}{DA} = +1$, iar aceeași teoremă în $\triangle ACM$ tăiat de NDB dă $\frac{NC}{NA} \cdot \frac{DA}{DM} \cdot \frac{BM}{BC} = +1$.

Să înmulțim, membru cu membru, cele două egalități. În dreapta obținem evident $+1$, iar în stînga $\frac{DM}{DA} \cdot \frac{DA}{DM}$ este $+1$, $\frac{BM}{CM} = \frac{BM}{MC}$, iar $\frac{CB}{BC} = -1$. Se ajunge imediat la relația dorită; mai mult, modul de redactare al demonstrației nu este influențat cu nimic de înlocuirea figurii I.73 cu o figură descrisă „în paranteza de după figura I.73" q.e.d.

Observație. Dacă vom considera segmentele neorientate, atunci semnul „—" (minus) din membrul doi al relației demonstrate dispare.

Să dăm și „rezultatul" problemei 13 de la pagina 50 rezolvată cu date literale împreună cu demonstrația sa.

Teorema lui Stewart. Dacă M este un punct în interiorul laturii BC a unui triunghi ABC, atunci $AM^2 \cdot BC = AB^2 \cdot MC + AC^2 \cdot BM - BC \cdot BM \cdot MC$ (fig. I.74).

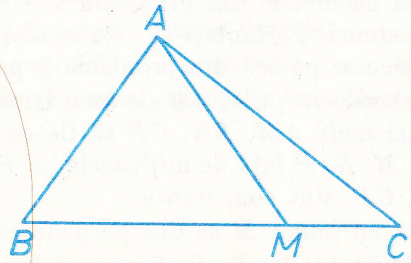


Fig. I.74

Demonstrație. Teorema lui Pitagora generalizată în $\triangle ABM$, $\triangle ABC$, dă $AM^2 = AB^2 + BM^2 - 2AB \cdot BM \cdot \cos B$,
$AC^2 = AB^2 + BC^2 - 2AB \cdot BC \cdot \cos B$.

Eliminăm pe cos B înmulțind prima relație cu BC, și scăzînd din ea pe a doua, înmulțită în prealabil cu BM. Relația ce se obține se scrie, după ce trecem termenul $AC^2 \cdot BM$ în membrul doi:

$$AM^2 \cdot BC = AB^2(BC - BM) + AC^2 \cdot BM - BC \cdot BM(BC - BM)$$

de unde pînă la relația dorită mai este numai un pas: $BC - BM = MC$.

9. Probleme pentru paragraful facultativ

1. Ce devine teorema lui Stewart cînd M este mijlocul lui BC?*

2. Calculați lungimile bisectoarelor unui triunghi cunoscînd lungimile laturilor sale.

3. Desenați o figură în care, în același triunghi, să se poată aplica și teorema lui Menelaos și teorema lui Ceva, două din cele trei puncte fiind aceleași în ambele aplicații. Enunțați rezultatul obținut.

4. Enunțați și demonstrați reciproca teoremei lui Menelaos.

5. Aceeași problemă pentru teorema lui Ceva.

6. Se consideră trei cercuri, ce n-au centrele coliniare, și astfel încît printre ele să nu existe două care să fie interioare sau tangente interioare, (C_1), (C_2), (C_3). Tangentele comune exterioare ale lui (C_1) și (C_2) se întîlnesc în A_{12}; definim asemănător punctele A_{23}, A_{31}. Să se arate că cele trei puncte sînt coliniare.

7. Enunțați o problemă asemănătoare cu problema 6, în care să fie vorba și de tangente comune interioare.

8. Cercul înscris în triunghiul ABC atinge laturile BC, CA, AB în M, N, P respectiv. Demonstrați că AM, BN, CP sînt concurente.

9. Enunțați o problemă asemănătoare cu problema 8 în care să fie vorba de un cerc tangent celor trei laturi ale unui triunghi, altul decît cel înscris.

10. Care este locul geometric al punctelor pentru care diferența pătratelor distanțelor la două puncte date să fie constantă?

11. Care este locul geometric al punctelor ce au puteri egale față de două cercuri date?

12. Locul geometric din problema 11 se numește „axa radicală" a celor două cercuri. Formulați și demonstrați o teoremă care să aibă drept caz particular pe cea din problema 5 pagina 31.

13. Pe laturile BC, CA, AB ale unui triunghi se consideră punctele M, N, P astfel încît AM, BN, CP să fie concurente. Fie M', N', P' simetricele lui M, N, P față de mijloacele lui BC, CA, AB. Demonstrați că AM', BN', CP' sînt concurente.

14. Dintr-un punct M se duc perpendiculare pe laturile BC, CA, AB ale unui triunghi; fie D, E, F picioarele lor. Să se demonstreze că $BD^2 + CE^2 + AF^2 = CD^2 + AE^2 + BF^2$. Enunțați și demonstrați o reciprocă.

* Rezultatul se numește „teorema medianei".

15. Determinați locul geometric al punctelor pentru care suma pătratelor distanțelor la două puncte date A și B este constantă.

16. Se consideră un punct A și o dreaptă d ce nu trece prin el. Fie d' paralela la d ce trece prin mijlocul segmentului cu capetele în A și în piciorul perpendicularei a din A pe d. Să se demonstreze că locul geometric al punctelor egal depărtate de A și d este tot una cu locul geometric al punctelor pentru care distanța la a este medie proporțională între distanța la d' și dublul distanței de la A la d.

17. Într-un triunghi se cunosc două laturi a, b și unghiul B opus uneia din ele. Determinați cea de a treia latură și celelalte două unghiuri. *Discuție:* în ce cazuri avem o soluție, în ce cazuri două și în ce cazuri nici una?

Observație. În paragraful dinainte am învățat să rezolvăm toate cele trei probleme ce ni le-am pus anul trecut cu ocazia construirii triunghiurilor. Anume: cunoscînd trei din elementele unui triunghi (nu toate unghiuri), să calculăm celelalte trei. Din problemele ce le-ați rezolvat, ați învățat să calculați lungimi și unghiuri ce apar în paralelograme, trapeze, patrulatere oarecare, cercuri.

Aplicațiile practice ale geometriei ne pun tocmai astfel de probleme.

În acest paragraf ați luat cunoștință de posibilități de a continua dezvoltarea geometriei în stilul în care v-am prezentat-o. Ați văzut că se mai pot demonstra teoreme interesante, frumoase, asupra figurilor ce le cunoaștem; astfel de teoreme sînt încă multe. Enunțurile lor nu se complică mereu. Ce simplu este enunțul problemei 8, și ce dificilă, dacă nu imposibilă, apare soluția ei dacă n-am cunoaște teorema lui Ceva. Avem astfel o idee asupra resurselor de care dispune mintea noastră în acțiunea ei de cunoaștere a lumii.

În clasa a IX-a, la „Geometria în plan", veți relua cunoștințele căpătate în clasele VI—VII la un nivel mai înalt de rigurozitate și veți face cunoștință și cu alte teoreme de geometrie.

Atunci veți stăpîni mai bine decît acum calculul algebric și veți putea rezolva ecuații de gradul 2, ceea ce vă va permite să tratați multe din problemele ce le-ați rezolvat pînă acum cu date literale.

În clasa a VIII-a veți folosi cunoștințele din clasele VI—VII pentru studiul figurilor în spațiu și pentru calculul elementelor lor.

CAPITOLUL 2

ARII

INTRODUCERE

Noțiunea de arie era bine cunoscută, încă dinainte de a fi început, în clasa a VI-a, studiul geometriei. Astfel, în figura II.1, intuiția ne îndeamnă să spunem că aria ABC este mai mare decît aria DEF, în ciuda faptului că DEF este mai „lungă" decît ABC. Există o situație geometrică în care ariile se adună, asemănătoare cu cele în care se adună lungimile segmentelor sau măsurile unghiurilor: în fig. II.1 avem aria $GHIJK$ = aria GHI + aria GIK + aria IJK.

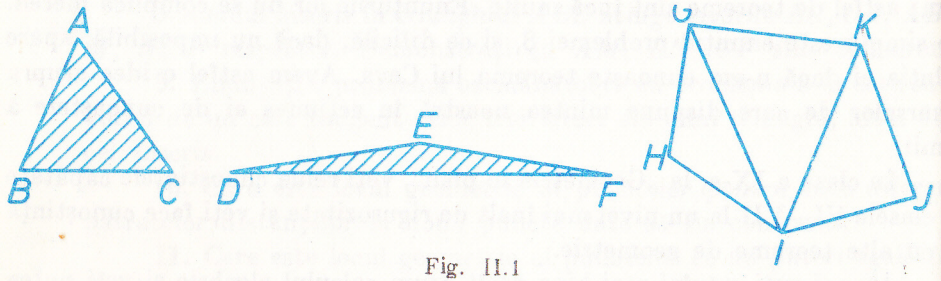


Fig. II.1

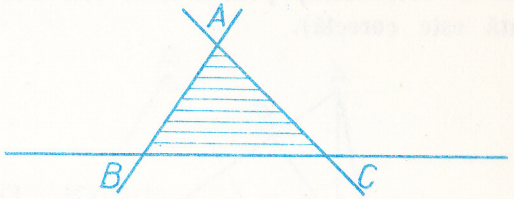
Dar noi nu am luat în considerare noțiunea de arie cînd am descris, în partea 1 a manualului pentru clasa a VI-a, noțiunile de bază ale geometriei plane. Este cazul să privim aceasta ca o lipsă? Nu, deoarece, astfel de noțiuni, sugerate de experiența noastră și nu de logica dezvoltării geometriei, mai pot apărea și chiar vor apărea în capitolul 3.

Ne aflăm deci în fața unei situații noi. Intuiția noastră pune în evidență o noțiune nouă și unele proprietăți ale ei. Noi „simțim" că aceasta este o noțiune de geometrie. Se pune problema să exprimăm toate acestea în limbajul geometriei noastre, cu alte cuvinte să definim această noțiune și să demonstrăm proprietățile descoperite de noi înainte.

Cum în clasele precedente ați mai învățat cum se calculează ariile, noi vom merge aci „drept la țintă", fără a ignora cunoștințele de pînă acum asupra ariilor (evident însă, fără a ne baza pe ele în demonstrații).

Observație. Cînd vorbim de aria unui triunghi, ne gîndim de fapt nu la aria figurii formată de vîrfurile triunghiului, ci la aria „interiorului triunghiului", înțeles drept mulțime a tuturor punctelor care se află de aceeași parte a oricăreia din laturile triunghiului ca și vîrful opus (fig. II.2).

Fig. II. 2



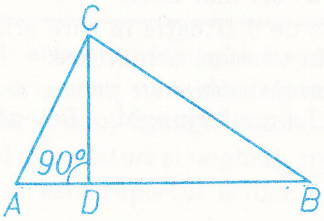
Dacă privim schema triunghi → interiorul său → aria, observăm că fiecărui triunghi, chiar gîndit ca o figură formată numai din trei puncte (vîrfurile) îi corespunde o arie. Un astfel de mod de a gîndi scurtează expunerea, evitînd repetarea inutilă a cuvîntului „interior".

Aria unui triunghi

Definiție. Prin aria unui triunghi înțelegem jumătate din produsul dintre o latură a triunghiului și înălțimea corespunzătoare acelei laturi. Cu alte cuvinte aria unui triunghi este egală cu jumătate din produsul dintre „bază" și „înălțime").

Aria triunghiului ABC o vom nota S_{ABC}.

Fig. II.3



$$S_{ABC} = \frac{AB \cdot CD}{2}$$

Avem trei posibilități de a calcula aria unui triunghi dat, corespunzătoare celor trei laturi ale sale, și nu știm dinainte că toate trei conduc la același rezultat. Ar fi trebuit deci să demonstrăm, înainte de a da definiția de mai sus, o teoremă, al cărei enunț îl puteți ușor deduce (vezi chiar problema 9, pag. 22).

Teorema asupra puterii punctului apăruse ca o teoremă importantă; din ea am dedus teorema lui Pitagora. Teorema ce va trebui s-o demonstrăm aici, deși „de neînlocuit" în acest paragraf, nu apare ca o teoremă atît de importantă în alte capitole încît să merite să fie pusă în rînd cu teorema

lui Thales, cu cea a lui Pitagora etc... O astfel de teoremă se numește „lemă"; deci prin lemă vom înțelege tot o teoremă, însă care are numai un rol ajutător.

Istoria matematicii cunoaște însă exemple în care o „umilă lemă" a sfîrșit prin a deveni mai celebră decît teoreme demonstrate pe baza ei. Un astfel de exemplu îl oferă lema următoare:

Lemă. Într-un triunghi, produsul dintre o latură și înălțimea corespunzătoare ei este același pentru toate cele trei laturi (altfel spus, definiția precedentă este corectă).

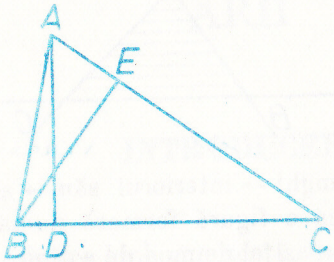


Fig. II.4

Ipoteza — *Concluzia*

$AD \perp BC$, $BE \perp AC$ (fig. II.4). — $AD \cdot BC = BE \cdot AC$.

Demonstrație. $\triangle ACD \sim \triangle BCE$, conform cazului 2 de asemănare, deoarece $\sphericalangle ADC = 90° = \sphericalangle BEC$ și $\sphericalangle C = \sphericalangle C$. Rezultă $\frac{AC}{BC} = \frac{AD}{BE}$, de unde obținem, scriind că produsul mezilor este egal cu al extremilor, relația din concluzie.

Observație. Aria unui triunghi depinde de unitatea de măsură aleasă pentru lungimi. Dacă înlocuim această unitate cu alta, de k ori mai lungă decît prima, atunci lungimile tuturor segmentelor se împart cu k, iar toate ariile triunghiurilor devin de k^2 ori mai mici.

În introducere am vorbit de o situație în care ariile se adună. Un prim fapt de acest fel este stabilit în teorema următoare:

Teoremă *(proprietate de aditivitate pentru arii).* **Dacă D este un punct din interiorul laturii BC a unui triunghi ABC, atunci $S_{ABC} = S_{ABD} + S_{ACD}$** (fig. II.5).

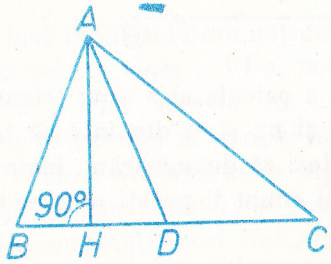


Fig. II.5

Demonstrație. Să considerăm înălțimea AH. Avem $S_{ABC} = \frac{BC \cdot AH}{2} = \frac{(BD + DC)AH}{2} = \frac{BD \cdot AH}{2} + \frac{DC \cdot AH}{2} = S_{ABD} + S_{ACD}$, q.e.d.

Observație. Enunțul „proprietății generale de aditivitate" este complicat și nu-l vom da. În problemele 6, 7 de mai jos, vom indica alte expresii ale acestei proprietăți; în paragraful următor vor apărea, de asemenea, alte proprietăți cărora li se potrivește acest titlu.

În încheierea acestui paragraf, să arătăm cum teoremele demonstrate aici, deși simple, permit scurtarea rezolvărilor unor probleme.

Problemă rezolvată. Să se demonstreze că suma distanțelor unui punct din interiorul bazei unui triunghi isoscel la cele două laturi congruente este constantă.

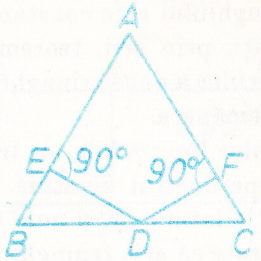


Fig. II.6

Ipoteza — *Concluzia*

$DE \perp AB$, $DF \perp AC$, $AB \equiv AC$. — $DE + DF = \ldots$ (constant).

Demonstrație. **Aceasta este una din problemele „de cl. a VI-a". Acum putem** face demonstrația astfel. Să scriem, conform teoremei de aditivitate, $S_{ABC} = S_{ABD} + S_{ACD}$, deci $S_{ABC} = \frac{AB \cdot DE}{2} + \frac{AC \cdot DF}{2} = \frac{AB(DE + DF)}{2}$. Obținem $DE + DF = \frac{2S_{ABC}}{AB}$, deci este aceeași pentru toate pozițiile lui D în interiorul segmentului BC.

10. Probleme*

1. Exprimați aria unui triunghi dreptunghic.
2. Calculați aria unui triunghi dreptunghic isoscel de catetă a.
3. Calculați aria unui triunghi echilateral de latură a.
4. Cunoscînd două laturi și unghiul cuprins între ele, exprimați aria unui triunghi. Care este raportul ariilor a două triunghiuri ce au un unghi congruent.
5. Calculați aria unui triunghi ale cărui laturi au lungimile sale 13, 20 și 21.
6. Pe laturile AB, AC ale unui triunghi se consideră punctele D, E. Arătați că $S_{ABC} = S_{ADE} + S_{BDE} + S_{BCE}$.
7. În interiorul unui triunghi ABC se consideră un punct M. Arătați că $S_{ABC} = S_{ABM} + S_{BCM} + S_{CAM}$.
8. Într-un paralelogram $ABCD$ avem $S_{ABC} = S_{DBC}$.

* Problemele 12 și 14 sînt facultative.

9. Raportul distanțelor de la mijlocul unei laturi a unui triunghi la celelalte două laturi este egal cu inversul raportului laturilor respective.

10. Demonstrați, prin arii, teorema bisectoarei (pag. 52).

11. Într-un triunghi ABC, simetrica medianei AD față de bisectoarea AE taie BC în F. Determinați raportul $\frac{FB}{FC}$.

12. Simetricele medianelor unui triunghi față de bisectoarele vîrfurilor respective sînt concurente.

13. Suma distanțelor unui punct din interiorul unui triunghi echilateral la laturile triunghiului este constantă.

14. Demonstrați, prin arii, teorema lui Ceva (pag. 54–55).

15. Raportul ariilor a două triunghiuri asemenea este egal cu pătratul raportului de asemănare.

16. Raza cercului înscris într-un triunghi este cîtul dintre dublul ariei triunghiului și perimetrul acestuia.

17. O paralelă la latura BC a unui triunghi ABC taie laturile AB, AC în M, N. Să se arate că aria triunghiului ABN este medie proporțională între ariile triunghiurilor ABC și AMN.

18. Ariile a două triunghiuri congruente sînt egale.

19. Care este locul geometric al vîrfului A al unui triunghi ABC, ce are vîrfurile B, C fixe iar aria constantă?

ARIA UNUI PATRULATER

Înainte de a o defini, avem nevoie de o lemă, la fel ca în paragraful precedent. Anume:

Lemă. Fie $ABCD$ un patrulater convex. Atunci $S_{ABC} + S_{ADC} = S_{BCD} + S_{ABD}$ (fig. II.7).

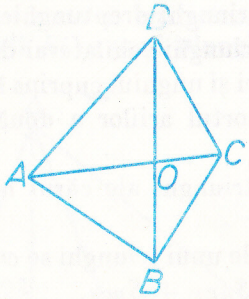


Fig. II.7

Demonstrație. Să notăm cu O intersecția diagonalelor patrulaterului. Conform proprietății de aditivitate avem $S_{ABC} + S_{ADC} = S_{AOB} + S_{BOC} + S_{DOA} + S_{COD} = (S_{BOC} + S_{COD}) + (S_{AOB} + S_{DOA}) = S_{BCD} + S_{ABD}$, q.e.d.

Definiție. Prin aria unui patrulater convex $ABCD$ înțelegem numărul $S_{ABC} + S_{ADC}$ (vezi fig. II. 7), **notat cu S_{ABCD}.**

Observație. Problema corectitudinii acestei definiții, rezolvată prin lema precedentă, apare datorită faptului că am convenit să considerăm patrulaterul $ABCD$ drept, tot una cu $BCDA$ etc.

Înainte de a enunța teorema privind aria unui paralelogram, să reamintim că dacă avem două drepte paralele a și b (fig. II.8), atunci distanța de la un punct A de pe a la dreapta b este aceeași pentru toate punctele $A \in a$; ea se numește „distanța de la a la b" și este tot una cu distanța de la b la a.

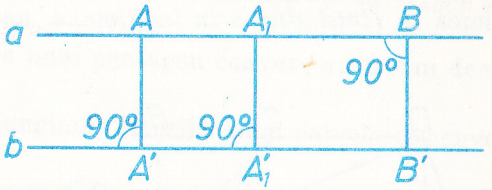


Fig. II.8 $a \parallel b$

Vom numi înălțime corespunzătoare unei laturi a unui paralelogram distanța între acea latură și latura opusă.

Teoremă. Aria unui paralelogram este egală cu produsul dintre o latură a sa și înălțimea corespunzătoare.

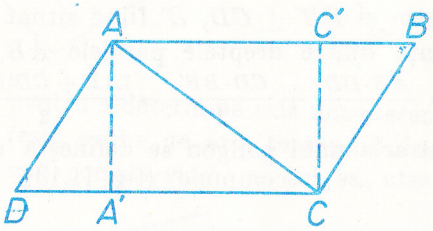


Fig. II.9

Ipoteza $AB \parallel CD$, $AD \parallel BC$, $AA' \perp CD$, $CC' \perp AB$.

Concluzia $S_{ABCD} = CD \cdot AA'$.

Demonstrație. Avem $AA' \equiv CC'$ conform proprietăților distanței între dreptele paralele AB, CD menționate mai sus și $AB \equiv CD$ (opuse în paralelogram). Obținem $S_{ABCD} = S_{ABC} + S_{ACD} = \frac{AB \cdot CC'}{2} + \frac{CD \cdot AA'}{2} = CD \cdot AA'$.

Consecința 1. Aria unui dreptunghi este egală cu produsul dintre lungimea și lățimea sa.

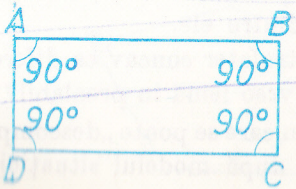
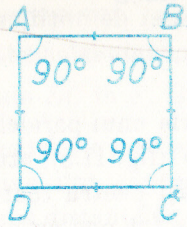


Fig. II.10 $S_{ABCD} = AB \cdot AD$

Consecința 2. Aria unui pătrat este egală cu pătratul lungimii laturii sale.



$S_{ABCD} = AB^2$. Fig. II.11

Teoremă. Aria unui trapez este egală cu produsul dintre semisuma bazelor sale și înălțimea sa *(înțelegînd prin înălțime a unui trapez distanța dintre baze).*

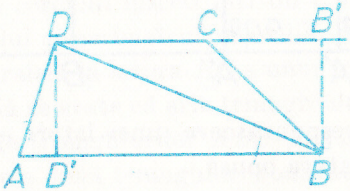


Fig. II.12

Ipoteza

$AB \parallel CD$, $DD' \perp AB$.

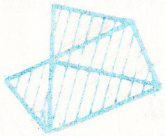
Concluzia

$$S_{ABCD} = \frac{AB + CD}{2} \cdot DD'.$$

Demonstrație. Să ducem și $BB' \perp CD$, B' fiind situat pe dreapta CD. Avem $BB' \equiv DD'$ (distanța dintre dreptele paralele AB, CD). Obținem $S_{ABCD} = S_{ABD} + S_{BCD} = \frac{AB \cdot DD'}{2} + \frac{CD \cdot BB'}{2} = \frac{(AB + CD)DD'}{2}$ etc.

Observație. În general aria unui poligon se definește ca suma ariilor unor triunghiuri în care acesta „se descompune" (fig. II.13).

Fig. II.13



11. Probleme

1. Aria unui pătrat este de 5 cm². Care este lungimea laturii sale?

2. Exprimați aria unui romb în funcție de lungimile diagonalelor sale.

3. Cunoscînd lungimile celor două diagonale ale unui patrulater convex cu diagonalele perpendiculare, să se afle aria sa.

4. Exprimați aria unui patrulater convex în funcție de lungimile diagonalelor și de unghiul dintre ele.

5. Definiți aria unui patrulater concav ca diferența ariilor a două triunghiuri. Aveți nevoie de vreo lemă în prealabil?

6. Indicați trei moduri în care se poate „descompune" un patrulater concav în două triunghiuri, după modelul situației din definiția ariei unui patrulater convex și demonstrați că în fiecare din aceste cazuri suma ariilor celor două triunghiuri este egală cu aria patrulaterului definită în problema 5.

7. Fie $ABCD$ un patrulater convex, E un punct interior laturii AB. Arătați că $S_{ABCD} = S_{ADE} + S_{EBCD}$.

8. Fie $ABCD$ un patrulater convex, M și N două puncte interioare respectiv laturilor AB, CD. Arătați că $S_{ABCD} = S_{AMND} + S_{BMNC}$.

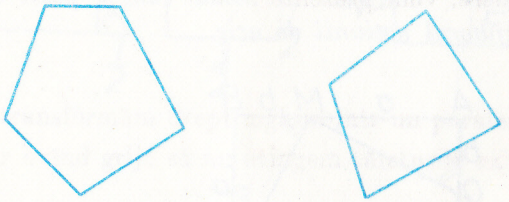
9. Fie M, N, P, Q puncte interioare laturilor AB, BC, CD, DA ale unui patrulater convex $ABCD$. Demonstrați că $S_{ABCD} = S_{MNPQ} + S_{BMN} + S_{CNP} + S_{DPQ} + S_{AQM}$.

10. Definiți aria unui pentagon convex; va trebui demonstrată în prealabil o lemă.

11. Cunoscînd lungimile laturilor unui patrulater convex, determinați aria sa.

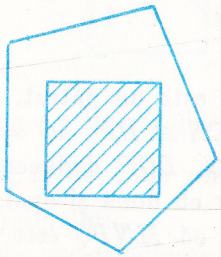
12. Aplicație practică. Ce trebuie măsurat pentru a determina ariile din figura II.14?

Fig. II.14



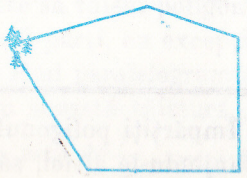
13. Cum faceți pentru a determina aria unui teren care are în interiorul său o clădire (este vorba de aria terenului „inclusiv" clădirea), clădire de o formă mai complicată?

Fig. II.15



14. Cum faceți pentru a determina aria unui teren în care un vîrf este inaccesibil?

Fig. II.16



Încercați să rezolvați probleme de tipul 12—14 efectiv pe teren.

15. Se consideră mijloacele M, N, P, Q ale laturilor AB, BC, CD, DA ale unui paralelogram. Dreptele AN, BP, CQ, DM determină un paralelogram. Care este raportul dintre aria acestui paralelogram și cea a celui inițial?

16. Raportul dintre baza mare și baza mică a unui trapez este k. Se duc diagonalele și se prelungesc cele două laturi neparalele pînă cînd se întîlnesc. Să se afle raportul dintre aria fiecărui triunghi format și aria trapezului. Puneți în evidență cele două triunghiuri de aceeași arie.

17. Aflați unghiurile unui romb a cărui latură este medie proporțională între diagonalele sale.

18. Se dă un patrulater $ABCD$ și se cere să se construiască un triunghi ADE a cărui arie să fie egală cu aria patrulaterului.

19. Dacă segmentul ce unește mijloacele a două laturi opuse ale unui patrulater convex împarte patrulaterul în două patrulatere de aceeași arie, atunci patrulaterul inițial este un trapez sau un paralelogram.

20. Construiți un triunghi ABX care are aceeași arie ca și un patrulater convex dat $ABCD$.

În încheiere, vom prezenta *modul cum se poate stabili teorema lui Pitagora cu ajutorul noțiunii de arie.*

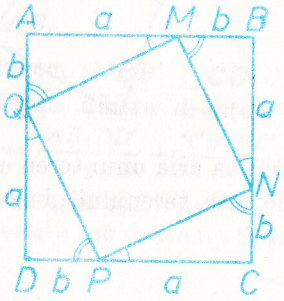


Fig. II.17

În figura II.17 $ABCD$ este un pătrat, $AM \equiv BN \equiv CP \equiv DQ$, $AM = a$, iar $AQ \equiv BM \equiv CN \equiv DP$, $AQ = b$. Din triunghiurile congruente AMQ, BNM, CPN, DQP deducem congruența unghiurilor marcate cu o linie, respectiv cu două și apoi, pe baza teoremei sumei unghiurilor într-un triunghi, că $MNPQ$ este un dreptunghi. Din congruența acelorași triunghiuri deducem că $MNPQ$ este un pătrat. Scriind (vezi problema 9) $S_{ABCD} = S_{MNPQ} + S_{AMQ} + \ldots$, deducem că $(a+b)^2 = MN^2 + 4\frac{ab}{2}$, deci $MN^2 = a^2 + b^2$, ceea ce este tocmai teorema lui Pitagora.

Problemă distractivă. Împărțiți poligonul din figura II.18 în cinci poligoane astfel încît, aranjîndu-le altfel, să se formeze din ele un pătrat.

Rezolvare. Aria poligonului este 3, deci latura pătratului ce se va forma va fi $\sqrt{3}$. Dacă examinăm mai atent figura, găsim în ea segmente de lungime $\sqrt{2}$, $\sqrt{5}$, dar nu de $\sqrt{3}$.

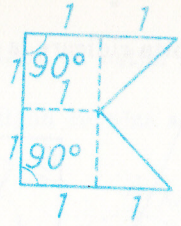


Fig. II.18

Să transformăm întîi poligonul într-un dreptunghi, de formă mai apropiată de cea pătrată.

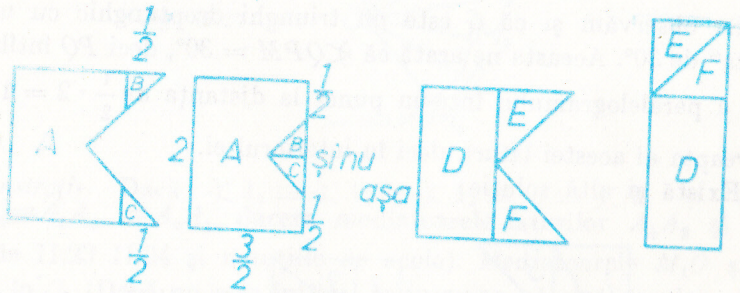


Fig. II.19

Apoi să transformăm dreptunghiul într-un paralelogram, ce are una din laturi $\sqrt{3}$, dar avînd grijă să nu atingem tăieturile existente.

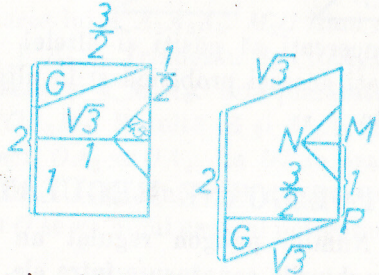


Fig. II.20

Latura din stînga a triunghiului G se calculează prin teorema lui Pitagora, găsindu-se $\frac{\sqrt{3}}{2} < 1$, de unde sîntem siguri că tăietura ce separă pe G nu le întîlnește pe cele dinainte.

În fine, cum aria paralelogramului obținut este tot 3, ca și a figurii inițiale, rezultă că înălțimea sa corespunzătoare acestei laturi va fi $\sqrt{3}$ și, tăindu-l după această înălțime, vom putea compune pătratul dorit (vezi fig. II.21). Dar problema cere să tăiem poligonul în 5, iar tăietura după acea înălțime riscă să conducă la 6 părți, cu excepția cazului cînd am face-o începînd din colțul dreapta jos P al paralelogramului (fig. II.21).

Nu cumva atingem cu această tăietură „bucățile mici"? Un calcul ne arată că nu! Distanța MN este de $\frac{1}{2}$ — vezi fig. II.19 — iar înălțimea din P taie dreapta MN într-un punct Q așa încît $\triangle PMQ$ este asemenea cu G și

acea asemănare obținem $\frac{MQ}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{MP}{\frac{3}{2}}$ de unde $MQ = \frac{\sqrt{3}}{3} > \frac{1}{2}$ (inegalitatea

erifică prin calcul direct sau prin ridicare la pătrat: $\left(\frac{3}{9} > \frac{1}{4}\right)$.

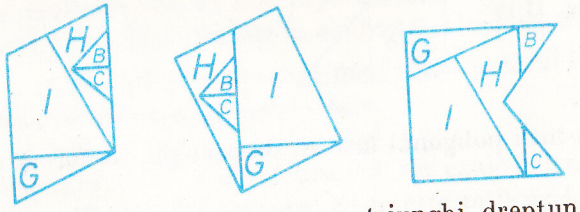


Fig. II.21

Să observăm și că G este un triunghi dreptunghic cu unghiul „din eapta" de 30°. Aceasta ne arată că $\sphericalangle QPM = 30°$, deci PQ întîlnește latura usă a paralelogramului într-un punct la distanța de $\frac{1}{2} \cdot 2 = 1$ de capătul n dreapta al acestei laturi, deci în interiorul ei.

Există și altă soluție:

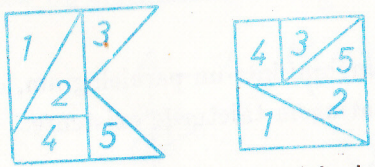


Fig. II.22

Explicați-o și încercați să găsiți și altele!

Eventual încercați aceeași problemă și în alte poligoane: un paralelo-ram, un triunghi etc.

POLIGOANE REGULATE

Definiție. **Numim poligon regulat un poligon cu toate laturile congruente și toate unghiurile congruente între ele.**

Dacă printr-un procedeu oarecare împărțim un cerc în n ($n \geqslant 3$) arce egale și ducem corzile care subîntind pe fiecare din ele, unind punctele de diviziune succesive, obținem un astfel de poligon.

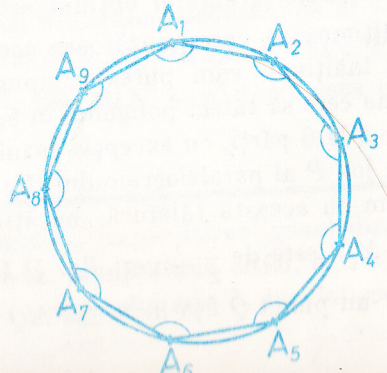


Fig. II.23

Unghiurile acestui poligon sînt congruente fiind înscrise în arce de măsuri egale cu $\frac{360°}{n} \cdot (n-2)$ iar laturile sînt congruente subîntinzînd arce de aceeași măsură: $\frac{360°}{n}$.

Am pornit prin a constata că astfel de poligoane regulate există. Să demonstrăm următoarea:

Teoremă: Orice poligon regulat se poate înscrie într-un cerc.

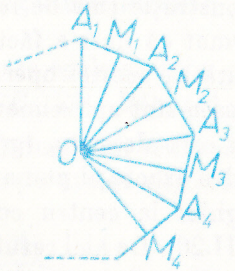


Fig. II.24

Demonstrație. Dacă $\sphericalangle A_1 \equiv \sphericalangle A_2 \equiv \sphericalangle A_3 \equiv \ldots \equiv \sphericalangle A_n$ și laturile $A_1A_2 \equiv A_2A_3 \equiv A_3A_4 \ldots \equiv A_nA_1$, **ducem mediatoarele laturilor A_1A_2 și A_2A_3** (vezi figurile II.23 II.24 și notațiile de acolo). Mediatoarele M_1O și M_2O se întîlnesc în O. (Dacă nu s-ar întîlni, ar însemna că sînt paralele deci că $\sphericalangle A_1A_2A_3 = 180°$ ceea ce este absurd). Triunghiurile $\triangle M_1A_2O \equiv \triangle M_2A_2O$, ($M_1$ și M_2 fiind mijloacele laturilor A_1A_2 respectiv A_2A_3). Rezultă că OA_2 este bisectoarea lui $\sphericalangle A_1A_2A_3$. M_2O fiind mediatoare, segmentele $OA_2 = OA_3$. Ducem $OM_3 \perp A_3A_4$. Triunghiurile $\triangle OA_3M_2 \equiv \triangle OA_3M_3$ pentru că ipotenuza OA_3 este aceeași și $\sphericalangle M_2A_3O$ este jumătate din unghiul poligonului, deci congruent cu $\sphericalangle OA_3M_3$. Rezultă că și $M_2A_3 \equiv A_3M_3$, deci OM_3 este mediatoarea lui A_3A_4 deci, $OA_3 \equiv OA_4$. La fel se arată că $OA_4 \equiv OA_5$ etc. Deci toate punctele A_1, A_2, ..., A_n sînt egal depărtate de O. Teorema este demonstrată. Acest punct O se va numi centrul poligonului regulat.

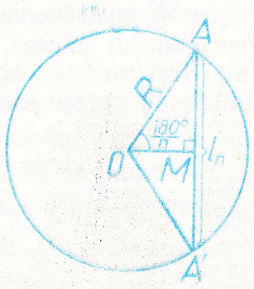


Fig. II.25

Vom nota latura poligonului regulat cu n laturi cu l_n (fig. II.25). Știind că un unghi la centru care subîntinde o latură de poligon regulat are $\frac{360°}{n}$ și cunoscînd raza R a cercului circumscris poligonului, putem calcula AM (unde

M este mijlocul laturii AA'). $AM = R \sin \frac{180°}{n}$ și deci $l_n = 2R \sin \frac{180°}{n}$. Segmentul OM dus din centru, perpendicular pe latură în punctul M se va numi *apotema* poligonului regulat. O vom nota cu a_n, și $a_n = R \cos \frac{180°}{n}$.

Dacă lucrurile par simple presupunînd deja făcută împărțirea unui cerc în arce egale, există totuși anumite dificultăți de construcție. De pildă s-a demonstrat că împărțirea unui cerc în 7 arce egale nu se poate face cu rigla și compasul (această demonstrație ține de fapt de algebră și nu de geometrie). Fiți atenți: Nu am afirmat că nu s-a făcut pînă în prezent. Am afirmat că este dovedită imposibilitatea acestei operații. Construcțiile pe care le găsiți prin anumite cărți de desen sînt aproximative, contînd și pe gradul de imperfecțiune a obiectelor cu care desenăm (grosimea minei creionului de pildă). Ele nu constituie procedee exacte ci numai utile.

Vom găsi că unghiul la centru corespunzător laturii unui hexagon regulat este de 60° (fig. II.26). De aici rezultă un procedeu simplu de construcție a sa. Toate triunghiurile avînd un vîrf în centrul hexagonului și ca latură

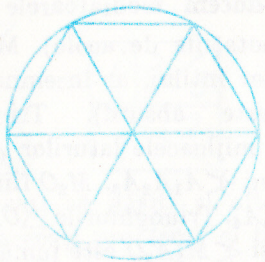


Fig. II.26

opusă lui, laturile hexagonului, sînt triunghiuri echilaterale. Deci latura măsoară cît raza: $l_6 = R$. Împărțim un cerc în 6 părți egale luînd un punct A pe cerc drept centru si cu o „deschidere" a compasului cît R, trasăm B si F fig. II.27). Mutînd apoi succesiv centrul cercului obținem si celelalte puncte de diviziune, vîrfurile hexagonului căutat. Observăm că este suficient să găsim cu compasul numai trei puncte consecutive A, B, F, si pe celelalte le aflăm ducînd diametrele cu aceste extremități. Apotema $a_6 = \frac{R\sqrt{3}}{2}$.

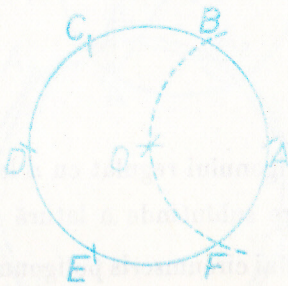


Fig. II.27

Dacă unim din două în două vîrfurile unui hexagon, de pildă A, C, E, obținem un triunghi echilateral. Calculînd din formulele laturilor și apotemelor, obținem $L_3 = R\sqrt{3}$ și $a_3 = \frac{R}{2}$.

La pătrat (poligon regulat cu 4 laturi), unghiul la centru corespunzător este de 90°. Aplicînd formulele obținem $l_4 = R\sqrt{2}$, $a_4 = \frac{\sqrt{2}}{2}$.

„Poligoane" regulate stelate

Dacă împărțim cercul în cinci arce egale și unim punctele de diviziune din două în două, segmentele AC, CE, EB, BD, DA vor fi laturile unui „poligon" regulat de un tip anumit: Laturile lui se intersectează și în interiorul cercului. Acest „poligon" se numește stelat (fig. II.28).

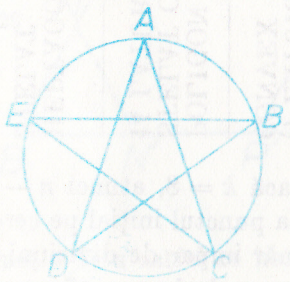


Fig. II.28

(El este un poligon regulat concav.)

Atunci cînd am făcut afirmația că orice poligon regulat are vîrfurile pe cerc, demonstrația de mai sus era valabilă și pentru „poligoane" stelate: nu s-a întrebuințat nicăieri în demonstrație faptul că poligonul ar fi convex. Trebuie numai să considerăm laturile complete, nu porțiuni din ele, cu vîrfurile lui, extremitățile laturilor, așezate pe cerc.

O primă constatare:

Presupunem că un cerc a fost împărțit într-un număr par de arce egale și ducem ca laturi coardele sărind peste cîte un punct de diviziune. Obținem un poligon regulat cu un număr de laturi de două ori mai mic. De pildă unind vîrfurile unui hexagon regulat din două în două, obținem un triunghi echilateral. Se pune deci problema „simplificării" cu un factor comun al numărului de diviziuni în care am împărțit cercul și al „pașilor"-arcuri pe care „îi sărim" cînd ducem corzile-laturi.

Să presupunem că am împărțit un cerc în 14 arce egale. Facem un tabel în care apare ca fracție ireductibilă raportul dintre numărul de arce inițiale și al „pașilor săriți". În funcție de acesta vom preciza natura poligo-

nului obținut. Notăm cu n numărul de diviziuni inițiale, cu k „pașii" (arcele subîntinse de o coardă) și cu f fracția ireductibilă obținută din simplificarea raportului n/k.

	I	II	III	IV	V	VI	VII
n	14	14	14	14	14	14	14
k	1	2	3	4	5	6	7
f	14	7	$\frac{14}{3}$	$\frac{7}{2}$	$\frac{14}{5}$	$\frac{7}{3}$	
NATURA POLIGONULUI	POLIGON CONVEX CU 14 LATURI	HEPTAGON (7 LATURI) CONVEX	POLIGON STELAT CU 14 LATURI	HEPTAGON STELAT	POLIGON STELAT CU 14 LATURI	HEPTAGON STELAT	NU ESTE POLIGON

Am oprit aici tabelul. Dacă $k = 8$, atunci $n - k = 6$ și este ca și cum am fi început să socotim de la punctul inițial pe cerc în celălalt sens. Dacă în loc de 14 am fi avut un număr impar de diviziuni inițiale, de exemplu $2p + 1$, ne opream la $k = p$; de exemplu la $n = 17$ ne opream la $k = 8$.

Altă constatare: dacă fracția ireductibilă este un număr natural, poligonul este convex. Dacă numitorul lui f nu este 1 atunci poligonul este stelat și anume steaua are atîtea „colțuri" cît arată numărătorul.

Deci nu toate poligoanele stelate cu același număr de colțuri sînt „asemenea". Heptagonul din coloana a IV-a diferă de cel din coloana a VI-a.

Tabel de rezultate

$l_3 = R\sqrt{3}$ $\qquad a_3 = \frac{R}{2}$

$l_4 = R\sqrt{2}$ $\qquad a_4 = \frac{R\sqrt{2}}{2}$

$l_6 = R$ $\qquad a_6 = \frac{R\sqrt{3}}{2}$

$l_5 = \frac{R}{2}\sqrt{10 - 2\sqrt{5}}$ $\qquad a_5 = \frac{R}{4}(\sqrt{5} + 1)$

$l_{10} = \frac{R}{2}(\sqrt{5} - 1)$ $\qquad a_{10} = \frac{R}{4}\sqrt{10 + 2\sqrt{5}}$

Tabelul ar deveni mai ușor de reținut dacă am adăuga la a_3 și la l_6 cîte un factor $\sqrt{1}$ pe lîngă R; ultimele două linii din tabel nu trebuie memorate.

12. Probleme

1. În triunghiul echilateral ABC de latură a (fig. II.29) se iau punctele N, $M \in AB$, N', $P' \in BC$, $M', P \in AC$, astfel ca $MM' \parallel BC$, $NN' \parallel AC$ și $PP' \parallel AB$.

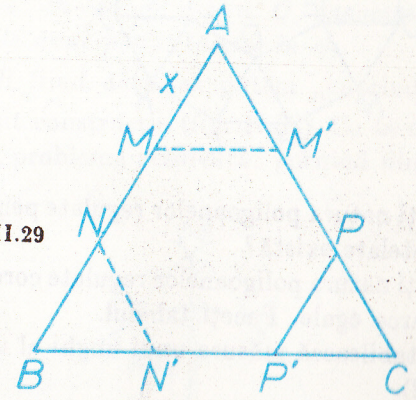


Fig. II.29

Determinați x în funcție de a astfel ca hexagonul $MM'PP'N'N$ să fie regulat.

2. Pătratului din figura II.30, de latură a i se „taie colțurile" în așa fel încît să „rămînă" un octogon regulat. Să se calculeze latura x a octogonului în funcție de latura a a pătratului (fig. II.30).

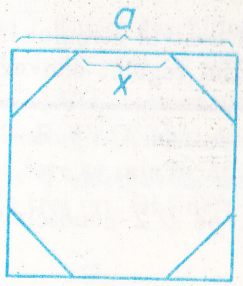


Fig. II.30

3. Cunoscînd l_n și R, calculați a_n.

4. Folosind pătratul înscris în cerc de rază R, calculați latura octogonului convex înscris în cerc în funcție de R.

5. Pe laturile hexagonului regulat $ABCDEF$ se construiesc în afară pătrate, și în vîrfurile hexagonului, cu două laturi ale acestor pătrate

ca laturi, triunghiuri echilaterale de tipul lui BHI. Să se precizeze ce fel de poligon este $GHIJKLMNOPRS$ (fig. II.31).

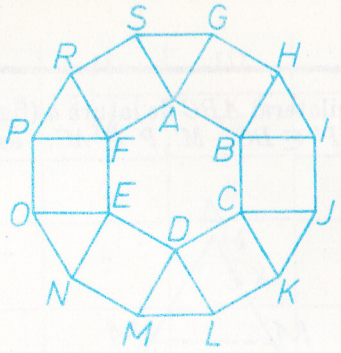


Fig. II.31

6. Precizați natura poligoanelor regulate pentru $n = 7$. Cîte „tipuri" de heptagoane stelate există?

7. Precizați natura poligoanelor regulate corespunzătoare împărțirii cercului în 21 arce egale. Faceți tabelul.

8. Să se stabilească măsura unui unghi al unui dodecagon regulat convex ($n = 12$).

9. Dacă un poligon are toate laturile congruente este oare regulat?

10. Dacă un poligon are toate unghiurile congruente este oare regulat?

11. Găsiți numărul diagonalelor unui octogon regulat convex. Era necesar să precizăm că poligonul este regulat?

12. Să se demonstreze că în orice poligon regulat convex se poate înscrie un cerc, adică se poate construi un cerc tangent la toate laturile sale.

Să se arate că centrul cercului înscris coincide cu cel al cercului circumscris poligonului regulat convex.

O problemă cu enunț deosebit. Să punem întîi problema construirii cu rigla compasul a unui segment de lungime $\sqrt{n}$ unde n este orice număr natural.

Știm că construim pe $\sqrt{2}$ cunoscînd segmentul unitate (fig. II.32).

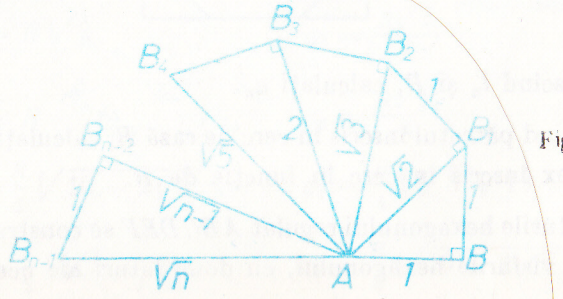


Fig. II.32

„SPIRALA" LUI ARHIMEDE. Pe segmentul $AB = 1$ ducem perpendiculara $BB_1 = 1$. Segmentul $AB_1 = \sqrt{2}$. Pe AB_1 ducem perpendiculara $B_1B_2 = 1$ și continuăm cu același procedeu: $B_2B_3 \perp AB_2$ ($B_2B_3 = 1$) etc. Din teorema lui Pitagora rezultă $AB_2 = \sqrt{3}$, $AB_3 = \sqrt{4}$, $= 2$, $AB_4 = \sqrt{5}$ etc. Presupunînd construit segmentul $AB_{n-2} = \sqrt{n-1}$, construim $AB_{n-1} = \sqrt{n}$. Procedeul duce la construirea lui $\sqrt{n}$ prin „recurență", adică folosindu-ne de construcția prealabilă a segmentelor $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$..., $\sqrt{n-1}$.

Problemă: Dîndu-se un cerc de centru O cunoscut, să se găsească numai cu compasul vîrfurile unui pătrat înscris în el.*

Dacă reușim, raza R fiind dată, să putem „cuprinde" în compas un segment de $R\sqrt{2}$, am reușit construcția (fig. II.33). Ca în orice problemă de construcție, să considerăm problema rezolvată: pornind dintr-un punct arbi-

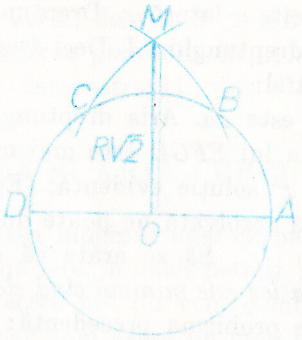


Fig. II.33

trar A, considerăm vîrfurile consecutive ale hexagonului regulat înscris în cerc B, C, D. Deci segmentul $AC = R\sqrt{3}$. Cu o deschidere de compas cît AC și centrul în A și apoi în D, trasăm două arce de cerc care se taie în M. Considerînd triunghiul dreptunghic AMO, segmentul $OM = R\sqrt{2}$. Deci construim întîi vîrfurile trapezului A, B, C, D, apoi cu „deschiderea" AC și centrele A și D trasăm arcele de cerc care se taie în M, „prindem" în compas distanța OM și o „purtăm" pe cerc de trei ori. Obținem astfel vîrfurile pătratului căutat.

Două probleme rezolvate 1. *Problemă rezolvată. Să se arate că dacă două numere pozitive au suma constantă, produsul lor este maxim cînd ele sînt egale.*

Vom încerca o soluție geometrică a acestei probleme. Pentru aceasta putem să o formulăm și în felul următor:

Să se demonstreze că dintre toate dreptunghiurile cu perimetru constant, aria cea mai mare o are pătratul.

* Problemă dată la etapa pe municipiul București a Olimpiadei din 1978.

lungimea $DG = a + x$ și lățimea $ED = a - x$ (fig. II.34).

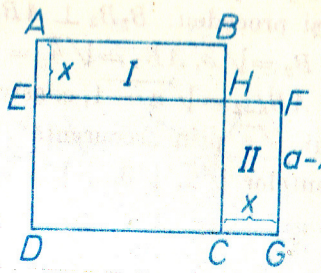


Fig. II.34

Evident ambele au același perimetru. Cu notațiile din figură, ca comparăm aria pătratului $ABCD$ cu cea a dreptunghiului $DEFG$ revine l preciza care din ariile dreptunghiurilor $ABHE$ și $HFGC$ este mai mare. A bele dreptunghiuri au cîte o latură x. Dreptunghiul II are cealaltă latură x mai mică decît o are dreptunghiul I. Deci dreptunghiul II are aria mai mi

Să spunem și altfel:

Aria lui $ABHE$ este xa. Aria dreptunghiului $HFGC$ este $x(a - x)$ $= ax - x^2$. Vizibil aria lui $EFGD$ este mai mică decît a pătratului ABC pentru că $ax \geqslant ax - x^2$ soluție evidentă. (Egalitate am avea dacă $x =$

Această problemă rezolvată ne poate duce și la o a doua:

Să se arate că *dacă două numere pozitive produsul constant, suma lor este minimă cînd ele sînt egale.*

Vom porni de la problema precedentă: în figura pe care am făcut pentru ca s-o rezolvăm, pătratul $ABCD$ și dreptunghiul $DGFE$ au acel perimetru și ariile diferă pentru că dreptunghiul (II) este mai mic decît drep unghiul (I). Deci adăugăm la dreptunghiul II dreptunghiul cu interior haș rat (III) $FNMG$ astfel încît dreptunghiul (I) și dreptunghiul $CMNH$ să devi echivalente (fig. II.35). Deci pătratul $ABCD$ și dreptunghiul $EDMN$ sî

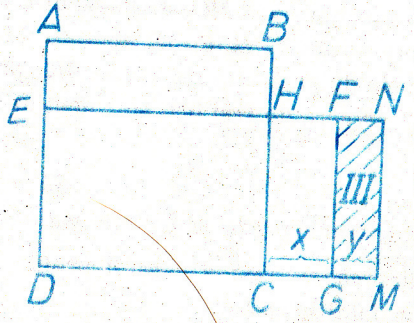


Fig. II.35

echivalente (produsele $DM \cdot MN$ și $AB \cdot AD$ sînt egale), dar perimetrele lor diferă, cel al pătratului este mai mic deci $2(DM + MN) \geqslant 2(AB + AD)$.

O altă soluție la această problemă se poate da prin puterea punctului interior: dintre toate corzile care trec prin M, în cercul de centru O, cea mai scurtă este $AB \perp OM$ (fig. II.36). Într-adevăr oricare altă coardă $A'B'$

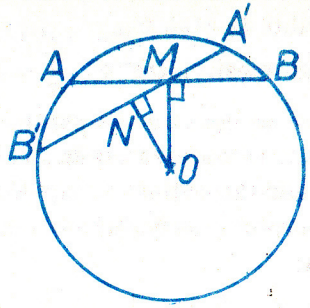


Fig. II.36

care trece prin M are distanță $ON < OM$ deci $B'N^2 = R^2 - ON^2 > R^2 -$ $- OM^2 = BM^2$, deci $2B'N > 2BM$, deci $A'B' > AB$ adică $B'M + MA' >$ $> AM + MB$. Dar aplicînd puterea punctului M, $AM \cdot MB = A'M \cdot MB' =$ $=$ constant și problema este demonstrată!

LUNGIMEA ȘI ARIA CERCULUI

Calcularea și chiar definirea lungimii unei curbe și a ariei „mărginite" de o curbă închisă sînt probleme care, în unele detalii ale lor, necesită cunoș- tințe ce nu le aveți încă. De aceea noi nu vom demonstra formulele pentru lungimea și aria cercului, ci doar vom arăta un mod intuitiv de a ajunge la ele.

Să considerăm două poligoane regulate convexe cu același număr de laturi, de exemplu două octogoane, înscrise fiecare în cîte un cerc.

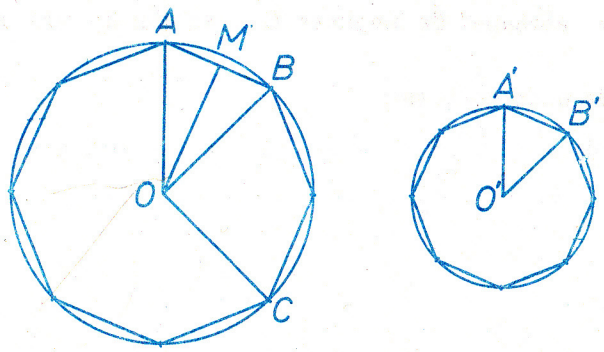


Fig. II.37

Să notăm cu P, p perimetrele lor, cu R, r razele cercurilor în care sînt înscrise.

Avem $\frac{P}{p} = \frac{8AB}{8A'B'} = \frac{AB}{A'B'} = \frac{R}{r}$, ca urmare a faptului că $\triangle AOB \sim$ $\sim \triangle A'O'B'$ (cazul 1, de exemplu: $\frac{OA}{O'A'} = \frac{OB}{O'B'}$, $\sphericalangle AOB = \frac{360^\circ}{8} = \sphericalangle A'O'B'$).

Dacă am considera în loc de octogoane, poligoane cu un număr foarte mare de laturi înscrise în aceleași cercuri, relația $\frac{P}{p} = \frac{R}{r}$ ar rămîne adevărată, iar P ar fi „aproape" de lungimea L a cercului de rază R, p ar fi „aproape" de lungimea l a cercului de rază r.

Obținem, schimbînd mezii între ei, $\frac{L}{R} = \frac{l}{r}$, adică: raportul dintre lungimea unui cerc și raza sa este același pentru toate cercurile.

Acest raport constant se notează cu 2π; valoarea aproximativă a lui π este 3,14159... (π este un număr irațional); nici el nu se „măsoară" ci se determină, de exemplu, prin formula, ce conține o sumă infinită, și pe care o veți învăța în clasa a XII-a:

$$\pi = 2\sqrt{3}\left(1 - \frac{1}{3\cdot 3} + \frac{1}{5\cdot 3^2} - \frac{1}{7\cdot 3^3} + \dots\right).$$

Lungimea L a unui cerc, de rază R este egală cu 2π înmulțit cu R, adică $L = 2\pi R$.

Să revenim la figura II.37 și să notăm cu Q lungimea liniei ABC formată din trei laturi ale octogonului. Avem $\frac{Q}{p} = \frac{3AB}{8AB} = \frac{3}{8} = \frac{\sphericalangle AOC}{360^\circ} = \frac{\overset{\frown}{ABC}}{360^\circ}$, relație ce rămîne adevărată chiar dacă arcul ABC ar fi mare (prin ABC înțelegem măsura, în grade, a arcului ABC).

Să păstrăm punctele A și C fixe și să considerăm, în loc de un octogon, un poligon regulat cu un număr mare de laturi, înscris în același cerc, avînd A și C printre vîrfurile sale (pentru aceasta numărul laturilor sale îl vom alege un multiplu de 8). Relația $\frac{Q}{P} = \frac{\overset{\frown}{ABC}}{360^\circ}$ va rămîne valabilă și pentru acest poligon; Q va fi „aproape" de lungimea M a arcului ABC, iar P va fi, ca mai înainte „aproape" de lungimea L a cercului de rază R. Obținem $\frac{M}{L} = \frac{\overset{\frown}{ABC}}{360^\circ}$, de unde deducem:

Lungimea unui arc de cerc de măsură u dintr-un cerc de rază R este dată de formula $\frac{u\pi R}{180^\circ}$ (u fiind exprimată în grade).

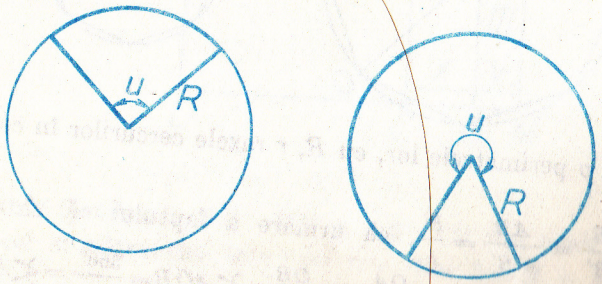


Fig. II.38

Să revenim din nou la figura II.37 și să considerăm aria octogonului $ABC\dots$. Ea este egală cu $8S_{AOB} = \frac{8\,AB\cdot OM}{2} = \frac{P\cdot OM}{2}$. Pînă aici demonstrația este riguroasă și ne conduce la:

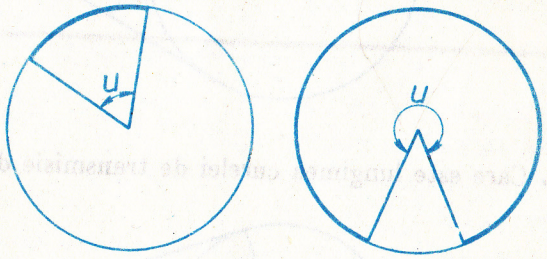
Teorema. Aria unui poligon regulat convex este egală cu jumătatea produsului dintre perimetrul și apotema poligonului.

Dacă vom considera un poligon regulat cu număr foarte mare de laturi, înscris în cercul de rază R, atunci perimetrul său va fi „aproape" de lungimea cercului, iar apotema „aproape" de raza cercului. Ajungem la concluzia că aria unui cerc este egală cu jumătate din produsul dintre lungimea și raza sa, adică $\frac{2\pi R\cdot R}{2}$:

Aria unui cerc de rază R este egală cu πR^2.

În fine, să considerăm, în figura II.37, aria poligonului $AB\dots CO$. Ea este egală cu de trei ori aria triunghiului AOB, deci cu $\frac{3}{8}$ din aria octogonului regulat; raportul $\frac{3}{8}$ este tot una cu raportul dintre măsura arcului ABC și 360°. Ținînd punctele A și C fixe și mărind mult numărul laturilor poligonului regulat (acest număr rămînînd un multiplu de 8), aria poligonului considerat $AB\dots CO$ va fi „aproape de aria mărginită de razele OA, OC și arcul ABC etc. Ajungem la:

Definiția. Se numește sector circular figura formată dintr-un arc al unui cerc și din razele acelui cerc cu capetele în capetele arcului.



Aria unui sector circular al unui cerc de rază R ce corespunde unui arc de măsură u (exprimată în grade) este dată de formula $\frac{u\pi R^2}{360^\circ}$.

Observație. Cuvintele „multe", „aproape", nu au sens matematic. Ele sugerează numai un raționament, mai rafinat, ce nu l-am precizat aici.

13. Probleme

1. Aflaţi aria cuprinsă între un arc de 60° al unui cerc de rază R şi coarda sa.

2. Aceeaşi problemă pentru un arc de 240°.

3. Pe cele trei laturi ale unui triunghi dreptunghic ca diametre se descriu cercuri ca în figura II.40. Arătaţi că aria haşurată este egală cu aria triunghiului.

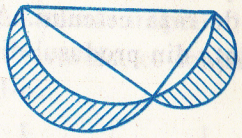


Fig. II.40

4. Două cercuri secante au razele de 10 şi 7, iar distanţa centrelor de 15. Aflaţi aria porţiunii comune a celor două cercuri.

5. Aceeaşi problemă, cînd distanţa centrelor este de 5.

6. Două cercuri tangente exterioare au razele de 9 şi 4. Aflaţi aria cuprinsă între cele două cercuri şi una din tangentele comune exterioare.

7. Aflaţi aria hexagonului regulat de latură a.

8. Aflaţi perimetrul figurii II.41, dacă raza cercului este 6 şi distanţa de la centru la vîrf este 12.

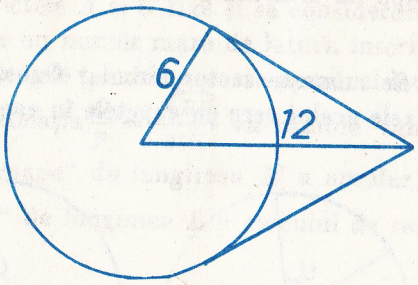


Fig. II.41

9. Care este lungimea curelei de transmisie din figura II.42?

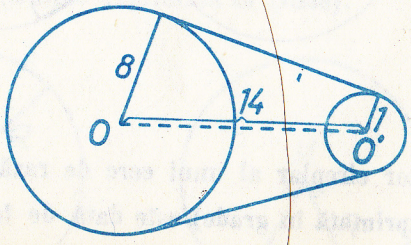


Fig. II.42

10. Aflaţi lungimea şi aria unui semicerc. Desenaţi.

11. Calculaţi aria din figura II.43 (haşurată), precum şi perimetrul figurii haşurate, razele celor trei cercuri fiind toate egale cu 2.

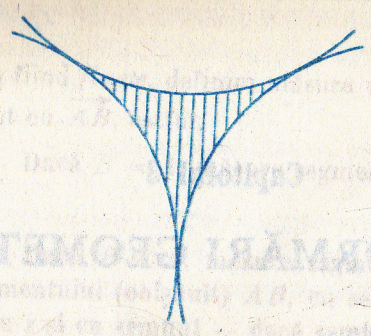


Fig. II.43

12. Aceeaşi problemă pentru figura haşurată II.44.

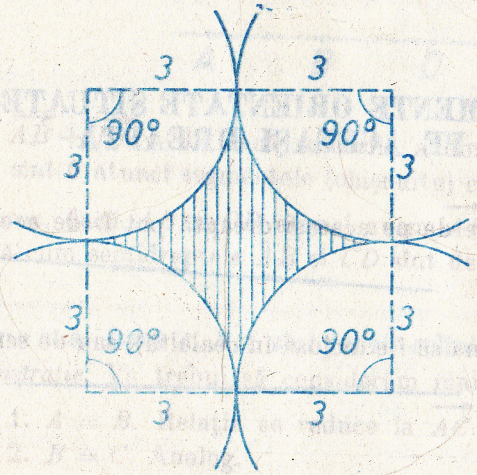


Fig. II.44

Capitolul 3

TRANSFORMĂRI GEOMETRICE

În primele paragrafe ale acestui capitol vom prezenta cîteva noţiu pregătitoare.

SEGMENTE ORIENTATE SITUATE PE ACEEAŞI DREAPTĂ

Două semidrepte de pe aceeaşi dreaptă pot fi de acelaşi sens (cu al

Fig. III

cuvinte se poate ca una să fie inclusă în cealaltă), sau de sensuri contrare (

Fig. III.

alte cuvinte, în caz contrar, sau intersecţia lor este interiorul unui segmen sau ele n-au nici un punct comun).

Observaţie. Dacă $A \neq B$, atunci semidreptele AB şi BA au sensu contrare.

Definiţie. Vom numi segment orientat o figură formată din do puncte A, B, nu neapărat diferite, luate în această ordine.

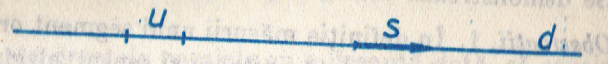
Segmentul orientat format din A şi B se va nota $\overrightarrow{AB}$.

Deci $\overrightarrow{AA}$ este şi el un segment orientat, iar, pentru $A \neq B$, segmente orientate $\overrightarrow{AB}$ şi $\overrightarrow{BA}$ sînt diferite (spre deosebire de segmentele „obişnuite" AB şi BA care sînt aceleaşi).

Punctul A se numeşte *originea* iar B *extremitatea* segmentului orient $\overrightarrow{AB}$.

Definiţie. Să considerăm o dreaptă d; un segment (obişnuit) u pe ea şi un „sens" pe d, dat printr-o semidreaptă s a lui d,

Fig. III.3

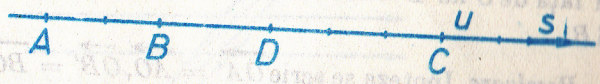


Acestea fiind *fixate*, definim măsura unui segment orientat $\overrightarrow{AB}$ de pe d, şi o notăm tot cu $\overrightarrow{AB}$, astfel:

Cazul 1. **Dacă $B = A$, măsura segmentului orientat $\overrightarrow{AB}$ este considerată 0 : $\overrightarrow{AA} = 0$.**

Cazul 2. **Dacă $B \neq A$, măsura segmentului orientat $\overrightarrow{AB}$ este egală cu lungimea segmentului (obişnuit) AB, cu semnul $+$ dacă semidreapta AB are acelaşi sens cu s şi cu semnul $-$ dacă semidreapta AB are sens contrar cu s.**

Fig. III.4



Deci $\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BA} = 0$. Dacă măsurile a două segmente orientate sînt egale şi nu sînt 0 atunci segmentele (obişnuite) corespunzătoare sînt congruente. Reciproc, dacă $AB \equiv CD$ atunci avem $\overrightarrow{AB} = \pm \overrightarrow{CD}$, semnul fiind $+$ sau $-$ după cum semidreptele AB şi CD sînt de acelaşi sens sau de sensuri contrare.

Teoremă. Dacă A, B, C sînt puncte coliniare, avem $\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} = \overrightarrow{AC}$.

Demonstraţie. Va trebui să considerăm mai multe cazuri.

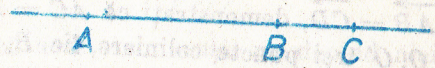
Cazul 1. $A = B$. Relaţia se reduce la $\overrightarrow{AC} = \overrightarrow{AC}$.

Cazul 2. $B = C$. Analog.

Cazul 3. $A = C$. Relaţia devine $\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BA} = 0$; am observat mai sus că este adevărată.

Cazul 4. B este între A şi C (fig. III.5).

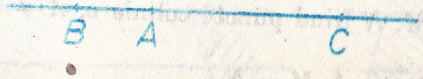
Fig. III.5



Semidreptele AB, BC, AC au acelaşi sens deci $\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{BC}$, $\overrightarrow{AC}$ au acelaşi semn şi relaţia se reduce la $AB + BC = AC$.

Cazul 5. A este între B şi C (fig. III.6).

Fig. III.6



$\overrightarrow{AB}$ şi $\overrightarrow{BC}$ au semne contrare, $BC > AB$, $\overrightarrow{AC}$ are acelaşi semn cu $\overrightarrow{BC}$ şi relaţia se reduce la $BC - AB = AC$.

Cazul 6. C este între A și B.

Se demonstrează asemănător cu cazul 5.

Observații. 1. În definiția măsurii unui segment orientat de pe o dreaptă dată, putem alege dintr-o dată unitatea și sensul, alegînd unitatea de măsură drept un segment orientat nenul, ce urmează să aibă măsura $+1$ (fig. III.7).



Fig. III.7

2. Noțiunea de măsură a unui segment orientat și teorema demonstrată mai sus ne permit să demonstrăm unele afirmații fără a mai considera mai multe cazuri corespunzătoare diferitelor poziții relative a punctelor de pe o dreaptă. De exemplu:

Problemă rezolvată. Fie A, B, O trei puncte coliniare, fie A' simetricul lui A față de O iar B' simetricul lui B față de O. Să se demonstreze că $A'B' \equiv AB$.

Rezolvare. Ipoteza se scrie $\overrightarrow{OA'} = \overrightarrow{AO}, \overrightarrow{OB'} = \overrightarrow{BO}$. Demonstrație: $\overrightarrow{A'B'} = \overrightarrow{A'O} + \overrightarrow{OB'} = -\overrightarrow{OA'} + \overrightarrow{OB'} = -\overrightarrow{AO} + \overrightarrow{BO} = \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{BO} = \overrightarrow{BA}$ deci, cum am observat după definiția măsurii unui segment orientat, $A'B' \equiv AB$.

14. Probleme

1. Dacă A, B, C, D sînt puncte coliniare, arătați că $\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DA} = 0$.

2. Care este relația între măsuri de segmente orientate care definește mijlocul M al unui segment (obișnuit) AB?

3. Dacă segmentele (obișnuite) AB și CD au același mijloc, atunci $\overrightarrow{AC} = -\overrightarrow{BD}$.

4. Dacă $\overrightarrow{AB} = \overrightarrow{CD}$, demonstrați că $\overrightarrow{AC} = \overrightarrow{BD}$.

5. Fie A, O, O' trei puncte coliniare, fie B simetricul lui A față de O și C simetricul lui B față de O'. Arătați că $\overrightarrow{AC} = 2 \cdot \overrightarrow{OO'}$.

6. A, B, C, D fiind puncte coliniare, arătați că $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{AC} \cdot \overrightarrow{DB} + \overrightarrow{AD} \cdot \overrightarrow{BC} = 0$.

7. A, B, M, N fiind puncte coliniare, $A \neq B$, $M \neq B$, $N \neq B$ și $\frac{\overrightarrow{MA}}{\overrightarrow{MB}} = \frac{\overrightarrow{NA}}{\overrightarrow{NB}}$, arătați că $M = N$.

Semidrepte de același sens și de sensuri contrare pe drepte paralele

Să considerăm toate dreptele paralele cu o dreaptă dată, să considerăm o secantă și un semiplan determinat de acea secantă. Toate semidreptele obținute intersectînd acel semiplan cu dreptele paralele cu dreapta dată le vom considera că sînt de același sens.

Dacă acum vom alege două semidrepte situate pe două din dreptele paralele din figura III.8, vom spune că semidreptele au același sens dacă fiecare din ele are același sens cu semidreapta din figura III.8 de pe dreapta pe care este situată, sau dacă fiecare din ele este de sens contrar cu semidreapta respectivă din figura III.8; vom spune că semidreptele alese sînt de sensuri

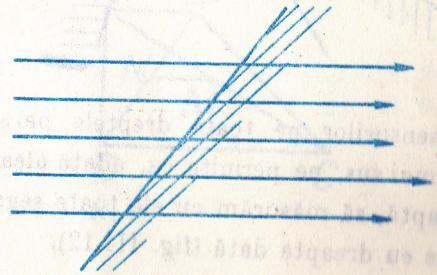


Fig. III.8

contrare dacă una din ele este de același sens și cealaltă de sens contrar cu semidreapta respectivă din figura III.8 (s_1 și s_2 sînt de același sens, t_1 și t_2 sînt de același sens, iar r_1 și r_2 sînt de sensuri contrare) (fig. III.9).

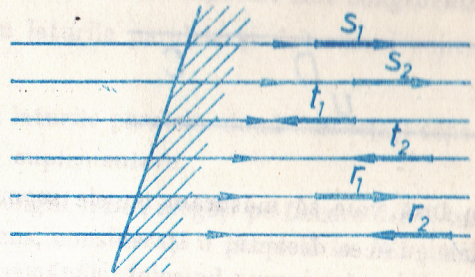


Fig. III.9

Să observăm că aceste convenții nu depind nici de secanta aleasă și nici de semiplanul ales (fig. III.10).

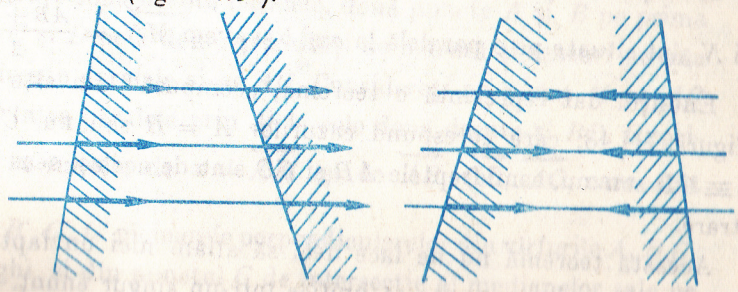


Fig. III.10

Să observăm și că, dacă încercăm să „acordăm" în același mod sensurile pe două drepte concurente, nu reușim, deoarece „acordarea" va depinde de secanta folosită (fig. III.11).

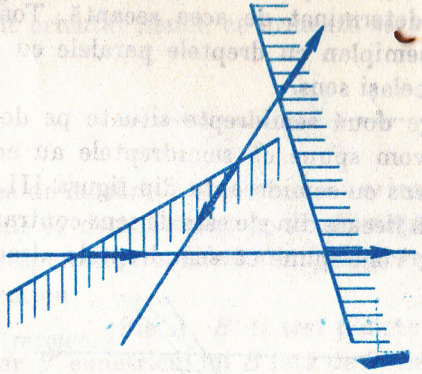


Fig. III.11

Acordarea sensurilor pe toate dreptele paralele cu o dreaptă dată, acordare descrisă mai sus, ne permite ca, odată aleasă o unitate de măsură și un sens pe o dreaptă, să măsurăm cu ele toate segmentele orientate situate pe drepte paralele cu dreapta dată (fig. III.12).

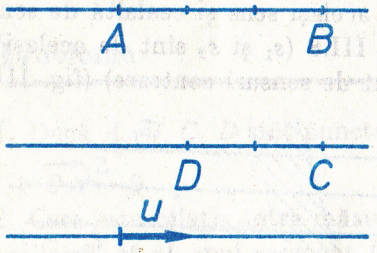


Fig. III.12

Nu avem însă voie să măsurăm cu ele segmente *orientate* situate pe drepte neparalele cu acea dreaptă.

Aplicație. Fie a și b două drepte paralele, A și B două puncte pe a, C și D două puncte pe b. Fie M mijlocul lui AC, N mijlocul lui BD. Atunci M și N sînt situate pe o paralelă la a și b și avem $\overrightarrow{MN} = \frac{\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{CD}}{2}$.

Enunțul dat reprezintă o teoremă, „compusă" din alte șase, indicate în figura III.13, care corespund cazurilor $A = B$ sau nu, $C = D$ sau nu, $AB \equiv CD$ sau nu, semidreptele AB și CD sînt de același sens sau de sensuri contrare.

Această teoremă nu ne face deci să aflăm nici un fapt nou. Ea este importantă deoarece reușește să unifice într-un singur enunț, destul de simplu, cinci teoreme diferite (faptul ce corespunde primei figuri din III.13 nu merită titlul de teoremă). Aceasta este posibil datorită noțiunilor introduse în ultimele două paragrafe.

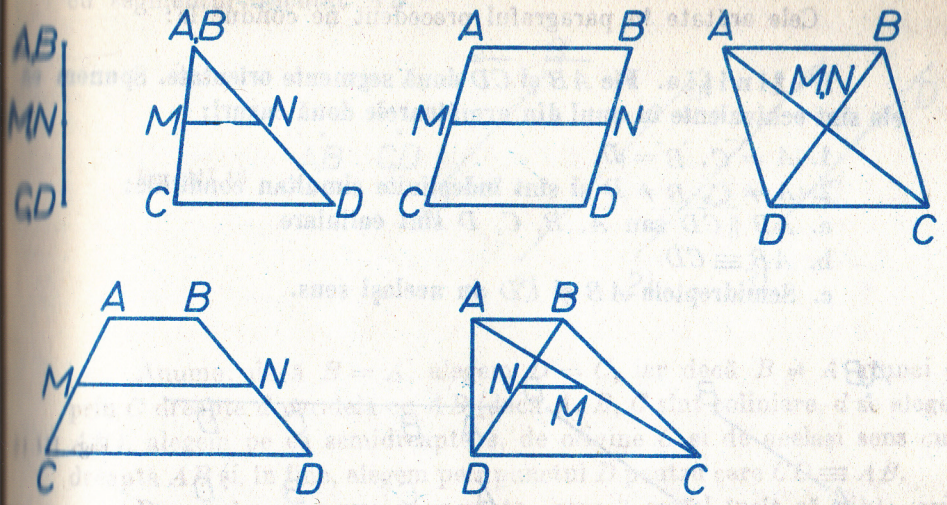


Fig. III.13

15. Probleme

1. Se consideră unghiurile xOy, $x'O'y'$ în care Ox și $O'x'$ sînt paralele și au același sens, iar Oy și $O'y'$ sînt de asemenea paralele și au același sens. Demonstrați că cele două unghiuri sînt congruente.

2. Două unghiuri cu laturile paralele și de sensuri contrare sînt congruente.

3. Două unghiuri cu laturile paralele, două de același sens și două de sensuri contrarii, sînt suplementare.

4. Considerați un triunghi ABC, alegeți pe fiecare din laturi cîte o unitate de măsură și un sens, considerați o paralelă la BC și exprimați teorema fundamentală a asemănării folosind numai măsuri de segmente orientate.

5. Considerați două drepte paralele, două puncte A și B pe prima și două puncte C și D pe a doua, și unități de măsură și sensuri pe una din cele două drepte paralele și pe AC. Considerați un punct M pe AC și intersecția N între paralela prin M la cele două drepte și BD. Exprimați $y = \overrightarrow{MN}$ în funcție de $x = \overrightarrow{AM}$ (și de $\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{CD}$, $\overrightarrow{AC}$, care sînt constante).

6. Fie A', B', C', G' picioarele perpendicularelor din vîrfurile A, B, C, ale unui triunghi și din punctul G de intersecție al medianelor sale pe o dreaptă d.

Exprimați $\overrightarrow{GG'}$ cunoscînd $\overrightarrow{AA'}$, $\overrightarrow{BB'}$, $\overrightarrow{CC'}$.

VECTORI

Cele arătate în paragraful precedent ne conduc la:

Definiția. Fie $\overrightarrow{AB}$ și $\overrightarrow{CD}$ două segmente orientate. Spunem că ele sînt echivalente în unul din următoarele două cazuri:

1. $A = C$, $B = D$.
2. $A \neq C$, $B \neq D$ și sînt îndeplinite simultan condițiile:
   a. $AB \parallel CD$ sau A, B, C, D sînt coliniare
   b. $AB \equiv CD$.
   c. Semidreptele AB și CD au același sens.

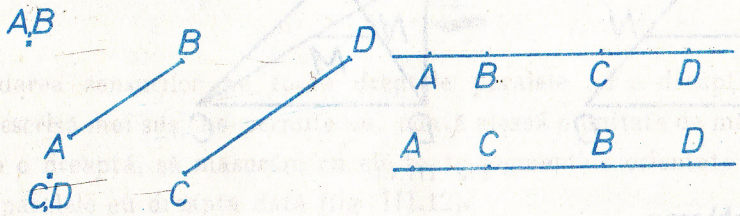


Fig. III.1

Să observăm că nu putem impune condiția c atît timp cît n-ar fi fost impusă condiția a.

Orice segment orientat este echivalent cu el însuși; dacă un segment orientat este echivalent cu al doilea, atunci și acesta este echivalent cu primul; două segmente orientate echivalente cu al treilea sînt echivalente între ele.

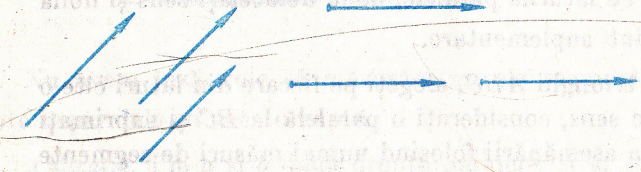


Fig. III.15

Definiție. Se numește vector o mulțime formată din toate segmentele orientate echivalente cu un segment orientat dat.

Vectorul format din toate segmentele orientate $\overrightarrow{AA}$ se va numi „vectorul nul".

În vorbirea curentă vom spune „vectorul $\overrightarrow{AB}$" în loc de „vectorul care conține segmentul orientat $\overrightarrow{AB}$" și vom spune deci că „vectorii $\overrightarrow{AB}$ și $\overrightarrow{CD}$ coincid", sau că „sînt egali", în loc de „segmentele orientate $\overrightarrow{AB}$ și $\overrightarrow{CD}$ sînt echivalente".

Să observăm că fiind date un segment orientat $\overrightarrow{AB}$ și un punct C, există un punct unic D astfel încît segmentul orientat $\overrightarrow{CD}$ să fie echivalent cu segmentul orientat $\overrightarrow{AB}$.

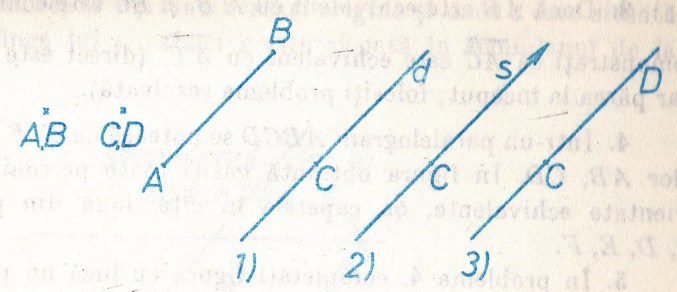


Fig. III.16

Anume: dacă $B = A$, alegem $D = C$, iar dacă $B \neq A$ atunci ducem prin C dreapta d paralelă cu AB (dacă A, B, C sînt coliniare, d se alege drept AB), alegem pe ea semidreapta s, de origine C și de același sens cu semidreapta AB și, în fine, alegem pe s punctul D pentru care $CD \equiv AB$.

Pe scurt: orice vector se poate „așeza" astfel încît să aibă „originea" în orice punct dorim.

Problemă rezolvată

Dacă $\overrightarrow{AB}$ este echivalent cu $\overrightarrow{CD}$, demonstrați că $\overrightarrow{AC}$ este echivalent cu $\overrightarrow{BD}$.

Rezolvare. Cazul 1. A, B, C nu sînt coliniare.

Datorită faptului că semidreptele AB și CD au același sens, $ABDC$ este un patrulater. El este un paralelogram, deoarece laturile opuse AB, DC sînt paralele și congruente. Rezultă că și AC, DB sînt paralele și congruente; de asemenea, că semidreptele AC, BD au același sens. Cele trei fapte, împreună, afirmă, conform definiției, că $\overrightarrow{AC}$ și $\overrightarrow{BD}$ sînt echivalente.

Cazul 2. A, B, C coliniare. Atunci și D rezultă situat pe aceeași dreaptă cu A, B, C și următorul calcul cu măsuri de segmente orientate: $\overrightarrow{BD} = \overrightarrow{BA} + \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CD} = \overrightarrow{AC} + (\overrightarrow{CD} - \overrightarrow{AB}) = \overrightarrow{AC}$ ne convinge de valabilitatea enunțului și în acest caz.

Rezultatul din această problemă ușurează rezolvarea cîtorva din problemele ce urmează:

16. Probleme

1. Desenați două segmente orientate care să îndeplinească două din condițiile a, b, c și să nu o îndeplinească pe a treia. Din cele trei variante ale acestei probleme, care este „absurdă"?

2. Fie A, B, C trei puncte necoliniare. Convingeți-vă că există un punct unic D astfel încît $ABCD$ să fie un paralelogram. Caracterizați-l „vectorial" în două moduri.

3. Dacă AB este echivalent cu $\overrightarrow{A'B'}$ și $\overrightarrow{BC}$ este echivalent cu $\overrightarrow{B'C'}$, demonstrați că $\overrightarrow{AC}$ este echivalent cu $\overrightarrow{A'C'}$ (direct este mai greu decît s-ar părea la început; folosiți problema rezolvată).

4. Într-un paralelogram $ABCD$ se notează cu E, F mijloacele laturilor AB, CD. În figura obținută găsiți toate perechile de segmente orientate echivalente, cu capetele în cîte două din punctele A, B, C, D, E, F.

5. În problema 4, completați figura cu încă un punct, situat pe una din dreptele AB, BC, CD, DA așa încît să putem forma cu el un segment orientat echivalent cu $\overrightarrow{AC}$. În cîte moduri puteți face aceasta?

6. Un triunghi echilateral ABC are „centrul" în O. „Așezați" vectorul OA cu originea în B, apoi în C. Precizați în fiecare din cele două cazuri poziția „extremității" vectorului.

7. Indicați perechi de segmente orientate echivalente pe figura formată dintr-un triunghi și mijloacele laturilor sale.

UNGHIURI ORIENTATE

Acest paragraf este asemănător ca idee celor privind segmentele orientate de pe aceeași dreaptă și de pe drepte paralele; aici însă situația nu ne conduce la noțiuni ce au complexitatea noțiunii de vector.

Dacă privim foaia de hîrtie „de deasupra", așa cum facem de obicei, atunci, relativ la orice semidreaptă, unul din semiplanele determinate de dreapta pe care ea este așezată ne apare „la stînga" semidreptei, iar celălalt „la dreapta" semidreptei.

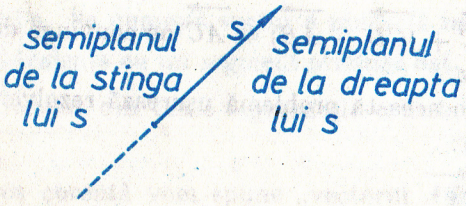


Fig. III.17

Dacă însă am „întoarce foaia" și aceasta ar fi transparentă (ar fi mai greu să realizăm aceasta privind-o „de dedesubt"), situația s-ar schimba: semiplanul ce apărea „la stînga" semidreptei ar apărea acum „la dreapta" ei și invers.

În cele ce urmează vom presupune că „ne-am fixat poziția" din care privim planul și deci că am precizat, pentru orice semidreaptă, care este semiplanul de la stînga ei și care este cel de la dreapta ei.

În legătură cu aceasta, sînt valabile următoarele *proprietăți*:

a. Dacă două semidrepte s și t au aceeași origine și dacă t este situată în semiplanul de la stînga lui s, atunci s este situată în semiplanul de la dreapta lui t.

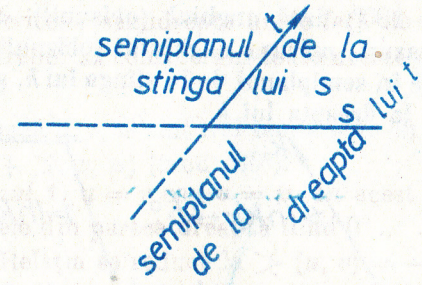


Fig. III.18

b. Dacă s și s' sînt cele două semidrepte diferite, cu originea în O situate pe dreapta d, atunci semiplanul de la stînga lui s este tot una cu semiplanul de la dreapta lui s'.

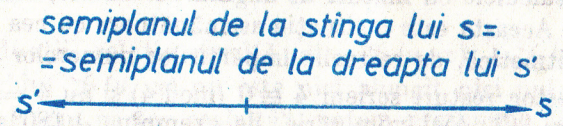


Fig. III.19

c. Dacă Ox, $O'x'$ sînt semidrepte paralele de același sens, dacă Oy, $O'y'$ sînt de asemenea două semidrepte paralele de același sens și dacă Oy este situată în semiplanul de la stînga lui Ox, atunci $O'y'$ este situată în semiplanul de la stînga lui $O'x'$.

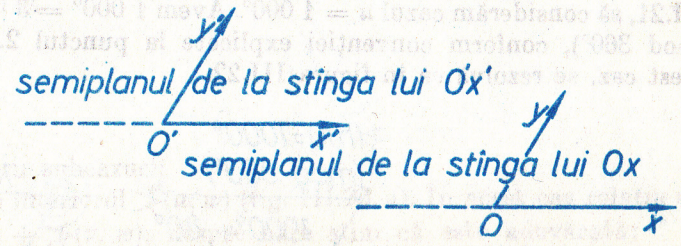


Fig. III.20

Observație. Am prezentat noțiunile din acest paragraf, ca și din cel asupra semidreptelor de același sens și de sensuri contrarii, la nivelul intuitiv, la fel ca în partea I a manualului pentru cl. a VI-a.

Definiţie. Prin unghi orientat vom înţelege o figură formată din două semidrepte h, k cu aceeaşi origine, nu neapărat diferite, considerate în această ordine. Îl vom nota $\sphericalangle(h, k)$.

Deci: $\sphericalangle(h, k)$ este şi el un unghi orientat, iar, pentru $h \neq k$, unghiul orientat $\sphericalangle(h, k)$ este diferit de unghiul $\sphericalangle(k, h)$.

Definiţie. Prin măsura unui unghi orientat $\sphericalangle(h, k)$ notată tot cu $\sphericalangle(h, k)$ vom înţelege.

a. $0°$, dacă $h = k$.

b. $+180°$ sau $-180°$, dacă unghiul (obişnuit) $\sphericalangle(h, k)$ este alungit.

c. În celelalte cazuri, măsura unghiului (obişnuit) $\sphericalangle(h, k)$, luată cu semnul $+$, dacă k este în semiplanul de la stînga lui h, şi cu semnul $-$ dacă k este în semiplanul de la dreapta lui h.

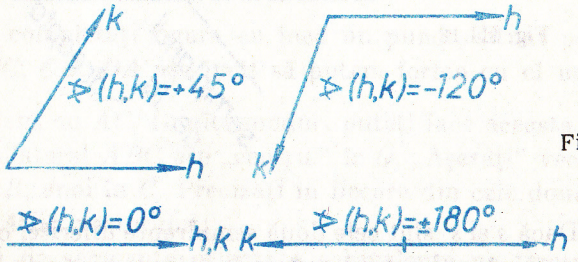


Fig. III.21

Observaţii. 1. Convenţia de la c în legătură cu semiplanele n-avea sens în cazurile a şi b; de aceea a trebuit să le considerăm separat.

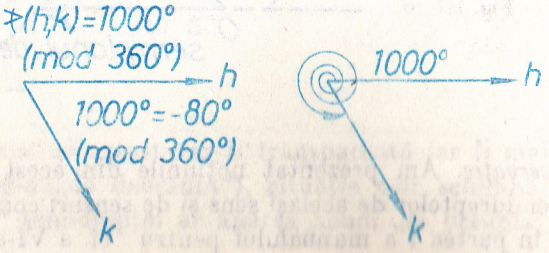
2. În cazul b din definiţie, facem o convenţie care se poate enunţa şi astfel: în calculele cu măsuri de unghiuri orientate, considerăm totdeauna că $360° = 0°$. Aceasta este o situaţie asemănătoare cu cea în care sîntem interesaţi, în aritmetică, de resturile împărţirilor numerelor cu 4, de exemplu. În studiul acestor resturi scriem $4 \equiv 0 \pmod 4$ şi nu $4 = 0$; $+2 \equiv -2 \pmod 4$ şi nu $+2 = -2$. Aici vom scrie, de exemplu, $+180° \equiv -180° \pmod{360°}$.

Reamintim că $a \equiv b \pmod c$, unde a, b, c sînt numere întregi, înseamnă: c divide pe $a - b$. În cazul nostru $u \equiv v \pmod{360°}$ înseamnă: cîtul $\frac{u - v}{360}$ este un număr întreg.

3. Oricare ar fi o măsură de unghi u şi o semidreaptă h, există o semidreaptă unică k, cu aceeaşi origine ca şi h, astfel încît $\sphericalangle(h, k) = u \pmod{360°}$.

Dacă pentru $-180° \leqslant u \leqslant 180°$ aceasta se poate înţelege din figura III.21, să considerăm cazul $u = 1\,000°$. Avem $1\,000° = 3 \cdot 360° - 80° = -80° \pmod{360°}$, conform convenţiei explicate la punctul 2. Deci problema, în acest caz, se rezolvă ca în figura III.22.

Fig. III.22



Un caz mai familiar este $u = 280°$, de exemplu, în care scriem $u = 360° - 80° \equiv -80° \pmod{360°}$ şi care se rezolvă deci tot „prin figura III.22".

4. Dacă privim planul „din partea cealaltă" atunci măsurile tuturor unghiurilor orientate apar cu semnele schimbate.

Următoarea teoremă are aceeaşi importanţă ca şi cea asemănătoare de la segmente orientate de pe aceeaşi dreaptă: permite calcule şi demonstraţii fără a mai face figura, fără a mai considera toate cazurile ce pot apărea ca urmare a poziţiilor diferitelor semidrepte unele faţă de altele. Bineînţeles că în demonstraţia ei va trebui să considerăm toate aceste cazuri, cu toată „hărnicia".

Teoremă. Dacă u, v, w sînt trei semidrepte cu aceeaşi origine, atunci $\sphericalangle(u, w) \equiv \sphericalangle(u, v) + \sphericalangle(v, w) \pmod{360°}$.

Demonstraţie. Cazul 1. $u = v$ sau $v = w$. În acest caz relaţia este evidentă, unul din numerele din partea dreaptă fiind $0° \ldots$.

Cazul 2. $u = w$. Relaţia se reduce la $\sphericalangle(u, v) = -\sphericalangle(v, u)$; ea rezultă din definiţia măsurii unghiului orientat şi din proprietatea a, ilustrată în figura III.18.

Cazul 3. Unghiul $\sphericalangle(v, w)$ este alungit, iar celelalte două nu sînt nule.

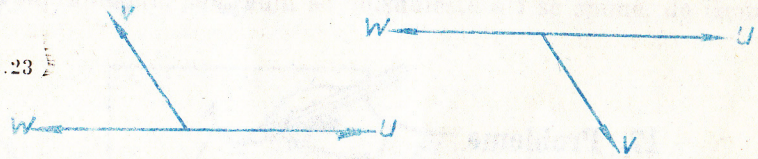


Fig. III.23

În ambele situaţii, relaţia rezultă din $\sphericalangle(u, v) + \sphericalangle(v, w) = 180°$.

Cazul 4. Unghiul $\sphericalangle(u, w)$ nu este nici alungit nici nul.

Privind eventual „din partea cealaltă", putem presupune că w se află în semiplanul de la stînga lui u. Să notăm cu u' şi w' semidreptele ce „prelungesc" pe u şi w.

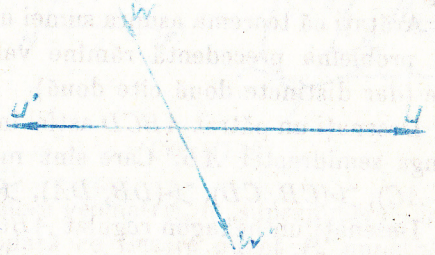


Fig. III.24

Deosebim patru subcazuri:

a) v se află în interiorul $\sphericalangle(u, w)$ (fig. III.25, a). În acest caz relaţia este $\sphericalangle(u, w) = \sphericalangle(u, v) + \sphericalangle(v, w)$, despre care ştim că este adevărată;

b) v se află în interiorul $\sphericalangle(w, u')$ sau coincide cu u'. În acest caz relaţia este $\sphericalangle(u, w) = \sphericalangle(u, v) - \sphericalangle(v, w)$, despre care ştim că este adevărată (situaţie asemănătoare cu a);

c) v se află în interiorul $\sphericalangle(u, w')$ sau coincide cu w'. În mod asemănător cu b) ajungem la $\sphericalangle(u, w) = \sphericalangle(v, w) - \sphericalangle(u, v)$;

d) v se află în interiorul $\sphericalangle(u'w')$. Aici apare situația deosebită legată de convenția de mai sus. Relația devine $\sphericalangle(u, w') = -\sphericalangle(u, v) - \sphericalangle(v, w)$ (mod 360°). Știm de la „unghiuri în jurul unui punct" că $\sphericalangle(u, v) + \sphericalangle(v, w) + \sphericalangle(w, u) = 360°$; aceasta arată că diferența dintre membrul întîi și al 2-lea al relației, împărțită la 360°, dă rezultatul 1. Cu aceasta teorema este demonstrată.

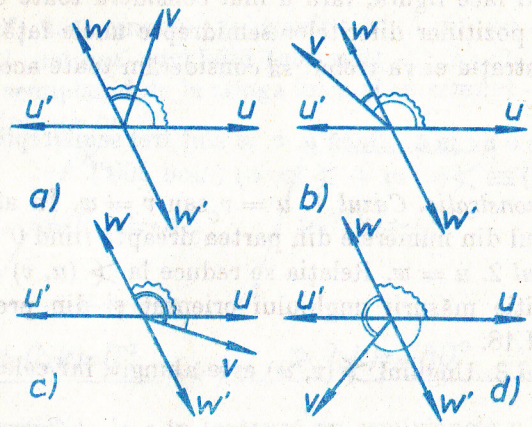


Fig. III.25

17. Probleme

1. Considerați un triunghi ABC. Convingeți-vă că sau pentru toate cele trei semidrepte AB, BC, CA „vîrful rămas" se află în semiplanul de la stînga, sau el se află în semiplanul de la dreapta pentru toate. Enunțați teorema asupra sumei unghiurilor unui triunghi considerînd unghiuri orientate.

2. Arătați că teorema asupra sumei unghiurilor unui triunghi obținută în problema precedentă rămîne valabilă și pentru trei puncte coliniare (dar distincte două cîte două).

3. Desenați un pătrat $ABCD$ astfel încît C și D să fie în semiplanul din stînga semidreptei AB. Care sînt măsurile unghiurilor orientate $\sphericalangle(AB, AC)$, $\sphericalangle(CB, CD)$, $\sphericalangle(DB, DA)$, $\sphericalangle(AD, AB)$ etc.?

4. Desenați un hexagon regulat $ABCDEF$ astfel încît C, D, E, F, să se afle în semiplanul din dreapta semidreptei AB. Care sînt măsurile unghiurilor orientate $\sphericalangle(BC, BA)$, $\sphericalangle(CD, CA)$, $\sphericalangle(FC, FB)$, $\sphericalangle(EA, ED)$ etc.?

5. Se dau două drepte a, b concurente în O și pe fiecare se alege cîte o semidreaptă a', b' cu originea în O. Cîte valori poate lua măsura unghiului orientat $\sphericalangle(a', b')$ (prima semidreaptă fiind cea de pe a)? Arătați că $2\sphericalangle(a', b')$ ia aceeași valoare în toate cazurile descrise.

6. Se dau două semidrepte h, k de origine O. Cîte semidrepte b de origine O există astfel ca $\sphericalangle(h, b) = \sphericalangle(b, k)$? Dar astfel ca $\sphericalangle(h, b) = -\sphericalangle(b, k)$?

7. Oricum ar fi punctele A, B, C, D diferite două cîte două, avem $\sphericalangle(AD, AB) + \sphericalangle(BA, BC) + \sphericalangle(CB, CD) + \sphericalangle(DC, DA) = 0°$. Demonstrați aceasta în general și apoi considerați cazuri speciale ca exemple: patrulater convex, concav, există un punct comun interioarelor segmentelor AB, CD etc.

8. Fie O, A două puncte pe o dreaptă d, fie B alt punct în plan și C simetricul lui B față de d. Avem $\sphericalangle(OB, OA) = -\sphericalangle(OC, OA)$.

DESPRE TRANSFORMĂRI GEOMETRICE

Obișnuim să gîndim că două triunghiuri (sau, mai general, două figuri geometrice, deși nu am discutat acest caz pînă acum) sînt congruente dacă, desenînd una din ele pe o hîrtie transparentă, putem să le facem să coincidă prin suprapunere. Ne-am ferit pînă acum de astfel de „argumente" în raționamentele noastre. În acest paragraf vom da o expresie matematică precisă a noțiunii de suprapunere, sau, cum se obișnuiește a i se spune, de izometrie.

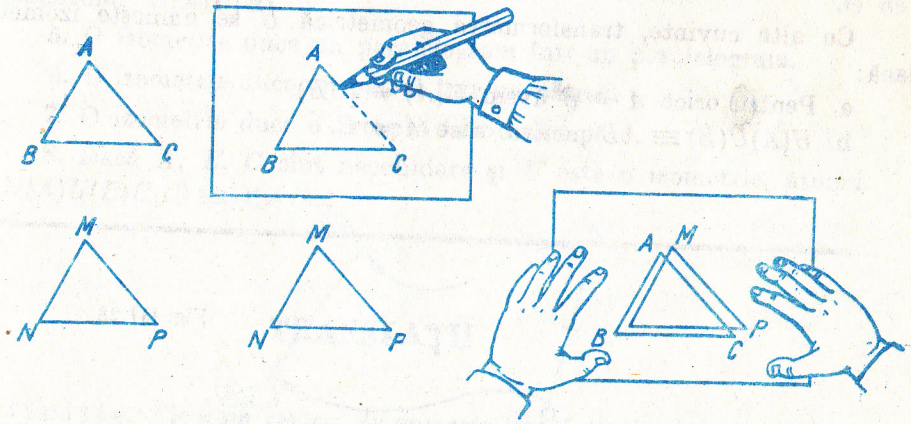


Fig. III.26

Din punct de vedere geometric, o „suprapunere" apare drept un procedeu de a considera, odată cu fiecare punct P, punctul Q bine determinat pentru o suprapunere dată, în care este „mutat" P.

Dar aceasta nu este altceva decît „o funcție definită pe plan, cu valori în plan".

Definiție. Se numește transformare geometrică o funcție $U : \pi \to \pi$ unde π este planul, gîndit ca mulțimea punctelor sale, cu alte cuvinte o transformare geometrică este o funcție definită pe plan cu valori în plan.

Altfel spus, o transformare geometrică este un mod de a atașa fiecărui punct P din plan un punct bine determinat, care depinde de P, notat $U(P)$, din plan.

Dar nu orice transformare geometrică apare drept ceea ce gîndim noi a fi o suprapunere. De exemplu, în figura III.27, să definim $U(P) = A_-$ dacă

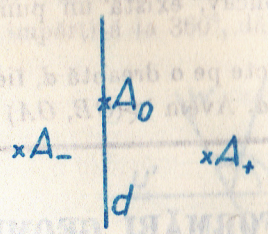


Fig. III.27

P este în semiplanul din stînga, $U(P) = A_0$ dacă P este pe dreapta din figură și $U(P) = A_+$ dacă P este în semiplanul din dreapta. Prin această transformare geometrică U planul este „strivit" în cele trei puncte A_-, A_0, A_+. Aceasta nu este o suprapunere; o suprapunere nu modifică distanțele între puncte.

Definiție. Se numește izometrie o transformare geometrică ce duce puncte diferite în puncte diferite și care duce orice segment într-unul congruent cu el.

Cu alte cuvinte, transformarea geometrică U se numește izometrie dacă:

a. Pentru orice $A \neq B$ avem $U(A) \neq U(B)$.

b. $U(A)U(B) \equiv AB$ pentru orice $A \neq B$.

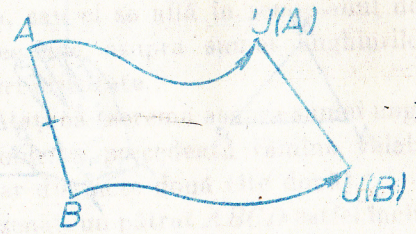
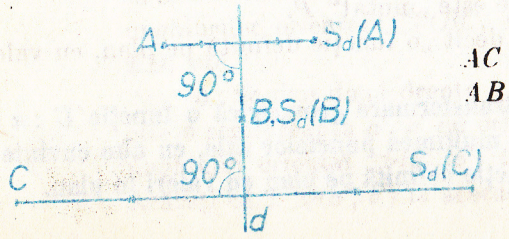


Fig. III.28

Exemple. Am văzut în clasa a 6-a că simetria față de o dreaptă d, pe care o vom nota cu S_d, este o izometrie.



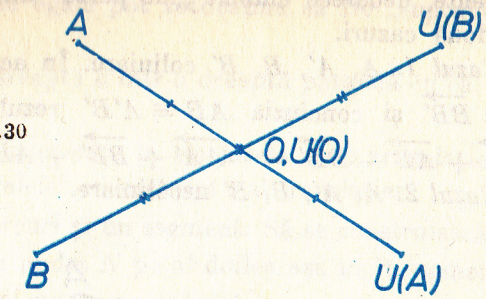
$AC \equiv S_d(A)S_d(C)$
$AB \equiv S_d(A)S_d(B)$
etc.

Fig. III. 29

Am văzut de asemenea că simetria față de un punct O, pentru care vom introduce o notație la pagina 100 este o izometrie.

$U(A)U(B) \equiv AB$
$AO \equiv U(A)U(O)$
etc.

Fig. III.30



18. Probleme

1. Dacă U este o izometrie și ABC este un triunghi echilateral, atunci $U(A)U(B)U(C)$ este un triunghi echilateral.

2. Dacă U este o izometrie și A, B, C sînt puncte coliniare, atunci $U(A)$, $U(B)$, $U(C)$ sînt coliniare.

3. O izometrie duce un triunghi într-un triunghi congruent cu el.

4. O izometrie U duce interiorul segmentului AB în interiorul segmentului $U(A)U(B)$.

5. O izometrie duce un paralelogram într-un paralelogram.

6. O izometrie duce un pătrat într-un pătrat.

7. O izometrie duce o dreaptă într-o dreaptă.

8. Dacă A, B, C sînt necoliniare și U este o izometrie, atunci $\sphericalangle U(A)U(B)U(C) \equiv \sphericalangle ABC$.

TRANSLAȚII

Definiție. Fie v un vector. Se numește translație de vector v, transformarea geometrică T_v care duce un punct P în extremitatea vectorului v, „așezat" cu originea în P.



Fig. III.31



Observație. Translația de vector nul este așa-numita transformare identică, transformare ce lasă pe loc toate punctele P. Ea se va nota cu I.

Teoremă. Orice translație este o izometrie.

Demonstrație. Fie A și B două puncte oarecare, A' și B' imaginile lor prin translația considerată. Segmentele orientate $\overrightarrow{AA'}$ și $\overrightarrow{BB'}$ vor fi deci echivalente, deoarece ambele „fac parte" din vectorul translației. Vom deosebi două cazuri.

Cazul 1. A, A', B, B' coliniare. În acest caz ipoteza se poate scrie $\overrightarrow{AA'} = \overrightarrow{BB'}$ și concluzia $AB \equiv A'B'$ rezultă din $\overrightarrow{A'B'} = \overrightarrow{A'A} + \overrightarrow{AB'} = \overrightarrow{A'A} + \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BB'} = -\overrightarrow{AA'} + \overrightarrow{BB'} + \overrightarrow{AB} = \overrightarrow{AB}$.

Cazul 2. A, A', B, B' necoliniare.

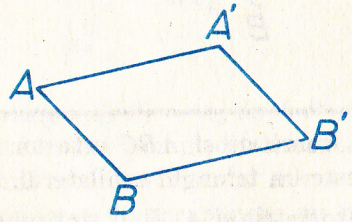
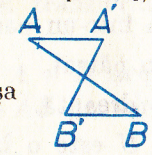


Fig. III.32

Ipoteza $AA' \parallel BB'$, $AA' \equiv BB'$. *Concluzia* $AB \equiv A'B'$.

Semidreapta AA' de același sens cu semidreapta BB'.

În acest caz începem prin a observa că $AA'B'B$ este un patrulater

(adică nu arată așa 

ca urmare a părților 1 și 3 ale ipotezei. Avînd

laturile opuse AA' și BB' paralele și congruente el este paralelogram. Rezultă $AB \equiv A'B'$ ca opuse în acest paralelogram (pentru a evita folosirea, ca mai sus, a unei teoreme „suplimentare" din clasa a 6-a, se poate arăta că $\triangle ABA' \equiv \triangle B'A'B$, cazul 1).

Observație. Fie T o translație. Cunoscînd imaginea $T(P_0)$ prin această translație a unui singur punct P_0, translația T este perfect determinată: ea este translația de vector $\overrightarrow{P_0T(P_0)}$.

Intuitiv, un vagon de cale ferată, pe o porțiune dreaptă de linie, execută o translație (poziția sa, la fiecare moment fixat, se obține printr-o anumită translație, ce depinde de acel moment, din poziția inițială - fig. III.33).

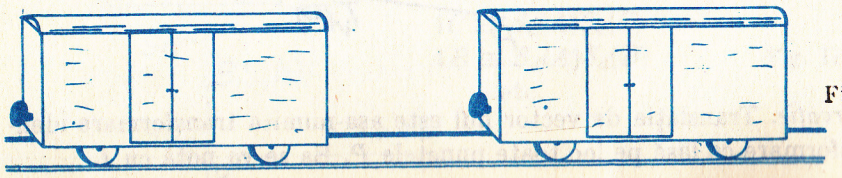


Fig. III.33

19. Probleme

1. O translație duce un cerc într-un cerc.

2. Două cercuri de raze egale pot totdeauna să fie „suprapuse" printr-o translație.

3. O translație duce o dreaptă d într-o dreaptă paralelă cu ea, sau tot în d.

4. Singurele drepte transformate în ele însele de o translație de vector nenul T_v sînt cele „paralele" cu vectorul v al translației.

5. Se consideră două cercuri și un segment. Să se construiască un punct M pe primul cerc și un punct N pe al doilea așa încît segmentul MN să fie congruent și paralel cu segmentul dat.

6. Aceeași problemă ca la 5 înlocuind unul din cercuri cu o dreaptă.

7. Se consideră un pătrat $ABCD$ de centru O. Fie M, N, P, Q mijloacele laturilor AB, BC, CD, DA. Să se precizeze pozițiile punctelor $T_{\overrightarrow{AO}}(M)$, $T_{\overrightarrow{AO}}(N)$, $T_{\overrightarrow{AO}}(P)$, $T_{\overrightarrow{AO}}(Q)$.

8. Se consideră un hexagon regulat $ABCDEF$, de centru O. Să se precizeze imaginile vîrfurilor sale prin translația de vector $\overrightarrow{AO}$. Aceeași problemă pentru translația de vector $\overrightarrow{OB}$. La fel pentru cea de vector $\overrightarrow{AC}$.

9. O translație transformă o semidreaptă într-o semidreaptă paralelă și de același sens cu ea.

10. O translație transformă un segment orientat într-unul echivalent cu el.

11. O translație transformă un unghi orientat într-unul de aceeași măsură.

12. Poate o translație de vector nenul să transforme un poligon în el însuși?

13. Dați exemplu de o figură care să fie transformată în ea însăși de o translație de vector nenul.

14. Arătați că o transformare geometrică ce transformă orice segment orientat într-unul echivalent cu el este o translație.

ROTAȚII

Definiție. Fie C un punct fixat și u o măsură de unghi orientat. Rotația de centru C și unghi orientat u se definește drept transformarea geome-

trică $R_{C,u}$ ce duce C în C iar un punct $P \neq C$ într-un punct $Q = R_{C,u}(P)$ definit prin $\sphericalangle(CP, CQ) = u$, $CQ \equiv CP$.

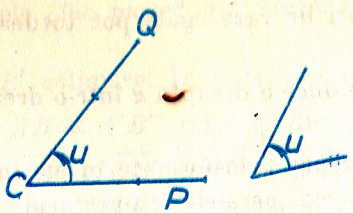


Fig. III.34

Observații. 1. Rotația $R_{C,0^\circ}$ de unghi nul este transformarea identică I.

2. Rotația $R_{C,\pm 180^\circ}$ de unghi orientat 180° este tocmai simetria față de C.

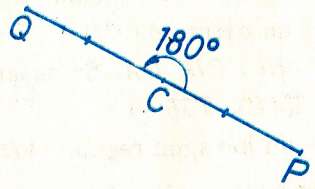


Fig. III.35

Teoremă. Orice rotație $R_{C,u}$ este o izometrie.

Demonstrație. Va trebui să alegem două puncte oarecare M, N, să notăm $M' = R_{C,u}(M)$, $N' = R_{C,u}(N)$ și să demonstrăm că $M'N' \equiv MN$.

Cazul „general" C, M, N necoliniare.

Ipoteza $CM \equiv CM', CN \equiv CN'$, $\sphericalangle(CM, CM') = \sphericalangle(CN, CN')$ $(= u)$.

Concluzia $M'N' \equiv MN$.

Demonstrația în acest caz. Avem $\sphericalangle(CM, CN) = \sphericalangle(CM, CM') + \sphericalangle(CM', CN) = \sphericalangle(CM, CM') + \sphericalangle(CM', CN') + \sphericalangle(CN', CN) = \sphericalangle(CN, CN') + \sphericalangle(CN', CN) + \sphericalangle(CM', CN') = \sphericalangle(CM', CN')$, deci $\sphericalangle MCN \equiv \sphericalangle M'CN'$. Rezultă $\triangle MCN \equiv \triangle M'CN'$ (cazul 1) și deci $M'N' \equiv MN$.

Cazul „special" C, M, N coliniare.

Subcazul $C = M$ sau $C = N$ rezultă imediat din definiție: $CN \equiv CN'$....

Subcazul $C \neq M$, $C \neq N$. Din demonstrația de la cazul general rezultă $\sphericalangle(CM, CN) = \sphericalangle(CM', CN')$, valoarea lor fiind în cazul de față 0° sau 180°. Deci dacă semidreptele CM, CN sînt de același sens, așa sînt și semidreptele CM', CB', iar dacă CM, CN sînt de sensuri contrare, așa sînt și CM', CN'.

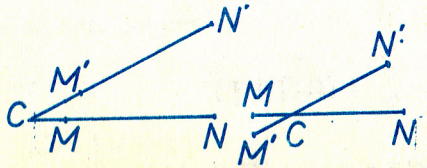


Fig. III.36

În prima situație avem $M'N' = |CM' - CN'| = |CM - CN| = MN$, iar în a doua $M'N' = CM' + CN' = CM + CN = MN$, q.e.d.

Un carusel execută o rotație (cu aceeași precizare ca și la mișcarea vagonului de cale ferată pag 98).

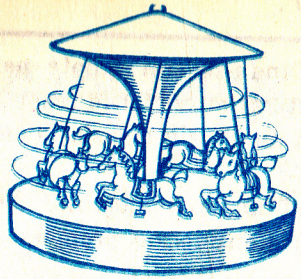


Fig. III.37

20. Probleme

1. O rotație duce un cerc într-un cerc. În ce caz o rotație dată duce un cerc dat în el însuși?

2. Două cercuri de raze egale pot fi „suprapuse" printr-o rotație, al cărei unghi orientat poate fi ales cum dorim, $\neq 0^\circ$.

3. O rotație transformă o dreaptă într-o dreaptă. Poate fi dreapta imagine paralelă cu cea inițială? Dar identică? Descrieți cazurile în care au loc aceste situații.

4. O rotație transformă o semidreaptă într-o semidreaptă. În cazurile, precizate prin soluția problemei 3, în care se poate pune problema dacă semidreapta imagine este de același sens sau nu cu semidreapta inițială, precizați care este situația.

5. Să se construiască un triunghi echilateral cu un vîrf dat și cu celelalte două vîrfuri situate pe două drepte date. Descrieți situația în care problema are o infinitate de soluții.

6. Să se construiască un pătrat ce are două vîrfuri opuse pe două cercuri date, iar unul din celelalte două într-un punct dat.

7. Care sînt rotațiile care duc un triunghi echilateral în el însuși?

8. Aceeași problemă pentru un pătrat.

9. Aceeași problemă pentru un hexagon regulat.

10. Se consideră un hexagon regulat $ABCDEF$ și figura H formată din trei cercuri de rază $\frac{1}{3}AB$ de centre A, C, E și din trei cercuri de rază $\frac{1}{4}AB$ de centre B, D, F. Care sînt rotațiile ce transformă figura H în ea însăși?

11. Se consideră un pătrat $ABCD$ în care C, D sînt în semiplanul din stînga semidreptei AB. Precizați imaginile vîrfurilor pătratului prin rotația $R_{A,+45^\circ}$.

12. Se consideră un hexagon regulat $ABCDEF$, în care C este în semiplanul de la stînga semidreptei AB. Precizați imaginile vîrfurilor sale prin rotațiile $R_{A,+60^\circ}$. Aceeași problemă pentru $R_{A,\ 60^\circ}$.

13. C și D fiind puncte diferite, determinați un punct X astfel $R_{C,+60°}(X) = R_{D,-60°}(X)$. Aceeași problemă înlocuind $-60°$ cu $+120$ La fel cu $+60°$, $+60°$.

Problema rezolvată. Dîndu-se trei drepte paralele (fixate) să se co struiască un triunghi echilateral cu vîrfurile respectiv pe fiecare dintre el

Observație: dacă există unul, prin translație de-a lungul dreptelor pute obține o infinitate.

SOLUȚIA 1 (folosind numai cunoștințe de clasa a 6-a). Sînt d dreptele a, b, c (fig. III.38). Considerăm problema rezolvată.

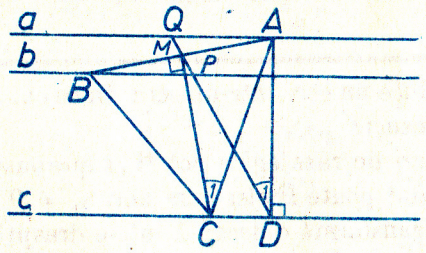


Fig. III.38

Ducem (notațiile sînt cele din figură) $AD \perp c$ și CM înălțimea triunghiului care taie segmentul AB în M, mijlocul său. Patrulaterul $ADCM$ este inscri tibil $\sphericalangle ADC = \sphericalangle AMC = 90°$. Deci $D_1 = C_1 = 30°$. M este de asemenea mijlocul segmentului PQ (P și Q sînt punctele unde DM taie pe b, respe tiv a). Problema este terminată: ducem $AD \perp c$, $ADQ = 30°$, luăm mijlocul segmentului PQ. Unim A cu M și prelungim pînă taie b în B. AB este latura triunghiului căutat.

SOLUȚIA 2 (prin asemănare). Dacă distanța dintre a și b este m, dintre b și c este n, latura AC este împărțită în raportul m/n. Cum toate triunghiurile echilaterale sînt asemenea, luăm un triunghi echilateral $A'B'C'$ și împărțim latura $A'C'$ în raportul m/n prin punctul interior N' (fig. III.39). Ducem prin A' și B' paralele a' și b' la $B'N'$ și obținem o figură „asemenea" cu cea căutată. Fie d' distanța dintre a' și c'. Prin procedeul construirii cel

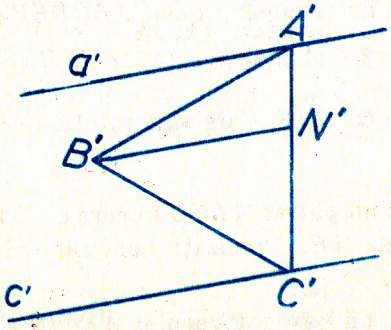


Fig. III.39

„de a patra proporțională", cunoscînd distanța d dintre dreptele a și c, ob nem latura AC a triunghiului ABC căutat.

SOLUȚIA 3 (prin rotație). Rotind pe A în jurul lui B cu 60° „ajungem" în C. Deci rotind dreapta a în jurul unui punct fixat la început B pe b, obținem acolo unde „rotita" lui a taie c, punctul C, deci avem latura BC a triunghiului.

PROBLEME RECAPITULATIVE

1. În triunghiul ABC, latura $BC = 5$ cm, medianele $CC' = 6$ cm și $BB' = 4{,}5$ cm. Să se afle celelalte laturi ale triunghiului.

2. Trapezul isoscel $ABCD$ este circumscris unui cerc. El are AB, baza mică, de 2 cm și baza mare $CD = 8$ cm. Se cere raza cercului înscris și laturile neparalele.

3. Într-un triunghi isoscel OAB ($OA \equiv OB$), $\sphericalangle AOB = 36°$. Luăm pe latura OB punctul C interior, astfel încît $\widehat{CAB} = 36°$. Să se demonstreze că:

a) $\triangle ACB \sim \triangle OAB$,

b) $OC \equiv AB \equiv AC$.

4. Într-un cerc de centru O înscriem un poligon regulat cu 10 laturi (decagon regulat). Fie AB, BE și EF trei laturi ale sale consecutive. AF se intersectează cu OB în C. Notînd $AB = BE = EF = l$, $OA = OB = R$ demonstrați că

a) $CB = R - l$;

b) $OC \equiv AC$, $OC = l$;

c) $R(R - l) = l^2$ sau $l^2 + Rl - R^2 = 0$;

d) Verificați relația $l^2 + Rl - R^2 = \left(l + \frac{R + R\sqrt{5}}{2}\right)\left(l + \frac{R - R\sqrt{5}}{2}\right)$ și găsiți de aici latura decagonului regulat convex în funcție de raza cercului circumscris.

5. În trapezul dreptunghic $ABCD$, înălțimea $BC = 4$ cm, baza mică $AB \equiv AD$, iar baza mare $CD = 8$ cm. Determinați măsura comună a bazei mici și laturii AD.

6. În figura R.1 cercurile de centru O_1, O_2, O_3 și rază R_1, R_2, R_3 sînt tangente la dreptele VT, VT' și tangente exterioare între ele.

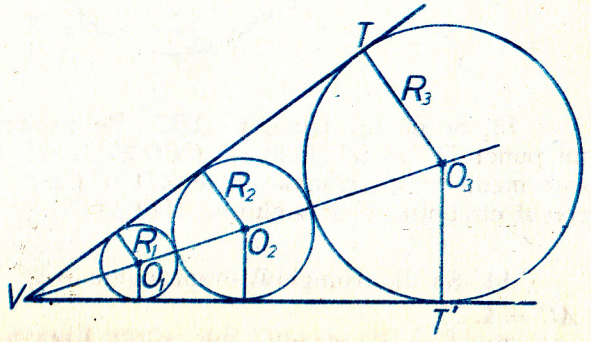


Fig. R.1

Demonstrați că aria cercului (O_2) este media proporțională între cea a cercurilor (O_1) și (O_3).

7. Printr-un punct fix P situat în interiorul cercului fix de centru $O (O \neq P)$ trec coardele perpendiculare mobile AB, CD de mijloace M și N respectiv.

Să se demonstreze că MN are mărime constantă.

8. În cercul de centru O, A și B sînt două puncte diametral opuse. Fie M și N două puncte variabile pe cerc, astfel încît $\overset{\frown}{MAN} = 50°$. Dreptele MB și AN se întîlnesc în P.

a) Cîte grade are $\sphericalangle MPA$?

b) Care este locul geometric al punctului P?

9. În triunghiul ABC, $\sphericalangle BAC = 60°$, BD și CE sînt înălțimi, iar O este mijlocul segmentului BC.

a) Să se demonstreze că: $\triangle OED$ este echilateral.

b) Dacă $AC = 4$ cm și AB este de mărime variabilă, să se găsească valoarea minimă a laturii triunghiului echilateral OED.

10. Să se determine care este dreptunghiul de arie maximă înscris într-un cerc de rază 1.

11. În triunghiul isoscel ABC este înscris un cerc. Laturile $AB \equiv AC$, $AB = 13$ cm, iar baza $BC = 10$ cm. Să se calculeze raza cercului înscris.

12*. Se dă un cerc și A un punct exterior. Ducem AT și AS tangente la cerc (fig. R.2). (S și T sînt pe cerc.) Coarda TL e paralelă cu AS. Segmentul AL taie a doua oară cercul în Q. Demonstrați că TQ întîlnește tangenta AS în M, mijlocul ei.

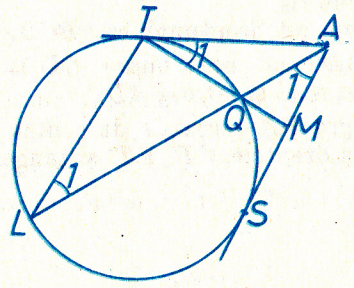


Fig. R.2

13. Se dă un triunghi ABC. Pe prelungirea laturii AC se ia un punct D, astfel încît $\sphericalangle CBD \equiv \sphericalangle BAC$. Demonstrați că: a) BD este medie proporțională între AD și CD; b) BD este tangentă la cercul circumscris triunghiului ABC.

14. Se dă triunghiul dreptunghic ABC cu $\sphericalangle A = 90°$, $AB = 3$, $AC = 4$.

Să se găsească latura pătratului $AMNP$, unde $M \in AB$, $N \in BC$, $P \in AC$. Catetele fiind b, c, aceeași întrebare.

15. În figura R.3, ABC este un triunghi oarecare, $ABDE$ și $ACFG$ pătrate. Să se demonstreze că: a) $EC \equiv BG$, b) $EP \perp PG$.

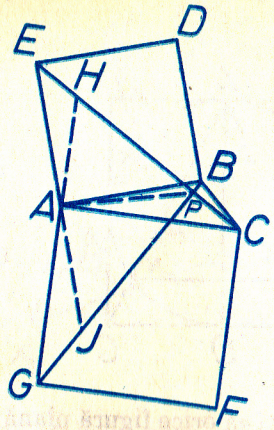


Fig. R.3

16. Un semicerc cu raza R este înscris într-un trapez isoscel (adică are centrul pe baza mare DC, și este tangent celorlalte laturi AB, BC și DA). Unghiul ADC format de o latură neparalelă cu baza mare are 45°. Să se afle aria trapezului.

17. Să se afle aria unui trapez isoscel, știind că bazele sale sînt 12 și 20 cm, iar diagonalele sînt perpendiculare între ele.

18. Într-un pătrat $ABCD$ sînt înscrise două semicercuri cu diametre AD și BC. Un cerc mai mic este tangent la ambele semicercuri și la latura AB. Să se socotească raza acestui cerc în funcție de a, latura AB.

19. Segmentul $AB = a$, fix, este în același timp coardă și tangentă a două cercuri concentrice de rază variabilă. Să se demonstreze că aria coroanei circulare cuprinsă între ele este constantă.

20. În pătratul $ABCD$ de latură a (fig. R4) se înscrie triunghiul APQ cu $\sphericalangle QAP = 30°$; ($Q$ pe segmentul DC și P pe segmentul BC). $\sphericalangle APQ = 90°$. Se cer laturile acestui triunghi.

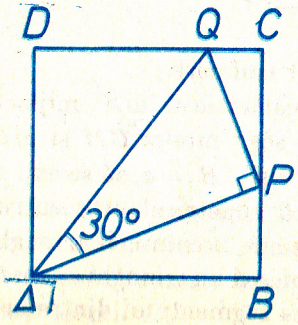


Fig. R.4

21. Se dă triunghiul ascuțit unghic ABC în care $CB = 3$ și înălțimea $AA' = 2$. Să se afle latura pătratului înscris în triunghi (două vîrfuri pe BC, celelalte două respectiv pe AB, AC).

22. În figura R.5 ABC este un triunghi isoscel înscris într-un pătrat ($AB = AC = a$) și pe înălțimea AD ca diametru se construiește un cerc care taie AB în M și AC în N. Se cere MN în funcție de a.

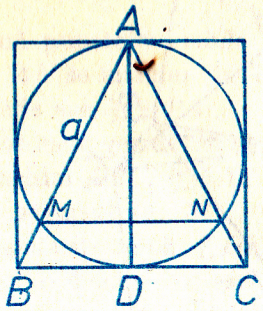


Fig. R.5

23. Demonstrați că orice figură plană care are două axe de simetrie perpendiculare are și un centru de simetrie! Reciproca este adevărată?

24. Cu laturile cît ale respectiv triunghiului echilateral, hexagonului regulat și pătratului înscris în același cerc, se construiește un triunghi. Să i se precizeze natura. Găsiți raza cercului circumscris lui.

25. Pe segmentul AB se consideră punctul M variabil și, de aceeași parte a segmentului, triunghiurile echilaterale AMC și MBD. Cercurile circumscrise acestor triunghiuri se taie în M și N (fig. R.6). Arătați că:

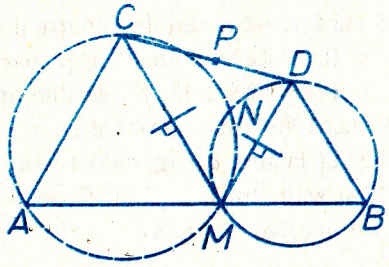


Fig. R.6

1) A, D, N sînt coliniare.
2) găsiți locul geometric al lui P, mijlocul lui CD, cînd M se mișcă.
3) mediatoarele segmentelor CM și MD trec printr-un punct fix.
4) dacă $AM = x$ și $AB = a$, să se exprime CD în funcție de a și x.

26. a) Să se arate că simetricul ortocentrului unui triunghi față de o latură se află pe cercul circumscris triunghiului.

b) Să se construiască un triunghi cunoscînd: o înălțime, ortocentrul fixat pe ea și mărimea segmentului dintre ortocentru și alt vîrf.

27. Triunghiului ABC i se prelungesc laturile a, b, c cu segmentele $CB' = a$, $AC' = b$ și $BA' = c$, cum se vede în figura R.7. Se obține un nou triunghi $A'B'C'$. Dacă ștergem cu radiera triunghiul inițial, rămîne numai triunghiul $A'B'C'$. Construiți din nou triunghiul ABC.

(Olimpiada R.F.G., 1977)

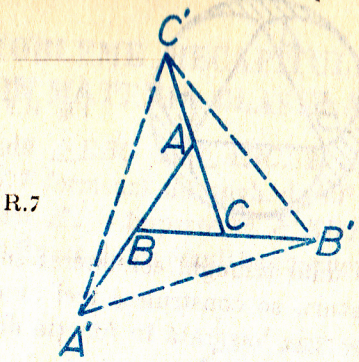


Fig. R.7

28. Un trapez isoscel cu baza mică $AB = 2a$ și baza mare $DC = 2b$, este circumscris unui cerc. Se cere aria trapezului.

29. Fie $ABCD$ un patrulater convex cu diagonalele $AC=3$, $BD=4$.

a) Fie M un punct pe AB, $MN \parallel BD$, $(N \in AD)$, $NP \parallel AC$ $(P \in CD)$, $PQ \parallel BD$, $(Q \in BC)$, $QM' \parallel AC$ $(M' \in AB)$. Demonstrați că M și M' coincid.

b) Calculați laturile lui $MNPQ$ în cazul în care el este romb.

30. Construiți un triunghi ABC cunoscînd raportul $\frac{AB}{AC} = \frac{3}{5}$, latura $BC = 4$ și raza cercului circumscris $R = 3$ cm.

31. În figura R.8 catetele $AB = 3$ cm și $AC = 4$ cm ale triunghiului dreptunghic ABC sînt diametrele a două semicercuri construite în afară. Să se calculeze tangenta TS comună acestora.

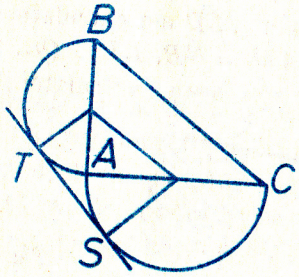


Fig. R.8

32. Se dă triunghiul ABC și un punct D mobil pe latura BC. Fie O și O' centrele cercurilor circumscrise triunghiurilor ABD și ACD.

a) Să se arate că raportul razelor acestor cercuri este constant cînd D parcurge interiorul laturii BC.

b) Care este poziția lui D pentru ca razele cercurilor să fie minime?

33. În figura R.9 ABC este un triunghi echilateral și se construiesc în afara lui, pe laturi ca diametre, semicercuri. Un cerc este tangent

la toate aceste semicercuri. Să se afle aria porțiunii haşurate în funcție de l, latura triunghiului echilateral.

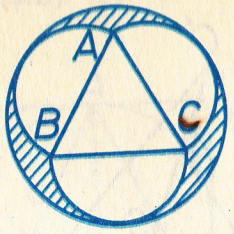


Fig. R.9

34. Pe laturile unui triunghi echilateral ca coarde şi tangente la respectiv celelalte laturi, se construiesc trei arce de cerc ca în figura R.10. Să se calculeze aria haşurată în funcție de l, latura triunghiului.

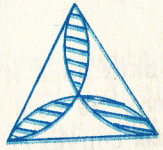


Fig. R.10

35. Dintr-un triunghi dreptunghic cu catetele b, c, să se „decupeze" cercul înscris. Se cere aria rămasă din triunghi (fig. R.11).

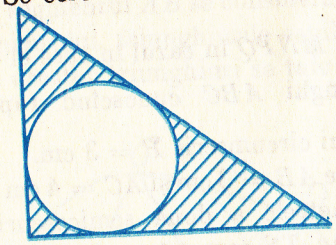


Fig. R.11

36. Pe laturile AB şi CD ale patrulaterului convex $ABCD$ se iau respectiv segmentele $AM = NB$, $DP = QC$. Să se arate că dacă ariile lui $AMPD$ şi $NBCQ$ sînt egale, patrulaterul $ABCD$ este trapez (fig. R.12)

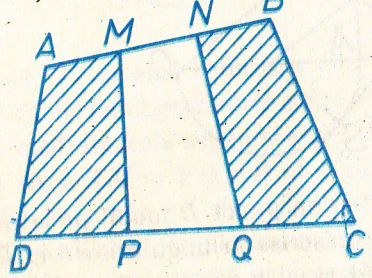


Fig. R.12

37. Într-un cerc dat de centrul O şi de rază 2 cm înscriem un dreptunghi variabil $ABCD$. Pe latura AB luăm punctul M. Ducem $MN \parallel AC$ $(M \in BC)$; $NP \parallel BD$ $(P \in CD)$, $PQ \parallel AC$ $(Q \in DA)$. Arătaţi că $MNPQ$ este paralelogram şi calculaţi perimetrul său.

SOLUŢII

PROBLEME RECAPITULATIVE DIN MATERIA CLASEI A 6-a

1. Se compară de pildă $\triangle EBG$ cu $\triangle ABC$. **2.** *a)* $\sphericalangle B'CH = 30°$, împreună cu simetricul său $\sphericalangle B'CT$ formează un unghi de 60° şi $\sphericalangle B'HC \equiv \sphericalangle BAC$ etc... *b)* $\sphericalangle BHC = 120°$ deci HI îl împarte în $\sphericalangle BHI \equiv \sphericalangle IHC$, $\sphericalangle BHI = 60°$ etc... **3.** Cu notaţiile din figura S.0.1. rezultă congruenţa $\triangle ADM \equiv \triangle ABN$ pentru că $\sphericalangle D \equiv \sphericalangle B \longrightarrow \sphericalangle DAM \equiv \sphericalangle BAN$ şi $AM \equiv AN$, deci ipotenuzele $AD \equiv AB$. **4.** Romb! Cu notaţiile din figura S.0.2. $\triangle ABC \equiv \triangle ADC$ (cazul 2), deci $AB \equiv AD$, $BC \equiv DC$. Asemănător se arată că $AD \equiv DC$, $AB \equiv BC$.

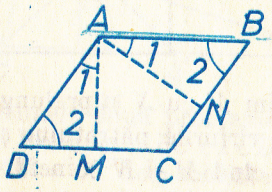


Fig. S.0.1

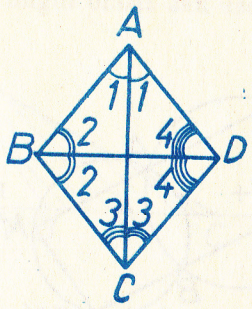


Fig. S.0.2

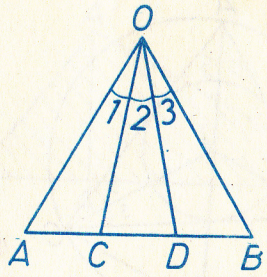


Fig. S.0.3

5. Iese imediat din inegalităţi de laturi în triunghiurile formate cu laturile iniţiale. **6.** 5°, 50°, 125°. **7.** Ar însemna (fig. S.0.3) că atît $\triangle OAD$ cît şi $\triangle OCB$ ar fi isoscele, şi de aici că dintr-un punct se pot duce două perpendiculare distincte pe aceeaşi dreaptă. **8.** Se dovedeşte că unghiurile opuse sînt suplimentare. **9.** În figura S.0.4., $\sphericalangle ABA' = 90° = \sphericalangle ABA''$, $\sphericalangle A' \equiv \sphericalangle M$.

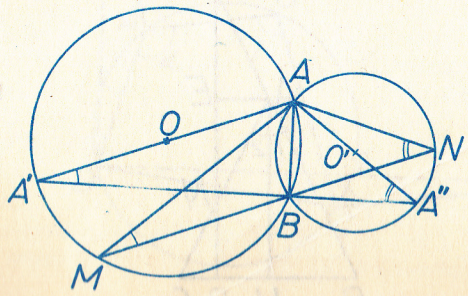


Fig. S.0.4

10. Este mijlocul „arcului mic" BC. Nu are importanță: trece prin mijlocul arcului pe care nu-l descrie A. **11.** Considerăm problema rezolvată. Cercurile cu diametre DA respectiv BC au cîte un semicerc pe care se află două vîrfuri ale pătratului (fig. S.0.5.) Fie M și N „mijloacele" celorlalte două semicercuri. Pe aici (conform problemei precedente) trec bisectoarele-diagonale ale unghiu-

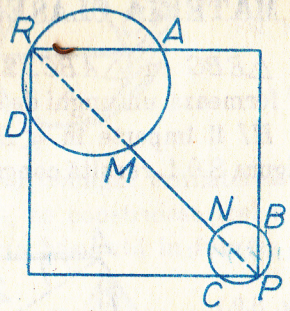


Fig. S.0.5

rilor pătratului. Deci unim M cu N și prelungim pînă taie semicercurile celelalte. Obținem P și R, vîrfurile pătratului și de aici încolo problema este simplă. Examinați cazul cînd M și N coincid. **12.** I fiind pe bisectoarea $\sphericalangle A$, arcele BL și LC sînt congruente (L este punctul unde bisectoarea din A taie a doua oară cercul), deci și coardele $LB \equiv LC$. I, centrul cercului înscris fiind și pe bisectoarele lui B și C, cu notațiile din figura S.0.6. $\sphericalangle L = 2 \cdot \sphericalangle 1$, $\sphericalangle ILC = \sphericalangle 2 + \sphericalangle 3$, deci $\sphericalangle CIL = \sphericalangle 2 + \sphericalangle 3$.

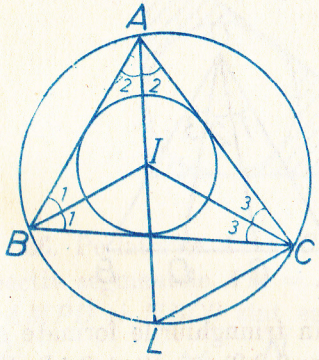


Fig. S.0.6.

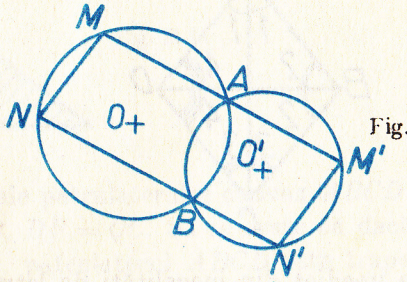


Fig. S.0.7

13. $\sphericalangle B' \equiv \sphericalangle ABB'$ etc., deci $A'B' \parallel A''B''$ (fig. S.0.7).
14. *a*) Cu notațiile din figura S.0.8: $\sphericalangle A_1 \equiv \sphericalangle A_2 \equiv \sphericalangle M$, $\sphericalangle A_2 \equiv \sphericalangle ANE$. De aici, $\sphericalangle M_1 \equiv \sphericalangle ANE$, și $\triangle AMN$ isoscel. *b*) Ducem $AE \perp MN$, $EN \equiv EM$,

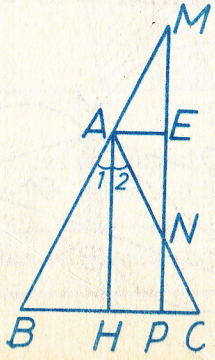


Fig. S.0.8

de aici $MP + NP = 2PE = 2AH$ și *c*) locul geometric al lui E este un segment din A paralel la BC.
15. Laturile neparalele sînt congruente: una este linie mijlocie și alta fiind mediană într-un triunghi dreptunghic este jumătate din ipotenuză. **16.** *a*) $C'A_2 \parallel BH$, $A'C' \parallel AC$ și $BH \perp AC$, deci $C'A_2 \perp A'C'$, *b*). Patrulaterul are două unghiuri opuse, drepte: figura S.0.9.

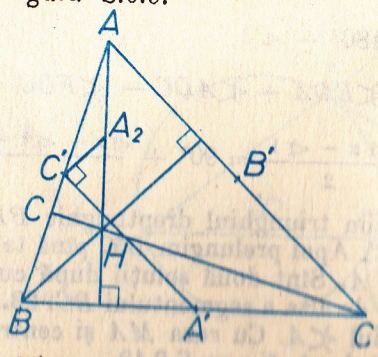


Fig. S.0.9

17. Folosind raționamentul din ultimele două probleme referitor la celelalte vîrfuri și laturi ale triunghiului. **18.** Prelungim BC cu $CD \equiv BC$ și se formează un triunghi isoscel $\triangle ABD$ cu $\sphericalangle BAD = 60°$ deci echilateral. **19.** Din problema precedentă $\sphericalangle EDA = 90°$, din congruența triunghiurilor $\triangle CEB$ și $\triangle BDA$ rezultă $\sphericalangle BEC \equiv \sphericalangle ADF$. Deci $AEFD$ inscriptibil deci $\sphericalangle AFE = \sphericalangle ADE = 90°$. **20.** Ducem perpendiculara pe înălțimea AA', apoi cu centrul în A și cu două raze cît AB respectiv AC intersectăm această perpendiculară. Există două soluții (cu unghi obtuz sau ascuțit) figura S.0.10.

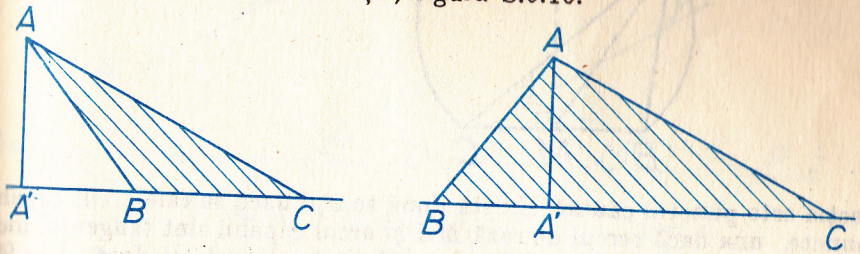


Fig. S.0.10

21. $\sphericalangle A_1 \equiv \sphericalangle B_1 \equiv \sphericalangle C_1$ (le vom nota pe toate cu $\sphericalangle 1$, S.0.11) $\sphericalangle ADC = 180° - \sphericalangle 1$. Din triunghiul isoscel DCF rezultă:

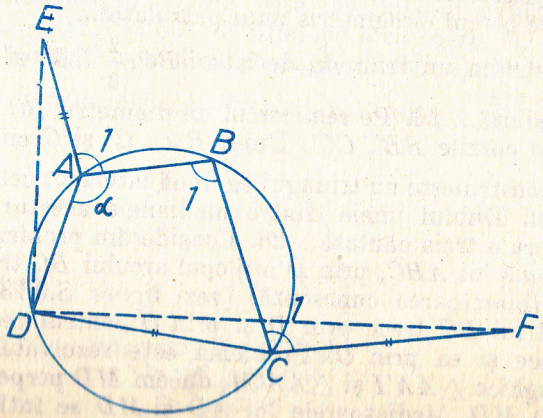


Fig. S.0.11

$$\sphericalangle FDC = \frac{180 - (180 - \sphericalangle\alpha + \sphericalangle 1)}{2} = \frac{\sphericalangle\alpha - \sphericalangle 1}{2},$$

$$\sphericalangle EDA = \frac{180° - (360° - \sphericalangle\alpha - \sphericalangle 1)}{2} = \frac{\sphericalangle\alpha + \sphericalangle 1}{2} - 90,$$

$$\sphericalangle ADC = 180° - \sphericalangle 1,$$

$$\sphericalangle EDF = \sphericalangle EDA + \sphericalangle ADC - \sphericalangle FDC = \frac{\sphericalangle\alpha + \sphericalangle 1}{2} - 90° + 180° -$$

$$- \sphericalangle 1 - \frac{\sphericalangle\alpha - \sphericalangle 1}{2} = 90° + \frac{\sphericalangle\alpha + \sphericalangle 1 - 2\sphericalangle 1 - \sphericalangle\alpha - \sphericalangle 1}{2} = 90°.$$

22. Întîi construim triunghiul dreptunghic $BB'C$ unde se cunosc ipotenuza BC și cateta BB'. Apoi prelungim $B'C$ pînă taie arcul care „vede" segmentul BC sub unghiul A. Sînt două soluții după cum construim arcul capabil de A de o parte sau de alta a segmentului BC. **23.** Pe coarda BC construim arcul capabil de unghiul $\sphericalangle A$. Cu raza MA și centrul M tăiem cu un arc de cerc acest arc capabil de A. figura S.0.12.

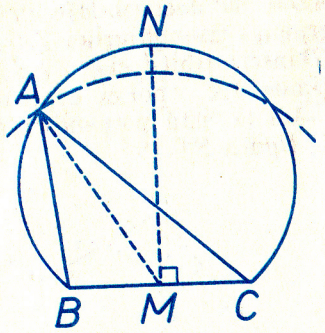


Fig. S.0.12

Intersecția este punctul căutat. Există două soluții dacă se taie arcul capabil în 2 puncte, una dacă cercul de rază MA și arcul capabil sînt tangente, nici una dacă $MA > MN$ ($MN \perp BC$) și o infinitate de soluții dacă $A = 90°$ și $MA = \frac{BC}{2}$.

24. Se găsesc trei triunghiuri congruente. A doua intersecție a două cercuri se află pe cercul circumscris unui patrulater...

25. Construim un triunghi de laturi $BC, \frac{2}{3}BB'$ și $\frac{2}{3}CC'$. De aici rezolvarea este imediată... **26.** Pe semicercul de diametru BC cu centrul în B respectiv C ducem corzile BB', CC'. Unim B cu C' și C cu B' și se vor tăia în A....

27. Se construiește un triunghi cu două laturi cît cele date, și a treia cît dublul medianei. Dublul uneia dintre medianele acestui triunghi (precizați care) este latura a treia căutată... **28.** Considerăm problema rezolvată, avînd cercul circumscris lui ABC, prin D mijlocul arcului BC trece prelungirea segmentului AI (bisectoarea cunoscută) (vezi figura S.0.13). Perpendiculara din M mijlocul lui BC trece prin D și prin O centrul cercului; mediatoarea corzii AD trece și ea prin O. Problema este rezolvată: construim triunghiurile dreptunghice $\triangle AA'I$ și $\triangle AA'M$, ducem MD perpendiculară pe $A'M$ și $\{D\} = AI \cap MD$. Mediatoarele lui AD și MD se întîlnesc în O. Cu o rază cît OA tăiem dreapta $A'M$ în B și C. **29.** Unghiurile $\sphericalangle M$ și $\sphericalangle M'$ (fig. S.0.14) sînt constante fiind „înscrise" în respectiv arce fixe, deci $\sphericalangle P$ este constant și „vede" segmentul TT' sub același unghi, și anume de 90°, $\sphericalangle M$ și $\sphericalangle M'$ fiind

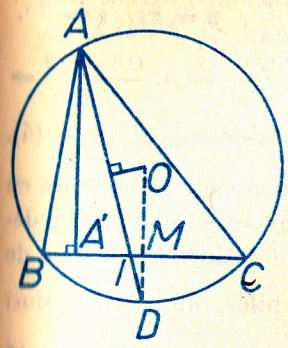


Fig. S.0.13

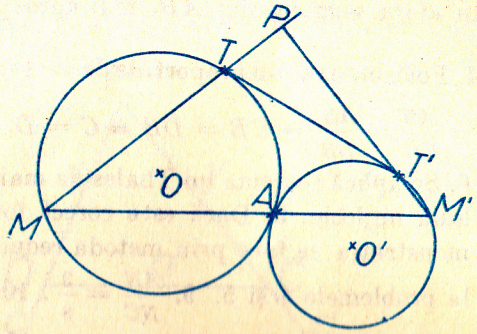
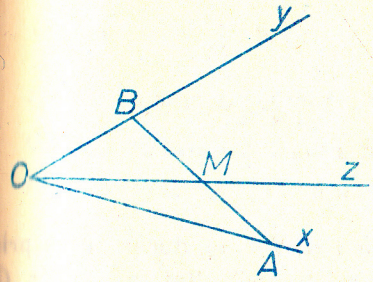


Fig. S.0.14

complementare. Soluția este deci un cerc de diametru TT'. **30.** Se construiește întîi un cerc de raza R în care se ia o coardă cu lungimea BC. Pe cercul de diametru BC se ia coarda BB'. Unim pe C cu B' și prelungim pînă taie cercul de rază R. Acolo se va găsi punctul A. Problema poate avea două soluții. **31.** Considerăm problema rezolvată. OM este axa mediană în OAB (fig. S.0.15). Punctele A și B sînt egal depărtate de OZ. De aici ni se sugerează



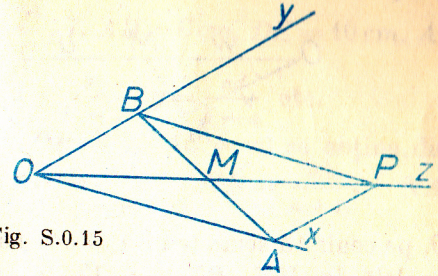


Fig. S.0.15

că trebuie să se găsească pe paralela la OX respectiv OY, egal depărtate de M. Deci luăm pe OZ segmentul $MP \equiv OM$, construim paralelogramul $AOBP$ de diagonală OP și punctele A și B sînt cele căutate.

32. *a)* În figura S.0.16, patrulaterul $TQMS$ este inscriptibil, avînd două unghiuri opuse drepte. Deci $\sphericalangle QTS = 60°$, T fiind pe bisectoare $TQ \equiv TS$. Deci avem de-a face cu un triunghi isoscel cu un unghi de 60°. *b)* Bisectoarea unghiului mobil $\triangle BMC$ trece prin mijlocul (fix) al arcului mare $\overset{\frown}{BC}$...

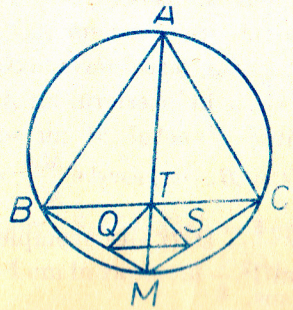


Fig. S.0.16

CAPITOLUL I

1 pag. 10-11

1. $AC = 25$ cm, $CB = 30$ cm. **2.** $CA = 275$ cm, $CB = 330$ cm (C se găsește în afara segmentului AB, mai aproape de A). **3.** $x = \frac{y}{z}$, $y = xz$, $z = \frac{y}{x}$.

4. Folosim una din proporțiile derivate: $\frac{CA}{CB} = \frac{DA}{DB} \Leftrightarrow \frac{CA + CB}{CB} = \frac{DA + DB}{DB} \Leftrightarrow$ $\Leftrightarrow \frac{AB}{CB} = \frac{AB}{DB} \Leftrightarrow CB = DB \Leftrightarrow C = D$. **5.** Raționament asemănător ca la (4). **6.** Se aplică teorema lui Thales de mai multe ori... **7.** Teoremele în legătură cu linia mijlocie. **8.** Dacă este corect formulată, reciproca este adevărată; demonstrația se face prin metoda reducerii la absurd și folosind rezultatele de la problemele 4 și 5. **9.** $\frac{AN}{NC} = \frac{3}{8}$. **10.** Se folosesc, de pildă, două triunghiuri congruente. **11.** Revedeți demonstrația teoremei lui Thales, care a fost făcută pe un caz particular. În loc de D_2 veți avea D_m, iar B ar juca rolul lui D_n. Evident, neparticularizînd, va trebui să apelați la un „șir de puncte", scriind de exemplu: „D_1, D_2,..., D_m", adică nu puteți să enumerați toate punctele. **12.** Cu notațiile din figura S.I.1 „purtăm", în continuare, pe aceeași semidreaptă segmentele de lungimi w și u ($OM = w$, $MA = u$) și, cu originea

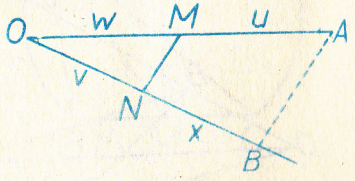


Fig. S.I.1.

tot în O, pe cealaltă semidreaptă, îl desenăm pe v ($ON = v$), ducem apoi prin A o paralelă la MN; $BN = x$. **13.** Nu putem „începe" dintr-un punct O, segmentul x trebuind să apară pe ambele laturi în poziții care nu-și corespund. Trebuie folosit un alt procedeu. **14.** Se folosește teorema lui Thales în $\triangle OA_1B_1$ și $\triangle OB_1C_1$ și apoi reciproca acesteia în $\triangle OA_1C_1$. **15-16.** Desenăm 6 segmente paralele la laturi, dacă punctul D nu este mijlocul lui BC, și 3 dacă $BD \equiv DC$. Se demonstrează folosind repetat teorema lui Thales și problema 4. **17.** Prelungim latura CA a triunghiului ABC cu segmentul $AM \equiv AB$. Ținînd seama că triunghiul AMB este isoscel, că $\sphericalangle BAC$ este unghi exterior triunghiului și că AD este bisectoare, obținem $AD \parallel MB$. Aplicăm acum teorema lui Thales în $\triangle MBC$. În cazul bisectoarei exterioare purtăm segmentul $AM \equiv AB$ astfel încît M să fie în interiorul lui AC (dacă $AB < AC$) etc... **18.** Procedeul este asemănător. Punctul M nu se găsește în interiorul unghiului, dar A rămîne între O și B. Se găsește $\frac{MA}{MC} = \frac{AB}{CD} \cdot \frac{OD}{OB}$. **19.** Se aplică teorema lui Thales. **20.** $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{6}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$. Dați alte exemple fără să amplificați sau să folosiți proporția de mai sus.

2 pag. 16-18

1. Cu notațiile din figura S.I.2. se aplică teorema fundamentală a asemănării în triunghiurile DAB și CAB și apoi teorema lui Thales în unul din triunghiurile DAC sau DBC; se obține $MP = NP$. **2.** Procedeu similar cu cel de la (1). **3.** Exprimînd două relații de asemănare unde figurează un raport

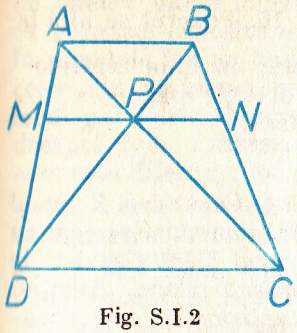


Fig. S.I.2

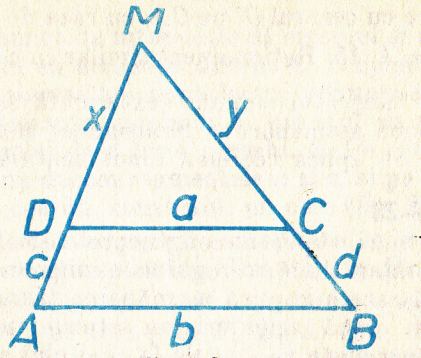


Fig. S.I.3

comun, se obține relația cerută. **4.** Unim, de pildă, una din extremitățile bazei mici cu mijlocul bazei mari; prin punctul unde această dreaptă intersectează diagonala ducem o paralelă la baze. **5.** Este în fond problema 1; se obține $x = \frac{ab}{a+b}$. **6.** $SO' = \frac{r(R+r)}{R-r}$. **7.** $AD = 6$ cm, $DE = 10$ cm, $AE = 12$ cm.

8. Cu notațiile din figura S.I.3, $x = \frac{ac}{b-a}$, $y = \frac{ad}{b-a}$ etc.

9. Cu notațiile din figura S.I.4. ($DB = m$, $AC = n$) se obține, din teorema fundamentală a asemănării: $ND = \frac{ma}{a+b}$, $NB = \frac{mb}{a+b}$, $NA = \frac{nb}{a+b}$, $NC = \frac{na}{a+b}$.

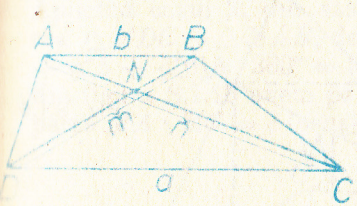


Fig. S.I.4

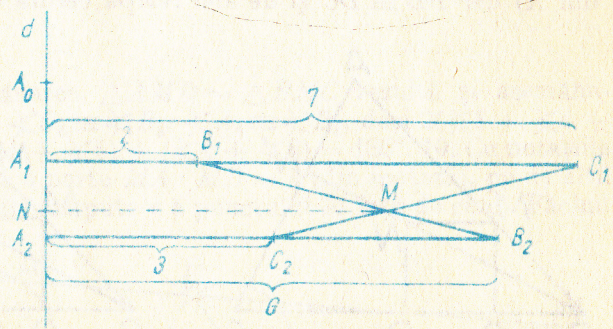


Fig. S.I.5

10. a. Folosim notațiile din figura S.I.5: $B_1C_1 = 5$ cm, $B_2C_2 = 3$ cm. Revine la a împărți segmentul $A_1A_2 = 1$ cm în raportul $\frac{5}{3}$. Din $A_0N = 1 + \frac{5}{8} = \frac{13}{8}$ (cm)

$A_0Q = \frac{41}{11}$ cm, $PQ = \frac{131}{11}$ cm.

11. $MO' = \frac{dr}{R-r}$ (O' fiind centrul cercului cu raza mai mică), $MO = \frac{dR}{R-r}$. **12.** Pentru tangenta comună interioară $MO' = \frac{dr}{R+r}$, $MO = \frac{dR}{R+r}$ (vezi procedeul analog de la problema 6). **13.** $MO = \frac{dR}{R-r}$, $MO' = \frac{dr}{R-r}$. **14.** Un cerc cu centrul O' pe OA, cu raza de k ori cît raza cercului dat, astfel încît $\frac{O'A}{OA} = k$. **15.** Raționament similar cu cel de la 14. **16.** Punctul se află la intersecția tangentei comune (exterioară sau interioară) cu linia centrelor. **17.** Prin două asemănări se „transpune" suma de rapoarte pe diagonala AC. **18.** 4. **19.** Se aplică teorema fundamentală a asemănării.

3. pag. 22-23

1. Au unghiuri respectiv congruente. **2.-3.** La fel cu 1. **4.** Cazul doi. **5.** Cazul 1. **6-7.** Formați două triunghiuri asemenea. **8.** Raportul ipotenuzelor egal cu cel a două catete implică asemănarea triunghiurilor (cazul 2). **9.** Cazul 1 de asemănare: două unghiuri au laturile respectiv perpendiculare. Atenție: această proprietate va fi utilă la capitolul arii! **10.** Se aplică problema precedentă. **11.** Din asemănarea triunghiurilor $\triangle PMC$ și $\triangle MNB$ rezultă: $\frac{PC}{NB} = \frac{MC}{MB}$ = constant, pentru că raportul dintre o latură a unui pătrat și diagonala sa este constant (ușor de demonstrat cu cazul 1). **12.** Construim un pătrat oarecare $MNPQ$ cu latura QP pe BC și M pe AB, unim B cu N și prelungim pînă la N' pe latura AC (fig. S.I.6). Ducem apoi $N'P' \perp BC$ etc. Pătratul căutat este $M'N'P'Q'$. **13. a.** Din congruența $\triangle PAD \equiv \triangle MAB$. **b.** Din asemănarea $\triangle ABE \sim \triangle AMQ$ (cazul 2). **c.** Se arată că $MB \perp PS$, și că patrulaterul convex $PATM$ e inscriptibil. **14.** a. Din congruența $\triangle ECB \equiv \triangle DCA$. b. Din a. rezultă $AGCB$ inscriptibil și de aici imediat b. c. Patrulaterul $CDEG$ inscriptibil (din a) etc. **15.** Am demonstrat că într-un triunghi, produsul dintre înălțime și latura pe care cade este constant. Deci $DQ \cdot AC = DC \cdot AA'$ (în $\triangle ADC$), $PD \cdot AB = BD \cdot AA'$ (în $\triangle ABD$), (A' fiind piciorul înălțimii din A) dar $BD \equiv DC$ și de aici relația cerută este imediată.

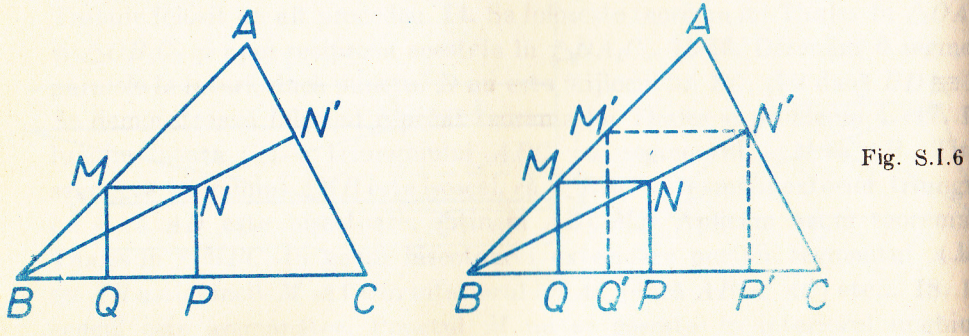


Fig. S.I.6

pag. 31-3

1. Comparăm în figura S.I.7 $\triangle PAT \sim \triangle PTB$ (cazul 1). **2.** Se aplică în ambele puterea punctului și se pune în evidență secanta comună. **3.** Se demonstrează că un punct care nu se găsește pe acea secantă comună are puteri diferite față

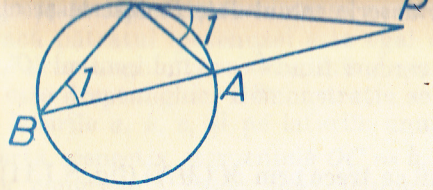


Fig. S.I.7

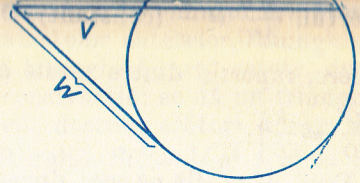


Fig. S.I.8

de cercuri, unind punctul cu un punct de intersecție al cercului și constatînd că punctele celelalte de intersecție cu cercurile diferă. **4.** Tangenta comună în punctele lor de tangență. **5.** Intersectăm două locuri geometrice de tipul celor din problema precedentă (secante comune) și punctul se găsește pe locul geometric corespunzător și celei de a treia perechi. **6.** Pe aceeași semidreaptă d, cu o extremitate comună ducem segmentele u și v, și pe segmentul care este diferența lor, luat drept coardă, construim un cerc (fig. S.I.8). Tangenta la acest cerc este $\sqrt{uv}$. În particular pentru comoditate, se ia coarda u-v ca diametru. **7.** Unim A cu B și prelungim pînă taie dreapta d în M. Construim $\rho = \sqrt{MA \cdot MB}$. Apoi luăm pe d segmentul $MP = \rho$, care se poate lua în două sensuri, și construim cercurile ce trec prin P, B, A. Sînt două, după cum am luat pe dreapta d punctul P de o parte sau de alta a lui M. Dacă $AB \parallel d$, atunci punctul P de tangență se obține ducînd mediatoarea segmentului AB, la intersecția ei cu d. Atunci soluția este unică. **8.** Comparăm triunghiul $\triangle MAD$ și $\triangle MCB$ și ținem seama că unghiurile opuse într-un patrulater inscriptibil sînt suplementare. **9.** Dacă $\sphericalangle A_1 \equiv \sphericalangle B_1$, pentru că $\sphericalangle AMD \equiv \sphericalangle BMC$, rezultă $\sphericalangle D_4 \equiv \sphericalangle C_4$ (fig. S.I.9).

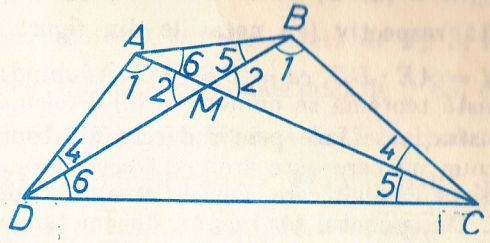


Fig. S.I.9

Aplicînd cazul 2, din asemănarea $\triangle AMD \sim \triangle BMC$ rezultă și asemănarea $\triangle MDC \sim \triangle MAB$, deci $\sphericalangle C_5 \equiv \sphericalangle B_5$, $\sphericalangle A_6 \equiv \sphericalangle D_6$, deci $2(\sphericalangle 1 + \sphericalangle 4 + \sphericalangle 5 + \sphericalangle 6) = 360° \Leftrightarrow (\sphericalangle 1 + \sphericalangle 5) + (\sphericalangle 4 + \sphericalangle 6) = 180°$. **10.** Cu notațiile din figura S.I.10 avem pe de o parte $MA \cdot MB = k$ (din ipoteză), pe de altă parte $MA \cdot MC = c$ (constant) (ca putere a punctului M față de cerc). Făcînd

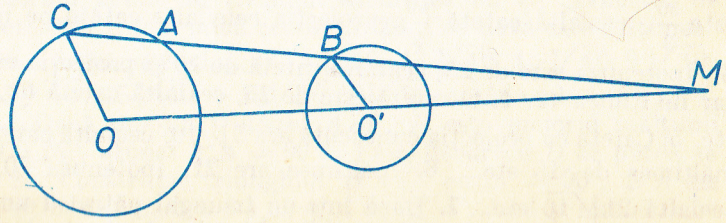
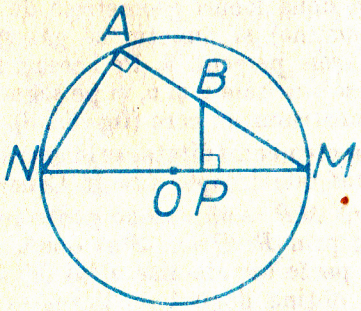


Fig. S.I.10

raportul, $\frac{MB}{MC} = \frac{k}{c}$ (constant). Deci dacă A descrie cercul dat, B descrie și el un cerc, raportul dintre razele celor două cercuri fiind $\frac{k}{c}$, avînd centrul O', $\left(\frac{MO'}{MO} = \frac{k}{c}\right)$.

11. Dacă M se află pe cerc, ducem diametrul ce trece prin M (MN) (fig. S.I.11) Punctul P astfel încît $MN \cdot MP = k$ va fi (din asemănarea $\triangle AMN \sim \triangle PMB$, cazul 2) piciorul perpendicularei din B pe diametru. P este fix, B mobil, deci descrie coarda perpendiculară pe MN.



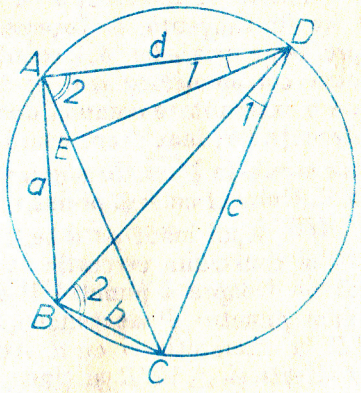


Fig. S.I.11

Fig. S.I.12

12. a) Pe latura AD construim unghiul $\sphericalangle EDA \equiv \sphericalangle CDB$, triunghiurile $\triangle EDA \sim \triangle CDB$ (x). b) Se observă că și $\triangle ADB \sim \triangle EDC$ (xx). c) Din (x), (xx) rezultă respectiv (cu notațiile din figura S.I.12) $\frac{d}{BD} = \frac{AE}{b}$, $\frac{c}{DB} = \frac{EC}{a}$ de unde $bd = AE \cdot BD$, $ca = DB \cdot EC$. Adunînd: $bd + ca = BD(AE + EC)$, q.e.d. Această teoremă se numește a lui Ptolemeu.

13. Demonstrația se face prin reducere la absurd.

14. Construim un cerc oarecare ce trece prin cele două puncte, astfel încît el să taie și pe celălalt cerc. Ducem secantele comune ale celor două perechi de cercuri. Din punctul lor comun ducem tangenta la cercul dat. Obținem astfel un al treilea punct (cel de tangentă). Cercul circumscris ultimului punct și celor date este cercul căutat. Construcția se simplifică dacă triunghiul format de centrul cercului dat și cele două puncte date este isoscel. Sînt două soluții.

6. pag. 37-38

1. 12, $\frac{60}{13}$, $\frac{25}{13}$, $\frac{144}{13}$. **2.** Proiecția catetei cunoscute pe ipotenuză este 6, ipotenuza este $\frac{50}{3}$, cealaltă catetă $\frac{40}{3}$, proiecția celeilalte catete pe ipotenuză este $\frac{32}{3}$. **3.** Ipotenuza este de 25, cealaltă catetă de 20 și proiecția ei pe ipotenuză 16, iar înălțimea 12. **4.** O catetă este de 26, cealaltă catetă 62,4, ipotenuza 67,6 etc. **5.** Cateta cu proiecția cunoscută are $5\sqrt{10}$, cealaltă catetă este de $15\sqrt{10}$, înălțimea de 15 etc... **6.** Înălțimea are 21, ipotenuza 70, o catetă $7\sqrt{10}$, cealaltă $21\sqrt{10}$ etc... **7.** Dacă într-un triunghi pătratul unei laturi este egal cu suma pătratelor celorlalte două laturi, triunghiul este dreptunghic. Atenție:

o greșeală tipică în formularea acestei reciproce se face în enunțul următor: „Dacă pătratul ipotenuzei este egal cu suma pătratelor catetelor, triunghiul este dreptunghic". Or, am admis de la început că triunghiul „are" catete, deci că este dreptunghic. Demonstrația se face prin construcție: se dă un triunghi cu laturile a, b, c, și pe laturile unui unghi drept desenat alături $\sphericalangle xoy$, se poartă respectiv segmentele $OC = b$, $OB = c$. Rezultă $BC = \sqrt{b^2 + c^2} = a$. Din congruența celor două triunghiuri rezultă adevărul afirmației. **8.** În figura S.I.13, folosind notațiile ei: $c^2 = xa$, $b^2 = a(a - x)$, adunînd obținem $c^2 + b^2 = a(x + a - x) = a^2$.

9. În $\triangle ABC$ cu $\sphericalangle A = 90°$ luăm pe ipotenuza BC punctele $D \neq E$ astfel ca $BD \equiv BE \equiv BA$, D fiind între B și C (este ca și cum am fi dus cercul

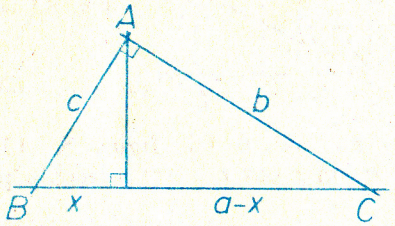


Fig. S.I.13

de centru B și de rază BA...). Cu ajutorul triunghiurilor isoscele BAE, BAD și cu $\sphericalangle A = 90°$ arătăm că $\sphericalangle E = \sphericalangle DAC = \frac{1}{2}\sphericalangle ABC$ (de fapt am redemonstrat pe figura noastră teorema asupra unghiului înscris). Avem $\triangle ACD \sim \triangle ECA$, $\frac{AC}{CE} = \frac{CD}{AC}$. $AC^2 = (CB + BE)(CB - BD)$ etc. **10.** $a\sqrt{2}$. **11.** $2\sqrt{3}$. **12.** $2\sqrt{2}$ ambele. **13.** Ipotenuza este de 10, cealaltă catetă de $5\sqrt{3}$, înălțimea de $5\frac{\sqrt{3}}{2}$ etc... **14.** Latura „oblică" este de 5, diagonala mică de $\sqrt{65}$, diagonala mare $2\sqrt{29}$. **15.** Există două posibilități: a) înălțimea de $2\sqrt{26}$, cealaltă diagonală de $3\sqrt{17}$, latura „oblică" $2\sqrt{30}$; b) înălțimea de $4\sqrt{11}$, cealaltă diagonală $3\sqrt{33}$, latura „oblică" $8\sqrt{3}$. **16.** $2\sqrt{21}$. **17.** $8\sqrt{21}/5$. **18.** $d = \sqrt{209}$. **19.** Ducînd prin punctul M o secantă ce trece și prin centrul O, deducem că puterea lui M față de cerc este $OM^2 - R^2$. Ea este minimă dacă $OM = 0$ deci cînd punctul este în centru, caz în care puterea este $-R^2$. **20.** $\sqrt{55}$. **21.** $2\sqrt{Rr}$. **22.** $\sqrt{391}$. $\sqrt{231}$. **23.** Folosind teorema înălțimii într-un triunghi dreptunghic, sau, caz general, folosind puterea punctului într-un cerc unde se poate duce o coardă de $u + v$. **24.** Considerînd triunghiul de catete 3 și 4, ipotenuza este 5, proiecțiile catetelor pe ipotenuză sînt 16/5, 9/5, iar înălțimea 12/5 (vezi problema rezolvată 1). Considerăm acum un triunghi asemenea cu el, „raportul de asemănare" fiind 5 etc. **25.** E mai mică cea dată. **26.** Cea dată este „lățimea" adică latura mai mică a dreptunghiului. **27.** $5\sqrt{10}$, $13\sqrt{10}$, $15\sqrt{10}$, $9\sqrt{10}$; 48 și 40; $48 \cdot 40 = 5\sqrt{10} \cdot 15\sqrt{10} + 13\sqrt{10} \cdot 9\sqrt{10}$ sau $48 \cdot 40 = (5 \cdot 15 + 13 \cdot 9)10$ etc. **28.** „Dacă într-un triunghi ABC, D este piciorul înălțimii din A și $AD^2 = BD \cdot DC$, atunci $\sphericalangle A = 90°$". Fals, deoarece D ar putea să nu fie între B și C. **29.** Construim triunghiul $B'A'C'$ cu $A' = 90°$, $B'A' \equiv BA$, $C'A' \equiv CA$. Știm din clasa a 6-a, că $\sphericalangle A < \sphericalangle A'$, dacă și numai dacă $BC < B'C'$ etc.

1. $\sin x < \sin y$. Considerăm un sfert de cerc unde $\widehat{AOB} = x$ și $\widehat{AOC} = y$ (O este centrul cercului (fig. S.I.14). Evident $CC' > BB'$ (jumătate din coardă mai apropiată de centru) $\sin x = \frac{BB'}{R}$, $\sin y = \frac{CC'}{R}$ (unde R este raza cercului). Fracțiile au același numitor și este mai mare cea cu numărătorul mai mare. **2.** Raționament similar cu cel precedent, se obține $\cos x > \cos y$. **3.** Sinusul crește mai repede în zona valorilor mici. **4.** $x = 45°$. **5.** Din tabel $53° < x < 54°$; din tabel $33° < 90° - x < 34°$. **6.** Din figura S.I.15 rezultă pe lîngă cele notate că înălțimea este $a \sin x \cos x$, iar proiecțiile pe ipotenuză sînt $a \cdot \sin^2 x$ și $a \cdot \cos^2 x$.

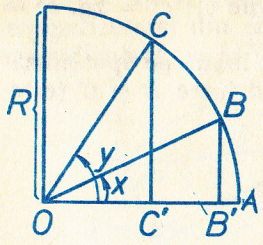


Fig. S.I.14

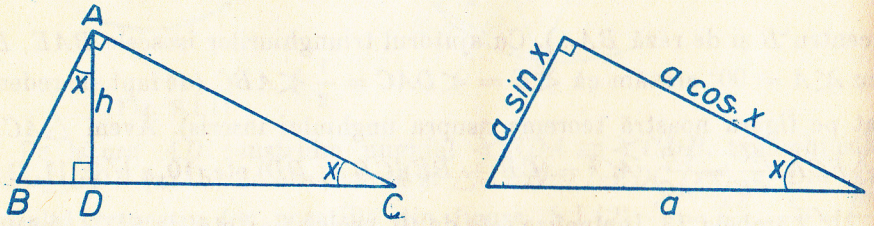


Fig. S.I.15

7. Privind figura S.I.15, $AC = \frac{h}{\sin x}$, $AB = \frac{h}{\cos x}$, $BD = h \cdot \operatorname{tg} x$, $DC = h \cdot \operatorname{ctg} x$, unde numim tangenta unghiului x (notat $\operatorname{tg} x$) raportul dintre cateta opusă lui și cealaltă catetă, și constatăm că $\operatorname{tg} x = \frac{\sin x}{\cos x}$, iar cotangenta unui unghi (notată cu $\operatorname{ctg} x$) numim raportul dintre cateta alăturată și cealaltă catetă; se verifică ușor că $\operatorname{ctg} x = \frac{\cos x}{\sin x}$. **8.** Cu notațiile din figura S.I.16

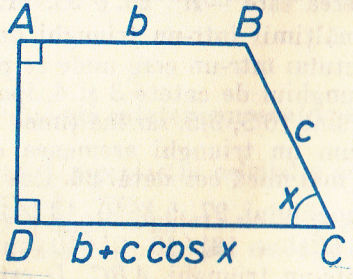


Fig. S.I.16

$DC = b + c \cdot \cos x$, $AD = c \cdot \sin x$, $BD = \sqrt{b^2 + c^2 \sin^2 x}$, $AC = \sqrt{c^2 \sin^2 x + (b + c \cdot \cos x)^2}$.

9. $2R \cdot \sin \frac{x}{2}$. **10.** Baza este $2a \cdot \cos x$; înălțimea corespunzătoare bazei este $a \cdot \sin x$, fiecare din celelalte înălțimi este $2a \cdot \sin x \cdot \cos x$. **11.** $\sin \frac{x}{2} = \frac{a}{2b}$ (fig. S.I.17). **12.** $\operatorname{tg} \frac{x}{2} = \frac{b}{a}$ (fig. S.I.18).

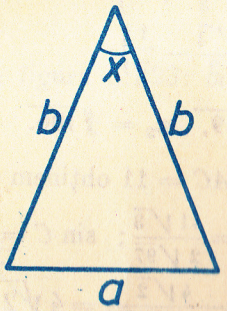


Fig. S.I.17

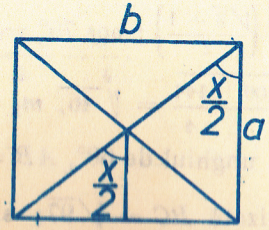


Fig. S.I.18

13. $\sin \frac{x}{2} = \frac{2}{15}$ (fig. S.I.19). **14.** $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{R - r}{d}$, $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{R + r}{d}$ (condițiile $R \pm r < d$ duc la existența tangentelor).

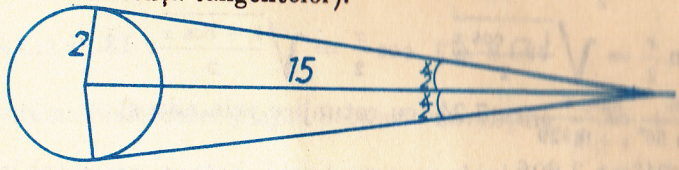


Fig. S.I.19

15. $\cos \alpha = \frac{d}{R}$ (fig. S.I.20).

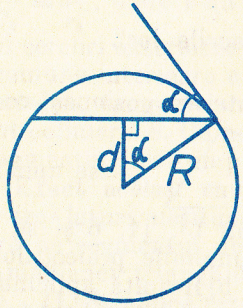


Fig. S.I.20

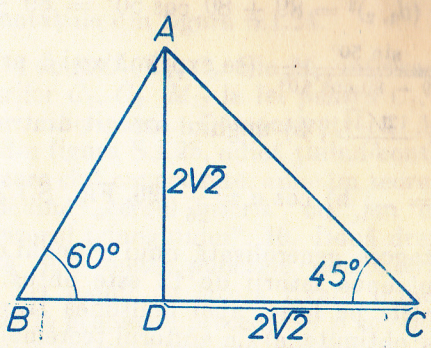


Fig. S.I.21

16. $BF = a \cdot \cos^4 x$, $AF = \sqrt{(a \cdot \cos x \cdot \sin x)^2 + (a \cdot \cos^2 x - a \cdot \cos^4 x)^2} = a \cdot \sin x \cdot \cos x \sqrt{1 + \sin^2 x \cdot \cos^2 x}$.

8. pag. 50-51

1. $[-1, 1]$ fiecare valoare o singură dată ! **2.** $[0, 1]$ în afară de capete, fiecare valoare de două ori ! **3.** $x \simeq 41° \ldots$, $x \simeq 113°$, $\cos x = 1{,}6$ imposibil; $x \simeq 23° \ldots$, $\sin x = -0{,}34$ deocamdată este imposibil, $\sin x = 2$ imposibil. **4.** Se folosește teorema lui Pitagora. **5.** $\sin(90° + x) = \cos x$, $\cos(90° + x) = -\sin x$. **6.** Nu.

$-0{,}423 - 0{,}466) \simeq 7{,}09$.

8. a) $AD = 2\sqrt{2}$, $DC = 2\sqrt{2}$, $BD = 2\sqrt{\frac{2}{3}} = \frac{2\sqrt{6}}{3}$, $AB = \frac{4\sqrt{6}}{3}$.

$BC = BD + DC = \frac{2\sqrt{6}}{3} + 2\sqrt{2} = 2\sqrt{2}\left(\frac{\sqrt{3}}{3} + 1\right)$ (fig. S.I.21).

b) $\sin 75° = \frac{\sqrt{2}}{2}\left(\frac{\sqrt{3}+1}{2}\right)$; $\cos 75° = \frac{\sqrt{2}}{2}\left(\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2}\right)$.

9. $m_1 = \sqrt{\frac{64 + 100}{2} - \frac{144}{4}} = \sqrt{46}$, $m_2 = \sqrt{79}$, $m_3 = \sqrt{106}$.

10. Notînd cu A unghiul de 60°, $AB = 8$, $AC = 11$ obținem din teorema lui Pitagora generalizată $BC = \sqrt{97}$; $\sin B = \frac{11\sqrt{3}}{2\sqrt{97}}$; $\sin C = \frac{4\sqrt{3}}{\sqrt{97}}$ (B și C se vor calcula din tabele). **11.** $8\sqrt{2-\sqrt{2}}$, $\frac{4\sqrt{2}}{\sqrt{2-\sqrt{2}}} = 4\sqrt{2+\sqrt{2}}$;

$\sin 22°30' = \frac{\sqrt{2-\sqrt{2}}}{2}$, $\cos 22°30' = \frac{\sqrt{2+\sqrt{2}}}{2}$; **12.** $16 \sin \frac{x}{2}$, $8\cos\frac{x}{2}$, $\sin\frac{x}{2} = \sqrt{\frac{1-\cos x}{2}}$, $\cos\frac{x}{2} = \sqrt{\frac{1+\cos x}{2}}$. **13.** 6.

14. $R = \frac{6}{\sin 56°} \simeq \frac{6}{0{,}829} \simeq 7{,}24$ (cu rotunjire prin adaos).

15. $r = 6 \operatorname{tg} 31° \simeq 3{,}606$

16. $\frac{14\sqrt{111}}{11}$

17. a) $(d_{1,2})^2 = 89 \pm 80 \cos 50° = 89 \pm 80 \sin 40°$. b) $\frac{\sin\alpha}{5} = \frac{\sin\beta}{8} = \frac{\sin 50°}{\sqrt{89 - 80\cos 50°}}$ (se exprimă α și β prin sinusurile lor).

18. a) $\frac{12\sqrt{14}}{5}$, b) unghiul ascuțit dintre tangente are cosinusul $\cos\alpha = \frac{25}{39}$.

19. $a = \ldots$; b) $\cos a = \frac{25}{26}$. **20.** Fig. S.I.22 — se aplică teorema lui Pitagora generalizată unui triunghi cu laturile 13, 11, 6 și se obține că unghiul opus laturii de 13 este obtuz. Din lungimile proiecțiilor laturilor neparalele pe baze, apoi înălțimea trapezului. b) Rezultă aplicînd Pitagora datelor obținute. c) Cu ajutorul teoremei lui Pitagora generalizată, din același triunghi. d) din triunghiurile dreptunghice din care am calculat diagonalele se deduc și unghiurile dintre diagonale și baze etc. e) Utilizînd suma unghiurilor într-un triunghi. **21.** Diagonala nu poate forma un triunghi împreună cu laturile de 4 și 6, deci ea formează un triunghi împreună cu baza de 16 și latura de 6. Cum $12 < 16$, latura de 6 nu poate forma unghi obtuz cu baza mare. Din teorema lui Pitagora generalizată, proiecția diagonalei de 12 pe baza mare este $11\frac{3}{8} > 4$, deci trapezul este ca în prima figură. Se continuă într-un mod asemănător cu problema 20. **22.** Sînt două soluții după cum acele capete sînt de părți diferite sau de aceeași parte a dreptei: $\sqrt{4^2 + (7 \pm 5)^2}$.

23. În $\triangle ABD$, $\triangle BCD$ se calculează (M și N fiind proiecțiile lui A, C pe BD) BM, BN și apoi AM, CN (teorema lui Pitagora generalizată, apoi teorema lui Pitagora). Se aplică problema 22. **24.** Se folosește problema rezolvată (3) în cele 4 triunghiuri formate din cîte o diagonală și cîte două laturi...; la sfîrșit se folosește suma unghiurilor într-un triunghi. **25.** După cum $\sphericalangle B + \sphericalangle D$ este $>$, $=$ sau $<$ decît 180°.

pag. 56-57

1. Cu notațiile din figura S.I.23: $m^2 = \frac{b^2+c^2}{2} - \frac{a^2}{4}$.

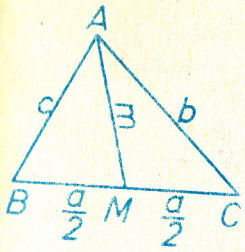


Fig. S.I.23

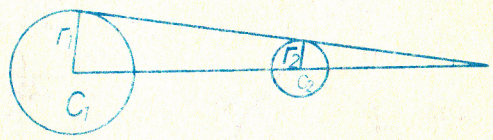


Fig. S.I.24

2. Se aplică teorema bisectoarei și apoi Stewart. Se obține: $\frac{c^2ab}{b+c} + \frac{b^2ac}{b+c} - i^2a = \frac{a^2bc}{b+c}$ și de aici se scoate i, bisectoarea unghiului **A**... **4-5.** Enunțarea reciprocei nu ridică dificultăți, demonstrarea ei se face prin reducerea la absurd. **6.** Se aplică teorema lui Menelaos în $\triangle C_1C_2C_3$, ținînd seama că raportul segmentelor $\frac{MC_1}{MC_2} = \frac{r_1}{r_2}$, unde s-au folosit notațiile din figura S.I.24.

7. Se dau trei cercuri exterioare două cîte două C_1, C_2, C_3. Fie M_{12} intersecția tangentelor comune interioare ale cercurilor C_1, C_2, M_{13} la fel pentru C_1, C_3 iar M_{23} intersecția tangentelor comune exterioare... Demonstrați că M_{12}, M_{13}, M_{23}* sînt coliniare. **8.** Cu notațiile din figura S.I.25, adică ținînd cont de tangentele (segmente) dintr-un punct la care sînt congruente, aplicăm teorema lui Ceva. **9.** Exact același enunț, înlocuind „cercul înscris" cu „un cerc tangent celor trei laturi, nesituat în interiorul triunghiului". **10.** Două drepte perpendiculare pe segmentul de dreaptă care unește punctele, demonstrînd că proiecția medianei triunghiului cu vîrf mobil pe latura fixată, rămîne mereu aceeași... **11.** Se aplică rezultatul de la problema precedentă și se obține o dreaptă perpendiculară pe linia centrelor (această dreaptă se numește axă radicală). **12.** Axele radicale ale celor trei perechi de cercuri, ce se pot forma cu trei cercuri C_1, C_2, C_3 ce n-au centrele coliniare sînt concurente (sau coincid toate trei). Demonstrația pe baza problemei 11, la fel ca la concurența mediatoarelor în triunghi. **13.** Avem $\frac{MB}{MC}\cdot\frac{NC}{NA}\cdot\frac{PA}{PB} = 1$ (Ceva), $\frac{M'C}{M'B} = \frac{MB}{MC}$ etc.

14. $BD^2 = MB^2 - MD^2$. Se scriu alte asemenea 5 relații; se înlocuiesc în relația de demonstrat și se obține o identitate. Reciproca: dacă punctele D, E, F situate pe laturile BC, CA, AB ale unui triunghi satisfac din enunț, atunci perpendicularele ridicate în acele puncte pe laturile respective sînt concurente. *Demonstrație.* Fie M intersecția celor din D, E și F' piciorul per-

pendicularei din M pe AB. Folosind și teorema directă deducem că $FA^2 - FB^2 = F'A^2 - F'B^2$. Să presupunem că ambii membri sînt pozitivi, deci că F, F' sînt de aceeași parte a mijlocului X a lui AB ca și B. Avem $FA^2 - FB^2 = (FX - XA)^2 - (FX - XB)^2 = 2FX \cdot XA$ și deci rezultă $FX = F'X$; ținînd seama de poziție, $F = F'$. Dacă ați dat alt „final de soluție" atenție la situația în care nu ambele puncte F, F' sînt între A și B. **15.** Folosiți problema 1: un cerc cu centrul în mijlocul X al lui AB, sau mulțimea formată numai din X.

16. $XA \equiv XZ$ $XA^2 = XZ^2$, $XY^2 + AY^2 = XZ^2$
$YX^2 + (AT - AS)^2 = (XT + AS)^2$
$XY^2 = 2XT \cdot 4AS$
$AS = SS' = TZ$ (fig. S.I.26).

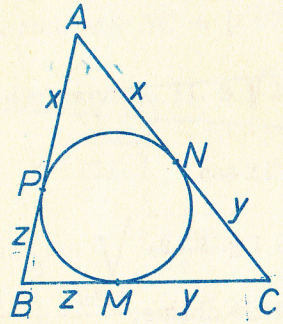


Fig. S.I.25

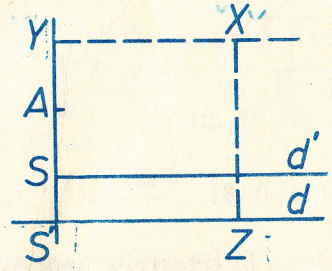
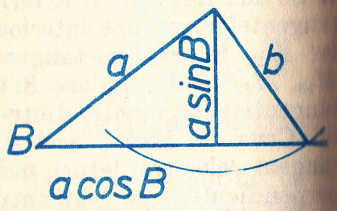


Fig. S.I.26

17. (Figura S.I.27)

Fig. S.I.27

0 soluție dacă $B \geqslant 90°$, $b \leqslant a$
1 soluție dacă $B > 90°$, $b > a$
0 soluție dacă $B < 90°$, $b < a \cdot \sin B$
1 soluție dacă $B < 90°$, $b = a \cdot \sin B$
2 soluții dacă $B < 90°$, $a \cdot \sin B < b < a$
1 soluție dacă $B < 90°$, $b \geqslant a$



$c = a \cdot \cos B \pm \sqrt{b^2 - a^2 \sin^2 B}$ unde semnul — apare numai dacă sînt 2 soluții.

CAPITOLUL II

10. pag. 61-62

1. Semiprodusul catetelor. **2.** $S = \frac{a^2}{2}$. **3.** $S = \frac{a^2\sqrt{3}}{4}$. **4.** a) $S = \frac{ab \cdot \sin C}{2}$,
b) Raportul produselor laturilor care formează unghiurile congruente. **5.** $S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$, unde $p = \frac{a+b+c}{2}$ și a, b, c laturile triunghiului.

6. $S_{ABC} = S_{ABE} + S_{BCE} = (S_{ADE} + S_{BDE}) + S_{BCE}$ (se aplică de două ori proprietatea de aditivitate). **7.** Se prelungește AM pînă taie BC în N. Avem $S_{ABC} = S_{ABN} + S_{ANC} = (S_{ABM} + S_{BMN}) + (S_{CMN} + S_{CMA})$ și apoi $S_{MBC} = S_{MNB} + S_{MNC}$ (de trei ori aditivitatea). **8.** Unul din triunghiuri are aceeași arie cu un altul care împreună cu al doilea triunghi din enunț completează paralelogramul. **9.** Se ține cont că mediana împarte un triunghi în alte două triunghiuri de aceeași arie. **10.** Cu notațiile din figura S.II.1 (i este bisectoarea

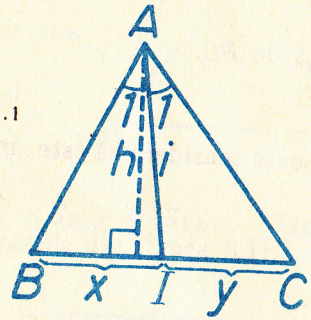


Fig. S.II.1

lui A) exprimăm în două moduri raportul ariilor:

$$\frac{S_{ABI}}{S_{ACI}} = \frac{xh}{yh} = \frac{bi \cdot \sin\frac{A}{2}}{ci \cdot \sin\frac{A}{2}}.$$

Prin simplificare obținem relația cerută de teorema bisectoarei.

11. $\frac{FB}{FC} = \frac{S_{AFB}}{S_{AFC}} = \frac{AB \cdot AF \cdot \sin x}{AC \cdot AF \cdot \sin y} = \frac{AB^2}{AC^2} \cdot \frac{AC \cdot AD \cdot \sin x}{AB \cdot AD \cdot \sin y} = \frac{AB^2 S_{ACD}}{AC^2 S_{ABD}} = \left(\frac{AB}{AC}\right)^2$.

12. Reciproca teoremei lui Ceva, folosind 11. **13.** Suma distanțelor este $\frac{a\sqrt{3}}{2}$, alt înălțimea triunghiului echilateral (a este latura lui). **14.** (Figura S.II.2)

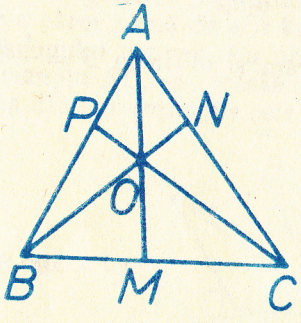


Fig. S.II.2

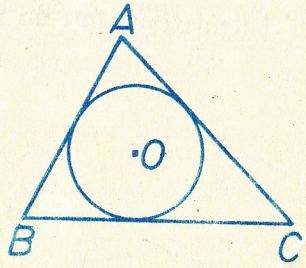


Fig. S.II.3

$\frac{S_{AOB}}{S_{AOC}} = \frac{BM}{MC}$, $\frac{S_{BOC}}{S_{AOB}} = \frac{CN}{NA}$, $\frac{S_{AOC}}{S_{BOC}} = \frac{AP}{PB}$ având bazele AO, BO, CO respectiv comune. Egalînd produsul membrilor din stînga cu cel al membrilor din dreapta, obținem relația căutată.

15. Fie ABC, $A'B'C'$ și D, D' picioarele înălțimilor din A, A'. Avem $\triangle ABD \sim \triangle A'B'C'$, deci $\frac{AD}{A'D'} = \frac{AB}{A'B'} = \frac{BC}{B'C'}$ și $\frac{S_{ABC}}{S_{A'B'C'}} = \frac{BC \cdot AD}{B'C' \cdot A'D'} = \left(\frac{BC}{B'C'}\right)^2$.

16. Fig. S.II.3) $S_{ABC} = S_{AOB} + S_{BOC} + S_{AOC} = \frac{1}{2} AB \cdot R + \frac{1}{2} BC \cdot R + \frac{1}{2} CA \cdot R = \frac{1}{2} (AB + BC + CA) R$ etc.

17. $\frac{S_{ABN}}{S_{AMN}} = \frac{AB}{AM}$, $\frac{S_{ABC}}{S_{ABN}} = \frac{AC}{AN}$, teorema lui Thales etc.

18. Evident: $\frac{1}{2} ah = \frac{1}{2} ah$.

19. Două paralele echidistante față de BC.

11. pag. 64-66

1. $\sqrt{5}$ cm. **2.** $\frac{1}{2} d_1 d_2$. Sau se mai poate considera că este „inscriptibil" într-un dreptunghi (fig. S.II.4)

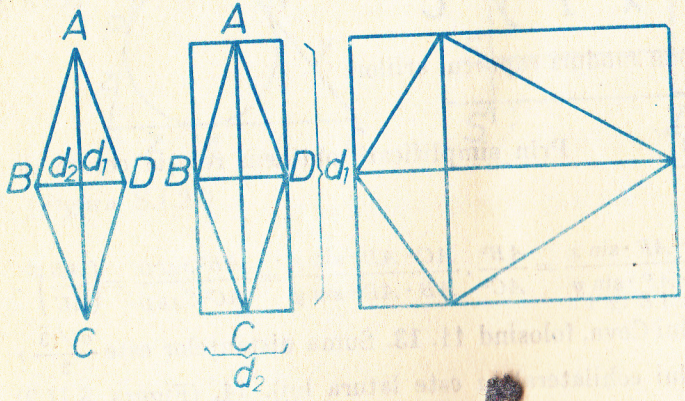


Fig. S.II.4

3. Procedeu identic cu cel de la romb: $S = \frac{1}{2} d_1 d_2$.

4. Înscriem patrulaterul într-un paralelogram și obținem $S = \frac{1}{2} d_1 d_2 \sin \alpha$ (fig. S.II.5)

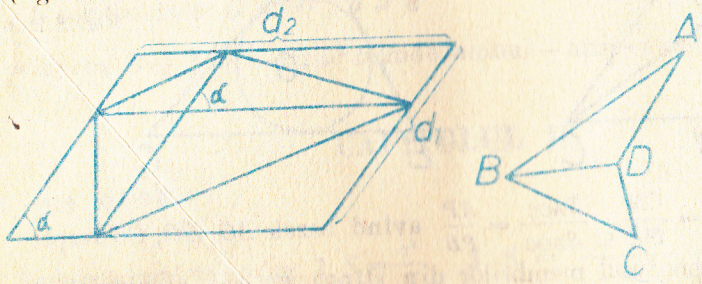


Fig. S.II.5

5. $S = S_{BAC} - S_{DAC}$ (fig. S.II.5). **6.** a) Una din descompuneri este cea din figura S.II.5. Ducem prin A și C paralele la BD și notăm cu h distanța dintre ele. $S = \frac{1}{2} BD \cdot h$. b) Alte două descompuneri le obținem fie prelungind AD până taie CB în M, fie prelungind CD până taie AB în N. Scriem: $S_{ABM} + S_{MDC} = S_{ABD} + S_{BMD} + S_{DMC} = S_{ABD} + S_{BDC}$.

7. Cu notațiile din figura S.II.6 putem descompune patrulaterul $EBCD$ ducînd diagonala BD. Deci:

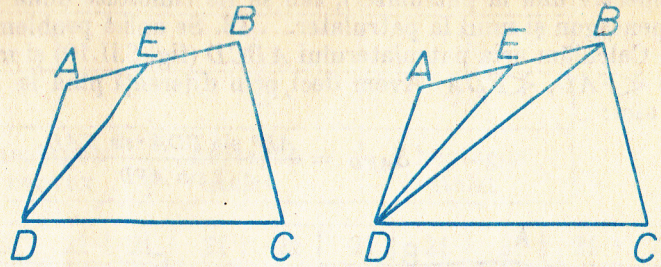


Fig. S.II.6

$S_{EBDC} + S_{AED} = S_{BDC} + (S_{EBD} + S_{AED}) = S_{BDC} + S_{ABD}$ q.e.d.

8. Cu notațiile din figura S.II.7

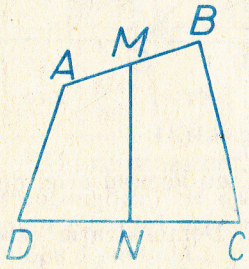


Fig. S.II.7

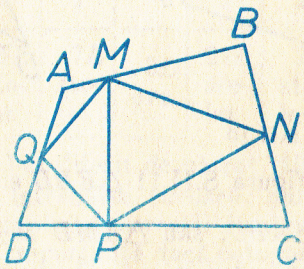


Fig. S.II.8

$S_{AMND} + S_{BMNC} = S_{AMND} + S_{MNC} + S_{MCB} = S_{AMCD} + S_{MCB} = S_{ABCD}$.

9. Ducem o diagonală a lui $MNPQ$ de pildă MP și se ajunge la problema precedentă (fig. S.II.8).

10. Lemă: Fie $ABCDE$ un pentagon convex (fig. S.II.9). Atunci oricum am duce o diagonală, „descompunem" pentagonul într-un triunghi și un patrulater a căror sumă de arii este constantă. Această constantă se va numi aria pentagonului convex. Cu notațiile din figură, după ce am dus o diagonală, de exemplu EC, să cercetăm $S_{EDC} + S_{ABCD}$. a) Mai ducem o diagonală dintr-una din extremitățile celei deja duse, de exemplu EB.

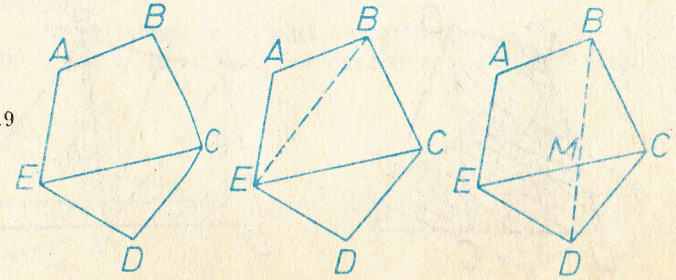


Fig. S.II.9

Avem $S_{EDC} + S_{ABCE} = S_{EDC} + S_{ECB} + S_{EBA} = S_{EDCB} + S_{ABE}$. În acest caz lema este demonstrată. b) Dacă ducem o diagonală care nu are ca extremități pe E sau C, de exemplu BD, avem:
$S_{ABCE} + S_{CED} = S_{ABME} + S_{BMC} + S_{MCD} + S_{MDE} = S_{ABDE} + S_{BDC}$ q.e.d.

11. Nu putem determina aria; contraexemplu; un dreptunghi cu lungimea a și lățimea b are aria ab. Un paralelogram cu o latură a și alta b, dar cu un unghi între ele α, ($\alpha \neq 90°$), are ca arie $a \cdot b \cdot \sin\alpha < a \cdot b$. **12.** Dacă se cunosc toate laturile: trebuie duse dintr-un vîrf sau două diagonale la pentagon (respectiv una la patrulater), sau să fie cunoscute două unghiuri consecutive la pentagon și unul la patrulater.... **13.** Se aplică problema precedentă.

14. Calculăm aria patrulaterului $ABCD$ (fig. S.II.10) și mai măsurăm unghiurile $\sphericalangle FAD$, $\sphericalangle FDA$. Avem deci, prin diferență pînă la 180°, și pe $\sphericalangle AFD$ și de aici:

$$S_{AFD} = \frac{AD^2 \sin FDA \cdot \sin FAD}{2 \sin AFD}$$

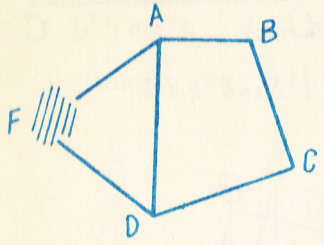


Fig. S.II.10

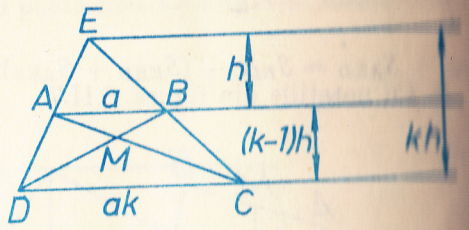


Fig. S.II.11

15. $\frac{1}{5}$. **16.** În figura S.II.11 $\triangle EBD$ și $\triangle EAC$ au aceeași arie, de asemenea și $\triangle ABD$ și $\triangle ABC$, sau $\triangle AMD$ și $\triangle BMC$. Demonstrația este imediată $S_{trap} = \frac{1}{2} ah(k^2 - 1)$, $S_{AEB} = \frac{1}{2} ah$, $S_{EAC} = \frac{1}{2} akh$, $S_{ABC} = \frac{1}{2} ah(k - 1)$ și rapoartele ultimelor trei arii cu aria trapezului vor fi: $1/(k^2 - 1)$, $k/(k^2 - 1)$, $1/(k + 1)$. Rămîne de exprimat în funcție de a, k, h ariile $\triangle AMB$, $\triangle CMD$ care se obțin din asemănarea lor cunoscînd suma înălțimilor lor.

18. Ducem dintr-unul din vîrfurile B sau C (de pildă din B), paralela la diagonala ce nu trece prin acest vîrf ($BE \parallel AC$) (fig. S.II.12). $S_{ABD} = S_{ABC}$

19. Cu notațiile din figura S.II.13 (M mijlocul lui AB, N al lui DC) $S_{ADN} = S_{BMN}$. Dacă și $S_{ADN} = S_{BNC}$ cum rezultă din ipoteză, atunci perpendicularele $h_1 = h_2$ și problema este rezolvată.

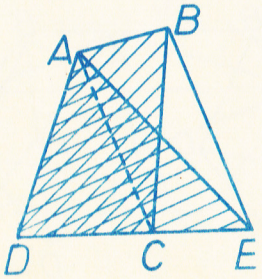


Fig. S.II.12

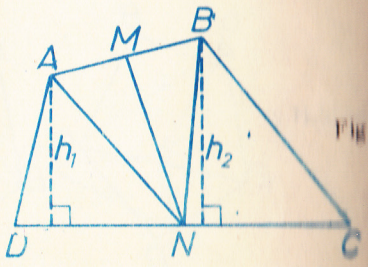


Fig. S.II.13

1. $x = \frac{a}{3}$. **2.** $x = \frac{a}{\sqrt{2}+1} = a(\sqrt{2} - 1)$ (am raționalizat numitorul amplificînd cînd fracția cu $\sqrt{2} - 1$) **3.** $a_n = \sqrt{R^2 - \frac{l_n^2}{4}} = \frac{1}{2}(\sqrt{4R^2 - l_n^2})$ **4.** $l_4 = R\sqrt{2}$, $l_8 = R\sqrt{2 - \sqrt{2}}$. **5.** Poligon regulat cu 12 laturi (laturi congruente). **6.** Facem tabelul din care rezultă două tipuri de heptagoane stelate:

n	7	7	7
k	1	2	3
f	7	7/2	7/3
	heptagon convex	heptagon stelat	heptagon stelat

n	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
f	21	$\frac{21}{2}$	7	$\frac{21}{4}$	$\frac{21}{5}$	$\frac{7}{2}$	3	$\frac{21}{3}$	$\frac{7}{3}$	$\frac{21}{10}$	$\frac{21}{11}$
	$21L$ cvx	$21L$ stelat	$7L$ cvx	$21L$ stelat	$21L$ stelat	$7L$ stelat	$3L$ cvx	$21L$ stelat	$7L$ stelat	$21L$ stelat	$21L$ stelat

7. 150°. **9.** NU ! contraexemplu: rombul diferit de pătrat. **10.** NU ! Contraexemplu: dreptunghiul. Se ajunge la întrebarea firească: oare pentru orice $n \geq 4$ se poate construi un contraexemplu? Încercați! Pentru a doua întrebare puteți duce o paralelă... **11.** N-are importanță dacă octogonul este regulat sau nu. **12...** Triunghiurile fiind congruente avînd laturile respectiv congruente, sînt congruente și înălțimile...

13 pag. 80-81

a) $\frac{R^2(2\pi - 5\sqrt{3})}{12}$

b) $R^2\left(\frac{3\pi}{5} - \frac{\sqrt{3}}{4}\right)$

c) Se află aria „întregii" figuri, adică se adună aria triunghiului cu aria semicercurilor desenate pe catete. Din această sumă se scade aria semicercului desenat pe ipotenuză.

d) Unghiurile de lîngă latura de 15 sînt ascuțite (fig. S.II.15). Aria căutată este suma ariilor celor două sectoare din care se scade dublul ariei triunghiului.

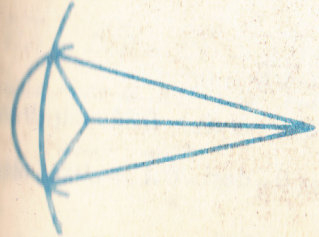


Fig. S.II.14

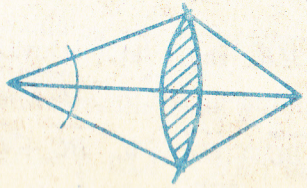


Fig. S.II.15

necesare.

5. Figura S.II.14 și aria căutată este aria sectorului din cercul mic plus aria sectorului din cercul mare minus dublul ariei triunghiului format de cele două raze și linia centrelor. 6. Aria trapezului minus suma ariilor celor 2 sectoare (fig. S.II.16).

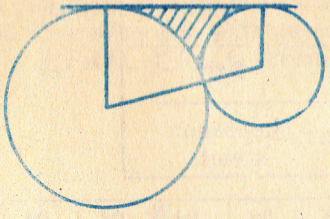


Fig. S.II.16

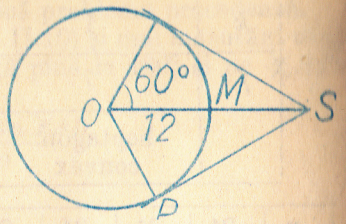


Fig. S.II.17

7. $S = \frac{3a^2\sqrt{3}}{2}$

8. În figura S.II.17 $\sphericalangle O = 60°$, $TS = SP = 6\sqrt{3}$, arc $TMP = 4\pi$. Conturul are $8\pi + 12\sqrt{3}$.

9. Fig. S.II.18

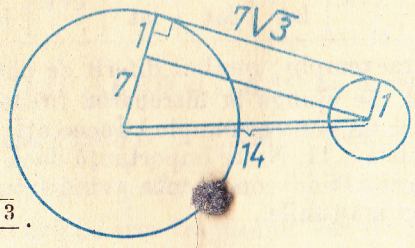


Fig. S.II.18

Se găsește $\frac{34\pi + 42\sqrt{3}}{3}$.

10. $L\cap = \pi R$; $S\cap = \frac{\pi R^2}{2}$.

11. Din aria unui triunghi echilateral de latură 4 scădem aria unui semicerc de rază 2; obținem $S \doteq 2(2\sqrt{3} - \pi)$; $P = 2\pi$.

12. $S = 36 - 9\pi$ (procedăm asemănător cu 11); $P = 6\pi$.

CAPITOLUL III

14. Pag. 84

1. $\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CA} = 0$, $\overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DA} + \overrightarrow{AC} = 0$ adunăm și folosim $\overrightarrow{CA} + \overrightarrow{AC} = 0$.

2. $\overrightarrow{AM} = \overrightarrow{MB}$, sau relația echivalentă $\overrightarrow{MA} + \overrightarrow{MB} = 0$.

3. Fie M mijlocul; $\overrightarrow{AC} = -\overrightarrow{CA} = \overrightarrow{AM} + \overrightarrow{MC} = \overrightarrow{MB} + \overrightarrow{DM} = -\overrightarrow{BD}$.

4. $\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CA} = 0$, $\overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DB} = 0$ deci $\overrightarrow{CA} = \overrightarrow{DB}$ etc., sau altfel, adunăm $\overrightarrow{BC}$ la relația din ipoteză:

$\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} = \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{BC} \Leftrightarrow \overrightarrow{AC} = \overrightarrow{BO} + \overrightarrow{OD}$.

5. Avem (probl. 2) $AO = OB$, $BO' = O'C$. Deci $\overrightarrow{AC} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} = \overrightarrow{AO} + \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{BO'} + \overrightarrow{O'C} = 2\overrightarrow{OB} + 2\overrightarrow{BO'} = 2\overrightarrow{OO'}$

6. $\overrightarrow{AB} = \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DB}$, $\overrightarrow{AC} = \overrightarrow{AD} - \overrightarrow{CD}$, $\overrightarrow{BC} = -\overrightarrow{DB} - \overrightarrow{CD}$

Înlocuim și obținem, după desfacerea parantezelor, O în stînga.

7. Aplic. de ex. 6: $\overrightarrow{MA}\ \overrightarrow{NB} + \overrightarrow{MN}\ \overrightarrow{BA} + \overrightarrow{AN}\ \overrightarrow{BM} = 0$

Înlocuiesc $\overrightarrow{AN}$ cu $-\overrightarrow{NA}$ și, ca urmare a proporției, deduc

$\overrightarrow{MN} \cdot \overrightarrow{BA} = 0$, dar $A \neq B$, deci $M = N$.

15 pag. 87

1. Dacă unul este alungit așa este și celălalt. Dacă fie M punctul de întîlnire a lui $O'y'$ cu Ox de exemplu $\sphericalangle x'O'y'$ și $\sphericalangle xMy'$ rezultă corespondente (sau identice) analog $\sphericalangle xMy'$ și $\sphericalangle xOy$.

2. Unul din ele și opusul la vîrf al celuilalt satisfac ipoteza problemei 1.

3. Unul din ele și cel obținut din celălalt înlocuind una din laturi cu „prelungirea" ei sînt în ipoteza problemei 1.

4. Fie M, N punctele în care paralela taie AB, AC (fig. S.III.1).

Vom avea $\frac{\overrightarrow{AM}}{\overrightarrow{AB}} = \frac{\overrightarrow{AN}}{\overrightarrow{AC}} = \frac{\overrightarrow{MN}}{\overrightarrow{BC}}$. 5. În figura S. III. 2

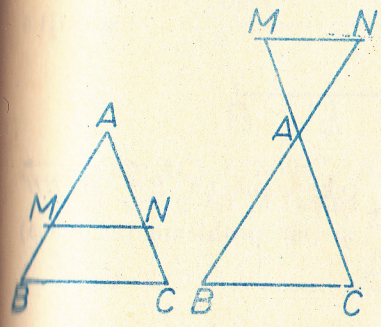


Fig. S.III.1

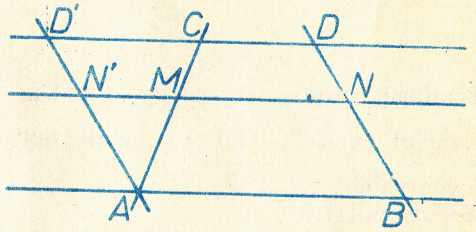


Fig. S.III.2

$AD' \parallel BD$, $y = \overrightarrow{MN} = \overrightarrow{MN'} + \overrightarrow{N'N}$; $\frac{\overrightarrow{MN'}}{\overrightarrow{CD'}} = \frac{\overrightarrow{AM}}{\overrightarrow{AC}}$ (probl. 4); $\overrightarrow{N'N} = \overrightarrow{AB}$; $\overrightarrow{CD'} = \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DD'} = \overrightarrow{CD} - \overrightarrow{AB}$ se înlocuiesc una cu alta și rezultă (evident, în expresie apar și $\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{CD}$, $\overrightarrow{AC}$ drept constante).

6. Fie D mijlocul lui AB, D' piciorul perpendicularei din D pe d.

Avem, făcînd $x = \frac{\overrightarrow{AC}}{2}$ în problema 5: $\overrightarrow{DD'} = \frac{1}{2}(\overrightarrow{AA'} + \overrightarrow{BB'})$ iar făcînd $x = \frac{\overrightarrow{AC}}{3}$ în problema 5: $\overrightarrow{GG'} = \frac{\overrightarrow{2DD'} + \overrightarrow{CC'}}{3}$, înlocuim etc.

16. pag. 89-90

1. a, b și nu c (fig. S.III.3)

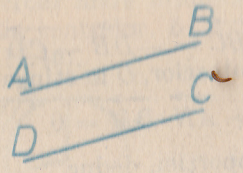


Fig. S.III.3

a, c și nu b (fig. S.III.4)

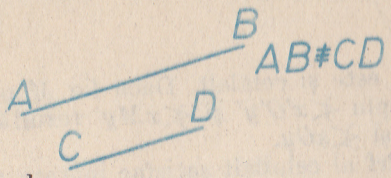


Fig. S.III.4

b, c și nu a absurd.

2. Luăm $\overrightarrow{CD}$ echivalent cu $\overrightarrow{BA}$ (fig. S. III.5). Este tot una cu a lua $\overrightarrow{AD}$ echivalent cu $\overrightarrow{BC}$.

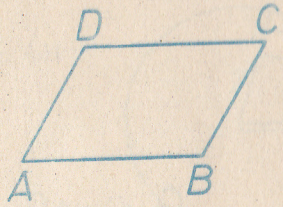


Fig. S.III.5

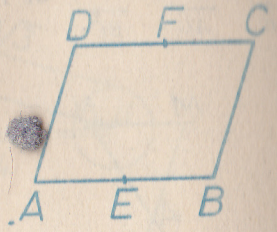


Fig. S.III.6

3. Conform problemei rezolvate obținem $\overrightarrow{AA'}$ echivalent cu $\overrightarrow{BB'}$ și $\overrightarrow{BB'}$ echivalent cu $\overrightarrow{CC'}$, deci $\overrightarrow{AA'}$ echivalent cu $\overrightarrow{CC'}$ și (iar problema rezolvată) $\overrightarrow{AC}$ echivalent cu $\overrightarrow{A'C'}$.

4. Figura S.III.6

$\overrightarrow{AB}$ și $\overrightarrow{DC}$; $\overrightarrow{AE}$, $\overrightarrow{EB}$, $\overrightarrow{DF}$ și $\overrightarrow{FC}$; $\overrightarrow{AD}$, $\overrightarrow{EF}$ și $\overrightarrow{BC}$; $\overrightarrow{AF}$ și $\overrightarrow{EC}$; $\overrightarrow{BF}$ și $\overrightarrow{ED}$ precum și cele obținute prin „permutarea capetelor în fiecare segment orientat".

5. Figura S.III.7.

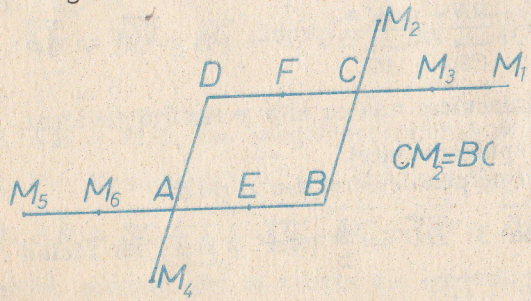


Fig. S.III.7

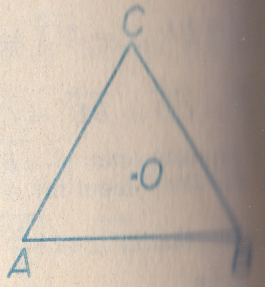


Fig. S.III.8

6 moduri: iau $CM_1 \equiv DC$, $CM_2 \equiv BC$, $CM_3 = \frac{1}{2} CM_1$, $AM_4 \equiv AD$, $AM_5 \equiv AB$, $AM_6 = \frac{1}{2} AM_5$ și avem $\overrightarrow{AC}$ echivalent cu $\overrightarrow{BM_1}$, $\overrightarrow{EM_3}$, $\overrightarrow{DM_2}$, $\overrightarrow{M_4B}$, $\overrightarrow{M_5D}$, $\overrightarrow{M_6F}$.

6. $\overrightarrow{OA}$ echivalent cu $\overrightarrow{BD}$ echivalent cu $\overrightarrow{CE}$. D este simetricul lui C față de O, iar E al lui B.

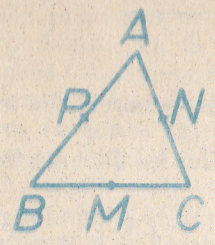
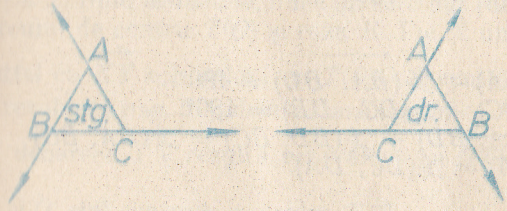


Fig. S.III.9

7. $\overrightarrow{AP}$, $\overrightarrow{PB}$, $\overrightarrow{NM}$ și alte 2 triplete.

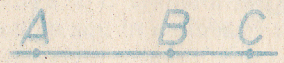
17. pag. 94-95



$\measuredangle(AB, AC) + \measuredangle(BC, BA) + \measuredangle(CA, CB) = 180°$.

În al doilea caz se obține $-180°$ care este considerat tot una cu $180°$.

Fig. S.III.10 b



$\measuredangle(AB, AC) = 0°$, $\measuredangle(BC, BA) = 180°$, $\measuredangle(CA, CB) = 0°$ etc.

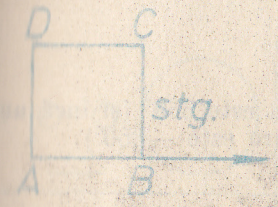


Fig. S.III.11 a

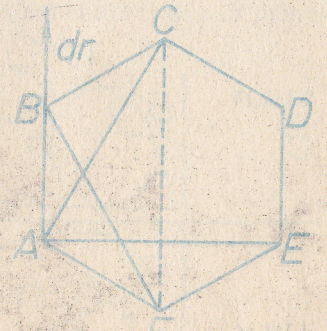


Fig. S.III.11 b

$-90°$, $-45°$, $-90°$

$-120°$, $-90°$, $30°$, $-90°$

5. Dacă înlocuim a' cu a'' (fig. S.III.12) obținem:
$\sphericalangle(a'', b') = \sphericalangle(a'', a') + \sphericalangle(a', b') = 180° + \sphericalangle(a', b')$.

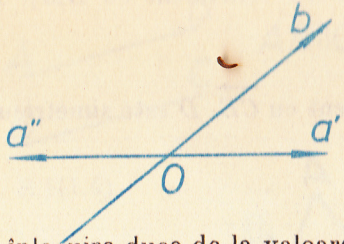


Fig. S.III.12

Deci o astfel de înlocuire duce de la valoarea x la $x + 180°$. O nouă înlocuire va duce la $x + 180° = x$ etc.
Deci două valori x; $x + 180°$. Dublul lui dă valorile $2x$, $2x + 360°$, deci una singură!
6. Geometric două: bisectoarea $\sphericalangle(h, k)$ și „prelungirea" ei. Se poate și prin calcul $\sphericalangle(h, k) = \sphericalangle(h, b) + \sphericalangle(b, k)$ deci $2\sphericalangle(h, b) = \sphericalangle(h, k)$, dar putem adăuga un multiplu la 360° deci $\sphericalangle(h, b) = \frac{1}{2}\sphericalangle(h, k) + 180°\,n$. Se obțin 2 valori distincte $\frac{1}{2}\sphericalangle(b, h)$ și $\frac{1}{2}\sphericalangle(h, b) + 180°$.

7. Vezi problema 1
$\sphericalangle(AD, AB) + \sphericalangle(DB, DA) + \sphericalangle(BA, BD) = 180°$.
$\sphericalangle(CB, CD) + \sphericalangle(BD, BC) + \sphericalangle(DC, DB) = 180°$.
Adun și țin seama de $\sphericalangle(BA, BD) + \sphericalangle(BD, BC) = \sphericalangle(BA, BC)$
$\sphericalangle(DC, DB) + \sphericalangle(DB, DA) = \sphericalangle(DC, DA)$.

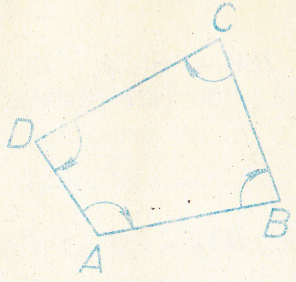


Fig. S.III.13

Suma este $-360°$

Suma este $+360°$

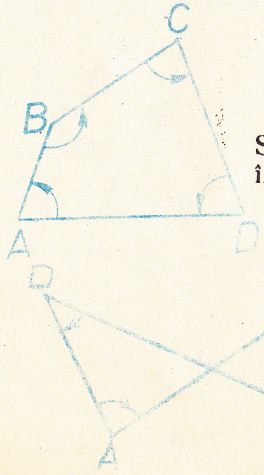


Fig. S.III.14

Suma este 360° (și încă un caz în care este $-360°$)

Fig. S.III.15

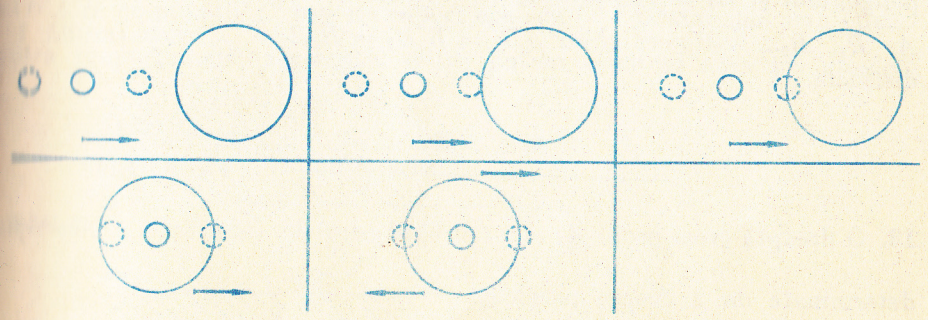
Suma este 0°

15 pag. 87

1. $\cup(A) \cup (B) = AB$ etc.
2. Rezultă, dacă de ex., B este între A și C, că $\cup(A) \cup (C) = \cup(A) \cup (B) + \cup(B) \cup (C)$, deci $\cup(A)$, $\cup(B)$, $\cup(C)$ nu pot forma un triunghi.
3. Cazul 3.
4. Vezi raționamentul de la probl. 2.
5. Cel mai simplu este: în figura imagine diagonalele se taie în părți congruente. (Considerăm imaginea punctului de intersecție a diagonalelor patrulaterului inițial, aplicăm problema 4). O adaptare a raționamentului de la problema 2 arată că 3 puncte necoliniare merg în 3 puncte necoliniare.
6. Imaginea este paralelogram și folosim și problema 3.
7. Problema 2 ne spune că imaginea este formată din puncte coliniare. Fie A, B două puncte pe dreapta inițială, X un punct pe dreapta $\cup(A) \cup(B)$. Dacă semidreptele $\cup(A)X$, $\cup(A) \cup(B)$ coincid, fie Y pe semidreapta AB așa încît $Y = \cup(A)X$; vom avea $\cup(Y) = X$ (probl. 2. 4). În caz contrar aleg Y pe prelungirea semidreptei AB.
8. Cazul 3 de congruență.

16 pag. 99

1. Translația T, fiind isometrie, duce un cerc dat (de centrul O și raza R) într-o parte a cercului de centru $T(O)$ și raza R. Fie X un punct pe acest ultim cerc și fie Y astfel ca $\overrightarrow{XY}$ echivalent cu $\overrightarrow{T(O)O}$. Rezultă $\overrightarrow{T(O)X}$ echivalent cu $\overrightarrow{OY}$ (problema rezolvată pag. 91), deci OY are lungimea R, Y este pe primul cerc, iar $T(Y) = X$ deoarece $\overrightarrow{YX}$ rezultă echivalent cu $\overrightarrow{OT(O)}$ deci cu vectorul translației T.
2. Dacă O și O' sînt centrele, consider $T_{\overrightarrow{OO'}}$.
3. $\overrightarrow{AT(A)}$ este echivalent cu $\overrightarrow{BT(B)}$ deci $\overrightarrow{T(A)\,T(B)}$ este echivalent cu $\overrightarrow{AB}$ (problema rezolvată pag. 91), deci s-a văzut (probl. 7, set 18 pag. 99) că o isometrie duce o dreaptă AB în dreapta $T(A)\,T(B)$ etc.
4. Fie AB o dreaptă. Pentru a fi transformată în ea însăși de T_v (știm că este dusă în una paralelă cu ea sau în ea însăși) trebuie ca punctul $C = T_v(A)$, definit de „$\overrightarrow{AC}$ echivalent cu v" să se afle pe AB etc. **5.** Fie AB segmentul dat, MN congruent și paralel cu AB este tot una cu $\overrightarrow{MN}$ este echivalent cu $\overrightarrow{AB}$ sau cu $\overrightarrow{BA}$, deci cu: N este fie transformat din M prin translația $T_{\overrightarrow{AB}}$,


Fig. S.III.16

fie prin $T_{\overrightarrow{BA}}$. Deci se alege N la una din intersecţiile cercului al doilea cu [illegible] formatele primului cerc prin cele două translaţii. Pot fi 0, 1, 2, 3, 4 soluţii.

6. La fel 0, 1, 2, 3, sau 4 soluţii.

7. Le-am notat M' etc.

$$CN' \equiv CP' \equiv CN.$$

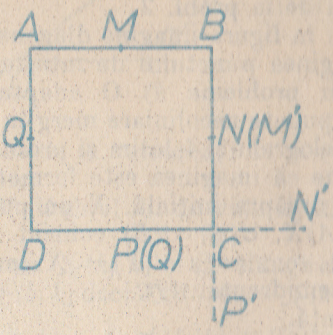


Fig. S.III.17

8. $DD' \equiv OD$, $T_{\overrightarrow{BO}} = T_{\overrightarrow{EO}}$ deci soluţie asemănătoare cu primul caz.

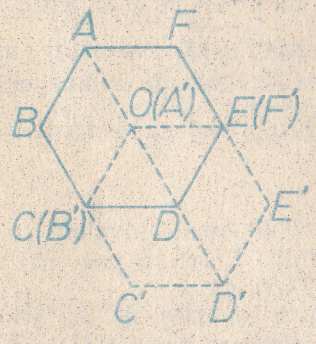


Fig. S.III.18 a

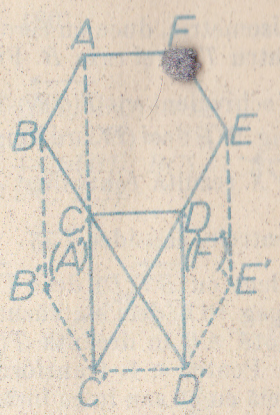


Fig. S.III.18 b

9. S-a văzut că din $\overrightarrow{AT(A)}$ echivalent cu $\overrightarrow{BT(B)}$ rezultă $\overrightarrow{AB}$ echivalent cu $\overrightarrow{T(A)T(B)}$ etc. **10.** Vezi problema 9. **11.** Vezi problema 8 şi problema 2, [illegible] 15, pag. 89. **12.** Nu, deoarece dacă T este translaţia T_v şi A este un vîrf al poligonului şi $B_1 = T_v(A)$, atunci poligonul va trebui să conţină ca vîrfuri A, B_1, B_2... coliniare şi cu $\overrightarrow{AB_1} = \overrightarrow{B_1B_2} = \overrightarrow{B_2B_3} = \ldots$ care rezultă toate distincte.

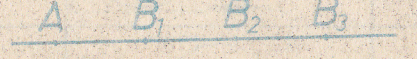


Fig. S.III.19

13. O dreaptă (vezi probl. 4), două drepte paralele, intersecţia a 2 semiplane determinate de 2 drepte paralele.



Fig. S.III.20

14. Fie T acea transformare, A un punct fix, X unul variabil. $B = T(A)$. Dacă $Y = T(X)$ atunci $\overrightarrow{AX}$ echivalent cu $\overrightarrow{BY}$ deci (problema rezolvată la pag. 91 $\overrightarrow{XY}$ echivalent cu $\overrightarrow{AB}$, adică $Y = T_{\overrightarrow{AB}}(X)$.

pag. 101–102

1. Rotaţie aplicată centrului O îl duce în O' ($O' = R_{c,u}(O)$). Fie $M' = R_{c,u}(M)$. Rotaţia fiind o isometrie, $O'M' \equiv OM$ dar O' este fix deci M' descrie un cerc de aceeaşi rază cu a primului. Dacă punctele $C = O$ (coincide C cu O) atunci cercul se va transforma în el însuşi. **2.** Centrul C al rotaţiei se va găsi pe mediatoarea lui OO' (linia centrelor) şi unghiul $\sphericalangle OCO'$ poate fi construit cît vrem de mare.

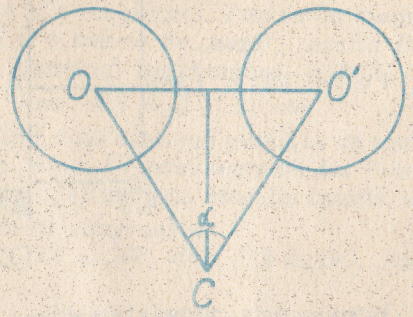


Fig. S.III.21

3. Rotaţia este o isometrie considerăm $M' = R_{c,u}(M)$, $N' = R_{c,u}(N)$ şi $P' = R_{c,u}(P)$ imaginile prin rotaţie a punctelor coliniare M, N, P. (N între M şi P). Dacă M', N', P' nu sînt coliniare rezultă $M'N' + N'P' > M'P'$. Dar $MN + NP = MP$ dar $M'N' \equiv MN$, $N'P' \equiv NP$, $MP \equiv M'P'$, contradicţie!

4. Pe semidreapta OX luăm punctele A şi B (A între O şi B). Deci $OA + AB = OB$. Ele au imaginile respectiv A', B' iar O' îi corespunde lui O. Dacă A' şi B' nu se găsesc de aceeaşi parte a lui O' rezultă că $A'B' + O'A' > O'B'$ dar $A'B' \equiv AB$, $O'A' \equiv OA$, $O'B' \equiv OB$. De aici contradicţia. **5.** Considerăm problema rezolvată în cazul în care $d \parallel d'$. Dacă rotim A cu 60° în jurul lui O, ajungem în B. Deci soluţia revine la a roti pe d cu 60° în jurul lui O şi acolo unde „rotita“ lui d taie dreapta d' avem punctul B. O soluţie diferită se poate da şi prin asemănare considerînd că toate triunghiurile echilaterale sînt asemenea şi împărţind latura $O'A'$ a unui „model“ echilateral $O'A'B'$ cu punctul C' într-un raport egal cu $\frac{OC}{CA}$. Găsim apoi prin Thales a patra proporţională, segmentul $O'D'$, putem construi apoi pe „model“

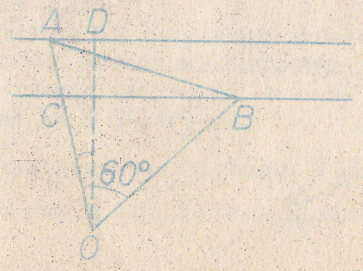
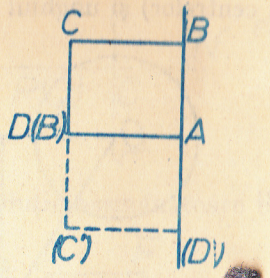


Fig. S.III.22

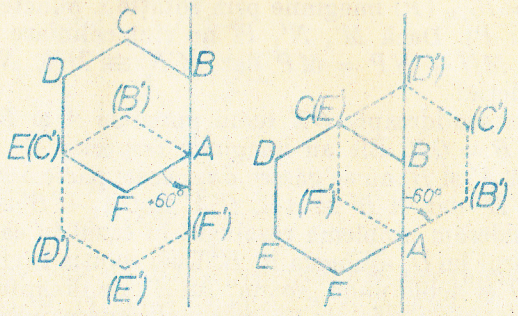
unghiul $A'O'D'$ şi problema este rezolvată. Dacă d şi d' nu sînt paralele, procedăm totuşi ca în prima soluţie.
Avem o infinitate de soluţii dacă $d = R_{0,60°}(d')$ adică d' este chiar „rotita" cu 60° a dreptei d).
6. Rotim primul cerc O cu 90° în jurul punctului fix C şi intersectăm cu cercul O'. Pot fi 0, 1, 2, 3, 4 soluţii. **7.** Cele de 120° cu centrul C în centrul cercului circumscris triunghiului echilateral dat. **8, 9.** Soluţii asemănătoare cu **7. 10.** Dacă O este „centrul hexagonului" regulat, $R_{0,\pm 120°}$ sînt rotaţiile care rezolvă problema în afară de rotaţia de „argument" 0.
11. Soluţiile sînt pătratele punctate:

Fig. S.III.23



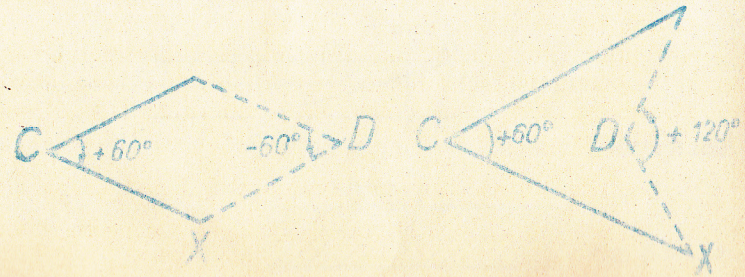
12. Soluţiile sînt hexagoanele punctate:

Fig. S.III.24



13. a) Cu notaţiile din figură

Fig. S.III.25



PROBLEME RECAPITULATIVE

1. Fie G centrul de greutate al triunghiului. Pentru că medianele se intersectează la două treimi de vîrf şi o treime de „bază", rezultă $BG = 3$ cm, $GC = 4$ cm. Folosiţi reciproca teoremei lui Pitagora, $\sphericalangle BGC = 90°$, şi teorema lui Pitagora şi $AC = \sqrt{73}$ cm, $AB = 2\sqrt{13}$ cm.
2. Folosim faptul că tangentele duse dintr-un punct la un cerc sînt congruente, aici $BC \equiv AD$, $BC = 5$ cm. Apoi, fie prin teorema lui Pitagora, aflînd înălţimea, fie prin teorema înălţimii, aflînd raza cercului înscris, obţinem $r = 2$ cm.
3. a) Triunghiurile au unghiuri congruente.
b) În $\triangle OCA$, $\sphericalangle OAC = \sphericalangle COA = 36°$, deci $CA \equiv OC$. Dar şi $\triangle CAB$ este isoscel deci $CA \equiv AB$.
4. Pentru a, b, se foloseşte problema precedentă; c) Prin asemănarea triunghiurilor ACB şi OAB; d) Se efectuează înmulţirea în membrul drept. Din c) şi d) rezultă că produsul este 0 cînd unul din factori este 0, deci numai $l = R \cdot \frac{\sqrt{5}-1}{2}$.
5. Aplicînd teorema lui Pitagora, se ajunge la ecuaţia $64 - 16x + x^2 + 16 = x^2$, deci $x = 5$ cm.
6. Din asemănare rezultă că $R_2^2 = R_1 R_3$ şi de aici obţinem relaţia imediată.
(În fond, se poate exprima şi tg $\widehat{O_3VT'}$ în trei moduri.)
7. Patrulaterul $OMPN$ este dreptunghi, deci $MN \equiv OP$.
8. Triunghiul APM este dreptunghic şi are un unghi de 50°. Deci $\sphericalangle MPA = 40°$. Punctul P vede segmentul fie sub un unghi de 40° cînd M, N sînt pe semicercuri diferite determinate de AB, fie de 140° cînd sînt pe acelaşi semicerc. Deci P descrie un cerc.
9. a) $OE = OD$ (mediane în triunghiuri dreptunghice cu aceeaşi ipotenuză), şi $\sphericalangle EOD$ este unghi la centru care subîntinde acelaşi arc cu unghiul înscris $\sphericalangle EBD = 30°$. (Patrulaterul $BEDC$ este inscriptibil); b) OE este mînim cînd BC este minim, deci cînd este perpendicular pe AB. BC în acest caz este $4\sqrt{3}$ cm şi $OE = 2\sqrt{3}$ cm.
10. Considerăm „jumătate" din dreptunghi determinat de o diagonală. Triunghiul dreptunghic astfel format are înălţimea corespunzătoare ipotenuzei, maximă atunci cînd aceasta este egală cu raza. Deci dreptunghiul căutat este pătratul şi aria sa va fi 2.

11. $\frac{10}{3}$ cm. **12.** Din asemănarea triunghiului TMA cu $\triangle AMQ$ (fig. S.R.1) şi aplicînd puterea punctului M faţă de cerc, se obţine relaţia cerută.

13. Se compară triunghiurile BDA și BCD. Cercul circumscris $\triangle ABC$ este tangent la dreapta BD. Se folosește puterea punctului.

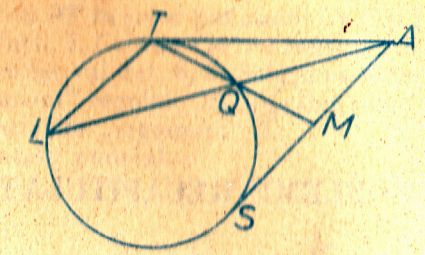


Fig. S.R.1

14. $x = \frac{12}{7}$, $y = \frac{bc}{b+c}$. **15.** Triunghiul $\triangle EAC \equiv \triangle BAG$. De asemenea, $\triangle AEH = \triangle AGJ$ etc... **16.** $S = R^2(2\sqrt{2}-1)$. **17.** $S = 256\ cm^2$. **18.** $x = \frac{a}{8}$. **19.** $S = \frac{a^2}{4}\pi$. **20.** *a.* $\frac{\sqrt{7-2\sqrt{3}}}{3}$; $2a \cdot \frac{\sqrt{7-2\sqrt{3}}}{3}$; $a \cdot \frac{\sqrt{21-6\sqrt{3}}}{3}$. **21.** $x = \frac{6}{5} = 1{,}2$. **22.** $MN = \frac{8a\sqrt{5}}{25}$. **23.** Centrul de simetrie este intersecția celor două axe. Nu, contraexemple: paralelogramul! **24.** Se aplică reciproca teoremei lui Pitagora. Raza căutată este $\frac{R\sqrt{3}}{2}$, unde R este raza cercului inițial. **25.** *1)* Se arată că $\sphericalangle AMN + \sphericalangle MND = 180°$; *2)* Un segment de dreaptă paralel cu AB și de două ori mai mic (se completează, prelungind AC și BD, un paralelogram); *3)* Mediatoarele din enunț sînt și bisectoarele unghiurilor B și A. În fond, chiar mediatoarele din enunț sînt „fixe"; *4)* $CD = \sqrt{3x^2+a^2-3ax}$. **26.** a) Ortocentrul descrie un arc capabil de suplementul unghiului A, deci simetric cu „celălalt" arc. b) Se determină poziția acelui vîrf. Acest vîrf împreună cu un capăt al înălțimii și cu simetricul ortocentrului față de celălalt capăt determină cercul circumscris triunghiului etc. **27.** Considerăm problema rezolvată, prelungim CC' pînă taie $A'B'$ în C_1, ducem din B paralela BE la CC' ($E \in A'B'$) și constatăm că $A'B'$ este împărțit de E și C_1 în trei părți congruente. Analog, procedăm pe celelalte două laturi $A'C'$ și $C'B'$. **28.** $S = 2(a+b)\sqrt{ab}$. **29.** Se aplică teorema lui Thales de 4 ori, $l = \frac{12}{7}$. **30.** Se aplică teorema bisectoarei și faptul că bisectoarea unghiului A trece prin mijlocul arcului BC. **31.** $TS = \sqrt{6}$. **32.** *a)* $\triangle AOB \sim \triangle AO'C$, unghiurile din D fiind suplimentare, triunghiurile fiind isoscele și subîntinzînd unghiuri la centru de măsuri egale. *b)* D să fie piciorul înălțimii. **33.** $\frac{(4\sqrt{3}-1)\pi - 6\sqrt{3}}{24} \cdot l^2$. **34.** $\frac{2\pi - 3\sqrt{3}}{6} \cdot l^2$. **35.** $r = \frac{bc}{b+c+\sqrt{b^2+c^2}}$, $\frac{1}{2}bc - \frac{b^2c^2}{(b+c+\sqrt{b^2+c^2})^2}\pi$. **36.** Dacă AB n-ar fi paralel cu CD, și dacă s-ar întîlni în partea stîngă a figurii II.59, atunci înălțimea din D a $\triangle AMD$ ar fi mai mică decît înălțimea din Q a $\triangle BNQ$ și de asemenea înălțimea din M a $\triangle MDP$ ar fi mai mică decît înălțimea din B a $\triangle BCQ$; deci, ar rezulta aria $AMPD <$ aria $BNQC$. **37.** 8 cm.

CUPRINS

Probleme recapitulative din materia clasei a 6-a 3

CAPITOLUL 1

Relații metrice 7

Introducere 7
Teorema lui Thales 11
Teorema lui Thales în cazul rapoartelor reale oarecare 12
Teorema fundamentală a asemănării 19
Triunghiuri asemenea. Cazurile de asemănare 26
Puterea unui punct față de un cerc 32
Relații metrice în triunghiul dreptunghic 39
Sinusul și cosinusul unui unghi 44
Tangenta unui unghi 46
Rezolvarea triunghiurilor oarecare 52
Cîteva teoreme în plus (facultativ) 58

CAPITOLUL 2

Arii 59
Introducere 62
Aria unui triunghi 68
Aria unui patrulater 71
Poligoane regulate 77
Poligoane regulate stelate 82
Lungimea și aria cercului 85

CAPITOLUL 3

Transformări geometrice 88
Segmente orientate situate pe aceeași dreaptă 90
Semidrepte de același sens și de sensuri contrare pe drepte paralele 95
Vectori 97
Unghiuri orientate 99
Despre transformări geometrice 103
Translații 109
Rotații 109
Probleme recapitulative 114
Soluții 124
Probleme recapitulative din materia clasei a 6-a 130
Capitolul 1 139
Capitolul 2 141
Capitolul 3
Probleme recapitulative