

# **Домашняя работа по геометрии за 11 класс**

**к учебнику «Геометрия. 10-11 класс»  
А.В. Погорелов, М.: «Просвещение», 2001 г.**

## СОДЕРЖАНИЕ:

§ 20 Многогранники .....	4
§ 21 Тела вращения .....	52
§ 22 Объемы многогранников .....	82
§ 23 Объемы и поверхности тел вращения .....	107

## § 20. Многогранники.

1. Из точек  $A$  и  $B$  в гранях двугранного угла опущены перпендикуляры  $AA_1$  и  $BB_1$  на ребро угла. Найдите длину отрезка  $AB$ , если  $AA_1=a$ ,  $BB_1=b$ ,  $A_1B_1=c$  и двугранный угол равен  $\alpha^1$ .

Задача решена в учебнике п. 171, стр. 59.

2. У трехгранного угла  $(abc)$  двугранный угол при ребре  $c$  прямой, двугранный угол при ребре  $b$  равен  $\varphi$ , а плоский угол  $(bc)$  равен  $\gamma$  ( $\varphi, \gamma < \frac{\pi}{2}$ ).

Найдите два других плоских угла  $\alpha = \angle(ab)$ ,  $\beta = \angle(ac)$

Задача решена в учебнике п. 172, стр. 60

3. У трехгранного угла один плоский угол равен  $\gamma$ , а прилегающие к нему двугранные углы равны  $\varphi$  ( $\varphi < \frac{\pi}{2}$ ). Найдите два других плоских угла  $\alpha$  и угол  $\beta$ , который образует плоскость угла  $\gamma$  с противоположащим ребром.



Из произвольной точки  $S$  ребра, противоположные углу  $\gamma$ , проведем перпендикуляры  $SA$  на плоскость угла  $\gamma$  и перпендикуляры  $SB$  и  $SC$  на его стороны. Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $AB \perp OB$  и  $AC \perp OC$ .

Рассмотрим прямоугольные  $\triangle SCA$  и  $\triangle SBA$ . Они равны по катету и противолежащему углу ( $\angle SCA = \angle SBA = \varphi$ ). Тогда  $AB = CA$ . А значит,  $\triangle AOB = \triangle AOC$  по катету и гипотенузе. Так что  $\angle AOC = \angle AOB$ .

А так как  $\angle COB = \angle AOC + \angle AOB = \gamma$ , то  $\angle AOC = \angle AOB = \frac{\gamma}{2}$ .

Далее, в  $\triangle ASC$   $SC = \frac{AS}{\sin \varphi}$  и  $AC = \frac{AS}{\operatorname{tg} \varphi}$ .

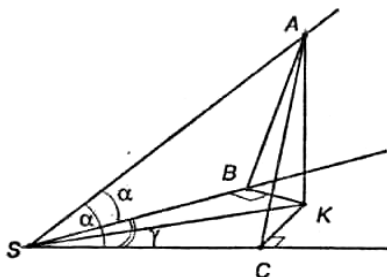
В  $\triangle ACO$   $OA = \frac{AC}{\sin \angle ADC} = \frac{AC}{\sin \frac{\gamma}{2}} = \frac{AC}{\operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}$  и  $OC = \frac{AC}{\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}} = \frac{AS}{\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}}$ .

Тогда из  $\triangle SDC$  
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{SC}{OC} = \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \cdot AS}{\sin \varphi \cdot AS} = \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}.$$

А из  $\triangle SAO$ : 
$$\operatorname{tg} \beta = \frac{AS}{OA} = \frac{AS \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{AS} = \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \frac{\gamma}{2}.$$

Ответ:  $\alpha = \operatorname{arctg} \left( \frac{\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}}{\cos \varphi} \right), \beta = \operatorname{arctg} \left( \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right).$

4. У трехгранного угла два плоских угла острые и равны  $\alpha$ , а третий угол равен  $\gamma$ . Найдите двугранные углы  $\varphi$ , противолежащие плоским углам  $\alpha$ , и угол  $\beta$  между плоскостью  $\gamma$  и противолежащим ребром.



Из произвольной точки  $A$  противолежащего углу  $\gamma$  угла проведем перпендикуляры  $AK$  на плоскость этого угла и  $AB$  и  $SB$  на другие ребра.

Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $BK \perp SB$  и  $KC \perp SC$ .

Тогда  $\triangle AKC = \triangle AKB$  (по общему катету  $AK$  и противолежащему углу  $\angle AKC = \angle AKB = \varphi$ ). Тогда  $BK = KC$  и  $\angle BKS = \angle CKS$  (по гипотенузе и катету). Значит  $\angle KSB = \angle KSC = \frac{\gamma}{2}$ . Далее, имеем

$SC = SB = AS \cdot \cos \alpha$ , и  $AB = AC = AS \cdot \sin \alpha$ . Из  $\triangle SCK$  получаем:

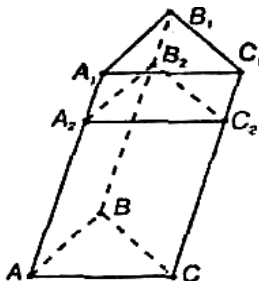
$$KC = SC \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = AS \cos \alpha \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \text{ и } SK = \frac{SC}{\cos \frac{\gamma}{2}} = \frac{AS \cos \alpha}{\cos \frac{\gamma}{2}}.$$

Далее, из  $\triangle ACK$  
$$\cos \varphi = \cos \angle ACK = \frac{KC}{AC} = \frac{AS \cos \alpha \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}}{AS \sin \alpha} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

И из  $\triangle ASK$  
$$\cos\beta = \cos\angle ASK = \frac{SK}{AS} = \frac{AS \cos\alpha}{AS \cos\frac{\gamma}{2}} = \frac{\cos\alpha}{\cos\frac{\gamma}{2}}.$$

Ответ:  $\alpha = \arccos\left(\frac{\operatorname{tg}\frac{\gamma}{2}}{\operatorname{tg}\alpha}\right), \beta = \arccos\left(\frac{\cos\alpha}{\cos\frac{\gamma}{2}}\right).$

5. Докажите, что сечение призмы, параллельное основаниям, равно основаниям.



Пусть  $A_2B_2C_2$  – данное сечение призмы. Тогда  $AA_2C_2C$ ,  $AA_2B_2B$ ,  $BB_2C_2C$  – параллелограммы.

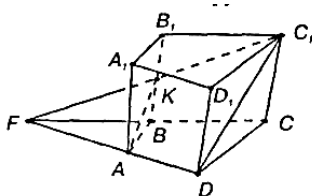
Значит,  $AB=A_2B_2$ ,  $AC=A_2C_2$ ,  $BC=B_2C_2$  и т.д., то есть  $ABC...=A_2B_2C_2... .$  Что и требовалось доказать.

6. Сколько диагоналей имеет n-угольная призма?

Так как диагональ призмы – это отрезок, соединяющий две вершины призмы, не принадлежащие одной грани, то из одной вершины можно провести  $n-3$  различные диагонали. Но вершин в основании  $n$ , так что общее количество диагоналей будет  $n \cdot (n-3)$ .

Ответ:  $n \cdot (n-3)$ .

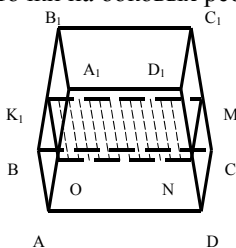
7. Постройте сечение четырехугольной призмы плоскостью, проходящей через сторону основания и одну из вершин другого основания.



Пусть, например, плоскость проходит через сторону основания  $AD$  и вершину  $C_1$ , тогда отрезок  $C_1D$  принадлежит сечению. Далее, возможны два случая: либо  $AD$  пересекает  $BC$ , либо нет. Если  $AD$  пересекает  $BC$ , то точку их пересечения обозначим  $F$ .  $F \in BC$ , а значит  $F \in (BCC_1)$ . Проведем отрезок  $FC_1$ . Он пересечет  $BB_1$  в точке  $K$ . Тогда четырехугольник  $AKC_1D$  будет искомым сечением.

Если  $AD$  не пересекает  $BC$ , то  $AD \parallel BC$ . Но  $BC \parallel B_1C_1$ , так что  $AD \parallel B_1C_1$ , а через две параллельные прямые проходит единственная плоскость, содержащая их. Эта плоскость является искомым сечением т.к. точки  $A, D, C_1$  принадлежат этой плоскости.

**8.** Постройте сечение четырехугольной призмы плоскостью, проходящей через три точки на боковых ребрах призмы.



Пусть  $K, M$  и  $N$  – данные точки.

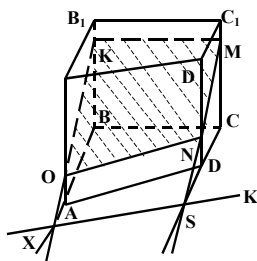
Возможны три случая:

1) Точки  $K, M, N$  расположены так, что  $MN \parallel DC$  и  $KM \parallel MN$ . Тогда плоскость, проходящая через точки  $K, M$  и  $N$  параллельна плоскости грани  $ABCD$ , т.к. две пересекающиеся прямые  $KM$  и  $MN$  параллельны грани  $ABCD$ . Проведем прямую  $ON \parallel AD$ . Тогда она будет принадлежать плоскости сечения. Так как иначе она пересекала бы и грань  $ABCD$ , то есть и  $AD$ , что неверно.

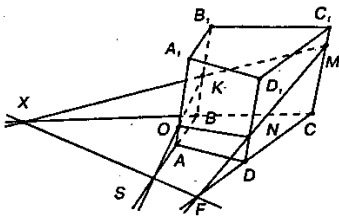
Тогда четырехугольник  $KMNO$  – искомое сечение.

2) Точки  $K, M, N$  располагаются так, что  $KM \parallel BC$ , но  $MN$  не параллельно  $DC$ . Тогда через точки  $M$  и  $N$  проведем прямую  $a$ , которая пересекает прямую  $DC$  в некоторой точке  $S$ .

Тогда  $S$  принадлежит сечению. Через точку  $S$  проведем прямую  $b \parallel KM$ . Тогда  $b$  принадлежит сечению и  $b \parallel BC$ , т.к.  $b \parallel KM$  и  $KM \parallel BC$ . Тогда  $AB$  пересекает прямую  $b$  в некоторой точке  $X$ . Тогда  $X$  принадлежит сечению.



А также можно соединить точки  $K$  и  $X$  отрезком, который пересечет  $A_1A$  в некоторой точке  $O$ . Тогда точка  $O$  тоже принадлежит сечению. А значит, четырехугольник  $OKMN$  – это искомое сечение.



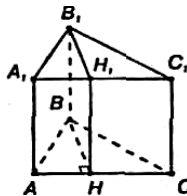
Общий случай:

3) Когда точки  $K, M, N$  располагаются так, что  $MN$  не параллельно  $DC$  и  $KM$  не параллельно  $MN$ . Тогда прямая  $MN$  пересечет прямую  $DC$  в некоторой точке  $F$ , прямая  $MK$  пересечет прямую  $BC$  в некоторой точке  $X$ . Точки  $X$  и  $F$  принадлежат плоскости  $ABCD$ , а также искомому сечению, значит, плоскость  $ABCD$  и сечение пересекаются по прямой  $XF$ . Тогда прямая  $AB$ , или прямая  $AD$ , или обе эти прямые пересекают прямую  $XF$ . Допустим  $AB$  пересекает  $XF$  в точке  $S$ . Тогда точка  $S$  принадлежит и плоскости  $AA_1B_1B$ , а также сечению. Проведем прямую  $SK$ . Она пересечет ребро  $AA_1$  в точке  $O$ . Так что  $MNOK$  – искомое сечение.

9. У призмы одно боковое ребро перпендикулярно плоскости основания. Докажите, что остальные боковые ребра тоже перпендикулярны плоскости основания.

Боковые ребра призмы параллельны между собой, так что поскольку одно ребро перпендикулярно основанию, то значит, и остальные боковые ребра тоже перпендикулярны основанию. Что и требовалось доказать.

10. В прямой треугольной призме стороны основания равны 10 см, 17 см и 21 см, а высота призмы — 18 см. Найдите площадь сечения, проведенного через боковое ребро, и меньшую высоту основания.



Данным сечением является прямоугольник  $BHH_1B_1$  со сторонами  $BB_1=18$  см и  $BH$ ; где  $BH$  — меньшая высота  $\triangle ABC$ .

Далее, площадь основания с одной стороны равна:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} = \\ = \sqrt{24(24-10)(24-17)(24-21)} = 84 \text{ (см}^2\text{)}.$$

С другой стороны  $S = \frac{1}{2} AC \cdot BH$ , так что

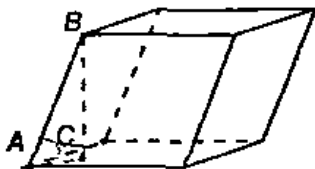
$$BH = \frac{2S}{AC} = \frac{2 \cdot 84}{21} = 8 \text{ (см)}.$$

Тогда искомая площадь сечения равна

$$S_1 = BB_1 \cdot BH = 18 \cdot 8 = 144 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Ответ: 144 см<sup>2</sup>.

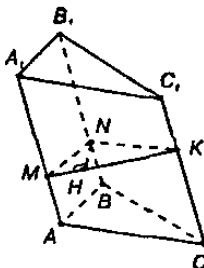
11. Боковое ребро наклонной призмы равно 15 см и наклонено к плоскости основания под углом 30°. Найдите высоту призмы.



$BO$  — перпендикуляр к основанию, так что  $\triangle ABO$  — прямоугольный. Значит,  $BO = AB \cdot \sin \angle BAC = 15 \cdot \sin 30^\circ = 7,5$  (см).

Ответ: 7,5 см.

12. В наклонной треугольной призме расстояния между боковыми ребрами равны 37 см, 13 см и 40 см. Найдите расстояние между большей боковой гранью и противоположащим боковым ребром.



Пусть сечение  $MNC$  перпендикулярно боковым ребрам призмы. Тогда в  $\triangle MNK$ :

$$MN = 13 \text{ см}, NK = 37 \text{ см} \text{ и } MK = 40 \text{ см}.$$

Искомое расстояние равно высоте, проведенной в  $\triangle MNK$  к большей стороне, то есть  $NH$ , где  $NH \perp MK$ .

Площадь  $\triangle MNK$  с одной стороны равна:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} =$$

$$\sqrt{45(45-40)(45-37)(45-13)} = \sqrt{45 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 32} = 240 \text{ (см}^2\text{)}.$$

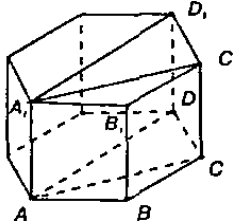


С другой стороны  $S = \frac{1}{2} MK \cdot NH$ , так что

$$NH = \frac{2S}{MK} = \frac{2 \cdot 240}{40} = 12 \text{ (см)}.$$

Ответ: 12 см.

**13.** Основанием призмы является правильный шестиугольник со стороной  $a$ , а боковые грани — квадраты. Найдите диагонали призмы и площади ее диагональных сечений.



Диагональные сечения призмы — это прямоугольники  $AA_1D_1D$  и  $AA_1C_1C$ . Далее,  $AA_1 = a$ ,  $AD = 2a$  (диаметр описанной окружности) и  $AC = a\sqrt{3}$  (по теореме косинусов из  $\triangle ABC$ ).

Так что площади сечений равны:

$$S_1 = AA_1 \cdot AC = a \cdot a\sqrt{3} = a^2\sqrt{3} \text{ и}$$

$$S_2 = AA_1 \cdot AD = a \cdot 2a = 2a^2.$$

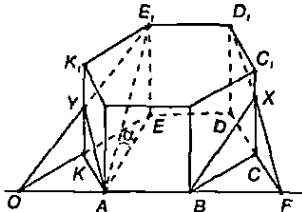
Диагонали призмы вычисляются по теореме Пифагора:

$$AD_1 = \sqrt{AA_1^2 + AD^2} = \sqrt{a^2 + 4a^2} = \sqrt{5a^2} = a\sqrt{5} = d_1,$$

$$AC = \sqrt{AA_1^2 + AC^2} = \sqrt{a^2 + 3a^2} = \sqrt{4a^2} = 2a = d_2.$$

Ответ:  $S_1 = a^2\sqrt{3}$ ;  $S_2 = 2a^2$ ;  $d_1 = a\sqrt{5}$ ;  $d_2 = 2a$ .

**14.** В правильной шестиугольной призме, у которой боковые грани — квадраты, проведите плоскость через сторону нижнего основания и противоположащую ей сторону верхнего основания. Сторона основания равна  $a$ . Найдите площадь построенного сечения.



Данное сечение проходит через основание  $AB$  и  $E_1D_1$ . Обозначим точку пересечения прямых  $AB$  и  $DC$  точка  $F$ . Тогда  $F$  принадлежит плоскости сечения, а также плоскости  $CC_1D_1C$ . Так что проведем прямую  $D_1F$ , которая пересечет ребро  $CC_1$  в некоторой точке  $X$ .

Далее, продолжим прямые  $EK$  и  $AB$  до их пересечения в точке  $O$ . Эта точка принадлежит плоскости сечения, а также грани  $KK_1E_1E$ . Тогда проведем прямую  $OE_1$ , которая пересечет ребро  $KK_1$  в некоторой точке  $Y$ .

Шестиугольник  $ABXD_1E_1Y$  — искомое сечение. Найдем его площадь по формуле  $S' = \frac{S}{\cos \alpha}$ , где  $S$  — площадь основания

призмы, а  $\alpha$  — угол, который образует данное сечение с плоскостью основания. Так как  $EA \perp AB$ , то и  $E_1A \perp AB$  (по теореме о трех перпендикулярах). Так что  $\angle EAE_1 = \alpha$ . Далее,  $EE_1 = a$ , и  $AE = a\sqrt{3}$  (по теореме косинусов из  $\triangle AEK$ ). Далее, по теореме Пифагора

$$AE_1 = \sqrt{a^2 + (a\sqrt{3})^2} = 2a, \text{ так что } \cos \alpha = \frac{AE}{AE_1} = \frac{a\sqrt{3}}{2a} = \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

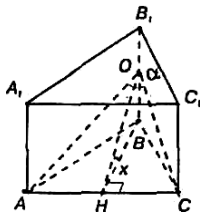
$$S = 2S_{AKE} + S_{AEDB} = AK \cdot AE \cdot \sin \angle AKE + AE \cdot DE =$$

$$= a^2 \sin 120^\circ + a \cdot a\sqrt{3} = \frac{3a^2\sqrt{3}}{2}.$$

$$\text{Так что } S' = \frac{S}{\cos \alpha} = \frac{3a^2\sqrt{3} \cdot 2}{2\sqrt{3}} = 3a^2.$$

Ответ:  $S' = 3a^2$ .

15. Через сторону нижнего основания правильной треугольной призмы проведена плоскость, пересекающая боковые грани по отрезкам, угол между которыми  $\alpha$ . Найдите угол наклона этой плоскости к основанию призмы.



Пусть  $AOC$  — данная плоскость. Проведем  $BH \perp AC$ . Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $OH \perp AC$ . Значит,  $\angle OHB$  — искомый. Далее, в равностороннем  $\triangle ABC$  высота  $BH = \frac{a\sqrt{3}}{2}$ .

Далее,  $\angle AOH = \frac{1}{2} \angle AOC = \frac{\alpha}{2}$ .

Так что в  $\triangle AOH$ :  $\overline{OH} = \frac{AH}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{a}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$ .

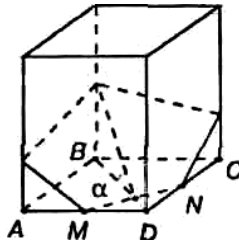
Далее, в  $\triangle OBH$ :  $\cos \angle OHB = \frac{BH}{OH} = \frac{a\sqrt{3} \cdot 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2a} = \sqrt{3} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ .

Так что  $\angle OHB = \arccos \left( \sqrt{3} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)$ .

Ответ:  $\arccos \left( \sqrt{3} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)$ .

**16.** В правильной четырехугольной призме через середины двух смежных сторон основания проведена плоскость, пересекающая три боковых ребра и наклоненная к плоскости основания под углом  $\alpha$ . Сторона основания равна  $a$ .

Найдите площадь полученного сечения.



$ABCNM$  — это ортогональная проекция сечения. Тогда если  $S$  — площадь  $ABCNM$ , то площадь сечения  $S' = \frac{S}{\cos \alpha}$ .

Далее,  $S = S_{ABCD} - S_{MND} = AD^2 - \frac{1}{2} MD \cdot DN =$   
 $= a^2 - \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{a}{2} = \frac{7}{8} a^2$ . Так что  $S' = \frac{S}{\cos \alpha} = \frac{7a^2}{8 \cos \alpha}$ .

Ответ:  $\frac{7a^2}{8 \cos \alpha}$ .

**17.** В правильной четырехугольной призме площадь основания  $144 \text{ см}^2$ , а высота  $14 \text{ см}$ .

Найдите диагональ призмы.

Так как призма правильная, то в основании ее лежит квадрат и его площадь равна:

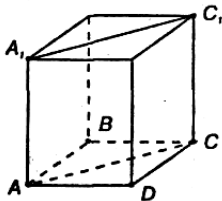
$$S = a^2. \text{ Тогда } a = \sqrt{S} = \sqrt{144} = 12(\text{см}).$$

Далее, заметим, что правильная четырехугольная призма является прямоугольным параллелепипедом, так что квадрат любой диагонали равен сумме квадратов трех его измерений, так что:

$$d = \sqrt{a^2 + a^2 + h^2} = \sqrt{12^2 + 12^2 + 14^2} = 22 (\text{см}).$$

Ответ: 22 см.

18. В правильной четырехугольной призме площадь боковой грани равна  $Q$ . Найдите площадь диагонального сечения.



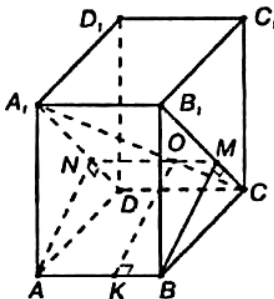
Так как боковая грань — прямоугольник, то ее площадь  $Q = AA_1 \cdot AD$ . А так как основание призмы — квадрат, то диагональ  $AC = AD \sqrt{2}$ . Тогда площадь диагонального сечения:

$$S = AC \cdot AA_1 = \sqrt{2} \cdot AD \cdot AA_1 = Q \cdot \sqrt{2}.$$

Ответ:  $Q \sqrt{2}$ .

19. Сторона основания правильной четырехугольной призмы равна 15 см, высота равна 20 см.

Найдите кратчайшее расстояние от стороны основания до не пересекающей ее диагонали призмы.



Проведем плоскость  $A_1B_1CD$ , а через ребро  $AB$  проведем плоскость  $ABMN$ , перпендикулярную плоскости  $A_1B_1CD$ .

Так как  $AB$  перпендикулярна боковым граням, то  $ABMN$  — прямоугольник.

Пусть  $O$  — точка пересечения  $AC$  и  $MN$ . Проведем  $OK \perp AB$ . Тогда  $OK=BM$ .

В прямоугольном  $\triangle BB_1C$ :

$$B_1C = \sqrt{BB_1^2 + BC^2} = \sqrt{20^2 + 15^2} = 25(\text{см}) \text{ (по теореме Пифагора).}$$

$$\text{Тогда площадь } \triangle BB_1C: S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} = \sqrt{30 \cdot 15 \cdot 10 \cdot 5} = 150(\text{см}^2).$$

$$\text{С другой стороны, } S = \frac{1}{2} B_1C \cdot BM, \text{ так что } BM = \frac{2S}{B_1C} = \frac{2 \cdot 150}{25} = 12(\text{см}).$$

Ну и  $OK=BM=12$  (см).

Ответ: 12 см.

**20.** В прямой треугольной призме все ребра равны. Боковая поверхность равна  $12 \text{ м}^2$ .

Найдите высоту.

Так как все ребра равны, то боковые грани являются квадратами. Далее, площадь одной грани равна трети площади боковой поверхности:  $12 : 3 = 4 \text{ (м}^2\text{)}$ . Значит, сторона квадрата равна  $\sqrt{4} = 2 \text{ (м)}$ . Тогда ребро призмы равно высоте и равно 2 м.

Ответ: 2 м.

**21.** Боковая поверхность правильной четырехугольной призмы  $32 \text{ м}^2$ , а полная поверхность —  $40 \text{ м}^2$ .

Найдите высоту.

Так как площадь поверхности  $S = S_{\text{бок}} + 2S_{\text{осн}}$ , то площадь основания равна  $S_{\text{осн}} = (40-32) : 2 = 4(\text{м}^2)$ .

В основании находится квадрат, так как призма правильная, так что сторона квадрата равна  $\sqrt{4} = 2 \text{ м}$ .

Боковая поверхность правильной призмы равна  $S_{\text{бок}} = p \cdot h = 4a \cdot h$ , так что  $h = S : (4a) = 32 : (4 \cdot 2) = 4(\text{м})$ .

Ответ: 4 м.

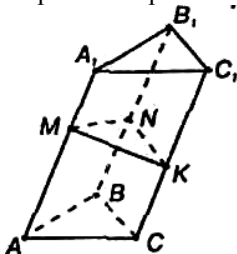
**22.** В наклонной призме проведено сечение, перпендикулярное боковым ребрам и пересекающее все боковые ребра.

Найдите боковую поверхность призмы, если периметр сечения равен  $p$ , а боковые ребра равны  $l$ .

Задача решена в учебнике п. 176, стр. 65.

23. Расстояния между параллельными прямыми, содержащими боковые ребра наклонной треугольной призмы, равны 2 см, 3 см и 4 см, а боковые ребра — 5 см.

Найдите боковую поверхность призмы.



Проведем сечение  $MNK$ , перпендикулярное боковым ребрам.

Тогда стороны  $\triangle MNK$  равны расстояниям между параллельными прямыми, содержащими ребра.

Далее, площадь боковой поверхности наклонной призмы равна произведению периметра сечения, перпендикулярного боковым ребрам, на длину бокового ребра. Так что

$$S_{\text{бок}} = p \cdot l = (2+3+4) \cdot 5 = 45(\text{см}^2).$$

Ответ:  $45 \text{ см}^2$ .

24. По стороне основания  $a$  и боковому ребру  $b$  найдите полную поверхность правильной призмы: 1) треугольной; 2) четырехугольной; 3) шестиугольной.

Полная поверхность призмы вычисляется по формуле:

$$S = S_{\text{бок}} + 2S_{\text{осн}}.$$

1) Основание призмы — равносторонний треугольник, так что его площадь  $S_{\text{осн}} = \frac{a^2\sqrt{3}}{4}$ . Площадь боковой поверхности

$$S_{\text{бок}} = p \cdot l = 3ab.$$

$$\text{Так что } S = 3ab + \frac{a^2\sqrt{3}}{2}.$$

2) Основание призмы — квадрат с площадью  $S_{\text{осн}} = a^2$ . Площадь боковой поверхности  $S_{\text{бок}} = p \cdot l = 4ab$ . Так что  $S = 2a^2 + 4ab$ .

3) Основание призмы — правильный шестиугольник. Его площадь  $S_{\text{осн}} = 6 \cdot \frac{a^2\sqrt{3}}{4} = \frac{a^2 3\sqrt{3}}{2}$ . А площадь боковой поверхности

$$S_{\text{бок}} = p \cdot l = 6ab. \text{ Так что } S = 6ab + a^2 3\sqrt{3}.$$

26. У параллелепипеда три грани имеют поверхности  $1 \text{ м}^2$ ,  $2 \text{ м}^2$  и  $3 \text{ м}^2$ .

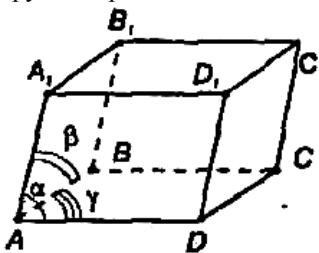
Чему равна полная поверхность параллелепипеда?

У параллелепипеда противоположные грани равны, а значит, имеют равные площади. Так что данный параллелепипед имеет две грани с площадью  $1 \text{ м}^2$ , две грани с площадью по  $2 \text{ м}^2$  и две грани с площадью по  $3 \text{ м}^2$ . Так что площадь полной поверхности

$$S = 2 \cdot (1 + 2 + 3) = 12 (\text{м}^2).$$

Ответ:  $12 \text{ м}^2$ .

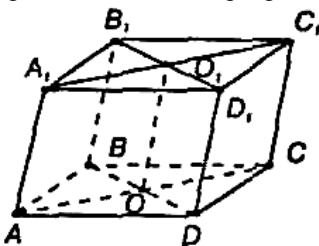
27. Известны углы, образуемые ребрами параллелепипеда, сходящимися в одной вершине. Как найти углы между ребрами, сходящимися в любой другой вершине?



При вершине  $A$   $\angle A_1AD = \alpha$ ,  $\angle A_1AB = \beta$  и  $\angle BAD = \gamma$ . Так как все грани параллелепипеда — параллелограммы,  $\angle C = \angle A_1 = \gamma$  (как противоположные в параллелограмме),  $\angle B = \angle D = 180^\circ - \gamma$  (в параллелограмме  $ABCD$ ).

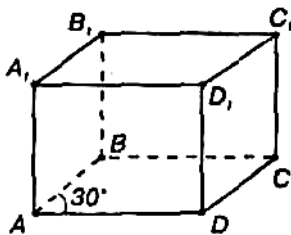
Далее,  $\angle B_1A_1D_1 = \angle B_1C_1D_1 = \angle BAD = \angle BCD = \gamma$  (так как противоположные грани равны). Далее,  $\angle ABC = \angle ADC = \angle A_1B_1C_1 = \angle A_1D_1C_1 = 180^\circ - \gamma$ ;  $\angle A_1AB = \angle A_1B_1B = \angle D_1C_1C = \beta$ ;  $\angle AA_1B_1 = \angle B_1BA = \angle C_1CD = \angle DD_1C = 180^\circ - \beta$ ;  $\angle A_1AD = \angle A_1D_1D = \angle B_1BC = \alpha$ ;  $\angle AA_1D_1 = \angle D_1DA = \angle BB_1C = \angle C_1CB = 180^\circ - \alpha$ .

28. Докажите, что отрезок, соединяющий центры оснований параллелепипеда, параллелен боковым ребрам.



Центры оснований параллелепипеда являются точками пересечения диагоналей параллелограммов  $ABCD$  и  $A_1B_1C_1D_1$ . Далее,  $ABCD = A_1B_1C_1D_1$  (как противоположные грани). Так что  $AC = A_1C_1$ , и  $O_1C_1 = OC = \frac{1}{2}AC$ . Так как  $O_1C_1 \parallel OC$  и  $O_1C_1 = OC$ , то  $O_1C_1OC$  — параллелограмм, так что  $OO_1 \parallel CC_1$ . Что и требовалось доказать.

**29.** В прямом параллелепипеде стороны основания 6 м и 8 м образуют угол  $30^\circ$ , боковое ребро равно 5 м. Найдите полную поверхность этого параллелепипеда.



Полная поверхность прямого параллелепипеда равна  $S = 2S_1 + S_2$ .

Площадь параллелограмма  $ABCD$ , являющегося основанием, равна  $S_{\text{осн}} = AB \cdot AD \cdot \sin 30^\circ = 6 \cdot 8 \cdot \frac{1}{2} = 24(\text{см}^2)$ .

А площадь боковой поверхности равна

$$S_{\text{бок}} = p \cdot l = 2(AB + BC)AA_1 = 2 \cdot (6+8) \cdot 5 = 140 (\text{см}^2).$$

Так что  $S = 2 \cdot 24 + 140 = 188(\text{см}^2)$ .

Ответ:  $188 \text{ см}^2$

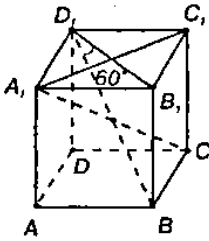
**30.** В прямом параллелепипеде стороны основания 3 см и 8 см, угол между ними  $60^\circ$ . Боковая поверхность равна  $220 \text{ см}^2$ . Найдите полную поверхность.

Полная поверхность параллелепипеда равна  $S = S_{\text{бок}} + 2S_{\text{осн}}$ . Так как в основании лежит параллелограмм, то  $S_1 = ab \cdot \sin \alpha = 3 \cdot 8 \cdot \sin 60^\circ = 12\sqrt{3} (\text{см}^2)$ . А  $S_{\text{бок}} = 220 \text{ см}^2$  (по условию).

Так что  $S = 2 \cdot 12\sqrt{3} + 220 = 220 + 24\sqrt{3} (\text{см}^2)$ .

**31.** В прямом параллелепипеде стороны основания 3 см и 5 см, а одна из диагоналей основания 4 см. Найдите большую диагональ параллелепипеда, зная, что меньшая диагональ образует с плоскостью основания угол  $60^\circ$ .





По условию  $A_1D_1 = 3$  см,  $D_1C_1 = 5$  см,  $D_1B_1 = 4$  см. Так как основание является параллелограммом, а у параллелограмма сумма квадратов диагоналей равна сумме квадратов его сторон, то  $2 A_1B_1^2 + 2 \cdot A_1D_1^2 = A_1C_1^2 + B_1D_1^2$ .

Так что:

$$A_1C_1 = \sqrt{2 \cdot A_1B_1^2 + 2 \cdot A_1D_1^2 - D_1B_1^2} =$$

$= \sqrt{2 \cdot 3^2 + 2 \cdot 5^2 - 4^2} = \sqrt{52}$  (см). Так что  $A_1C_1 > D_1B_1$ , а значит, диагональ  $BD$  — меньшая, а  $A_1C$  — большая.

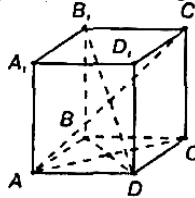
Далее, в  $\triangle BB_1D_1$ :  $BB_1 = B_1D_1 \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = 4\sqrt{3}$  (см).  $CC_1 = BB_1 = 4\sqrt{3}$  см.

Далее, в  $\triangle CC_1A_1$  по теореме Пифагора:

$$A_1C = \sqrt{A_1C_1^2 + CC_1^2} = \sqrt{(\sqrt{52})^2 + (4\sqrt{3})^2} = \sqrt{100} = 10 \text{ (см)}.$$

Ответ: 10 см.

**32.** Найдите диагонали прямого параллелепипеда, у которого каждое ребро равно  $a$ , а угол основания равен  $60^\circ$ .



Так как каждое ребро равно  $a$ , то  $\triangle ABD$  — равнобедренный ( $AB = AD = a$ ) и так как  $\angle BAD = 60^\circ$ , то  $\triangle ABD$  является равносторонним и  $BD = AB = a$ .

Далее, из прямоугольного  $\triangle BB_1D$  по теореме Пифагора

$$B_1D = \sqrt{BD^2 + BB_1^2} = \sqrt{a^2 + a^2} = a\sqrt{2}.$$

В  $\triangle ADC$  по теореме косинусов

$$AC = \sqrt{AD^2 + DC^2 - 2AD \cdot DC \cdot \cos 120^\circ} =$$

$$= \sqrt{a^2 + a^2 - 2a^2 \cdot \left(-\frac{1}{2}\right)} = a\sqrt{3}.$$

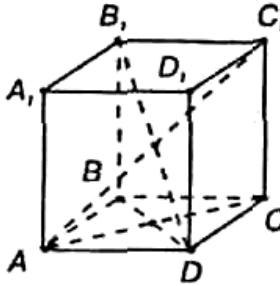
А из прямоугольного  $\triangle ACC_1$  по теореме Пифагора:

$$AC_1 = \sqrt{AC^2 + CC_1^2} = \sqrt{3a^2 + a^2} = 2a.$$

Ответ:  $a\sqrt{2}$  и  $2a$ .

**33.** Боковое ребро прямого параллелепипеда 5 м, стороны основания 6 м и 8 м, а одна из диагоналей основания 12 м. Найдите диагонали параллелепипеда.

Основание параллелепипеда — параллелограмм  $ABCD$  со сторонами  $AB=6$  м,  $AD=8$  м и диагональю  $AC=12$  м. Так как в параллелограмме сумма квадратов всех сторон равна сумме квадратов диагоналей, то  $2 \cdot AB^2 + 2 \cdot AD^2 = AC^2 + BD^2$ . Откуда получаем:



$$BD = \sqrt{2 \cdot AB^2 + 2 \cdot AD^2 - AC^2} = \sqrt{2 \cdot 6^2 + 2 \cdot 8^2 - 12^2} = \sqrt{56} \text{ (м)}.$$

Далее, в прямоугольном  $\triangle ACC_1$  по теореме Пифагора:

$$AC_1 = \sqrt{AC^2 + CC_1^2} = \sqrt{12^2 + 5^2} = 13 \text{ (м)}. \text{ А в прямоугольном}$$

$$\triangle BB_1D \quad B_1D = \sqrt{BD^2 + BB_1^2} = \sqrt{(\sqrt{56})^2 + 5^2} = \sqrt{81} = 9 \text{ (м)}.$$

Ответ: 13 м и 9 м.

**34.** В прямом параллелепипеде боковое ребро 1 м, стороны основания 23 дм и 11 дм, а диагонали основания относятся как 2:3. Найдите площади диагональных сечений.

Основание параллелепипеда — параллелограмм со сторонами  $a_1 = 23$  дм и  $a_2 = 11$  дм и диагоналями  $d_1$  и  $d_2$ , отношение которых  $d_1 : d_2 = 2 : 3$ . Пусть  $d_1 = 2k$ , тогда  $d_2 = 3k$ .

В параллелограмме сумма квадратов всех сторон равна сумме квадратов диагоналей, так что

$$2a_1^2 + 2a_2^2 = d_1^2 + d_2^2, \text{ то есть}$$

$$2 \cdot 23^2 + 2 \cdot 11^2 = (2k)^2 + (3k)^2, 13k^2 = 1300, k=10 \text{ (дм)}.$$

Так что  $d_1 = 20$  (дм) и  $d_2 = 30$  (дм). Далее, высота  $h = 1 \text{ м} = 10$  дм и площади диагональных сечений вычисляются по формулам:

$$S_1 = d_1 \cdot h = 20 \cdot 10 = 200 \text{ (дм}^2\text{)} = 2 \text{ (м}^2\text{)}.$$

$$S_2 = d_2 \cdot h = 30 \cdot 10 = 300 \text{ (дм}^2\text{)} = 3 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Ответ:  $2 \text{ м}^2$  и  $3 \text{ м}^2$ .

**35.** Найдите диагонали прямоугольного параллелепипеда по трем его измерениям: 1) 1, 2, 2; 2) 2, 3, 6; 3) 6, 6, 7.

Квадрат диагонали прямоугольного параллелепипеда равен сумме квадратов трех его измерений, то есть  $d^2 = a^2 + b^2 + c^2$ . Так что  $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$ :

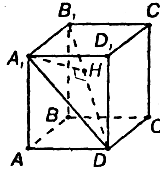
$$1) d = \sqrt{1^2 + 2^2 + 2^2} = \sqrt{9} = 3;$$

$$2) d = \sqrt{2^2 + 3^2 + 6^2} = \sqrt{49} = 7;$$

$$3) d = \sqrt{6^2 + 6^2 + 7^2} = \sqrt{121} = 11.$$

**36.** Ребро куба равно  $a$ . Найдите расстояние от вершины куба до его диагонали, соединяющей две другие вершины.

Имеем  $A_1D = a\sqrt{2}$  (из  $\triangle AA_1D$ ). Далее,  $\triangle A_1B_1D$  — прямоугольный,  $A_1B_1 = a$ ,  $A_1D = \sqrt{2}a$ .



Далее, квадрат диагонали в прямоугольном параллелепипеде равен сумме квадратов трех его измерений, то есть  $B_1D^2 = a^2 + a^2 + a^2$ , так что  $B_1D = a\sqrt{3}$

Площадь  $\triangle A_1B_1D$  равна:

$$S = \frac{1}{2} A_1B_1 \cdot A_1D = \frac{1}{2} A_1H \cdot B_1D, \text{ так что}$$

$$A_1H = \frac{A_1B_1 \cdot A_1D}{B_1D} = \frac{a \cdot a\sqrt{2}}{a\sqrt{3}} = a\sqrt{\frac{2}{3}}.$$

Ответ:  $a\sqrt{\frac{2}{3}}$ .

**37.** В прямоугольном параллелепипеде стороны основания 7 дм и 24 дм, а высота параллелепипеда 8 дм.

Найдите площадь диагонального сечения.

Основание параллелепипеда — прямоугольник со сторонами  $a_1 = 7$  дм и  $a_2 = 24$  дм.

Тогда его диагональ по теореме Пифагора:

$$b = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{7^2 + 24^2} = 25 \text{ (дм)}.$$

Диагональное сечение — это прямоугольник со сторонами  $b = 25$  дм и  $c = 8$  дм (высота).

Тогда площадь диагонального сечения равна:

$$S = b \cdot c = 25 \cdot 8 = 200(\text{дм}^2) = 2(\text{м}^2).$$

Ответ:  $2 \text{ м}^2$ .

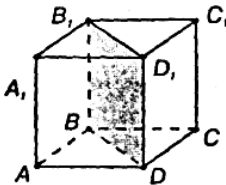
**38.** Найдите поверхность прямоугольного параллелепипеда по трем его измерениям: 10 см, 22 см, 16 см.

Пусть  $a = 10$  см,  $b = 22$  см и  $c = 16$  см — измерения параллелепипеда. Так как противоположные грани равны, то и площади их равны. А значит, площадь поверхности параллелепипеда равна:

$$S = 2ab + 2bc + 2ac = 2 \cdot 10 \cdot 22 + 2 \cdot 22 \cdot 16 + 2 \cdot 10 \cdot 16 = 1464 (\text{см}^2).$$

Ответ:  $1464 \text{ см}^2$ .

**39.** Найдите боковую поверхность прямоугольного параллелепипеда, если его высота  $h$ , площадь основания  $Q$ , а площадь диагонального сечения  $M$ .



Основание параллелепипеда — прямоугольник со сторонами  $AB = a$  и  $AD = b$ .

Тогда диагональ  $BD$  находим по теореме Пифагора:

$$BD = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

А площадь основания равна

$$Q = AB \cdot AD = a \cdot b.$$

Площадь прямоугольника  $BB_1D_1D$ , равна  $M = BD \cdot h$ , так что

$$BD = \frac{M}{h}.$$

Следовательно:  $\frac{M^2}{h^2} = a^2 + b^2$ , а  $Q = ab$ .

Тогда:

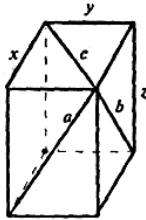
$$\frac{M^2}{h^2} + 2Q = a^2 + b^2 + 2ab, \text{ то есть } \frac{M^2}{h^2} + 2Q = (a + b)^2.$$

$$\text{Так что: } a + b = \sqrt{\frac{M^2}{h^2} + 2Q}.$$

Площадь боковой поверхности равна:

$$S = P \cdot h = 2(a + b)h = 2h \sqrt{\frac{M^2}{h^2} + 2Q} = 2\sqrt{M^2 + 2Qh^2}.$$

**40.** Диагонали трех граней прямоугольного параллелепипеда, сходящиеся в одной вершине, равны  $a$ ,  $b$  и  $c$ . Найдите линейные размеры параллелепипеда.



Пусть  $x$ ,  $y$ ,  $z$  линейные размеры прямоугольного параллелепипеда. Тогда по теореме Пифагора:

$$x^2 + y^2 = c^2.$$

$$y^2 + z^2 = a^2.$$

$$z^2 + x^2 = b^2.$$

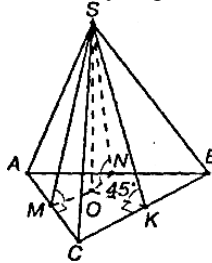
Сложим первые два уравнения и вычтем третье:

$$2y^2 = c^2 + a^2 - b^2. \text{ Так что } y = \sqrt{\frac{1}{2}(c^2 + a^2 - b^2)}.$$

$$\text{Аналогично: } 2z^2 = a^2 + b^2 - c^2, \quad z = \sqrt{\frac{1}{2}(c^2 + a^2 - b^2)}$$

$$\text{и } 2x^2 = b^2 + c^2 - a^2, \quad x = \sqrt{\frac{1}{2}(b^2 + c^2 - a^2)}.$$

**41.** Основание пирамиды — равнобедренный треугольник, у которого основание равно 12 см, а боковая сторона — 10 см. Боковые грани образуют с основанием равные двугранные углы, содержащие по  $45^\circ$ . Найдите высоту пирамиды.



Проведем перпендикуляр  $SO$  к плоскости основания и перпендикуляры  $SK$ ,  $SM$  и  $SN$  к сторонам  $\triangle ABC$ . Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $OK \perp BC$ ,  $OM \perp AC$  и  $ON \perp AB$ .

Тогда,  $\angle SKO = \angle SMO = \angle SNO = 45^\circ$  — как линейные углы данных двугранных углов.

А следовательно, прямоугольные треугольники  $SKO$ ,  $SMO$  и  $SNO$  равны по катету и острому углу.

Так что  $OK=OM=ON$ , то есть точка  $O$  является центром окружности, вписанной в  $\triangle ABC$ .

Выразим площадь прямоугольника  $ABC$ :

$$S = \sqrt{p(p-AB)(p-AC)(p-BC)} = \sqrt{16 \cdot (16-10) \cdot (16-10) \cdot (16-12)} = 48(\text{см})$$

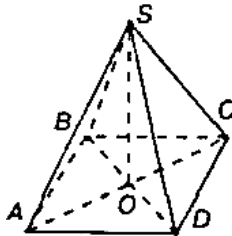
С другой стороны,  $S = p \cdot r$ . Так что  $r = \frac{S}{p} = \frac{48}{16} = 3$  (см).  $OK=r=3$  см.

Так как в прямоугольном треугольнике  $SOК$  острый угол равен  $45^\circ$ , то  $\triangle SOК$  является равнобедренным и  $SO=OK=3$  см.

Ответ: 3 см.

**42.** Основание пирамиды — прямоугольник со сторонами 6 см и 8 см. Каждое боковое ребро пирамиды равно 13 см.

Вычислите высоту пирамиды.



Так как  $SA = SB = SC = SD$ , то прямоугольные треугольники  $ASO$ ,  $BSO$ ,  $CSO$  и  $DSO$  равны по гипотенузе и общему катету  $SO$ .

Тогда  $AO = BO = CO = DO$ , а значит, точка  $O$  является точкой пересечения  $AC$  и  $BD$ .

В  $\triangle ABD$ :

$$BD = \sqrt{AB^2 + AD^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10(\text{см}). \text{ Тогда}$$

$$OD = \frac{1}{2} BD = 5(\text{см}). \text{ Далее,}$$

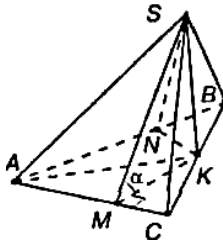
в  $\triangle SOD$  по теореме Пифагора:

$$SO = \sqrt{SD^2 - OD^2} = \sqrt{13^2 - 5^2} = 12(\text{см}).$$

Ответ: 12 см.

43. Основанием пирамиды является правильный треугольник; одна из боковых граней перпендикулярна основанию, а две другие наклонены к нему под углом  $\alpha$ .

Как наклонены к плоскости основания боковые ребра?



Допустим, плоскость  $SBC$  перпендикулярна основанию. Тогда  $SK \perp BC$  является высотой пирамиды. Проведем  $SM \perp AC$  и  $SN \perp AB$ . По теореме о трех перпендикулярах  $KM \perp AC$  и  $KN \perp AB$ . Значит,  $\angle SNK = \angle SMK = \alpha$  как линейные углы данных двугранных углов.

Тогда  $\triangle SMK = \triangle SNK$  по катету и острому углу. Так что  $MK = NK$ . Далее,  $\triangle MKC = \triangle NKB$  (так как  $MK = NK$  и  $\angle C = \angle B = 60^\circ$ ).

Так что  $KC = KB = \frac{a}{2}$ .

Далее, в  $\triangle CMK$ :

$$MK = KC \cdot \sin 60^\circ = \frac{a}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{a\sqrt{3}}{4}.$$

$$\text{В } \triangle CAK: AK = AC \cdot \sin 60^\circ = \frac{a\sqrt{3}}{2}.$$

$$\text{В } \triangle SMK: SK = MK \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{a\sqrt{3}}{4} \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

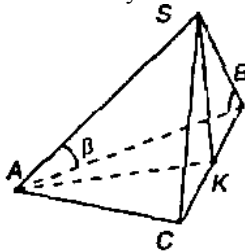
$$\text{В } \triangle SCK: \operatorname{tg} \angle SCK = \frac{SK}{KC} = \frac{a\sqrt{3} \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot 2}{4 \cdot a} = \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \alpha.$$

$$\angle SCK = \angle SBK = \operatorname{arctg} \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \alpha \right).$$

$$\text{В } \triangle SAK: \operatorname{tg} \angle SAK = \frac{SK}{AK} = \frac{a\sqrt{3} \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot 2}{4 \cdot a\sqrt{3}} = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha.$$

$$\text{Так что } \angle SAK = \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha \right).$$

44. В основании пирамиды лежит прямоугольный треугольник с гипотенузой  $a$ . Каждое боковое ребро образует с плоскостью основания угол  $\beta$ . Найдите ее высоту.



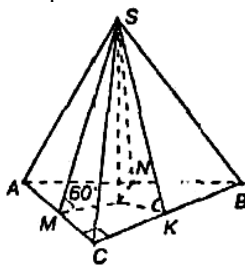
Построим высоту пирамиды  $SK$ . Тогда прямоугольные треугольники  $SAK$ ,  $SBK$ ,  $SCK$  равны по катету и острому углу ( $SK$  — общий катет и острые углы  $\beta$ ). Так что  $AK=BK=CK$ , то есть точка  $K$  является центром окружности, описанной около основания, так что  $K$  лежит на гипотенузе  $BC$  и  $CK = KB = \frac{a}{2}$ .

Далее, в  $\Delta SKC$ :  $SK = KC \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{a \operatorname{tg} \beta}{2}$ .

Ответ:  $\frac{a \operatorname{tg} \beta}{2}$ .

45. Основание пирамиды — прямоугольный треугольник с катетами 6 см и 8 см. Все двугранные углы при основании пирамиды равны  $60^\circ$ . Найдите высоту пирамиды.

Проведем  $SO$  — высоту пирамиды и перпендикуляры  $SK$ ,  $SM$  и  $SN$  к соответствующим сторонам  $\Delta ABC$ .



Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $OK \perp BC$ ,  $OM \perp AC$  и  $ON \perp AB$ . Так что  $\angle SKO = \angle SMO = \angle SNO = 60^\circ$  — линейные углы данных двугранных углов. Значит, треугольники  $SKO$ ,  $SMO$  и  $SNO$  равны по катету и острому углу. Тогда  $OM = OK = ON$ , то есть точка  $O$  является центром окружности, вписанной в основание. В



прямоугольном  $\triangle ABC$ :  $AB = \sqrt{AC^2 + BC^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10$ (см). Тогда площадь  $\triangle ABC$  равна:

$$S = \frac{1}{2} AC \cdot BC = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 8 = 24(\text{см}^2). \text{ С другой стороны, } S = pr.$$

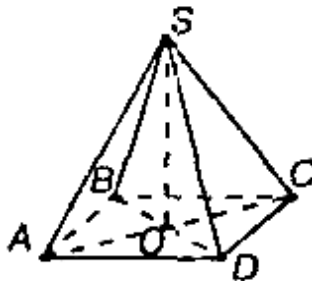
$$\text{Так что } r = \frac{S}{p} = \frac{24}{12} = 2(\text{см}).$$

Далее, в  $\triangle SMO$ :  $SO = MO \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = r \cdot \sqrt{3} = 2\sqrt{3}$  (см).

Ответ:  $SO = 2\sqrt{3}$

**46.** Основание пирамиды — параллелограмм, у которого стороны 3 см и 7 см, а одна из диагоналей 6 см.

Высота пирамиды проходит через точку пересечения диагоналей, она равна 4 см. Найдите боковое ребро пирамиды.



Так как основание пирамиды — параллелограмм, то  $BO = DO$  и  $AO = OC$ .

Тогда треугольники  $AOS$  и  $COS$  равны по двум катетам. Треугольники  $BOS$  и  $DOS$  также равны.

Так что  $BS = DS$  и  $AS = CS$ . Далее,

$$OD = \frac{1}{2} BD = \frac{1}{2} \cdot 6 = 3(\text{см}).$$

В  $\triangle DOS$  по теореме Пифагора имеем:

$$DS = \sqrt{SO^2 + OD^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5(\text{см}).$$

$$BS = DS = 5 \text{ см.}$$

Далее, в параллелограмме сумма квадратов всех сторон равна сумме квадратов диагоналей, то есть  $2 \cdot AB^2 + 2 \cdot AD^2 = BD^2 + AC^2$ .

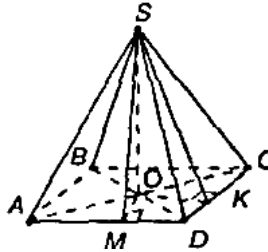
$$\text{Так что, } AC = \sqrt{2AB^2 + 2AD^2 - BD^2} = \sqrt{2 \cdot 3^2 + 2 \cdot 7^2 - 6^2} = \sqrt{80} \text{ (см).}$$

Поэтому  $AO = \frac{1}{2}AC = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{80} = \sqrt{20}$  (см) и в прямоугольном  $\triangle AOS$  по теореме Пифагора получаем:

$$AS = \sqrt{SO^2 + AO^2} = \sqrt{4^2 + (\sqrt{20})^2} = 6 \text{ (см)}.$$

$$CS = AS = 6 \text{ см}.$$

47. Основание пирамиды — ромб с диагоналями 6 м и 8 м; высота пирамиды проходит через точку пересечения диагоналей ромба и равна 1 м. Найдите боковую поверхность пирамиды.



$\triangle AOD = \triangle COD$  (так как  $AO = OC = \frac{1}{2}AC$  и  $OD$  — общая).

Тогда высоты  $OM = OK$ . Значит, прямоугольные  $\triangle SOM$  и  $\triangle SOK$  равны по двум катетам. Так что  $SM = SK$ .

Поэтому во всех боковых гранях высоты, проведенные к сторонам основания, равны. Так что площадь боковой поверхности равна

$$S_{\text{бок}} = \frac{1}{2}P \cdot SM = \frac{1}{2} \cdot 4AD \cdot SM = 2 \cdot AD \cdot SM.$$

Так в  $\triangle AOD$ :  $AO = \frac{1}{2}AC = 4$  м, а  $OD = \frac{1}{2}BD = 3$  м. Так что по

теореме Пифагора  $AD = \sqrt{AO^2 + OD^2} = 5$  (см). Далее, площадь  $\triangle AOD$  равна:

$$S = \frac{1}{2}AO \cdot OD = \frac{1}{2}OM \cdot AD.$$

$$OM = \frac{AO \cdot OD}{AD} = \frac{3 \cdot 4}{5} = 2,4 \text{ (м)}.$$

Тогда в  $\triangle SOM$ :

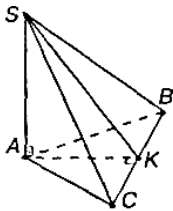
$$SM = \sqrt{SO^2 + OM^2} = \sqrt{(2,4)^2 + 1^2} = 2,6 \text{ (м)}.$$

$$\text{и } S_{\text{бок}} = 2 \cdot AD \cdot SM = 2 \cdot 5 \cdot 2,6 = 26 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Ответ:  $26 \text{ м}^2$ .

**48.** Основание пирамиды — равнобедренный треугольник со сторонами 40 см, 25 см и 25 см. Ее высота проходит через вершину угла, противолежащего стороне 40 см, и равна 8 см.

Найдите боковую поверхность пирамиды.



В  $\triangle ABC$   $AB = AC = 25$  см и  $BC = 40$  см.

Проведем  $AK \perp BC$ . Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $SK \perp BC$ .

$$S_{ASC} = S_{ASB} = \frac{1}{2} AS \cdot AC = \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot 8 = 100 \text{ (см}^2\text{)}.$$

$$\text{Далее, } KC = \frac{1}{2} BC = \frac{1}{2} \cdot 40 = 20 \text{ (см)}.$$

Так что в  $\triangle ACK$ :

$$AK = \sqrt{AC^2 - KC^2} = \sqrt{25^2 - 20^2} = 15 \text{ (см)}.$$

Далее, в  $\triangle ASK$ :

$$SK = \sqrt{AS^2 - AK^2} = \sqrt{8^2 + 15^2} = 17 \text{ (см)}.$$

Поэтому площадь  $\triangle SBC$  равна:

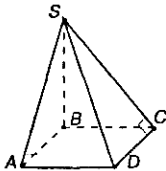
$$S_{SBC} = \frac{1}{2} \cdot BC \cdot SK = \frac{1}{2} \cdot 40 \cdot 17 = 340 \text{ (см}^2\text{)}. \text{ Так что}$$

площадь боковой поверхности равна  $S_{\text{бок}} = S_{ASC} + S_{ASB} + S_{SBC} = 100 + 100 + 340 = 540 \text{ (см}^2\text{)}.$

Ответ: 540 см<sup>2</sup>.

**49.** Основание пирамиды — квадрат, ее высота проходит через одну из вершин основания.

Найдите боковую поверхность пирамиды, если сторона основания равна 20 дм, а высота — 21 дм.



Пусть  $SB$  — высота.

Так как  $ABCD$  квадрат, то  $AB = BC = CD = AD = 20$  дм,  $AB \perp AD$  и  $BC \perp DC$ . Тогда, по теореме о трех перпендикулярах  $AS \perp AD$  и  $CS \perp DC$ .

Далее, треугольники  $ASB$  и  $CSB$  равны по двум катетам, а значит, их площади также равны.

$$S_{ABS} = S_{CBS} = \frac{1}{2} AB \cdot SB = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 21 = 210(\text{дм}^2).$$

Далее, в  $\triangle ASB$ :

$AS = \sqrt{AB^2 + SB^2} = \sqrt{20^2 + 21^2} = 29(\text{дм})$ . Так как  $\triangle SAB = \triangle SCB$ , то  $AS = SC$ , и прямоугольные треугольники  $ASD$  и  $CSD$  равны по двум катетам, а значит, их площади тоже равны:

$$S_{ASD} = S_{CSD} = \frac{1}{2} AD \cdot AS = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 29 = 290(\text{дм}^2).$$

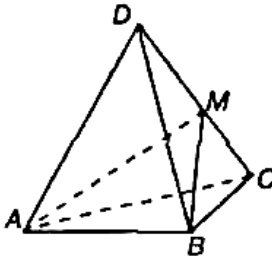
Так что  $S_{\text{бок}} = 2S_{ABS} + 2S_{ASD} = 2 \cdot 210 + 2 \cdot 290 = 1000(\text{дм}^2) = 10(\text{м}^2)$ .

Ответ:  $10 \text{ м}^2$ .

**50.** Постройте сечение пирамиды плоскостью, проходящей через вершину пирамиды и две данные точки на ее основании.

Пусть данные точки  $M$  и  $N$ , лежащие на основании пирамиды. Тогда  $MN$  пересекает ребра пирамиды в некоторых точках  $P$  и  $Q$ . Так как точка  $P$  лежит с вершиной  $S$  в одной плоскости, то можно провести отрезок  $PS$ . Так как точка  $Q$  лежит с вершиной  $S$  в одной плоскости, то можно провести отрезок  $QS$ . Так что  $SQP$  — искомое сечение.

**51.** Постройте сечение треугольной пирамиды плоскостью, проходящей через сторону основания пирамиды и данную точку на противоположном ребре.

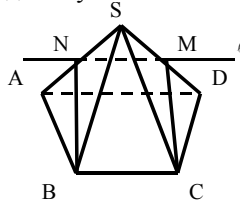


Так как точки  $B$  и  $M$  лежат в одной плоскости  $DBC$ , то можно провести отрезок  $MB$ , так как точки  $A$  и  $M$  лежат в одной плоско-

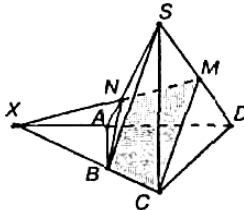
сти  $ADC$ , то можно провести отрезок  $AM$ .  $AMB$  — искомое сечение, так как  $AB \in AMB$  и  $M \in AMB$ .

**52.** Постройте сечение четырехугольной пирамиды плоскостью, проходящей через сторону основания и точку на одном из боковых ребер.

Пусть  $M$  точка на боковом ребре. Сторона  $BC$  принадлежит сечению. Тогда возможны два случая:



1)  $BC \parallel AD$ . Тогда через точку  $M$  проведем прямую, параллельную  $AD$  и лежащую в плоскости  $(ASD)$ , которая пересечет прямую  $AS$  в некоторой точке  $N$ . Тогда  $MN \parallel BC$ . Через 2 параллельные прямые можно провести плоскость. Так что  $BNMC$  — искомое сечение.



2)  $BC$  не параллельно  $AD$  (общий случай). Тогда проведем прямые  $AD$  и  $BC$  до пересечения в точке  $X$ . Далее, прямая  $XM$  пересекает  $AS$  в некоторой точке  $N$ .

Тогда  $BNMC$  — искомое сечение.

**53.** У четырехугольной усеченной пирамиды стороны одного основания равны 6, 7, 8, 9 см, а меньшая сторона другого основания равна 5 см. Найдите остальные стороны этого основания.

У усеченной пирамиды основания подобны. Зная меньшие стороны нижнего и верхнего оснований, найдем коэффициент подобия:  $k = \frac{5}{6}$ . Тогда соответствующие стороны равны  $7 \cdot k = 7 \cdot \frac{5}{6} = \frac{35}{6}$  (см),  $8 \cdot k = 8 \cdot \frac{5}{6} = \frac{20}{3}$  (см) и  $9 \cdot k = 9 \cdot \frac{5}{6} = \frac{15}{2}$  (см).

**54.** Боковое ребро пирамиды разделено на четыре равные части, и через точки деления проведены плоскости параллельные основанию. Площадь основания равна  $400 \text{ см}^2$ .

Найдите площади оснований.

Задача решена в учебнике п. 183, стр. 70.

**55.** Высота пирамиды равна 16 м. Площадь основания равна  $512 \text{ м}^2$ . На каком расстоянии от основания находится сечение, параллельное ему, если площадь сечения  $50 \text{ м}^2$ ?

Сечение, параллельное основанию, отсекает от данной пирамиды другую пирамиду, подобную данной. Отношение площадей подобных фигур равны квадрату коэффициента подобия.

Так что имеем по условию  $k^2 = \frac{50}{512}$ . Так что  $k = \frac{5}{16}$ . Отношение высот равно коэффициенту подобия.

Так что высота меньшей пирамиды равна  $x = k \cdot 16 \text{ м} = 5 \text{ м}$ . А значит, расстояние, на котором находится сечение от основания, равно  $h = 16 - x = 11 \text{ (м)}$ .

Ответ: 11 м.

**56.** В правильной треугольной пирамиде с высотой  $h$  через сторону основания  $a$  проведена плоскость, пересекающая противоположное боковое ребро под прямым углом.

Найдите площадь сечения.

Пусть  $ABCS$  пирамида,  $ABC$  — правильный треугольник.

Плоскость  $ADC$  перпендикулярна ребру  $BS$ . Тогда треугольники  $ADB$ ,  $CDB$  и  $MDB$  прямоугольные.

$\triangle ADB = \triangle CDB$  по гипотенузе и катету ( $AB = BC = a$  и  $DB$  — общий катет). Так что  $AD = DC$ .

Следовательно,  $BM$  и  $DM$  — медианы и высоты треугольников.

Тогда  $BM = \frac{a\sqrt{3}}{2}$  (так как  $ABC$  — равносторонний).

Высота  $SH$  в правильной пирамиде проходит через центр окружности, описанной около основания.

Так что  $HB = R = \frac{a\sqrt{3}}{3}$ .

Далее, в прямоугольном  $\triangle SHB$ :

$$SB = \sqrt{SH^2 + HB^2} = \sqrt{h^2 + \frac{a^2}{3}} = \sqrt{\frac{3h^2 + a^2}{3}}$$

В прямоугольных  $\triangle SHB$  и  $\triangle MDB$  острый угол  $\angle SBM$  — общий. Значит,  $\triangle SHB \sim \triangle MDB$  по двум углам. Так что

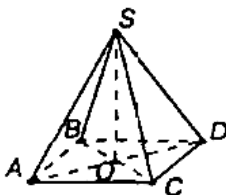
$$\frac{MD}{SH} = \frac{MB}{SB}, \text{ откуда получаем, что}$$

$$MD = \frac{SH \cdot MB}{SB} = \frac{h \cdot a\sqrt{3}}{2 \cdot \sqrt{\frac{3h^2 + a^2}{3}}} = \frac{3ha}{2\sqrt{3h^2 + a^2}}.$$

А площадь сечения находим по формуле:

$$S = \frac{1}{2} AC \cdot MD = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{3ha}{2\sqrt{3h^2 + a^2}} = \frac{3ha^2}{4\sqrt{3h^2 + a^2}}.$$

57. Высота правильной четырехугольной пирамиды равна 7 см, а сторона основания — 8 см. Найдите боковое ребро.



Высота правильной пирамиды проходит через центр окружности, описанной около основания. Так как основание данной пирамиды — квадрат, то  $O$  — точка пересечения диагоналей.

Так что  $OC = \frac{1}{2} BC = \frac{1}{2} AB \sqrt{2} = 4\sqrt{2}$  (см).

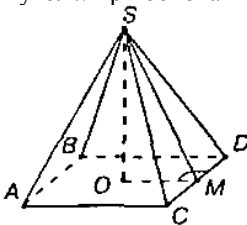
Далее, в прямоугольном  $\triangle SOC$  по теореме Пифагора находим

$$SC = \sqrt{SO^2 + OC^2} = \sqrt{7^2 + (4\sqrt{2})^2} = \sqrt{81} = 9 \text{ (см)}.$$

Ответ: 9 см.

58. В правильной четырехугольной пирамиде плоский угол при вершине равен  $\alpha$ .

Найдите двугранный угол  $x$  при основании пирамиды.



Высота  $SO$  правильной четырехугольной пирамиды проходит через центр пересечения диагоналей  $AD$  и  $BC$ .

Проведем  $SM \perp DC$ . Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $OM \perp DC$ .

Значит,  $OM$  — радиус окружности, вписанной в квадрат, поэтому  $OM = \frac{AB}{2}$ . В равнобедренном  $\triangle DSC$   $\angle DSC = \alpha$ . Высота  $SM$  является медианой и биссектрисой, так что

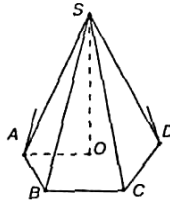
$$\angle CSM = \frac{\alpha}{2}, \text{ а } CM = \frac{AB}{2}. \text{ В } \triangle SMC : SM = \frac{CM}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{AB}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}.$$

Так как  $\angle SMO$  является линейным углом двугранного угла, образованного плоскостью основания и боковой гранью, то  $\angle SMO = x$  и из  $\triangle SMO$ :

$$\cos x = \cos \angle SMO = \frac{OM}{SM} = \frac{AB \cdot 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2 \cdot AB} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

$$\text{Так что } x = \arccos \left( \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right).$$

**59.** По данной стороне  $a$  и боковому ребру  $b$  найдите высоту правильной пирамиды: 1) треугольной; 2) четырехугольной; 3) шестиугольной.



В правильной пирамиде высота  $SO$  проходит через центр окружности, описанной около основания.

Значит,  $AO = R$ . А из  $\triangle ASO$ :

$$SO = \sqrt{AS^2 - AO^2} = \sqrt{b^2 - R^2}$$

Тогда:

$$1) \text{ В равностороннем треугольнике } R = \frac{2\sqrt{3}}{3}.$$

$$\text{Значит, } SO = \sqrt{b^2 - \left( \frac{a\sqrt{3}}{3} \right)^2} = \sqrt{b^2 - \frac{a^2}{3}}.$$



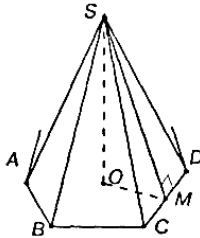
2) В квадрате  $R = \frac{a\sqrt{2}}{2}$ . Так что

$$SO = \sqrt{b^2 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{2}\right)^2} = \sqrt{b^2 - \frac{a^2}{2}}.$$

3) В правильном шестиугольнике  $R = a$ . Поэтому

$$SO = \sqrt{b^2 - a^2}.$$

**60.** По данной стороне основания  $a$  и высоте  $b$  найдите апофему правильной пирамиды: 1) треугольной; 2) четырехугольной; 3) шестиугольной.



В правильной пирамиде высота  $SO$  проходит через центр окружности, вписанной в основание. Пусть  $SM$  — апофема. То есть  $SM \perp DC$ . Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $OM \perp DC$ . Значит,  $OM = r$ .

Далее, по теореме Пифагора в  $\triangle SOM$ :

$$SM = \sqrt{SO^2 + OM^2} = \sqrt{b^2 + r^2}. \text{ Тогда}$$

1) В правильном треугольнике  $r = \frac{a\sqrt{3}}{6}$ . Так что

$$SM = \sqrt{b^2 + \left(\frac{a\sqrt{3}}{6}\right)^2} = \sqrt{b^2 + \frac{a^2}{12}}.$$

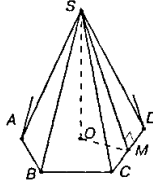
2) В квадрате  $r = \frac{a}{2}$ ; так что  $SM = \sqrt{b^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} = \sqrt{b^2 + \frac{a^2}{4}}.$

3) В правильном шестиугольнике  $r = \frac{a\sqrt{3}}{2}$ ; так что

$$SM = \sqrt{b^2 + \left(\frac{a\sqrt{3}}{2}\right)^2} = \sqrt{b^2 + \frac{3a^2}{4}}$$

61. По стороне основания  $a$  и высоте  $b$  найдите полную поверхность правильной пирамиды:

- 1) треугольной;
- 2) четырехугольной;
- 3) шестиугольной.



В правильной пирамиде апофема

$$SM = \sqrt{SO^2 + OM^2} = \sqrt{b^2 + r^2} \quad (\text{смотри задачу № 60}).$$

Полная поверхность  $S = S_{\text{осн}} + S_{\text{бок}}$ .

Так как боковая поверхность состоит из  $n$  равных треугольников с основанием  $a$  и высотой, равной апофеме  $SM$ , то

$$S_{\text{бок}} = n \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot SM = \frac{1}{2} (na) \cdot SM = \frac{1}{2} P \cdot \sqrt{b^2 + r^2},$$

где  $P$  — периметр основания. Тогда

- 1) В правильном треугольнике  $S_{\text{осн}} = \frac{a^2\sqrt{3}}{4}$  и  $r = \frac{a\sqrt{3}}{6}$ .

Тогда  $S_{\text{бок}} = \frac{1}{2} \cdot 3a \cdot \sqrt{b^2 + \frac{a^2}{12}} = \frac{a\sqrt{3}}{4} \sqrt{12b^2 + a^2}$ . Так что

$$S = \frac{a^2\sqrt{3}}{4} + \frac{a\sqrt{3}}{4} \sqrt{12b^2 + a^2} = \frac{a\sqrt{3}}{4} \left( a + \sqrt{12b^2 + a^2} \right).$$

- 2) В квадрате  $S_{\text{осн}} = a^2$  и  $r = \frac{a}{2}$ . Так что

$$S_{\text{бок}} = \frac{1}{2} \cdot 4a \cdot \sqrt{b^2 + \frac{a^2}{4}} = a \cdot \sqrt{4b^2 + a^2}. \text{ Тогда } S = a^2 + a \cdot \sqrt{4b^2 + a^2}$$

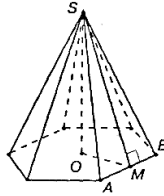
3) В правильном шестиугольнике

$$S_{\text{осн}} = 6 \cdot \frac{a^2\sqrt{3}}{4} = \frac{3a^2\sqrt{3}}{2} \text{ и } r = \frac{a\sqrt{3}}{2}. \text{ Так что}$$

$$S_{\text{бок}} = \frac{1}{2} \cdot 6a \cdot \sqrt{b^2 + \frac{3a^2}{4}} = \frac{3a}{2} \cdot \sqrt{4b^2 + 3a^2}. \text{ Поэтому}$$

$$S = \frac{3a^2\sqrt{3}}{2} + \frac{3a}{2} \cdot \sqrt{4b^2 + 3a^2} = \frac{3a}{2} \left( a\sqrt{3} + \sqrt{4b^2 + 3a^2} \right).$$

62. Найдите полную поверхность правильной шестиугольной пирамиды, если ее боковое ребро  $a$ , а радиус окружности, вписанной в основание,  $r$ .



В правильном шестиугольнике сторона выражается через радиус вписанной окружности по формуле:  $AB = \frac{2r\sqrt{3}}{3}$ .

Далее, площадь правильного шестиугольника равна:

$$S_{\text{осн}} = 6 \cdot \frac{AB^2 \sqrt{3}}{4} = 6 \cdot \frac{4 \cdot r^2 \cdot 3}{9} = 2r^2 \sqrt{3}.$$

Далее, в  $\triangle SMB$ :

$$MB = \frac{1}{2} AB = r \frac{\sqrt{3}}{3}, SB = a. \text{ Тогда по теореме Пифагора:}$$

$$SM = \sqrt{SB^2 - MB^2} = \sqrt{a^2 - \frac{r^2}{3}}.$$

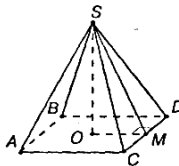
Площадь боковой поверхности правильной пирамиды равна  $S_{\text{бок}} = \frac{1}{2} \cdot P \cdot SM$ , где  $P$  – периметр основания ( $SM$  – апофема). Так что

$$S_{\text{бок}} = \frac{1}{2} \cdot 6AB \cdot SM = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot \frac{2r\sqrt{3}}{3} \cdot \sqrt{b^2 - \frac{r^2}{3}} = 2r\sqrt{3b^2 - r^2}. \text{ Тогда}$$

площадь полной поверхности равна:

$$S = 2r^2 \sqrt{3} + 2r\sqrt{3b^2 - r^2} = 2r(r\sqrt{3} + \sqrt{3b^2 - r^2}).$$

63. В правильной четырехугольной пирамиде боковая поверхность равна  $14,76 \text{ м}^2$ , а полная поверхность —  $18 \text{ м}^2$ . Найдите сторону основания и высоту пирамиды.



Площадь основания равна разности площадей полной и боковой поверхности. То есть  $S_{\text{осн}} = S - S_{\text{бок}} = 18 - 14,76 = 3,24(\text{м}^2)$

Так как  $ABCD$  — квадрат, то  $AB = \sqrt{S_{\text{осн}}} = \sqrt{3,24} = 1,8$  (м).

Так как в правильной пирамиде

$S_{\text{бок}} = \frac{1}{2} \cdot P \cdot h$ , где  $P$  — периметр основания и  $h$  — апофема, то

получаем, что

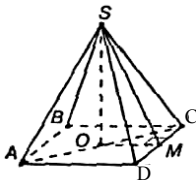
$$h = SM = \frac{2S_{\text{бок}}}{P} = \frac{2 \cdot S_{\text{бок}}}{4 \cdot AB} = \frac{2 \cdot 14,76}{4 \cdot 1,8} = 4,1 \text{ (м)}.$$

Далее, по теореме Пифагора в  $\Delta SOM$ :

$$SO = \sqrt{SM^2 - OM^2} = \sqrt{4,1^2 - 0,9^2} = 4(\text{м}), \text{ так как } OM = \frac{1}{2} AB = 0,9(\text{м}).$$

Ответ: 1,8 м и 4 м.

**64.** По стороне основания  $a$  найдите боковую поверхность правильной четырехугольной пирамиды, у которой диагональное сечение равновелико основанию.



Диагональное сечение представляет собой  $\Delta ASC$  с высотой  $SO$ , равной высоте пирамиды, и основанием  $AC$ , являющимся диагональю квадрата  $ABCD$ . Так что  $AC = AB\sqrt{2} = a\sqrt{2}$ .

Так как диагональное сечение равновелико основанию, то получаем:  $\frac{1}{2} AC \cdot SO = AD^2$  и  $SO = \frac{2a^2}{a\sqrt{2}} = a\sqrt{2}$ .

Далее, в  $\Delta SOM$  по теореме Пифагора:

$$SM = \sqrt{SO^2 + OM^2} = \sqrt{2a^2 + \frac{a^2}{4}} = 1,5a.$$

Площадь боковой поверхности правильной пирамиды равна

$S_{\text{бок}} = \frac{1}{2} \cdot P \cdot SM$ , где  $P$  — периметр основания ( $SM$  — апофема).

Так что  $S_{\text{бок}} = \frac{1}{2} \cdot 4a \cdot 1,5a = 3a^2$ .

Ответ:  $3a^2$ .

65. Найдите боковую поверхность пирамиды, если площадь основания  $Q$ , а двугранные углы при основании  $\varphi$ .

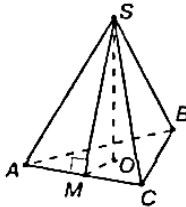
Площадь основания равна сумме ортогональных проекций боковых граней, а боковые грани составляют с основанием равные углы  $\varphi$ , поэтому  $S_{\text{бок}} = \frac{Q}{\cos \varphi}$ .

66. Найдите двугранные углы при основании правильной пирамиды, у которой площадь основания равна  $Q$ , а боковая поверхность  $S$ .

Как и в предыдущей задаче:

$$S_{\text{бок}} = \frac{Q}{\cos \varphi}. \text{ Так что } \cos \varphi = \frac{Q}{S}, \varphi = \arccos \frac{Q}{S}.$$

67. Найдите сторону основания и апофему правильной треугольной пирамиды, если ее боковое ребро равно 10 см, а боковая поверхность равна  $144 \text{ см}^2$ .



Пусть  $AB = BC = AC = x$ , а  $SM = y$  — апофема. Тогда из  $\triangle ASM$  по теореме Пифагора имеем:  $AS^2 = AM^2 + SM^2$ , то есть

$$10^2 = \frac{x^2}{4} + y \text{ или } 400 = x^2 + 4y^2.$$

Так как площадь боковой поверхности правильной пирамиды  $S = \frac{1}{2} \cdot P \cdot h$ , где

$$P \text{ — периметр основания и } h \text{ — апофема, то } 144 = \frac{1}{2} \cdot 3x \cdot y, \text{ то}$$

есть  $xy = 96$ . Имеем:

$$\begin{cases} x^2 + 4y^2 = 400 \\ xy = 96 \end{cases}$$

$$x^2 + 4xy + 4y^2 = 400 + 4 \cdot 96;$$

$$(x + 2y)^2 = 784;$$

$$x + 2y = 28;$$

$$x = 28 - 2y. \text{ Тогда } 96 = (28 - 2y)y,$$

$$96 = 28y - 2y^2,$$

$$y^2 - 14y + 48 = 0; \quad y = 6 \text{ или } y = 8. \text{ Тогда } x = 16 \text{ или } x = 12.$$

Ответ: 16 см и 6 см или 12 см и 8 см.

**68.** В правильной четырехугольной пирамиде найдите сторону основания, если боковое ребро равно 5 см, а полная поверхность — 16 см<sup>2</sup>.

Пусть  $AB = BC = CD = AD = x$ , а  $SM = y$  — апофема. Тогда по теореме Пифагора в  $\triangle SMC$ :

$$SC^2 = SM^2 + MC^2, \quad 5^2 = y^2 + \frac{x^2}{4}, \text{ то есть } x^2 + 4y^2 = 100.$$

Полная поверхность равна  $S = S_{\text{осн}} + S_{\text{бок}}$ , где  $S_{\text{осн}}$  — площадь квадрата, то есть  $S_{\text{осн}} = x^2$  и  $S_{\text{бок}} = \frac{1}{2} \cdot P \cdot h$ , где  $P$  — периметр основания и  $h$  — апофема, так что  $S_{\text{бок}} = 2xy$ .

$$\text{Так что } x^2 + 2xy = 16.$$

Имеем:

$$\begin{cases} x^2 + 4y^2 = 100 \\ x^2 + 2xy = 16 \end{cases}, \quad y = \frac{16 - x^2}{2x}$$

$$\text{Так что } x^2 + 4 \left( \frac{16 - x^2}{2x} \right)^2 = 100, \text{ то есть}$$

$$x^4 - 100x^2 + (16 - x^2)^2 = 0$$

$$x^4 - 66x^2 + 128 = 0. \text{ Пусть } x^2 = a, \text{ тогда}$$

$$a^2 - 66a + 128 = 0, \quad a = 2 \text{ или } a = 64. \text{ Тогда } x = \sqrt{2} \text{ или } x = 8.$$

Но при  $x = 8$  площадь основания больше полной.

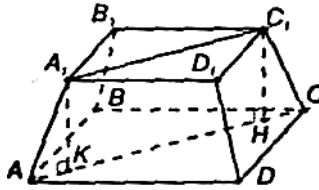
$$\text{Так что } x = \sqrt{2}.$$

Ответ:  $\sqrt{2}$  см.

**69.** Докажите, что боковая поверхность правильной усеченной пирамиды равна произведению полусуммы периметров оснований на апофему.

Задача решена в учебнике п. 184, стр. 71.

**70.** Высота правильной четырехугольной усеченной пирамиды равна 7 см. Стороны оснований равны 10 см и 2 см. Найдите боковое ребро пирамиды.



Рассмотрим диагональное сечение  $AA_1C_1C$ ,  $AA_1=CC_1$  и  $A_1C_1 \parallel AC$ . Так что  $AA_1C_1C$  — равнобедренная трапеция.

$A_1C_1$  и  $AC$  — диагонали квадратов, лежащих в основании усеченной пирамиды. Значит,

$$A_1C_1 = A_1B_1 \cdot \sqrt{2} = 2\sqrt{2} \text{ (см)} \text{ и } AC = AB \cdot \sqrt{2} = 10\sqrt{2} \text{ (см)}.$$

Так как  $A_1K \perp AC$  и  $C_1H \perp AC$  то  $A_1C_1HK$  — прямоугольник и  $A_1K = C_1H = 7$  см.

Прямоугольные треугольники  $AA_1K$  и  $CC_1H$  равны по гипотенузе и катету. Так что  $AK = CH$ . Тогда

$$CH = AK = \frac{1}{2}(AC - A_1C_1) = \frac{1}{2}(10\sqrt{2} - 2\sqrt{2}) = 4\sqrt{2} \text{ (см.)}$$

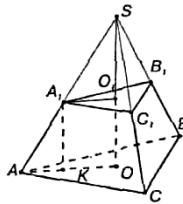
Далее, по теореме Пифагора в  $\triangle AA_1K$ :

$$AA_1 = \sqrt{AK^2 + A_1K^2} = \sqrt{(4\sqrt{2})^2 + 7^2} = \sqrt{32 + 49} = \sqrt{81} = 9 \text{ (см)}.$$

Ответ: 9 см.

**71.** Стороны оснований правильной усеченной треугольной пирамиды 4 дм и 1 дм. Боковое ребро 2 дм.

Найдите высоту пирамиды.



Дополним усеченную пирамиду до полной.

Так как в правильной пирамиде высота проходит через центр окружности, описанной около основания, то точки  $O$  и  $O_1$  — центры описанных вокруг  $\triangle ABC$  и  $\triangle A_1B_1C_1$  окружностей.

Тогда

$$AO = R_1 = \frac{AB\sqrt{3}}{3} = \frac{4\sqrt{3}}{3} \text{ (дм)} \text{ и}$$

$$A_1O_1 = R_2 = \frac{A_1B_1\sqrt{3}}{3} = \frac{\sqrt{3}}{3} \text{ (дм).}$$

$AA_1O_1O$  — прямоугольная трапеция.

Проведем  $A_1K \perp AO$ . Тогда

$$A_1O_1OK \text{ — прямоугольник, и } A_1O_1 = KO = \frac{\sqrt{3}}{3} \text{ (дм).}$$

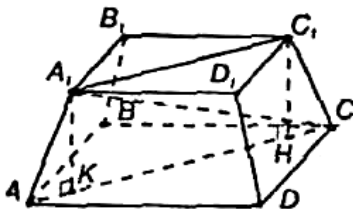
$$\text{Так что } AK = AO - KO = \frac{4\sqrt{3}}{3} - \frac{\sqrt{3}}{3} = \sqrt{3} \text{ (дм).}$$

Далее, в  $\triangle AA_1K$  по теореме Пифагора:

$$A_1K = \sqrt{AA_1^2 - AK^2} = \sqrt{2^2 - (\sqrt{3})^2} = 1 \text{ (дм).}$$

Ответ: 1 дм.

**72.** В правильной четырехугольной усеченной пирамиде высота равна 2 см, а стороны оснований — 3 см и 5 см. Найдите диагональ этой пирамиды.



Диагональным сечением данной пирамиды является равнобокая трапеция  $AA_1C_1C$ .

Так как  $A_1C_1$  и  $AC$  — диагонали квадратов,  $A_1B_1C_1D_1$  и  $ABCD$ , то  $A_1C_1 = A_1B_1 \cdot \sqrt{2} = 3\sqrt{2}$  (см) и  $AC = AB \cdot \sqrt{2} = 5\sqrt{2}$  (см).

Проведем  $A_1K \perp AC$  и  $C_1H \perp AC$ .

Тогда  $A_1C_1HK$  — прямоугольник и  $A_1C_1 = KH$ .

Так что, прямоугольные треугольники  $AA_1K$  и  $CC_1H$  равны по гипотенузе и катету.

$$\text{Тогда, } AK = CH = \frac{1}{2} (AC - A_1C_1) = \frac{1}{2} (5\sqrt{2} - 3\sqrt{2}) = \sqrt{2}.$$

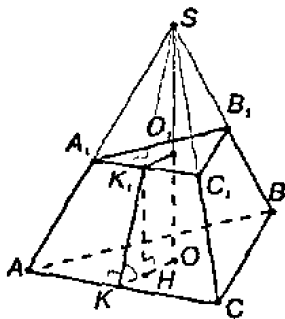
Тогда  $CK = AC - AK = 5\sqrt{2} - \sqrt{2} = 4\sqrt{2}$  (см)  
и по теореме Пифагора в  $\triangle A_1CK$ :

$$A_1C = \sqrt{A_1K^2 + CK^2} = \sqrt{2^2 + (4\sqrt{2})^2} = 6 \text{ (см).}$$

Ответ: 6 см.



73. Стороны оснований усеченной правильной треугольной пирамиды 2 см и 6 см. Боковая грань образует с большим основанием угол  $60^\circ$ . Найдите высоту.



Дополним усеченную пирамиду до полной.

Так как в правильной пирамиде высота проходит через центр окружности, вписанной в основание, то  $O$  и  $O_1$  — центры окружностей, вписанных в  $ABC$  и  $A_1B_1C_1$ .

Проведем  $SK \perp AC$ , а значит, и  $SK_1 \perp A_1C_1$ .

Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $OK \perp AC$  и  $OK_1 \perp A_1C_1$ . Значит,  $OK$  и  $OK_1$  — радиусы окружностей, вписанных в правильные треугольники  $ABC$  и  $A_1B_1C_1$ .

$$\text{Так что, } OK = \frac{AB \cdot \sqrt{3}}{6} = \frac{6\sqrt{3}}{6} = \sqrt{3} \text{ (см) и}$$

$$OK_1 = \frac{A_1B_1 \cdot \sqrt{3}}{6} = \frac{2\sqrt{3}}{6} = \frac{\sqrt{3}}{3} \text{ (см). Далее, проведем } K_1H \perp KO.$$

Тогда  $K_1O_1OH$  — прямоугольник, значит,  $K_1H = OO_1$

Так как  $\angle K_1KH$  является линейным углом двугранного угла между основанием и боковой гранью, то  $\angle K_1KH = 60^\circ$  (по условию).

$$\text{Тогда в } \triangle K_1KH: K_1H = KH \cdot \operatorname{tg} \angle K_1KH = \sqrt{3} KH.$$

$$KH = KO - OH = KO - K_1O_1 = \left( \sqrt{3} - \frac{\sqrt{3}}{3} \right) = \frac{2\sqrt{3}}{3}.$$

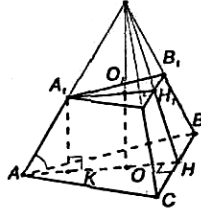
$$\text{Так что } K_1H = \sqrt{3} \cdot \frac{2\sqrt{3}}{3} = 2 \text{ (см).}$$

$$OO_1 = K_1H = 2 \text{ см}$$

Ответ: 2 см.

74. В правильной усеченной треугольной пирамиде сторона большего основания  $a$ , сторона меньшего  $b$ . Боковое ребро образует с основанием угол  $45^\circ$ .

Найдите площадь сечения, проходящего через боковое ребро и ось пирамиды.



Так как в правильной пирамиде высота проходит через центр окружности, описанной около основания, а ось правильной усеченной пирамиды совпадает с осью соответствующей полной пирамиды, то  $O$  и  $O_1$  — центры окружностей, описанных около  $\triangle A_1B_1C_1$  и  $\triangle ABC$ . Так что

$$A_1O_1 = R_1 = \frac{b\sqrt{3}}{3} \text{ и } AO = R_2 = \frac{a\sqrt{3}}{3}.$$

Далее, проведем  $A_1K \perp AO$ . Так что  $A_1O_1OK$  — прямоугольник, поэтому  $A_1O_1 = KO$ . Тогда  $AK = AO - KO = \frac{a\sqrt{3}}{3} - \frac{b\sqrt{3}}{3} = (a-b)\frac{\sqrt{3}}{3}$ .

Далее, в прямоугольном  $\triangle AA_1K$   $\angle AA_1K = 45^\circ$ .

Так что,  $A_1K = AK = (a-b)\frac{\sqrt{3}}{3}$ .

В правильном треугольнике  $ABC$   $AH = \frac{a\sqrt{3}}{2}$ ,

а в  $\triangle A_1B_1C_1$ :  $A_1H_1 = \frac{b\sqrt{3}}{2}$ .

Площадь сечения равна площади трапеции  $AA_1H_1H$  и равна:

$$\begin{aligned} S &= \frac{AH + A_1H_1}{2} \cdot A_1K = \frac{1}{2} \left( \frac{a\sqrt{3}}{2} + \frac{b\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (a-b)\frac{\sqrt{3}}{3} = \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{3} (a+b)(a-b) = \frac{1}{4} (a^2 - b^2). \end{aligned}$$

Ответ:  $\frac{1}{4} (a^2 - b^2)$ .

75. Высота правильной четырехгранной усеченной пирамиды равна 4 см. Стороны оснований равны 2 см и 8 см.

Найдите площади диагональных сечений.

В диагональном сечении находится трапеция с высотой, равной высоте пирамиды — 4 см, и основаниями, равными диагоналям оснований, то есть квадратов со сторонами 2 см и 8 см. Так что основания трапеции равны  $2\sqrt{2}$  см и  $8\sqrt{2}$  см.

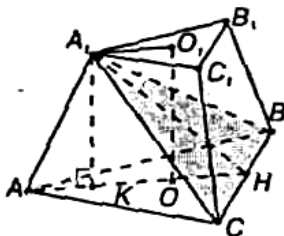
Следовательно площадь сечения равна:

$$S = \frac{8\sqrt{2} + 2\sqrt{2}}{2} \cdot 4 = 20\sqrt{2} \text{ (см}^2\text{)}.$$

Ответ:  $20\sqrt{2}$ .

76. В правильной треугольной усеченной пирамиде сторона нижнего основания 8 м, верхнего — 5 м, а высота 3 м. Проведите сечение через сторону нижнего основания и противоположную вершину верхнего основания.

Найдите площадь сечения и двугранный угол между сечением и нижним основанием.



Ось правильной усеченной пирамиды совпадает с осью соответствующей полной пирамиды, поэтому  $OO_1$  является высотой усеченной пирамиды, а точки  $O$  и  $O_1$  — центры окружностей, описанных около треугольников  $ABC$  и  $A_1B_1C_1$ .

Тогда

$$A_1O_1 = \frac{A_1B_1\sqrt{3}}{3} = \frac{5\sqrt{3}}{3} \text{ (м)} \text{ и } AO = \frac{AB\sqrt{3}}{3} = \frac{8\sqrt{3}}{3} \text{ (м)}.$$

Далее, проведем  $AH \perp BC$  в  $\triangle ABC$ . Так как  $\triangle ABC$  — равнобедренный, то  $AH = \frac{AB\sqrt{3}}{2} = \frac{8\sqrt{3}}{2} = 4\sqrt{3}$  (м).

Далее, по теореме о трех перпендикулярах  $AH \perp BC$  (в  $\triangle ABC$ ). Тогда  $\angle A_1KA$  — линейный угол искомого двугранного угла. Проведем  $A_1K \perp AH$ . Тогда из прямоугольника  $A_1O_1OK$  получаем, что:

$$A_1O_1 = KO. \text{ Так что } AK = AO - KO = \frac{8\sqrt{3}}{3} - \frac{5\sqrt{3}}{3} = \sqrt{3} \text{ (м).}$$

Тогда  $KH = AH - AK = 4\sqrt{3} - \sqrt{3} = 3\sqrt{3}$  (м). Далее,  
в прямоугольном  $\Delta A_1KH$

$$\operatorname{ctg} \angle A_1HK = \frac{KH}{A_1K} = \frac{3\sqrt{3}}{3} = \sqrt{3}, \text{ так что } \angle A_1HK = 30^\circ. \text{ Далее,}$$

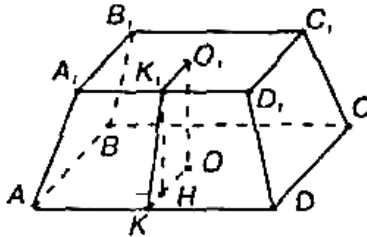
по теореме Пифагора в  $\Delta A_1KH$ :

$$A_1H = \sqrt{A_1K^2 + KH^2} = \sqrt{3^2 + (3\sqrt{3})^2} = 6 \text{ (м). Так что}$$

$$\text{площадь сечения равна } S_{A_1BC} = \frac{1}{2} BC \cdot A_1H = \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 6 = 24 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Ответ:  $24 \text{ м}^2$  и  $30^\circ$ .

77. В правильной четырехугольной усеченной пирамиде стороны оснований 8 м и 2 м. Высота равна 4 м. Найдите полную поверхность.



Так как ось правильной усеченной пирамиды совпадает с осью соответствующей полной пирамиды, то  $OO_1$  является высотой пирамиды и точки  $O$  и  $O_1$  являются центрами окружностей, вписанных в квадраты  $ABCD$  и  $A_1B_1C_1D_1$ . Тогда проведем  $OK \perp AD$  и  $OK_1 \perp A_1D_1$ .

Значит,  $OK$  и  $O_1K_1$  — радиусы вписанных окружностей  $OK = \frac{1}{2} AB = \frac{1}{2} \cdot 8 = 4$  (м) и  $O_1K_1 = \frac{1}{2} A_1B_1 = \frac{1}{2} \cdot 2 = 1$  (м).

Далее, проведем  $K_1H \perp KO$ . Из прямоугольника  $K_1O_1OH$  следует, что  $OK = O_1K_1 = 1$  м. Так что

$$KH = KO - OH = 4 - 1 = 3 \text{ (м).}$$

Далее, из прямоугольного  $\Delta KK_1H$  найдем по теореме Пифагора:

$$KK_1 = \sqrt{KH^2 + K_1H^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ (м), где } KK_1 \text{ — апофема.}$$

Далее, площадь полной поверхности  $S = S_{ABCD} + S_{A_1B_1C_1D_1} + S_{\text{бок}}$

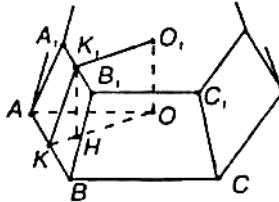
$$S_{\text{бок}} = 4 \cdot \frac{A_1D_1 + AD}{2} \cdot K_1K = 4 \cdot \frac{8+1}{2} \cdot 5 = 100 \text{ (м}^2\text{)}.$$

$$S_{ABCD} = AB = 8^2 = 64 \text{ (м}^2\text{)}.$$

$$S_{A_1B_1C_1D_1} = A_1B_1^2 = 2^2 = 4 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Ответ: 168 м<sup>2</sup>.

**78.** Найдите полную поверхность правильной усеченной пирамиды: 1) треугольной; 2) четырехугольной; 3) шестиугольной, если высота  $h$ , а стороны оснований  $a$  и  $b$ .



Проведем  $OK \perp AB$  и  $OK_1 \perp A_1B_1$ .

Высота  $OO_1 = h$  проходит через центры окружностей, вписанных в основания. Так что  $OK = r_1$  и  $O_1K_1 = r_2$ .

Тогда в прямоугольном  $\triangle KKH_1$ :  $KH = OK - O_1K_1 = r_1 - r_2$  и по теореме Пифагора:

$$KK_1 = \sqrt{K_1H^2 + KH^2} = \sqrt{h^2 + (r_1 - r_2)^2} \text{ — апофема.}$$

Площадь полной поверхности равна сумме площадей  $S_1$  и  $S_2$  оснований и площади боковой поверхности.  $S_{\text{бок}} = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot KK_1$ , где  $P_1$  и  $P_2$  — периметры оснований. Тогда:

$$1) \text{ В треугольной пирамиде } S_1 = \frac{a^2\sqrt{3}}{4} \text{ и } S_2 = \frac{b^2\sqrt{3}}{4}, P_1 = 3a,$$

$$P_2 = 3b, r_1 = \frac{a\sqrt{3}}{6} \text{ и } r_2 = \frac{b\sqrt{3}}{6}. \text{ Так что } KK_1 = \sqrt{h^2 + \frac{(a-b)^2}{12}} \text{ и}$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = \frac{a^2\sqrt{3}}{4} + \frac{b^2\sqrt{3}}{4} + \frac{3a+3b}{2} \cdot \sqrt{h^2 + \frac{(a-b)^2}{12}} =$$

$$= \frac{\sqrt{3}}{4} \left( a^2 + b^2 + (a+b)\sqrt{12h^2 + (a-b)^2} \right).$$

$$2) \text{ В четырехугольной пирамиде } S_1 = a^2, S_2 = b^2, P_1 = 4a, P_2 = 4b,$$

$$r_1 = \frac{a}{2} \text{ и } r_2 = \frac{b}{2}.$$

Так что  $KK_1 = \sqrt{h^2 + \frac{(a-b)^2}{4}}$  и

$$S = S_1 + S_2 + S_{\text{бок}} = a^2 + b^2 + \frac{4a+4b}{2} \cdot \sqrt{h^2 + \frac{(a-b)^2}{4}} = \\ = a^2 + b^2 + (a+b)\sqrt{4h^2 + (a-b)^2}.$$

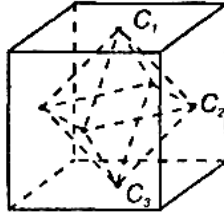
3) В шестиугольной пирамиде  $S_1 = 6 \cdot \frac{a^2\sqrt{3}}{4} = \frac{3a^2\sqrt{3}}{2}$ ,

$$S_2 = 6 \cdot \frac{b^2\sqrt{3}}{4} = \frac{3b^2\sqrt{3}}{2}, P_1 = 6a, P_2 = 6b, r_1 = \frac{a\sqrt{3}}{2} \text{ и } r_2 = \frac{b\sqrt{3}}{2}.$$

Так что  $KK_1 = \sqrt{h^2 + \frac{3}{4}(a^2 - b^2)}$  и

$$S = S_1 + S_2 + S_{\text{бок}} = \frac{3a^2\sqrt{3}}{2} + \frac{3b^2\sqrt{3}}{2} + \frac{6a+6b}{2} \times \\ \times \sqrt{h^2 + \frac{3(a-b)^2}{4}} = \frac{3}{2} \left( \sqrt{3} \cdot (a^2 + b^2) + (a+b)\sqrt{4h^2 + 3(a-b)^2} \right)$$

**79.** Докажите, что центры граней куба являются вершинами октаэдра, а центры граней октаэдра являются вершинами куба.



Обозначим центры граней куба  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ .

Каждая грань куба граничит с четырьмя другими, так что каждая из точек  $C$  будет соединена с четырьмя другими. Так как расстояния между центрами граней, имеющих общее ребро, в кубе одинаковы, то получим фигуру, имеющую 6 вершин, в каждой из которых сходится по 4 ребер, и все грани представляют собой правильные треугольники.

Значит, эта фигура — октаэдр.

Наоборот:

Обозначим центры граней октаэдра  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8$ .

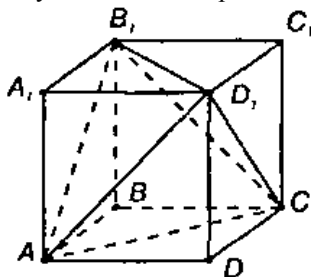
Каждая грань октаэдра граничит с тремя другими, так что центр каждой грани будет соединен ребрами с тремя соседними

центрами. Так как расстояния между центрами граней, имеющих общее ребро, одинаковы, то получится фигура, имеющая восемь вершин; из каждой вершины выходят по три одинаковых ребра и все грани представляют собой квадраты.

Значит, эта фигура — куб.

Что и требовалось доказать.

**80.** Докажите, что концы двух непараллельных диагоналей противоположных граней куба являются вершинами тетраэдра.



Соединим концы непараллельных диагоналей противоположных граней  $AB_1$  и  $CD_1$ .

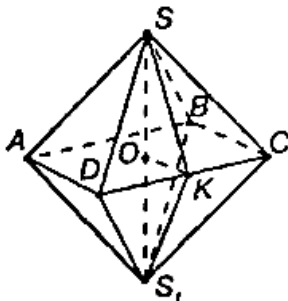
Рассмотрим полученную фигуру  $AB_1D_1C$ . В каждой из четырех  $A_1B_1D_1$  и  $C$  вершин сходятся три ребра. А также все отрезки  $AB_1$ ,  $AD_1$ ,  $AC$ ,  $B_1D_1$ ,  $D_1C$  и  $B_1C$  являются диагоналями равных квадратов и, значит, равны между собой. Так что фигура  $AB_1D_1C$  составлена из четырех правильных треугольников, то есть является тетраэдром.

Что и требовалось доказать.

**81.** Найдите двугранные углы правильного тетраэдра.

Задача решена в учебнике п. 185, стр. 72.

**82.** Найдите двугранные углы октаэдра.



Проведем ось  $SS_1$ , которая перпендикулярна плоскости  $ABCD$ .

Так как верхняя часть октаэдра — правильная пирамида, то  $O$  — центр окружности, вписанной в квадрат  $ABCD$ .

Обозначим ребро октаэдра  $x$ . Тогда, если  $OK \perp DC$ , то  $OK = r = \frac{x}{2}$ .

Проведем  $SK$  и  $S_1K$ , тогда по теореме о трех перпендикулярах имеем  $SK \perp DC$  и  $S_1K \perp DC$ . Так что  $\angle SKS_1$  — линейный угол искомого двугранного угла.

Из правильного  $\triangle SDC$ :  $SK = \frac{x\sqrt{3}}{2}$ , а из  $\triangle S_1DC$ :  $S_1K = \frac{x\sqrt{3}}{2} = SK$ .

Далее, из прямоугольного  $\triangle SOK$  по теореме Пифагора получаем:

$$SO = \sqrt{SK^2 - OK^2} = \sqrt{\frac{x^2 \cdot 3}{4} - \frac{x^2}{4}} = \frac{x\sqrt{2}}{2} = OS_1. \text{ Так что } SS_1 = 2OS = x\sqrt{2}.$$

По теореме косинусов в  $\triangle SKS_1$ :

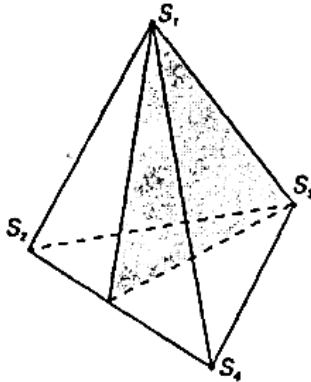
$$SS_1^2 = SK^2 + S_1K^2 - 2SK \cdot S_1K \cdot \cos \angle SKS_1.$$

$$\text{То есть } x^2 \cdot 2 = \frac{x^2 \cdot 3}{4} + \frac{x^2 \cdot 3}{4} - 2 \cdot \frac{x \cdot \sqrt{3}}{4} \cdot \frac{x \cdot \sqrt{3}}{4} \cdot \cos \alpha.$$

Так что,  $\cos \alpha = -\frac{1}{3}$ . Тогда  $\alpha \approx 109^\circ 28'$

Остальные двугранные углы равны найденному.

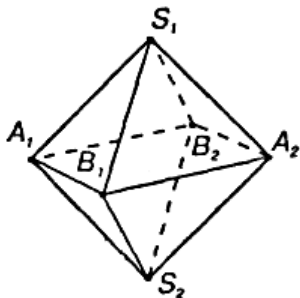
**83.** Какие плоскости симметрии имеет правильный тетраэдр?



Правильный тетраэдр имеет плоскости симметрии, проходящие через какое-либо ребро, перпендикулярно противоположному ребру. Так как ребер 6, то и плоскостей симметрии 6.



84. Сколько плоскостей симметрии у правильного октаэдра, додекаэдра и икосаэдра?



В октаэдре через пару противоположных вершин  $S_1$  и  $S_2$  проходят четыре плоскости симметрии (две из них проходят через ребра  $A_1S_1$ , и  $A_2S_1$  а также  $B_1S_1$  и  $B_2S_1$ ).

Еще две плоскости проходят через ось  $S_1S_2$  перпендикулярно ребрам  $A_1B_1$  и  $A_2B_1$ , а также ребрам  $B_1A_2$  и  $A_2B_2$ .

Далее, через пару противоположных вершин  $A_1$ ,  $A_2$  по тем же соображениям проходят четыре плоскости симметрии; но одна из них, проходящая через  $A_1S_1$  и  $A_2S_1$  уже была учтена.

Так что есть еще три плоскости симметрии.

Через пару противоположных вершин  $B_1B_2$  проходят также четыре плоскости симметрии, но две из них уже были учтены. Значит, получим всего  $4+3+2=9$  плоскостей симметрии.

Правильный икосаэдр имеет 12 вершин.

Через первую пару противоположных вершин проходят пять плоскостей симметрии (каждая их них проходит через ребро, содержащее вершину, перпендикулярно противоположному углу).

Далее, через вторую пару противоположных вершин также проходят 5 плоскостей, но одна из них подсчитана в первом случае, так что остаются новых четыре плоскости симметрии.

Для третьей пары получим — 3 новых плоскости, а для четвертой — две плоскости и для пятой пары только одна новая плоскость.

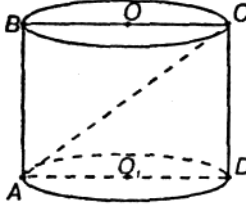
Через шестую пару вершин не пройдет ни одной новой плоскости симметрии.

Значит, всего  $5+4+3+2+1=15$  плоскостей симметрии. Правильный додекаэдр состоит из двенадцати правильных пятиугольников. Так что плоскости симметрии проходят через ребро, содержащее вершину, перпендикулярно противоположному ребру. Поэтому

через первую пару противоположных пятиугольников проходит 5 плоскостей, через вторую пару — 4, через третью — 3, четвертую — 2, пятую — 1. Так что всего плоскостей симметрии  $5+4+3+2+1=15$ .

## §21. Тела вращения.

1. Радиус основания цилиндра 2 м, а высота 3 м. Найдите диагональ осевого сечения.



Осевое сечение является прямоугольником со сторонами  $CD = 2\text{ м}$  и  $AD = 4\text{ м}$ . Так что из прямоугольного  $\triangle ACD$ :  
 $AC = \sqrt{AD^2 + CD^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5\text{ (м)}$  (по теореме Пифагора).

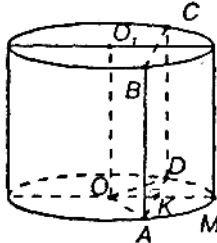
Ответ: 5 м.

2. Осевое сечение цилиндра — квадрат, площадь которого  $Q$ . Найдите площадь основания цилиндра.

Задача решена в учебнике п. 187, стр. 82.

3. Высота цилиндра 6 см, радиус основания 5 см.

Найдите площадь сечения, проведенного параллельно оси цилиндра на расстоянии 4 см от нее.



В равнобедренном  $\triangle AOD$   $OK \perp AD$ ; так что  $OK = 4$  (см). Далее, по теореме Пифагора в  $\triangle AOK$

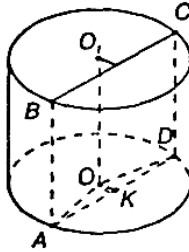
$AK = \sqrt{OA^2 - OK^2} = \sqrt{5^2 - 4^2} = 3\text{ (см)}$ , а  $AD = 2AK = 6\text{ (см)}$ .

Тогда  $S_{ABCD} = AD \cdot AB = 6 \cdot 6 = 36\text{ (см}^2\text{)}$ .

Ответ:  $36\text{ см}^2$ .

4. Высота цилиндра 8 дм, радиус основания 5 дм.

Цилиндр пересечен плоскостью так, что в сечении получился квадрат. Найдите расстояние от этого сечения до оси.



Так как в сечении квадрат  $ABCD$ , то  $AB=AD=8$  дм.

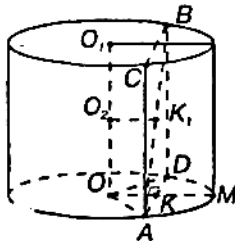
В равнобедренном  $\triangle AOD$  проведем  $OK \perp AD$ .

Тогда  $AK = \frac{1}{2} \cdot AD = 4$  (дм). Далее, по теореме Пифагора

$$OK = \sqrt{AO^2 - AK^2} = \sqrt{5^2 - 4^2} = 3 \text{ (дм)}.$$

Ответ: 3 дм.

5. Высота цилиндра 6 дм, радиус основания 5 дм. Концы отрезка  $AB$ , равного 10 дм, лежат на окружностях обоих оснований. Найдите кратчайшее расстояние от него до оси.



Проведем через  $AB$  плоскость  $ABCD$ , параллельную  $OO_1$ . Так как  $ABCD$  прямоугольник, то  $AD = \sqrt{AB^2 - BD^2} = \sqrt{10^2 - 6^2} = 8$  (дм).

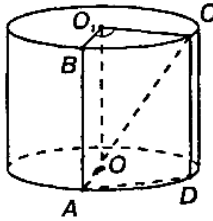
В равнобедренном  $\triangle AOD$  проведем  $OK \perp AD$ , тогда  $AK = 0,5 \cdot AD = 4$  (дм).

Из  $\triangle AOK$

$$OK = \sqrt{AO^2 - AK^2} = \sqrt{5^2 - 4^2} = 3 \text{ (дм)}..$$

6. В равностороннем цилиндре (диаметр равен высоте цилиндра) точка окружности верхнего основания соединена с точкой окружности нижнего основания.

Угол между радиусами, проведенными в эти точки, равен  $60^\circ$ . Найдите угол  $X$  между проведенной прямой и осью цилиндра.



Через данные точки  $A$  и  $C$  проведем плоскость  $ABCD$ , параллельную оси. Соединим точки  $B$  и  $O_1$ . Угол между радиусами, проведенными в данные точки  $A$  и  $C$  соответственно из  $O$  и  $O_1$  будет равен углу  $\angle BO_1C = 60^\circ$ .

Следовательно, равнобедренный  $\triangle BO_1C$  является равносторонним и  $BC = 0,5 = K$ . Искомый угол  $X$  между проведенной прямой  $AC$  и осью цилиндра равен  $\angle BAC$ . В прямоугольнике  $ABCD$   $AB = D = 2R$  (по условию). Тогда из прямоугольного  $\triangle ABC$

$$\operatorname{tg} X = \operatorname{tg} \angle BAC = \frac{BC}{AB} = \frac{R}{2R} = \frac{1}{2} \quad \text{и} \quad X = \operatorname{arctg} \frac{1}{2}.$$

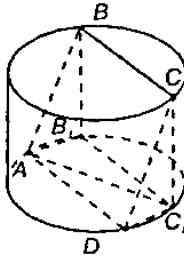
Ответ:  $X = \operatorname{arctg} \frac{1}{2}$ .

7. В цилиндр вписана правильная шестиугольная призма. Найдите угол между диагональю ее боковой грани и осью цилиндра, если радиус основания равен высоте цилиндра.

Задача решена в учебнике п. 188, стр. 83.

8. Высота цилиндра 2 м. Радиус основания 7 м. В этот цилиндр наклонно вписан квадрат — так, что все вершины его лежат на окружностях оснований.

Найдите сторону квадрата.



Пусть  $ABCD$  — данный квадрат, тогда проведем  $BB_1$  и  $CC_1$  перпендикулярно плоскости основания. По теореме о трех перпендикулярах  $B_1A \perp AD$  и  $C_1D \perp AD$ . Так что  $AB_1C_1D$  — прямоугольник и  $AD = B_1C_1$ , а его диагональ  $AC_1$  является диаметром окружности,

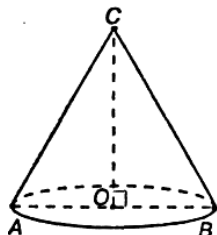
так что  $AC_1=14(\text{м})$ . Из  $\triangle ADC_1$  и  $\triangle CDC_1$  получим по теореме Пифагора  $DC_1^2 = AC_1^2 - AD^2$  и  $DC_1^2 = DC^2 - CC_1^2$ . Далее, пусть  $AD=DC=a$ , тогда:

$$AC_1^2 - a^2 = a^2 - CC_1^2, 14^2 - a^2 = a^2 - 2^2, a^2 = 100 \text{ и } a = 10(\text{м}).$$

Ответ: 10 (м).

9. Радиус основания конуса 3 м, высота 4 м.

Найдите образующую  $l$ .

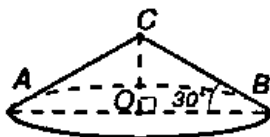


Из прямоугольного  $\triangle BOC$  по теореме Пифагора получим:

$$l = BC = \sqrt{OB^2 + OC^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5(\text{м}).$$

Ответ 5 м.

10. Образующая конуса  $l$  наклонена к плоскости основания под углом  $30^\circ$ . Найдите высоту.



Из прямоугольного  $\triangle BOC$ :

$$CO = BC \cdot \sin 30^\circ = \frac{l}{2}$$

11. Радиус основания конуса  $R$ . Осевым сечением конуса является прямоугольный треугольник.

Найдите его площадь.

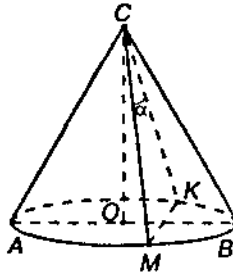
Данный прямоугольный треугольник является еще и равнобедренным. Так что высота в нем, проведенная к основанию, является и медианой. А медиана, проведенная к гипотенузе, равна половине гипотенузы, то есть радиусу, так как гипотенуза равна диаметру. Тогда площадь

$$S = \frac{1}{2} \cdot d \cdot h = \frac{1}{2} \cdot 2R \cdot R = R^2.$$

Ответ:  $R^2$ .

12. В равностороннем конусе (осевое сечение — правильный треугольник) радиус основания  $R$ .

Найдите площадь сечения, проведенного через две образующие, угол между которыми равен  $\alpha$ .



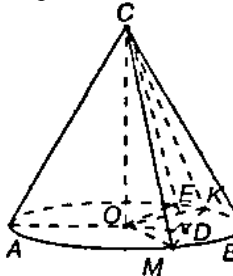
Так как в осевом сечении  $\triangle ABC$  — правильный, то  $AC=AB=2R$ . Площадь  $\triangle MCK$  найдем по формуле:

$$S = \frac{1}{2} MC \cdot CK \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot 2R \cdot 2R \sin \alpha = 2R^2 \sin \alpha$$
 (так как  $MC = CK = AB$  — образующие).

Ответ:  $2R^2 \sin \alpha$ .

13. Высота конуса 20, радиус его основания 25.

Найдите площадь сечения, проведенного через вершину, если расстояние от него до центра основания конуса равно 12.



Проведем  $OD \perp MK$  в равнобедренном  $\triangle OMK$ . По теореме о трех перпендикулярах  $CD \perp MK$ . Проведем  $OE \perp CD$  в  $\triangle COD$ .

Тогда  $OE$  данное расстояние от центра основания конуса до плоскости  $MCK$ .  $OE = 12$ .

Так что в  $\triangle COD$ :  $\sin \angle OCE = \frac{OE}{OC} = \frac{12}{20} = 0,6$ .

Тогда

$$\cos \angle OCE = \sqrt{1 - \sin^2 \angle OCE} = \sqrt{1 - 0,36} = 0,8.$$

$$\text{Так что, } \operatorname{tg} \angle OCE = \frac{\sin \angle OCE}{\cos \angle OCE} = \frac{0,6}{0,8} = 0,75.$$

Далее,  $OD = CO \cdot \operatorname{tg} \angle OCE = 20 \cdot 0,75 = 15$

$$CD = \sqrt{OD^2 + CO^2} = \sqrt{15^2 + 20^2} = 25.$$

В  $\triangle OMD$  по теореме Пифагора:

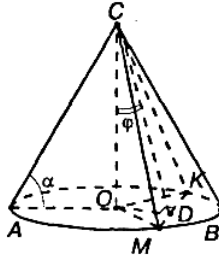
$$MD = \sqrt{OM^2 - OD^2} = \sqrt{25^2 - 15^2} = 20, \text{ так что } MK = 2MD = 40.$$

$$S_{MCK} = \frac{1}{2} MK \cdot CD = \frac{1}{2} \cdot 40 \cdot 25 = 500.$$

Ответ: 500.

**14.** Радиус основания конуса  $R$ , а образующая наклонена к плоскости основания под углом  $\alpha$ . Через вершину конуса проведем на плоскость под углом  $\varphi$  к его высоте.

Найдите площадь полученного сечения.



В прямоугольном  $\triangle ACO$   $CO = AO \cdot \operatorname{tg} \alpha = R \cdot \operatorname{tg} \alpha$ .

В  $\triangle OMK$  проведем  $OD \perp MK$ . Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $CD \perp MK$ .

В прямоугольном  $\triangle OCD$  имеем  $OD = OC \cdot \operatorname{tg} \varphi = R \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi$  и

$$CD = \frac{OC}{\cos \varphi} = R \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \varphi}.$$

Далее, в прямоугольном  $\triangle ODK$  по теореме Пифагора

$$DK = \sqrt{OK^2 - OD^2} = \sqrt{R^2 - R^2 \operatorname{tg}^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \varphi} = R \sqrt{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \varphi}. \text{ Так что}$$

$$\text{площадь } \triangle CMK \text{ равна } S_{CMK} = \frac{1}{2} \cdot MK \cdot CD =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{2R \operatorname{tg} \alpha}{\cos \varphi} \cdot R \sqrt{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \varphi} = \frac{R^2 \operatorname{tg} \alpha}{\cos \varphi} \cdot \sqrt{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \varphi}.$$

$$\text{Ответ: } \frac{R^2 \operatorname{tg} \alpha}{\cos \varphi} \cdot \sqrt{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \varphi}$$



15. Задача решена в учебнике п. 190, стр. 85.

16. Высота конуса  $H$ .

На каком расстоянии от вершины надо провести плоскость, параллельную основанию, чтобы площадь сечения была равна половине площади основания ?

Проведенная плоскость отсечет от конуса подобный конус. В подобных фигурах отношение линейных размеров равно коэффициенту подобия, а отношение соответствующих площадей — квадрату коэффициента подобия. Так что

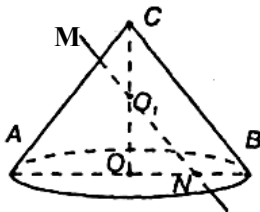
$$\frac{S_1}{S_2} = K^2 = \frac{1}{2}. \text{ Поэтому } K = \frac{1}{\sqrt{2}}. \text{ Тогда } \frac{l}{H} = K \text{ и}$$

$$l = H \cdot K = \frac{H}{\sqrt{2}}, \text{ где } l \text{ — искомое расстояние.}$$

Ответ:  $\frac{H}{\sqrt{2}}$ .

17. Через середину высоты конуса проведена прямая, параллельная образующей  $l$ .

Найдите длину отрезка прямой, заключенной внутри конуса.



Пусть  $MN$  — данная прямая.

Рассмотрим осевое сечение конуса, содержащее прямую  $MN$ . В  $\triangle COB$  по условию  $CO_1 = O_1O$  и  $O_1N \parallel CB$ . Тогда по теореме Фалеса

$$ON = NB, \text{ а значит, } ON = \frac{1}{2}R. \text{ Так что } NA = \frac{3}{2}R.$$

Далее,  $\triangle AMN \sim \triangle ACB$ , поэтому  $\frac{AN}{AB} = \frac{MN}{CB}$ . Так что

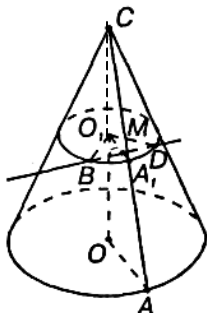
$$MN = \frac{AN \cdot CB}{AB} = \frac{\frac{3}{2}R \cdot l}{2R} = \frac{3}{4}l.$$

Ответ:  $\frac{3}{4}l$ .

18. Образующая конуса 13 см, высота 12 см.

Конус пересечен прямой, параллельной основанию, расстояние от нее до основания равно 6 см, а до высоты — 2 см.

Найдите отрезок прямой, заключенный внутри конуса.



Из  $\triangle COA$  по теореме Пифагора:

$$OA = \sqrt{CA^2 - CO^2} = \sqrt{13^2 - 12^2} = 5(\text{см}).$$

Проведем плоскость, параллельную основанию и содержащую данную прямую  $BD$ . Тогда проведенная плоскость отсечет от конуса подобный конус. Далее,  $\triangle CO_1A_1 \sim \triangle COA$ .

$$\text{Тогда } \frac{O_1A_1}{OA} = \frac{CO_1}{CO}, \text{ то есть } O_1A_1 = \frac{OA \cdot CO_1}{CO} = \frac{5 \cdot (12 - 6)}{12} = 2,5(\text{см}).$$

Далее, в  $\triangle BO_1D$  проведем  $O_1M \perp BD$ .

Тогда в прямоугольном  $\triangle BO_1M$

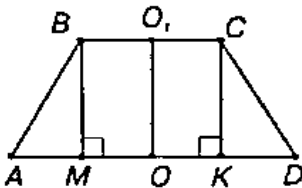
$$BM = \sqrt{BO_1^2 - O_1M^2} = \sqrt{2,5^2 - 2^2} = 1,5(\text{см}) \text{ (по теореме Пифаго-}$$

ра). Так что  $BD = 2 \cdot BM = 2 \cdot 1,5 = 3(\text{см})$ .

Ответ: 3 см.

19. Радиусы оснований усеченного конуса 3 м и 6 м, высота 4 м.

Найдите образующую.



Рассмотрим осевое сечение усеченного конуса. Тогда  $ABCD$  — равнобедренная трапеция с основаниями  $BC = 2R_1 = 2 \cdot 3 = 6(\text{м})$  и  $AD = 2R_2 = 2 \cdot 6 = 12(\text{м})$ .

Далее, проведем  $BM \perp AD$  и  $CK \perp AD$ .  $BCKM$  — прямоугольник. Имеем  $BM = CK$  и  $\triangle ABM = \triangle DCK$ . Поэтому

$$KD = AM = \frac{AD - MK}{2} = \frac{AD - BC}{2} = \frac{12 - 6}{2} = 3(\text{м}). \text{ Далее,}$$

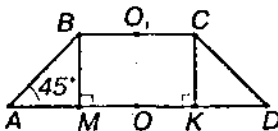
в прямоугольном  $\triangle ABM$  по теореме Пифагора:

$$AB = \sqrt{AM^2 + BM^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5(\text{м}).$$

Ответ: 5 м.

**20.** Радиусы оснований усеченного конуса  $R$  и  $r$ , образующая наклонена к основанию под углом  $45^\circ$ .

Найдите высоту  $H$ .



Рассмотрим осевое сечение усеченного конуса. Им является  $ABCD$  — равнобедренная трапеция с основаниями

$$BC = 2 \cdot BO_1 = 2r \text{ и } AD = 2 \cdot AO = 2R. \text{ Далее,}$$

проведем  $BM \perp AD$  и  $CK \perp AD$ . Тогда

$$BCKM \text{ — прямоугольник и } BC = MK, BM = CK. \triangle ABM = \triangle DCK.$$

Так что

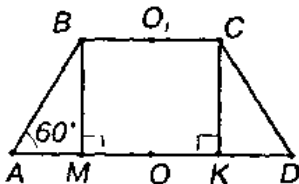
$$KD = AM = \frac{AD - MK}{2} = \frac{AD - BC}{2} = \frac{2R - 2r}{2} = R - r. \text{ Далее, } \triangle AMB$$

равнобедренный, так как  $\angle A = \angle ABM = 45^\circ$ . Так что  $H = BM = AM = R - r$ .

Ответ:  $R - r$ .

**21.** Образующая усеченного конуса равна  $2a$  и наклонена к основанию под углом  $60^\circ$ . Радиус одного основания вдвое больше радиуса другого основания.

Найдите радиусы.



Рассмотрим осевое сечение усеченного конуса. Им является равнобедренная трапеция  $ABCD$ , где  $BC = 2R_2$  и  $AD = 2R_1 = 2 \cdot 2R_2 = 4R_2 = BC$ . Далее, проведем  $BM \perp AD$  и  $CK \perp AD$ . Тогда  $BCKM$  —

прямоугольник, так что  $BC=MK$  и  $BM = CK$ . Поэтому  $\triangle ABM = \triangle DCK$  ( $AB = CD$  и  $BM = CK$ ). Так что

$$AM = KD = \frac{AD - BC}{2} = \frac{4R_2 - 2R_2}{2} = R_2$$

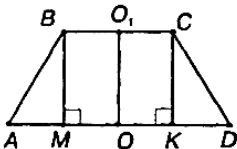
Далее, в прямоугольном  $\triangle ABM$ :  $AM = R = AB \cdot \cos 60^\circ = 2a \cdot \frac{1}{2}$ .

Тогда  $R_1 = 2R_2 = 2a$ .

Ответ:  $a$  и  $2a$ .

**22.** Радиусы оснований усеченного конуса 3 дм и 7 дм, образующая 5 дм.

Найдите площадь осевого сечения.



Рассмотрим осевое сечение усеченного конуса. Им является равнобедренная трапеция  $ABCD$  с основаниями  $BC = 2R_1 = 6$  дм и  $AD = 2R_2 = 14$  дм. Далее, проведем  $BM \perp AD$  и  $CK \perp AD$ . Так что  $BC = MK$  и  $BM = CK$ . Тогда

$BCKM$  — прямоугольник.  $\triangle ABM = \triangle CKD$ , так что

$$KD = AM = \frac{AD - BC}{2} = \frac{14 - 6}{2} = 4 \text{ (дм)}. \text{ В прямоугольном } \triangle ABM$$

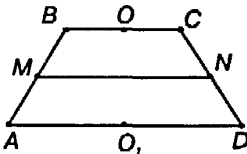
по теореме Пифагора получим:

$$BM = \sqrt{AB^2 - AM^2} = \sqrt{5^2 - 4^2} = 3 \text{ (дм)}. \text{ Тогда}$$

$$S = \frac{AD + BC}{2} \cdot BM = \frac{6 + 14}{2} \cdot 3 = 30 \text{ (дм}^2\text{)}.$$

Ответ:  $30 \text{ дм}^2$ .

**23.** Площади оснований усеченного конуса  $4 \text{ дм}^2$  и  $16 \text{ дм}^2$ , через середину высоты проведена плоскость, параллельная основаниям. Найдите площадь сечения.



Рассмотрим осевое сечение усеченного конуса. Им является  $ABCD$  — трапеция с основаниями  $BC = 2R_1$  и  $AD = 2R_2$ .

Далее,  $S_1 = \pi R_1^2 = 4(\text{дм}^2)$ . Так что  $R_1 = \frac{2}{\sqrt{\pi}}$  (дм) и  $BC = \frac{4}{\sqrt{\pi}}$  (дм).

$S_2 = \pi R_2^2 = 16(\text{дм}^2)$ . Так что  $R_2 = \frac{4}{\sqrt{\pi}}$  (дм) и  $AD = \frac{8}{\sqrt{\pi}}$  (дм)

$MN$  является средней линией трапеции, так что:

$MN = \frac{BC + AD}{2} = \frac{6}{\sqrt{\pi}}$ . Но  $MN$  – диаметр данного сечения.

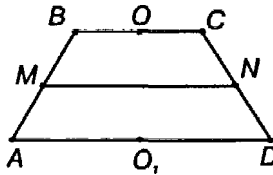
Тогда радиус этого сечения  $R = \frac{1}{2} MN = \frac{3}{\sqrt{\pi}}$  и площадь

$S = \pi R^2 = \pi \cdot \frac{9}{\pi} = 9(\text{дм}^2)$ .

Ответ:  $9 \text{ дм}^2$ .

**24.** Площадь оснований усеченного конуса  $M$  и  $m$ .

Найдите площадь среднего сечения, параллельного основаниям.



Осевое сечение усеченного конуса представляет собой трапецию  $ABCD$  с основаниями  $BC=2R_1$  и  $AD=2R_2$ .

Так как площади оснований равны  $M = \pi R_1^2$  и  $m = \pi R_2^2$ , так что

$$R_1 = \sqrt{\frac{M}{\pi}} \text{ и } R_2 = \sqrt{\frac{m}{\pi}}.$$

Тогда, поскольку  $MN$  — средняя линия, то

$$MN = \frac{BC + AD}{2} = \frac{\sqrt{M} + \sqrt{m}}{\sqrt{\pi}}.$$

Тогда радиус сечения равен  $R = \frac{1}{2} MN = \frac{\sqrt{M} + \sqrt{m}}{2\sqrt{\pi}}$ .

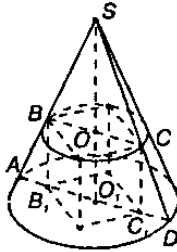
А площадь  $S = \pi R^2 = \pi \frac{(\sqrt{M} + \sqrt{m})^2}{4\pi} = \frac{(\sqrt{M} + \sqrt{m})^2}{4}$ .

**25.** У пирамиды все боковые ребра равны.

Докажите, что она является вписанной в некоторый конус.

Задача решена в учебнике п. 191, стр. 85.

26. В конусе даны радиус основания  $R$  и высота  $H$ .  
Найдите ребро вписанного в него куба.



Рассмотрим осевое сечение куба  $ASD$ . Тогда в  $\triangle ASD$  вписан  $BCC_1B_1$  — прямоугольник со сторонами  $BB_1 = a$  — длина ребра куба и  $BC = a\sqrt{2}$  — диагональ квадрата, являющегося гранью куба.

Далее,  $\triangle ASD \sim \triangle BSC$  так что:

$$\frac{BC}{AD} = \frac{SO}{SO_1}, \quad \frac{a\sqrt{2}}{2R} = \frac{H-a}{H}, \quad \text{откуда}$$

$$Ha\sqrt{2} = 2RH - 2aR. \quad \text{Так что } a(2R + H\sqrt{2}) = 2RH, \text{ и}$$

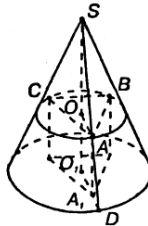
$$a = \frac{2RH}{2R + H\sqrt{2}}.$$

$$\text{Ответ: } a = \frac{2RH}{2R + H\sqrt{2}}.$$

27. В конусе даны радиус основания  $R$  и высота  $H$ .

В него вписана правильная треугольная призма, у которой боковые грани — квадраты

Найдите ребро призмы.



Пусть длина ребра призмы равна  $a$ .

Тогда из равностороннего  $\triangle ABC$  найдем  $OA$  — радиус окружности, описанной около  $\triangle ABC$ ,  $OA = \frac{a\sqrt{3}}{3}$ . Далее, рассмотрим осевое сечение  $SO_1D$ . Так как  $\triangle SOA \sim \triangle SOD$ , то

$$\frac{OA}{O_1D} = \frac{SO}{SO_1}, \frac{a\sqrt{3}}{3R} = \frac{H-a}{H}, \text{ так что}$$

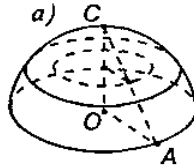
$$aH\sqrt{3} = 3RH - 3Ra, \quad a(3R + H\sqrt{3}) = 3RH, \quad \text{и } a = \frac{3RH}{3R + H\sqrt{3}}.$$

$$\text{Ответ: } a = \frac{3RH}{3R + H\sqrt{3}}.$$

**28.** Полушар и вписанный в него конус имеют общее основание и общую высоту.

Через середину высоты проведена плоскость, параллельная основанию.

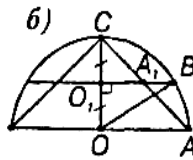
Докажите, что площадь сечения, заключенного между боковой поверхностью конуса и поверхностью полушара, равна половине площади основания.



Рассмотрим осевое сечение конуса  $COA$ .

Тогда  $\triangle CO_1A_1 \sim \triangle COA$ , так что  $\frac{CO_1}{CO} = \frac{O_1A_1}{OA}$ , так что

$$O_1A_1 = OA \frac{CO_1}{CO} = OA \frac{\frac{1}{2}CO}{CO} = \frac{1}{2}AO.$$



В прямоугольном  $\triangle OO_1B$  по теореме Пифагора:

$$O_1B = \sqrt{OB^2 - OO_1^2} = \sqrt{R^2 - \left(\frac{1}{2}R\right)^2} = \frac{R\sqrt{3}}{2}$$

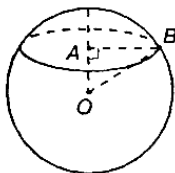
Искомая площадь сечения равна разности площадей кругов с радиусом  $O_1B$  и  $O_1A$ :

$$S = \pi \cdot O_1B^2 - \pi \cdot O_1A_1^2 = \pi \cdot \frac{R^2 \cdot 3}{4} - \pi \cdot \frac{R^2}{4} = \frac{\pi R^2}{2}.$$

А площадь основания  $S_0 = \pi OA^2 = \pi R^2$ , так что площадь сечения равна половине площади основания, что и требовалось доказать.

**29.** Шар, радиус которого 41 дм, пересечен плоскостью на расстоянии 9 дм от центра.

Найдите площадь сечения.



В прямоугольном  $\triangle AOB$  по теореме Пифагора:

$AB = \sqrt{OB^2 - OA^2} = \sqrt{41^2 - 9^2} = 40$  (дм). Тогда площадь сечения  $S = \pi \cdot AB^2 = \pi \cdot 40^2 = 1600\pi$  (дм<sup>2</sup>) =  $16\pi$  (м<sup>2</sup>).

Ответ:  $16\pi$  м<sup>2</sup>.

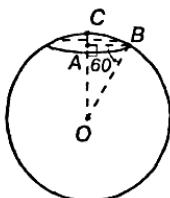
**30.** Через середину радиуса шара проведена перпендикулярная ему плоскость.

Как относится площадь полученного сечения к площади большого круга?

Задача решена в учебнике п. 193, стр. 87.

**31.** Радиус шара  $R$ . Через конец радиуса проведена плоскость под углом  $60^\circ$  к нему.

Найдите площадь сечения.



В прямоугольном  $\triangle AOB$  имеем:

$$AB = OB \cos 60^\circ = OB \cdot \frac{1}{2} = \frac{R}{2}.$$

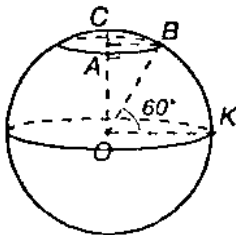
Тогда площадь сечения равна:

$$S = \pi \cdot AB^2 = \pi \left(\frac{R}{2}\right)^2 = \frac{\pi R^2}{4}.$$

Ответ:  $\frac{\pi R^2}{4}$ .



32. Радиус земного шара  $R$ . Чему равна длина параллели, если ее широта  $60^\circ$ ?



В прямоугольном  $\triangle AOB$ :

$$\angle AOB = 90^\circ - \angle BOK = 30^\circ.$$

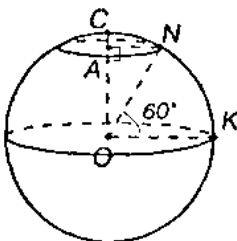
$AB = OB \cdot \sin \angle AOB = R \cdot \frac{1}{2} = \frac{R}{2}$ . Тогда длина параллели равна

$$l = 2\pi \cdot AB = 2\pi \cdot \frac{R}{2} = \pi R.$$

Ответ:  $\pi R$ .

33. Город  $N$  находится на  $60^\circ$  северной широты.

**Какой путь совершает этот пункт в течение 1ч. вследствие вращения Земли вокруг своей оси?**



Радиус Земли принять равным 6000 км.

В прямоугольном  $\triangle AON$ :

$$\angle AON = 90^\circ - \angle NOK = 30^\circ.$$

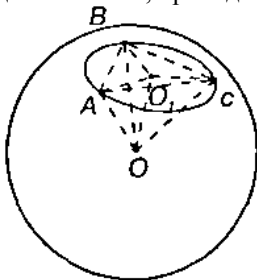
Тогда  $AN = ON \cdot \sin 60^\circ = \frac{R}{2}$ . За один час город  $N$  совершит путь по

дуге, равной  $\frac{1}{24}$  длины окружности с радиусом  $AN$ .

Так что,  $l = \frac{1}{24} \cdot 2\pi AN = \frac{1}{24} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{6000}{2} = 250\pi \approx 785$  (км).

Ответ:  $\approx 785$  км.

**34.** На поверхности шара даны три точки. Прямолинейные расстояния между ними 6 см, 8 см, 10 см. Радиус шара 13 см. Найдите расстояние от центра до плоскости, проходящей через эти точки.



Проведем  $OO_1$  перпендикулярно плоскости  $\Delta ABC$ . Тогда прямоугольные треугольники  $AO_1O$ ,  $BO_1O$ ,  $CO_1O$  равны по катету и гипотенузе (так как  $AO=BO=CO$  — радиус шара и  $OO_1$  — общий катет). Так что  $O_1$  — центр окружности, описанной около треугольника  $ABC$  ( $O_1A=O_1B=O_1C$ ).

Далее, заметим, что  $6^2 + 8^2 = 10^2$ , так что  $\Delta ABC$  прямоугольный с гипотенузой  $AC$ . Поэтому  $O_1$  — середина  $AC$ , так что

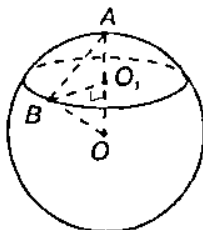
$$AO_1 = \frac{1}{2} AC = 5 \text{ (см)}.$$

Далее, в прямоугольном  $\Delta AOO_1$ :

$$OO_1 = \sqrt{AO^2 - AO_1^2} = \sqrt{13^2 - 5^2} = 12 \text{ (см)}.$$

Ответ: 12 см.

**35.** Диаметр шара 25 см. На его поверхности даны точка  $A$  и окружность, все точки, которой удалены (по прямой) от  $A$  на 15 см. Найдите радиус этой окружности.



Радиус шара равен половине диаметра.

Так что  $AO=OB=\frac{1}{2} \cdot 25=12,5$  (см).

Далее,  $\triangle AOB$  равнобедренный (так как  $OB=OA$ ) и  $AB=15$  см. Найдем площадь  $\triangle AOB$  по формуле:

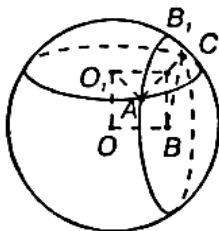
$$S_{AOB} = \sqrt{p \cdot (p - AO) \cdot (p - OB) \cdot (p - AB)} =$$

$$= \sqrt{20 \cdot (20 - 12,5) \cdot (20 - 12,5) \cdot (20 - 15)} = 75 \text{ (см)}. \text{ Но } S_{AOB} = \frac{1}{2} \cdot AO \cdot BO_1.$$

$$\text{Так что } R=BO_1 = \frac{2S_{AOB}}{AO} = \frac{2 \cdot 75}{15} = 10 \text{ (см)}.$$

Ответ: 10 см.

**36.** Радиус шара 7 см. На его поверхности даны две равные окружности, имеющие общую хорду длиной 2 см. Найдите радиусы окружностей, зная, что их плоскости перпендикулярны.



Из центра шара  $O$  проведем перпендикуляры  $OO_1$  и  $OB$  к плоскостям соответствующих окружностей. Из точек  $O_1$  и  $B$  проведем перпендикуляры  $O_1B_1$  и  $BB_1$  к общей хорде  $AC$ . Тогда

$$AB_1 = B_1C = \frac{1}{2} AC = 1 \text{ (см)}.$$

Далее, в прямоугольном  $\triangle O_1AB_1$ , если  $O_1A=R$  и  $C_1B=a$ , то получим  $O_1A^2 = O_1B_1^2 + AB_1^2$ , т.е.  $R^2 = a^2 + 1$ . В прямоугольном  $\triangle BCB_1$  обозначим  $BC=R$ ,  $BB_1=b$ , тогда  $BC^2 = BB_1^2 + B_1C^2$ , т.е.  $R^2 = b^2 + 1$ . Так что  $a=b$ , то есть  $O_1B_1 = BB_1$ .

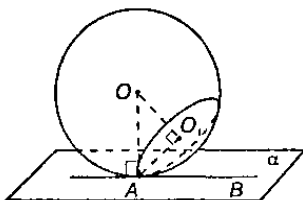
Тогда  $OO_1BB_1$  — квадрат и его диагональ  $OB_1^2 = 2O_1B^2 = 2a^2$ .

Далее, в прямоугольном  $\triangle OAB_1$   $OA=7$  см, тогда  $OA^2 = OB_1^2 + AB_1^2$ , то есть  $49 = 2a^2 + 1$ ,  $a^2 = 24$ .

Далее,  $R^2 = a^2 + 1 = 25$ , так что  $O_1A=R = \sqrt{25} = 5$  (см).

Ответ: 5 см.

37. Дан шар радиуса  $R$ . Через одну точку его поверхности проведены две плоскости: первая — касательная к шару, вторая — под углом  $30^\circ$  к первой. Найдите площадь сечения.



Так как  $\angle O_1AB=30^\circ$ , а  $OA \perp AB$ , то  $\angle OAO_1=90^\circ-\angle O_1AB=90^\circ-30^\circ=60^\circ$ .

Далее, в прямоугольном  $\triangle AO_1O$ :

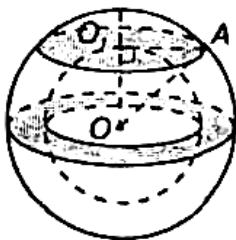
$$AO_1=AO \cdot \cos \angle O_1AO=R \cdot \cos 60^\circ=R \cdot \frac{1}{2}=\frac{R}{2}.$$

Тогда площадь сечения равна  $S=\pi \cdot AO_1^2=\pi \left(\frac{R}{2}\right)^2=\frac{\pi R^2}{4}$ .

Ответ:  $\frac{\pi R^2}{4}$ .

38. Имеется тело, ограниченное двумя концентрическими шаровыми поверхностями (полый шар).

Докажите, что его сечение плоскостью, проходящей через центр, равновелико сечению, касательному к внутренней шаровой поверхности.



Допустим, что радиусы двух шаров равны  $R_1$  и  $R_2$ . Тогда в прямоугольном  $\triangle OO_1A$ :

$$O_1A^2=\sqrt{OA^2-OO_1^2}=\sqrt{R_1^2-R_2^2}.$$

Площадь касательного сечения равна  $S=\pi O_1A^2=\pi(R_1^2-R_2^2)$ .

Площадь сечения шара плоскостью, проходящей через центр, равна разности площадей  $S = \pi R_1^2 - \pi R_2^2 = \pi(R_1^2 - R_2^2)$ . То есть площади искомых сечений равны.

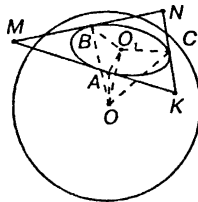
Что и требовалось доказать.

**39.** Шар радиуса  $R$  касается всех сторон правильного треугольника со стороной  $a$ .

Найдите расстояние от центра шара до плоскости треугольника

Задача решена в учебнике п. 195, стр. 88.

**40.** Стороны треугольника 13 см, 14 см и 15 см. Найдите расстояние от плоскости треугольника до центра шара, касающегося всех сторон треугольника. Радиус шара 5 см.



Проведем  $OO_1$  перпендикулярно плоскости  $\Delta MNK$ . Так как стороны  $\Delta MNK$  касаются шара, то  $OA$ ,  $OB$  и  $OC$  перпендикулярны сторонам  $\Delta MNK$ . Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $O_1A$ ,  $O_1B$  и  $O_1C$  тоже перпендикулярны к соответствующим сторонам  $\Delta MNK$ .

Далее, так как  $\Delta AOO_1 = \Delta BOO_1 = \Delta COO_1$  (по катету и гипотенузе), то:  $O_1A = O_1B = O_1C$ . Так что  $O_1$  — центр вписанной окружности в  $\Delta MNK$ . Площадь  $\Delta MNK$  равна:

$$S = \sqrt{p \cdot (p - MN) \cdot (p - MK) \cdot (p - NK)} = \sqrt{21 \cdot 7 \cdot 8 \cdot 6} = 84 \text{ (см}^2\text{)}.$$

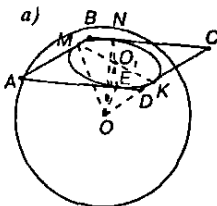
Но  $S = pr$ , так что  $O_1A = r = \frac{S}{p} = \frac{84}{21} = 4 \text{ (см)}$ .

Далее, в прямоугольном  $\Delta AOO_1$ :

$$OO_1 = \sqrt{AO^2 - AO_1^2} = \sqrt{5^2 - 4^2} = 3 \text{ (см)}.$$

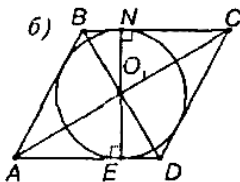
Ответ: 3 см.

41. Диагонали ромба 15 см и 20 см. Шаровая поверхность касается всех его сторон. Радиус шара 10 см. Найдите расстояние от центра шара до плоскости ромба.



Проведем перпендикуляр  $OO_1$  к плоскости ромба.

Отрезки  $OM=ON=OK=OE=10$  см и перпендикулярны соответствующим сторонам ромба. Так что по теореме о трех перпендикулярах  $O_1M, O_1N, O_1K$  и  $O_1E$  перпендикулярны соответствующим сторонам ромба. Далее,  $\triangle OO_1M=\triangle OO_1N=\triangle OO_1K=\triangle OO_1E$  (по гипотенузе и катету). Так что  $O_1M=O_1N=O_1K=O_1E$  и значит,  $O_1$  — центр вписанной в ромб окружности.



В прямоугольном  $\triangle AO_1D$  ( $AC \perp BD$ ):

$$AD = \sqrt{AO_1^2 + DO_1^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}AC\right)^2 + \left(\frac{1}{2}BD\right)^2} = \sqrt{7,5^2 + 10^2} = 12,5 \text{ (см)}.$$

Тогда

$$S_{ABCD} = \frac{1}{2} \cdot AC \cdot BD = \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 20 = 150 \text{ (см}^2\text{)}.$$

С другой стороны,

$$S_{ABCD} = ah = AD \cdot NE. \text{ Так что } NE = \frac{S_{ABCD}}{AD} = \frac{150}{12,5} = 12 \text{ (см)}.$$

$$\text{Тогда } O_1E = \frac{1}{2} NE = 6 \text{ (см)}.$$

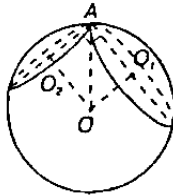
Далее, в прямоугольном  $\triangle OO_1E$ :

$$OO_1 = \sqrt{OE^2 - O_1E^2} = \sqrt{10^2 - 6^2} = 8 \text{ (см)}.$$

Ответ: 8 см.

42. Через касательную к поверхности шара проведены две взаимно перпендикулярные плоскости, пересекающие шар по кругам радиусов  $r_1$  и  $r_2$

Найдите радиус шара  $R$ .



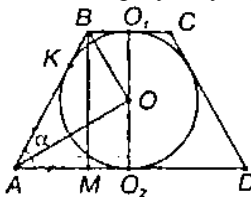
Проведем перпендикуляры  $OO_1$  и  $OO_2$  к данным плоскостям. По условию  $\angle O_1AO_2=90^\circ$ , так что  $OO_1AO_2$  — прямоугольник. Тогда по теореме Пифагора  $OA = R = \sqrt{OO_1^2 + OO_2^2} = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$ .

Ответ:  $\sqrt{r_1^2 + r_2^2}$ .

43. Шар радиуса  $R$  вписан в усеченный конус.

Угол наклона образующей  $l$  к плоскости нижнего основания конуса равен  $\alpha$ .

Найдите радиусы оснований и образующую усеченного конуса.



Рассмотрим осевое сечение, которое является трапецией  $ABCD$ , причем  $AB=CD$ .  $\angle BAD=\alpha$ . Проведем  $BM \perp AD$ . Тогда  $BM=O_1O_2=2R$ .

$$\text{В } \triangle ABM: l=AB = \frac{BM}{\sin \alpha} = \frac{2R}{\sin \alpha}.$$

Центр вписанной в  $ABCD$  окружности лежит на пересечении биссектрис, так что  $AO$  и  $BO$  — биссектрисы, то есть  $\angle BAO = \frac{1}{2}\alpha$ ,

$$\angle ABO = \frac{1}{2} \angle ABC = 90^\circ - \frac{1}{2}\alpha.$$

Так что  $\triangle ABO$  — прямоугольный, поэтому

$$BO = AB \cdot \sin \angle BAO = \frac{2R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{\sin \alpha} = \frac{R}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

Далее, в прямоугольном  $\triangle BOO_1$ :  $BO_1 = \sqrt{BO^2 - OO_1^2} =$

$$= \sqrt{\left(\frac{R}{\cos \frac{\alpha}{2}}\right)^2 - R^2} = R \cdot \sqrt{\frac{1 - \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}} = R \sqrt{\frac{\sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}} = R \sqrt{\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}} = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Так как отрезки касательных, проведенных из одной точки к окружности, равны, то  $BK = BO_1$  и  $AO_2 = AK$ .

Тогда  $AO_2 = AK = AB - BK = AB - BO_1 = \frac{2R}{\sin \alpha} - R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} =$

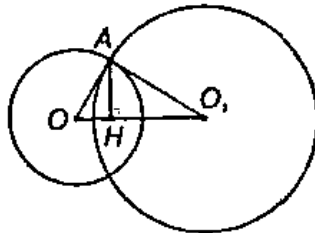
$$= \frac{2R}{2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2}} - \frac{R \sin \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{R \cdot \left(1 - \sin^2 \frac{\alpha}{2}\right)}{\cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{R \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\alpha}{2}} = R \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

Ответ:  $R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$  и  $R \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$ .

**44.** Два равных шара радиуса  $R$  расположены так, что центр одного лежит на поверхности другого.

Найдите длину линии  $l$ , по которой пересекаются их поверхности. Задача решена в учебнике п. 196, стр. 90.

**45.** Радиусы шаров 25 дм и 29 дм, а расстояние между их центрами 36 дм. Найдите длину линии  $l$ , по которой пересекаются их поверхности.



Рассмотрим сечение, проведенное через центры шаров. Тогда линия пересечения шаров представляет собой окружность радиуса  $AH$ , где  $AH$  — высота в  $\triangle OAO_1$ , проведенная к стороне  $OO_1$ .



Площадь  $\triangle OAO_1$  равна

$$S = \sqrt{p \cdot (p - OA) \cdot (p - O_1A) \cdot (p - OO_1)} = \\ = \sqrt{45(45 - 25)(45 - 29)(45 - 36)} = 360(\text{дм}^2).$$

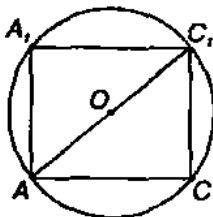
Но с другой стороны  $S = \frac{1}{2} OO_1 \cdot AH$ , так что

$$AH = \frac{2S}{OO_1} = \frac{2 \cdot 360}{36} = 20(\text{дм}).$$

Далее, длина линии  $l = 2\pi AH = 2\pi \cdot 20 = 40\pi$  (дм) =  $4\pi$  (м).

Ответ:  $4\pi$  м.

46. Найдите радиус шара, описанного около куба с ребром  $a$ .



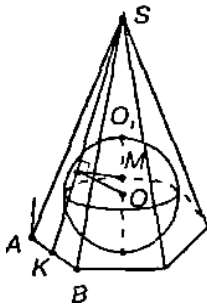
Рассмотрим осевое сечение шара, проходящего через диагональ куба. Так как в прямоугольном параллелепипеде квадрат любой диагонали равен сумме квадратов трех его измерений, то

$$AC_1^2 = a^2 + a^2 + a^2 \text{ и } AC_1 = a\sqrt{3}; \text{ тогда } R = AO = \frac{1}{2} AC_1 = \frac{a\sqrt{3}}{2}.$$

47. Докажите, что центр шара, описанного около правильной пирамиды, лежит на ее оси.

Задача решена в учебнике п. 197, стр. 90.

48. Докажите, что центр шара, вписанного в правильную пирамиду, лежит на ее высоте.



Пусть  $X$  точка касания шара и боковой грани  $ASB$ . Из точки  $X$  проведем прямую  $XM \perp O_1O_2$ , где  $O_1O_2$  — диаметр шара, перпендикулярный плоскости основания.

Тогда по теореме Пифагора в  $\triangle OXM$ :

$$XM = \sqrt{OX^2 - OM^2} = \sqrt{R^2 - OM^2}, \text{ где } R \text{ — радиус шара.}$$

Так что точки касания шара с боковыми гранями лежат в плоскости, перпендикулярной диаметру  $O_1O_2$  и на равном расстоянии от точки  $M$ .

Значит, все точки касания принадлежат вписанной в сечение, перпендикулярное  $O_1O_2$ , окружности с центром в точке  $M$ .

Тогда, точка  $M$  лежит на оси правильной пирамиды, которая является высотой. Так что и точка  $O$  лежит на высоте правильной пирамиды. Что и требовалось доказать.

**49.** Найдите радиус шара, описанного около правильного тетраэдра с ребром  $a$ .



Пусть высота тетраэдра  $DO_1$  пересекает поверхность шара в некоторой точке  $M$ . Высота в правильной пирамиде проходит через центр окружности, описанной около основания. Так что  $O_1C$  — радиус описанной около  $ABC$  окружности.

$\triangle ABC$  равносторонний, так что

$$O_1C = \frac{AB\sqrt{3}}{3} = \frac{a\sqrt{3}}{3}.$$

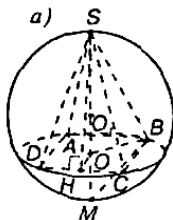
Рассмотрим осевое сечение шара, содержащее точку  $C$ .  $\triangle DCM$  — прямоугольный, так как вписанный угол  $\angle DCM$  опирается на диаметр  $DM$ . Тогда катет  $DC$  — есть среднее геометрическое между своей проекцией и гипотенузой. То есть  $DC = \sqrt{DM \cdot O_1D}$ .

$$\text{В } \Delta O_1DC: DO_1 = \sqrt{DC^2 - O_1C^2} = \sqrt{a^2 - \left(\frac{a\sqrt{3}}{3}\right)^2} = a\sqrt{\frac{2}{3}}.$$

$$\text{Тогда } DM = \frac{DC^2}{DO_1} = \frac{a^2\sqrt{3}}{a\sqrt{2}} = \frac{a\sqrt{6}}{2}$$

$$\text{А радиус шара } R = \frac{1}{2}DM = \frac{a\sqrt{6}}{4}.$$

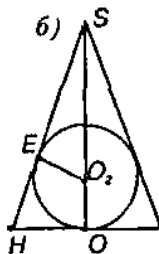
50. В правильной четырехугольной пирамиде сторона основания равна  $a$ , а плоский угол при вершине равен  $\alpha$ . Найдите радиусы вписанного и описанного шаров.



Проведем в пирамиде высоту  $SO$  и  $SH \perp DC$ . Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $OH \perp DC$ . Тогда, так как  $\Delta SDC$  равнобедренный, то  $SH$  является и медианой, и биссектрисой. Так что

$$HC = \frac{a}{2} \text{ и } \angle CSH = \frac{\alpha}{2}. \text{ В } \Delta SHC: SC = \frac{HC}{\sin \angle CSH} = \frac{a}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \text{ и}$$

$$SH = \frac{HC}{\operatorname{tg} \angle CSH} = \frac{a}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}.$$



$$\text{Далее в } \Delta SHO: OH = \frac{a}{2}. \text{ Так что } SO = \sqrt{SH^2 - OH^2} = \sqrt{4 \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} \frac{a^2}{4} - \frac{a^2}{4}} =$$

$$= \frac{a}{2} \sqrt{\frac{\cos^2 \frac{a}{2}}{\sin^2 \frac{a}{2}} - 1} = \frac{a\sqrt{\cos \alpha}}{2 \sin \frac{a}{2}}. \text{ Далее, } \angle SBM = 90^\circ, \text{ так как этот вписан-}$$

ный угол опирается на диаметр  $SM$ . Знаем, что катет является средним пропорциональным между гипотенузой и проекцией катета на гипотенузу, так что  $BS^2 = SM \cdot SO$ , так что

$$SM = \frac{BS^2}{SO} = \frac{SC^2}{SO} = \frac{a^2 \cdot 2 \sin \frac{\alpha}{2}}{4 \sin^2 \frac{\alpha}{2} \cdot a \sqrt{\cos \alpha}} = \frac{a}{2 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{\cos \alpha}}.$$

$$\frac{a^2}{4 \sin^2 \frac{a}{2}} = 2R \cdot \frac{a \sqrt{\cos a}}{2 \sin \frac{a}{2}}$$

$$\text{или } R = \frac{a}{4 \sin \frac{a}{2} \sqrt{\cos a}}.$$

Так как радиус описанного шара  $R = \frac{1}{2} SM$ , то  $R = \frac{a}{2 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{\cos \alpha}}$ .

Далее, рассмотрим сечение пирамиды плоскостью  $SOH$ .

$OO_2 = EO_2$  — радиус вписанного шара. Имеем  $\triangle SHO \sim \triangle SO_2E$ :

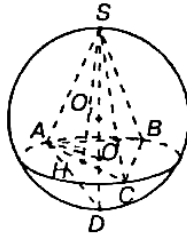
Так что  $\frac{O_2E}{OH} = \frac{SO_2}{SH}$  или  $\frac{OO_2}{OH} = \frac{SO - OO_2}{SH}$ . Так что

$$OO_2 = \frac{OH \cdot SO}{OH + SH} = \frac{\frac{a}{2} \cdot \frac{a \sqrt{\cos \alpha}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}}{\frac{a}{2} + \frac{a}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}} = \frac{2a^2 \sqrt{\cos \alpha} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{4a \sin \frac{\alpha}{2} \left(1 + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{a \sqrt{\cos \alpha} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2 \cos \frac{\alpha}{2} \left(1 + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right)} =$$

$$= \frac{a \sqrt{\cos^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\alpha}{2}}}{2 \cos \frac{\alpha}{2} \left(1 + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{a \sqrt{\left(\cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2}\right) \left(\cos \frac{\alpha}{2} + \sin \frac{\alpha}{2}\right)}}{2 \left(\cos \frac{\alpha}{2} + \sin \frac{\alpha}{2}\right)}$$

$$= \frac{a}{2} \sqrt{\frac{\cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2} + \sin \frac{\alpha}{2}}} = \frac{a}{2} \sqrt{\frac{1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{1 + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}}$$

51. В шар радиуса  $R$  вписана правильная треугольная пирамида с плоскими углами  $\alpha$  при ее вершине. Найдите высоту пирамиды.



Проведем высоту  $SO$  пирамиды, и  $SH \perp AC$ . Так как  $\triangle ASC$  равнобедренный, то  $SH$  является и медианой, и биссектрисой. Так что, если  $AS = X$ , то

$$AH = AS \sin \frac{\alpha}{2} = X \sin \frac{\alpha}{2} \text{ и } AC = 2AH = 2 \cdot X \sin \frac{\alpha}{2}. \text{ В равностороннем } \triangle ABC$$

$$\text{радиус описанной окружности равен } AO = \frac{AC \sqrt{3}}{3} = \frac{2 \cdot X \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \sqrt{3}}{3}.$$

В прямоугольном  $\triangle ASO$  по теореме Пифагора:

$$SO = \sqrt{AS^2 - AO^2} = \sqrt{X^2 - \frac{4}{3} X^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = X \sqrt{1 - \frac{4}{3} \sin^2 \frac{\alpha}{2}}.$$

Рассмотрим осевое сечение шара, содержащее точку  $A$ .  $\angle SAD = 90^\circ$  — как вписанный угол, опирающийся на диаметр  $SD$ . Так как в прямоугольном треугольнике катет является средним пропорциональным между гипотенузой и проекцией катета на гипотенузу, то

$$\text{в } \triangle ASD: AS^2 = SD \cdot SO, \quad X^2 = 2R \cdot X \sqrt{1 - \frac{4}{3} \sin^2 \frac{\alpha}{2}}, \text{ так что}$$

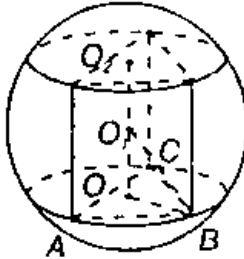
$$X = 2R \sqrt{1 - \frac{4}{3} \sin^2 \frac{\alpha}{2}}.$$

Поэтому высота пирамиды равна:

$$SO = X \cdot \sqrt{1 - \frac{4}{3} \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = 2R \sqrt{1 - \frac{4}{3} \sin^2 \frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{4}{3} \sin^2 \frac{\alpha}{2}} =$$

$$= 2R \left( 1 - \frac{4}{3} \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right).$$

**52.** Правильная  $n$ -угольная призма вписана в шар радиуса  $R$ . Ребро основания призмы равно  $a$ . Найдите высоту призмы при: 1)  $n = 3$ ; 2)  $n = 4$ ; 3)  $n = 6$ .



Так как вписанная призма правильная, то высота будет равна длине отрезка  $O_2O$ , где точки  $O_2$  и  $O$  являются центрами окружностей, описанных около оснований призмы. Тогда

$OO_2 = 2OO_1 = 2\sqrt{O_1B^2 - OB^2} = 2\sqrt{R^2 - b^2}$  где  $b = OB$  — радиус окружности, описанной около основания призмы. Тогда:

1)  $n = 3$ . В основании призмы лежит равносторонний треугольник.

Так что  $b = \frac{a\sqrt{3}}{3}$ , поэтому

$$OO_2 = 2\sqrt{R^2 - \left(\frac{a\sqrt{3}}{3}\right)^2} = 2\sqrt{R^2 - \frac{a^2}{3}}.$$

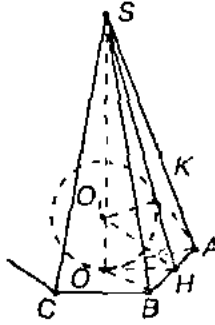
2)  $n = 4$ . В основании призмы лежит квадрат. Так что

$$b = \frac{a\sqrt{2}}{2} \text{ и } OO_2 = 2\sqrt{R^2 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{2}\right)^2} = 2\sqrt{R^2 - \frac{a^2}{2}}.$$

3)  $n = 6$ . В основании призмы лежит правильный шестиугольник.

Так что  $b = a$ , поэтому  $OO_2 = 2\sqrt{R^2 - a^2}$ .

**53.** Сторона основания правильной  $n$ -угольной пирамиды равна  $a$ , двугранный угол при основании равен  $\varphi$ . Найдите радиус шара, вписанного в пирамиду.



В правильной пирамиде проведем высоту  $SO$ . Тогда  $O$  — центр окружности, описанной около основания. Так что  $\triangle AOB$  — равнобедренный и  $\angle AOB = \frac{360^\circ}{n}$ . Далее, проведем  $OH \perp BA$ . Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $SH \perp AB$ . Тогда  $\angle SHO = \varphi$  (линейный угол данного двугранного угла).

В прямоугольном  $\triangle OHB$ :

$$OH = \frac{BH}{\operatorname{tg} \angle HOB} = \frac{a}{2 \operatorname{tg} \frac{180^\circ}{n}}, \quad (\text{так как } OH \text{ — высота, медиана и биссектриса}).$$

сектриса).

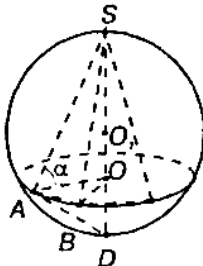
Центр вписанной окружности лежит на пересечении биссектрис,

так что  $O_1H$  — биссектриса угла  $\varphi$ , так что  $\angle HO_1 = \frac{\varphi}{2}$

В прямоугольном  $\triangle OO_1H$ :

$$OO_1 = OH \cdot \operatorname{tg} \angle HO_1 = \frac{a \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2 \operatorname{tg} \frac{180^\circ}{n}} \quad \text{— искомый радиус.}$$

54. Найдите радиус шара, описанного около правильной  $n$ -угольной пирамиды, если сторона основания равна  $a$ , а боковое ребро наклонено к плоскости основания под углом  $\alpha$ .



Проведем высоту  $SO$  правильной пирамиды. Тогда  $O$  — центр окружности, описанной около основания. Далее,

$$\text{В прямоугольном } \triangle ASO: SA = \frac{AO}{\cos \angle SAO} = \frac{AO}{\cos \alpha},$$

$$AO = \frac{a}{2 \sin \frac{180^\circ}{n}} \quad (\text{радиус описанной окружности в правильном } n\text{-угольнике.})$$

угольнике.

$$\text{Тогда } SA = \frac{a}{2 \sin \frac{180^\circ}{n} \cos \alpha}. \quad \text{Далее, } SO = AO \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{a \operatorname{tg} \alpha}{2 \sin \frac{180^\circ}{n}}$$

Рассмотрим осевое сечение шара, содержащее точку  $A$ .

$\angle SAD = 90^\circ$  как вписанный угол, опирающийся на диаметр  $SD$ .

Так как катет является средним пропорциональным между гипотенузой и проекцией катета на гипотенузу, то  $AS^2 = SD \cdot SO$  (в  $\triangle ASD$ ).

$$\begin{aligned} \text{Так что } SD &= \frac{AS^2}{SO} = \frac{a^2 \cdot \sin^2 \frac{180^\circ}{n}}{8 \sin^2 \frac{180^\circ}{n} \cos^2 \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \\ &= \frac{a}{8 \sin \frac{180^\circ}{n} \sin \alpha \cos \alpha} = \frac{a}{4 \sin \frac{180^\circ}{n} \sin 2\alpha}. \end{aligned}$$

$$\text{Тогда } SO_1 = \frac{1}{2} SD = \frac{a}{2 \sin 2\alpha \cdot \sin \frac{180^\circ}{n}} \quad \text{— искомый радиус.}$$



## §22. Объемы многогранников.

1. Три латунных куба с ребрами 3 см, 4 см и 5 см переплавлены в один куб. Какое ребро у этого куба?

Объем нового куба будет равен сумме объемов трех данных кубов. То есть  $V=V_1+V_2+V_3$ . Но объем куба равен  $V=a^3$ . Так что

$$a = \sqrt[3]{a_1^3 + a_2^3 + a_3^3} = \sqrt[3]{3^3 + 4^3 + 5^3} = 6 \text{ (см)}.$$

Ответ: 6 см.

2. Металлический куб имеет внешнее ребро 10,2 см и массу 514,15 г. Толщина стенок равна 0,1 см. Найдите плотность металла, из которого сделан куб.

Ребро внутреннего куба равно  $b = a - 2 \cdot 0,1 = 10$  (см).

Объем металла равен разности объемов кубов:

$$V = a^3 - b^3 = 10,2^3 - 10^3 = 61,208. \text{ Тогда плотность}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{514,15}{61,208} \approx 8,4 \text{ г/см}^3.$$

3. Если каждое ребро куба увеличить на 2 см, то его объем увеличивается на  $98 \text{ см}^3$ . Чему равно ребро куба?  
Задача решена в учебнике п. 200, стр. 99.

4. Если каждое ребро куба увеличить на 1 м, то его объем увеличится в 125 раз. Найдите ребро.

Пусть ребро куба равно  $a$ , тогда его объем  $V=a^3$ . Далее, ребро нового куба равно  $a+1$ , его объем  $V'=(a+1)^3$ . По условию:

$$\frac{V'}{V} = 125, \frac{(a+1)^3}{a^3} = 125, \frac{a+1}{a} = 5. \text{ Так что } a=0,25 \text{ (м)}.$$

5. Кирпич размером  $25 \times 12 \times 6,5$  имеет массу 3,51 кг. Найдите его плотность.

$$\text{Найдем объем кирпича: } V = 25 \cdot 12 \cdot 6,5 = 1950 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Далее,  $3,51 \text{ кг} = 3510 \text{ г}$ . Так что плотность

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{3510}{1950} = 1,8 \text{ (г/см}^3\text{)}.$$

6. Требуется установить резервуар для воды емкостью  $10 \text{ м}^3$  на площадке размером  $2,5 \text{ м} \times 1,75 \text{ м}$ , служащей для него дном. Найдите высоту резервуара.

Площадь дна  $S = 2,5 \cdot 1,75 = 4,375 \text{ (м}^2\text{)}$ . Так как

$$V = S \cdot h, \text{ то } h = \frac{V}{S} = \frac{10}{4,375} \approx 2,29 \text{ (м)}.$$

7. Измерения прямоугольного параллелепипеда  $15 \text{ м}$ ,  $50 \text{ м}$  и  $36 \text{ м}$ . Найдите ребро равновеликого ему куба.

Объем параллелепипеда равен  $V = 15 \cdot 50 \cdot 36 = 27000 \text{ (м}^3\text{)}$ .

Пусть ребро куба  $a$ , тогда  $V = a^3$ . То есть

$$a = \sqrt[3]{27000} = 30 \text{ (м)}.$$

8. Измерения прямоугольного бруска  $3 \text{ см}$ ,  $4 \text{ см}$  и  $5 \text{ см}$ . Если увеличить каждое ребро на  $X$  сантиметров, то поверхность увеличится на  $54 \text{ см}^2$ . Как увеличится объем?

Площадь поверхности прямоугольного параллелепипеда  $S = 2 \cdot (ab + bc + ac)$ , где  $a, b, c$  — его измерения. Площадь поверхности данного бруска равна  $S = 2 \cdot (3 \cdot 4 + 3 \cdot 5 + 4 \cdot 5) = 94 \text{ (см}^2\text{)}$ . Тогда площадь поверхности нового бруска  $S' = 2 \cdot ((X+3)(X+4) + (X+3)(X+5) + (X+4)(X+5)) = 6X^2 + 48X + 94 = S + 54 = 148 \text{ (см}^2\text{)}$ . Так что

$$6X^2 + 48X + 94 = 148$$

$X^2 + 8X - 9 = 0$ ,  $X = -9$  или  $X = 1$ . Корень  $X = -9$  не подходит, так как иначе размеры нового бруска отрицательны. Значит,  $X = 1$ .

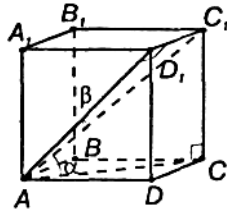
$$\text{Так что } \frac{V'}{V} = \frac{4 \cdot 5 \cdot 6}{3 \cdot 4 \cdot 5} = \frac{6}{3} = 2. \text{ Объем увеличится в 2 раза.}$$

9. Чугунная труба имеет квадратное сечение, ее внешняя ширина на  $25 \text{ см}$ , толщина стенок  $3 \text{ см}$ . Какова масса погонного метра трубы (плотность чугуна  $73 \text{ г/см}^3$ )?

Найдем внутреннюю ширину трубы  $y = x - 2 \cdot 3 = 25 - 6 = 19 \text{ (см)}$ . Тогда площадь сечения равна  $S = x^2 - y^2 = 25^2 - 19^2 = 264 \text{ (см}^2\text{)}$  и объем метра трубы  $V = S \cdot 100 = 26400 \text{ (см}^3\text{)}$ .

Далее,  $m = \rho \cdot V = 7,3 \cdot 26400 = 192720 \text{ (гр)} = 192,72 \text{ (кг)} \approx 193 \text{ (кг)}$ .

10. Чему равен объем прямоугольного параллелепипеда, диагональ которого  $a$  составляет с плоскостью основания угол  $\alpha$ , а с боковой гранью — угол  $\beta$ ?



В  $\triangle ACC_1$ :

$$C_1C = AC_1 \cdot \sin \alpha = a \sin \alpha.$$

$AC = AC_1 \cdot \cos \alpha = a \cos \alpha$ . Далее,

в  $\triangle C_1D_1A$

$$D_1C_1 = AC_1 \cdot \sin \beta = a \cdot \sin \beta.$$

$DC = D_1C_1 = a \sin \beta$ . Тогда

в  $\triangle ADC$  по теореме Пифагора:

$$AD = \sqrt{AC^2 - DC^2} = \sqrt{a^2 \cos^2 \alpha - a^2 \sin^2 \beta} = a \cdot \sqrt{\cos^2 \alpha - \sin^2 \beta}.$$

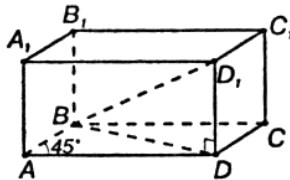
Объем прямоугольного параллелепипеда равен произведению трех его измерений, так что  $V = AD \cdot DC \cdot CC_1 = a^3 \sin \alpha \cdot \sin \beta \sqrt{\cos^2 \alpha - \sin^2 \beta}$ .

**11.** В прямом параллелепипеде стороны основания  $a$  и  $b$  образуют угол  $30^\circ$ . Боковая поверхность равна  $S$ . Найдите его объем.

Задача решена в учебнике п. 201, стр. 100.

**12.** В прямом параллелепипеде стороны основания  $2\sqrt{2}$  см и 5 см образуют угол  $45^\circ$ . Меньшая диагональ равна 7 см.

Найдите его объем.



В основании параллелепипеда лежит параллелограмм с площадью  $S = AB \cdot AD \cdot \sin 45^\circ = 2\sqrt{2} \cdot 5 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 10 \text{ (см}^2\text{)}$ .

Далее, в  $\triangle ABD$  по теореме косинусов:

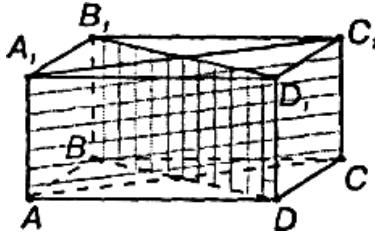
$$\begin{aligned} BD &= \sqrt{AB^2 + AD^2 - 2 \cdot AB \cdot AD \cdot \cos 45^\circ} = \\ &= \sqrt{8 + 25 - 2 \cdot 2\sqrt{2} \cdot 5 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}} = \sqrt{13} \text{ (см)}. \end{aligned}$$

Тогда в  $\triangle BDD_1$  по теореме Пифагора:

$$DD_1 = \sqrt{BD_1^2 - BD^2} = \sqrt{7^2 - 13} = 6(\text{см}). \text{ Поэтому}$$

$$V = S \cdot DD_1 = 60(\text{см}^3).$$

**13.** Основание прямого параллелепипеда — ромб, площадь которого  $1\text{ м}^2$ . Площадь диагональных сечений  $3\text{ м}^2$  и  $6\text{ м}^2$ . Найдите объем параллелепипеда.



Основание параллелепипеда — ромб, с площадью

$$S = \frac{1}{2} AC \cdot BD = 1(\text{м}^2). \text{ Так что}$$

$AC \cdot BD = 2(\text{м}^2)$ . Диагональные сечения — прямоугольники  $ACC_1A_1$  и  $BDD_1B_1$  с площадями  $S_1 = AC \cdot CC_1$  и  $S_2 = BD \cdot DD_1$ . Тогда  $S_1 \cdot S_2 = AC \cdot BD \cdot CC_1^2 = 2CC_1^2 = 3 \cdot 6 = 18(\text{м}^2)$ , так что  $CC_1 = 3(\text{м})$  и  $V = S \cdot CC_1 = 1 \cdot 3 = 3(\text{м}^3)$ .

**14.** Решите предыдущую задачу в общем случае, если площадь ромба  $Q$ , а площади диагональных сечений  $M$  и  $N$ . В основании лежит ромб.

Пусть  $d_1$  и  $d_2$  — диагонали ромба. Тогда  $Q = \frac{1}{2} d_1 \cdot d_2$ . Диагональными сечениями являются прямоугольники, у которых одной стороной является диагональ ромба, а другой — высота прямого параллелепипеда.

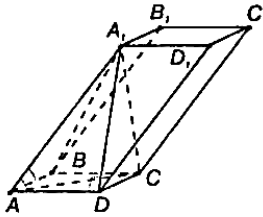
Так что их площади:

$$M = d_1 \cdot h \text{ и } N = d_2 \cdot h, \text{ где } h \text{ — высота.}$$

$$\text{Тогда } MN = d_1 \cdot d_2 \cdot h^2 = 2Qh. \text{ Откуда } h^2 = \frac{MN}{2Q} \text{ и}$$

$$h = \sqrt{\frac{MN}{2Q}}; \text{ Тогда } V = Q \cdot h = \sqrt{\frac{MNQ}{2}}.$$

15. Основание наклонного параллелепипеда — квадрат, сторона которого равна 1 м. Одно из боковых ребер равно 2 м и образует с каждой из прилежащих сторон основания угол  $60^\circ$ . Найдите объем параллелепипеда.



Из точки  $A_1$  проведем перпендикуляры к сторонам основания  $AD$  и  $AB$ . Тогда  $AA_1 \cdot \cos 60^\circ = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ м} = AD$ . Так что основанием перпендикуляра является точка  $D$ . Далее,  $AA_1 \cdot \cos 60^\circ = 1 \text{ м} = AB$ , так что основание перпендикуляра, опущенного из точки  $A_1$  на  $AB$  будет в точке  $B$ . То есть  $A_1D \perp AD$  и  $A_1B \perp AB$ . Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $A_1C \perp DC$  и, соответственно,  $A_1C \perp BC$ . Так что  $A_1C$  — высота параллелепипеда.

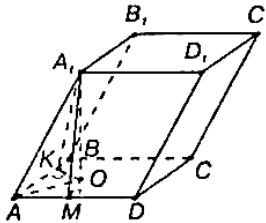
В квадрате  $ABCD$  диагональ  $AC = \sqrt{2} AB = \sqrt{2}$  (м). Тогда в прямоугольном  $\triangle AA_1C$  по теореме Пифагора:

$$A_1C = \sqrt{AA_1^2 - AC^2} = \sqrt{4 - 2} = \sqrt{2} \text{ (м)}. \text{ Так что}$$

$$V = S_{ABCD} \cdot A_1C = AB^2 \cdot A_1C = 1 \cdot \sqrt{2} = \sqrt{2} \text{ (м}^3\text{)}.$$

16. Грани параллелепипеда — равные ромбы со стороной  $a$  и острым углом  $60^\circ$ .

Найдите объем параллелепипеда.



Проведем перпендикуляр  $A_1O$  к плоскости основания, а также  $A_1M \perp AD$  и  $A_1K \perp AB$ . По теореме о трех перпендикулярах  $OM \perp AD$  и  $OK \perp AB$ .  $\triangle AA_1M = \triangle AA_1K$  (по гипотенузе  $AA_1$  и острому углу  $\angle A_1AM = \angle A_1AK = 60^\circ$ ). Тогда  $AK = AM = AA_1 \cdot \cos 60^\circ = \frac{a}{2}$ .

Далее,  $\triangle AMO = \triangle AKO$  (по гипотенузе и катету).

Так что  $\angle KAO = \angle OAM = 30^\circ$ .

$$AO = \frac{AM}{\cos \angle MAO} = \frac{a}{2 \cos 30^\circ} = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{a\sqrt{3}}{3}.$$

В прямоугольном  $\triangle AA_1O$  по теореме Пифагора:

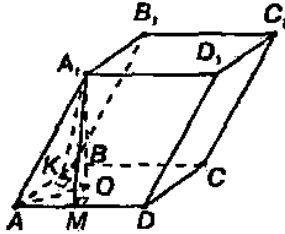
$$A_1O = \sqrt{AA_1^2 - AO^2} = \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{3}} = a\sqrt{\frac{2}{3}}.$$

Основание параллелепипеда — ромб с площадью

$$S = AB \cdot AD \cdot \sin \angle BAD = a \cdot a \cdot \sin 60^\circ = \frac{a^2 \sqrt{3}}{2};$$

$$\text{Тогда } V = S \cdot A_1O = \frac{a^2 \sqrt{3}}{2} \cdot a\sqrt{\frac{2}{3}} = \frac{a^3}{\sqrt{2}}.$$

17. Каждое ребро параллелепипеда равно 1 см. У одной из вершин параллелепипеда все три плоских угла острые, по  $2\alpha$  каждый. Найдите объем параллелепипеда.



Проведем перпендикуляр  $A_1O$  к плоскости основания, а также  $A_1M \perp AD$  и  $A_1K \perp AB$ . Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $OM \perp AD$  и  $OK \perp AB$ .  $\triangle AA_1M = \triangle AA_1K$  (по гипотенузе и острому углу  $2\alpha$ ). Так что  $AK = AM = AA_1 \cdot \cos 2\alpha = \cos 2\alpha$ . Далее,  $\triangle AMO = \triangle AKO$  (по гипотенузе и катету). Так что  $\angle KAO = \angle MAO = \alpha$ .

$$AO = \frac{AK}{\cos \angle KAO} = \frac{\cos 2\alpha}{\cos \alpha}.$$

Далее, в прямоугольном  $\triangle AA_1O$  по теореме Пифагора получаем:

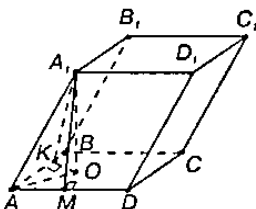
$$\begin{aligned} A_1O &= \sqrt{AA_1^2 - AO^2} = \sqrt{1 - \frac{\cos^2 2\alpha}{\cos^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha - \cos^2 2\alpha}{\cos^2 \alpha}} = \\ &= \sqrt{\frac{1 + \cos 2\alpha - 1 - \cos 4\alpha}{2 \cos^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos 2\alpha - \cos 4\alpha}{2 \cos^2 \alpha}} = \frac{\sqrt{\sin \alpha \cdot \sin 3\alpha}}{\cos \alpha} \text{ (см)}. \end{aligned}$$

Далее, основание параллелепипеда — ромб с площадью  $S = AB \cdot AD \cdot \sin \alpha = 1 \cdot 1 \sin 2\alpha = \sin 2\alpha$  (см<sup>2</sup>). Тогда объем

$$V = S \cdot AP = \sin 2\alpha \cdot \frac{\sqrt{\sin \alpha \sin 3\alpha}}{\cos \alpha} = \frac{2 \sin \alpha \cos \alpha \sqrt{\sin \alpha \sin 3\alpha}}{\cos \alpha} =$$

$$= 2\sqrt{\sin^3 \alpha \sin 3\alpha} \text{ (см}^3\text{)}.$$

18. В параллелепипеде длины трех ребер, исходящих из одной вершины, равны  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Ребра  $a$  и  $b$  взаимно перпендикулярны, а ребро  $c$  образует с каждым из них угол  $\alpha$ . Найдите объем параллелепипеда.



Основание параллелепипеда — прямоугольник  $ABCD$  со сторонами  $AB=a$  и  $AD=b$ . Его площадь  $S=AB \cdot AD=ab$ . Из точки  $A_1$  проведем перпендикуляры  $A_1O$  к плоскости основания, а также  $A_1M \perp AD$  и  $A_1K \perp AB$ . Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $OM \perp AD$  и  $OK \perp AB$ . Далее,  $\triangle AA_1M = \triangle AA_1K$  (по гипотенузе и острому углу  $\alpha$ ). Так что  $AK=AM=AA_1 \cdot \cos \alpha = c \cdot \cos \alpha$ .

Далее,  $\triangle AMO = \triangle AKO$  ( $AO$  — общая сторона и  $AK=AM$ ). Так что  $\angle MAO = \angle KAO = 45^\circ$ . Тогда

$$AO = \frac{AM}{\cos \angle MAO} = \frac{c \cdot \cos \alpha}{\cos 45^\circ} = c\sqrt{2} \cos \alpha.$$

В  $\triangle AA_1O$  по теореме Пифагора получаем:

$$A_1O = \sqrt{AA_1^2 - AO^2} = \sqrt{c^2 - 2c^2 \cos^2 \alpha} = c\sqrt{1 - 2\cos^2 \alpha} = c \cdot \sqrt{-\cos 2\alpha}.$$

Тогда  $V = S_{ABCD} \cdot A_1O = abc\sqrt{-\cos 2\alpha}$ .

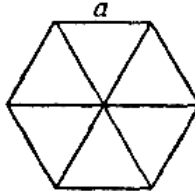
19. По стороне основания  $a$  и боковому ребру  $b$  найдите объем правильной призмы: 1) треугольной; 2) четырехугольной; 3) шестиугольной.

Объем призмы равен  $V=S_{\text{осн}} \cdot h$ , где  $h$  — высота. Но в правильной призме высота равна боковому ребру, так что  $h = b$  (по условию) и  $V = b \cdot S_{\text{осн}}$ . Тогда:

1) Основание — равносторонний треугольник. Его площадь равна:

$$S_{\text{осн}} = \frac{a^2 \sqrt{3}}{4}. \text{ Тогда } V = \frac{ba^2 \sqrt{3}}{4}.$$

2) Площадь квадрата  $S_{\text{осн}}=a^2$ ,  $V=ba^2$ .

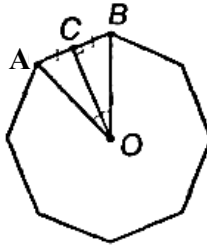


3) Правильный шестиугольник представляет собой шесть равно-  
сторонних треугольников со стороной  $a$ . Так что

$$S_{\text{осн}} = 6 \cdot S_{\Delta} = 6 \cdot \frac{a^2 \sqrt{3}}{4} = \frac{3a^2 \sqrt{3}}{2}.$$

$$V = \frac{3ba^2 \sqrt{3}}{2}.$$

20. Деревянная плита в форме правильного восьмиугольника со  
стороной 3,2см. и толщиной 0,7см имеет массу 17,3 г. Найдите  
плотность дерева.



В  $\Delta BCO$ :  $\angle OCB = 90^\circ$  и  $\angle BOC = 22^\circ 30'$ .

Тогда

$$CO = \frac{CB}{\operatorname{tg} \angle BOC} = \frac{AB}{2 \operatorname{tg} 22^\circ 30'} = \frac{1,6}{\operatorname{tg} 22^\circ 30'} \text{ (см)}.$$

Далее, площадь правильного восьмиугольника

$$S = 8 \cdot S_{AOB} = 8 \cdot \frac{1}{2} \cdot AB \cdot OC = 4AB \cdot CO = \frac{4 \cdot 3,2 \cdot 1,6}{\operatorname{tg} 22^\circ 30'} = \frac{20,48}{\operatorname{tg} 22^\circ 30'} \text{ (см}^2\text{)}.$$

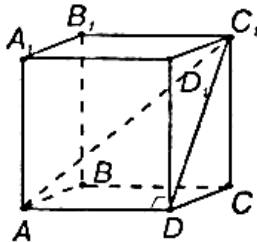
Тогда объем трубы  $V = S \cdot h = \frac{14,36}{\operatorname{tg} 22^\circ 30'} \text{ (см}^3\text{)}.$

$$\text{Далее, } \rho = \frac{17,3 \cdot \operatorname{tg} 22^\circ 30'}{14,336} \approx 0,5 \left( \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \right).$$



21. Диагональ правильной четырехугольной призмы равна 3,5 см, а диагональ боковой грани 2,5 см.

Найдите объем призмы.



Так как по условию призма правильная, то  $CC_1 \perp DC$  и  $DC \perp AD$ . Так что по теореме о трех перпендикулярах  $C_1D \perp AD$ . Далее, в прямоугольном  $\triangle AC_1D$  по теореме Пифагора находим:

$$AD = \sqrt{AC_1^2 - DC_1^2} = \sqrt{3,5^2 - 2,5^2} = \sqrt{6} \text{ (см)}.$$

Тогда в прямоугольном  $\triangle DC_1C$  по теореме Пифагора найдем:

$$C_1C = \sqrt{DC_1^2 - DC^2} = \sqrt{DC_1^2 - AD^2} = \sqrt{2,5^2 - 6} = 0,5 \text{ (см)}.$$

Далее,  $V = S_{ABCD} \cdot CC_1 = AD^2 \cdot CC_1 = 6 \cdot 0,5 = 3 \text{ (см}^3\text{)}$ .

22. Сторона основания правильной треугольной призмы равна  $a$ , боковая поверхность равновелика сумме оснований.

Найдите ее объем.

Площадь основания равна площади равностороннего треугольника со стороной  $a$ . Так что  $S_{\text{осн}} = \frac{a^2\sqrt{3}}{4}$ .

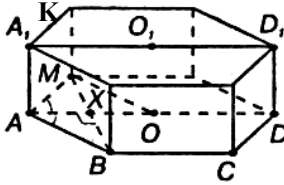
Далее, площадь боковой поверхности равна произведению периметра основания на высоту, то есть  $S_{\text{бок}} = 3a \cdot h$ . Но по условию

$$S_{\text{бок}} = 2S_{\text{осн}} \cdot 3a \cdot h = \frac{2a^2\sqrt{3}}{4}, \quad h = \frac{a\sqrt{3}}{6}.$$

$$\text{Тогда } V = S_{\text{осн}} \cdot h = \frac{a^2\sqrt{3}}{4} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{6} = \frac{a^3}{8}.$$

23. В правильной шестиугольной призме площадь наибольшего диагонального сечения  $4\text{м}^2$ , а расстояние между двумя противоположными боковыми гранями 2м.

Найдите объем призмы.



Наибольшее диагональное сечение — это  $AA_1D_1D$ . Тогда  $AD$  — диаметр окружности, описанной около правильного шестиугольника. Так что  $AD=2R$  и  $AB=AM=R$ .  $\angle MAB$  найдем по формуле:

$$\angle MAB = \frac{180^\circ \cdot (n-2)}{n} = \frac{180^\circ \cdot (6-2)}{6} = 120^\circ. \text{ Тогда}$$

$$\angle MAX = \frac{1}{2} \angle MAB = 60^\circ \text{ и } MX = \frac{1}{2} MB = \frac{1}{2} \cdot 2 = 1(\text{м}).$$

$$\text{Далее, в прямоугольном } \triangle AMX: AM = \frac{MX}{\sin \angle MAX} = \frac{1 \cdot 2}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{2\sqrt{3}}{3}.$$

$$\text{Так что } R = AM = \frac{2\sqrt{3}}{3} (\text{м}).$$

$$\text{Значит, } AD = 2R = \frac{4\sqrt{3}}{3} (\text{м}).$$

$$\text{А поскольку } S_{AA_1D_1D} = AA_1 \cdot AD = 4 \text{ м}^2, \text{ то } AA_1 = \frac{4 \cdot 3}{4\sqrt{3}} = \sqrt{3} (\text{м})$$

Далее, площадь основания равна площади шести равносторонних  $\Delta$ , то есть  $S_{\text{осн}} = 6 \cdot S_{AMO} =$

$$= 6 \cdot \frac{1}{2} MO \cdot AO \cdot \sin 60^\circ = 6 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{2\sqrt{3}}{3} \right)^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 2\sqrt{3} (\text{м})^3.$$

$$\text{Тогда } V = S_{\text{осн}} \cdot AA_1 = 2\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} = 6(\text{м}^3).$$

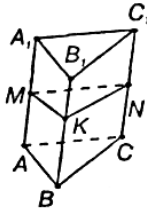
Ответ:  $6 \text{ м}^3$ .

**24.** В наклонной призме проведено сечение, перпендикулярное боковым ребрам и пересекающее все боковые ребра.

Найдите объем призмы, если площадь сечения  $Q$ , а боковые ребра равны  $l$ .

Задача решена в учебнике п. 202, стр. 102.

**25.** Боковые ребра наклонной треугольной призмы равны  $15\text{м}$ , а расстояние между содержащими их параллельными прямыми  $26\text{м}$ ,  $25\text{м}$  и  $17\text{м}$ . Найдите объем призмы.



Проведем сечение, перпендикулярное боковым ребрам. Получится  $\triangle MNK$  со сторонами, равными расстояниям между параллельными прямыми, содержащими боковые ребра призмы.

Используя задачу № 24, имеем, что: объем призмы равен произведению площади сечения, проведенного перпендикулярного боковым ребрам, на длину бокового ребра. Далее, найдем по формуле Герона  $S_{MNK}$ :

$$S = \sqrt{p(p - MK)(p - MN)(p - NK)} = \\ = \sqrt{34 \cdot (34 - 26) \cdot (34 - 25) \cdot (34 - 17)} = 204 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Тогда  $V = S \cdot BB_1 = 204 \cdot 15 = 3060 \text{ (м}^3\text{)}$ .

**26.** Вычислите пропускную способность (в кубических метрах за 1ч) водосточной трубы, сечение которой имеет вид равнобедренного треугольника с основанием 1,4м и высотой 1,2м. Скорость течения воды 2м/с.

Если  $d$  — длина труб, которую проходит вода за 1 час, то  $V = S \cdot d = S \cdot v \cdot t$ , где  $v$  — скорость течения воды за  $t=1$  час=3600 сек.  $S$  — площадь треугольника, так что

$$S = \frac{1}{2} \cdot 1,4 \cdot 1,2 = 0,84 \text{ (м}^2\text{)}, \text{ поэтому количество прошедшей воды рав-$$

но

$$V = S \cdot v \cdot t = 0,84 \cdot 2 \cdot 3600 = 6048 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Ответ:  $6048 \text{ м}^3$ .

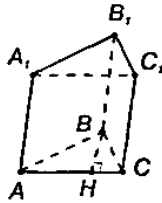
**27.** Сечение железнодорожной насыпи имеет вид трапеции с нижнем основанием 14м, верхним 8м и высотой 3,2м.

Найдите, сколько кубических метров земли приходится на 1км насыпи.

Железнодорожная насыпь представляет собой прямую призму с основанием в виде трапеции и высотой, равной боковому ребру длиной 1 км=1000 м. Тогда

$$V = S_{\text{осн}} \cdot h = \frac{a+b}{2} \cdot l \cdot h = \frac{14+8}{2} \cdot 3,2 \cdot 1000 = 35200 \text{ (м}^3\text{)}.$$

28. В прямой треугольной призме стороны оснований равны 4 см, 5 см и 7 см, а боковое ребро равно большей высоте основания. Найдите объем призмы.



Найдем площадь основания по формуле Герона:

$$S_{\text{осн}} = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} = \\ = \sqrt{8 \cdot (8-4) \cdot (8-5) \cdot (8-7)} = 4\sqrt{6} \text{ (см}^2\text{)}.$$

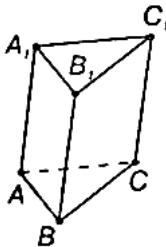
Далее, высота призмы равна боковому ребру, то есть большей высоте основания. Большая высота основания та, которая проведена к меньшему основанию. Тогда, если она равна  $h$ , то

$$S_{\text{осн}} = \frac{1}{2}ah = 4\sqrt{6} \text{ (см}^2\text{)}. \text{ Так что } h = \frac{2S}{a} = 2\sqrt{6} \text{ (см)}.$$

Ну, и  $V = S_{\text{осн}} \cdot h = 4\sqrt{6} \cdot 2\sqrt{6} = 48 \text{ (см}^3\text{)}$ .

Ответ:  $48 \text{ см}^3$ .

29. Площадь основания прямой треугольной призмы равна  $4 \text{ см}^2$ , а площади боковых граней —  $9 \text{ см}^2$ ,  $10 \text{ см}^2$  и  $17 \text{ см}^2$ . Найдите объем.



Боковые грани призмы — это прямоугольник с одной из сторон, равной длине бокового ребра, то есть  $AA_1$ , а другой — равной стороне  $\triangle ABC$ , лежащего в основании. Далее,

$$S_{AA_1B_1B} = AB \cdot AA_1; S_{BCC_1B_1} = BC \cdot BB_1; S_{CC_1A_1A} = AC \cdot CC_1.$$

Так что в  $\triangle ABC$ :  $AB = \frac{9}{AA_1}$ ,  $BC = \frac{10}{AA_1}$ ,  $AC = \frac{17}{AA_1}$ .

Тогда полупериметр  $p = \frac{1}{2}(AB + BC + AC) = \frac{18}{H}$ . И по формуле Герона:

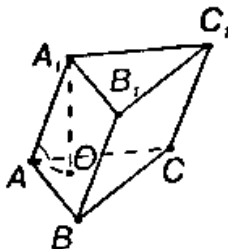
$$S_{ABC} = \sqrt{p(p-AB)(p-BC)(p-AC)}, \text{ то есть}$$

$$4 = \sqrt{\frac{18}{AA_1} \cdot \frac{9}{AA_1} \cdot \frac{8}{AA_1} \cdot \frac{1}{AA_1}}.$$

$$4 = \frac{36}{AA_1^2}. \quad AA_1^2 = 9, \text{ или } AA_1 = 3 \text{ (см). или } H=3 \text{ (см).}$$

Тогда  $V = S_{ABC} \cdot AA_1 = 4 \cdot 3 = 12 \text{ (см}^3\text{)}$ .

**30.** Основание призмы — треугольник, у которого одна сторона равна 2 см, а две другие — по 3 см. Боковое ребро равно 4 см и составляет с плоскостью основания угол  $45^\circ$ .  
Найдите ребро равновеликого куба.



Проведем перпендикуляр  $A_1O$  к плоскости основания. Тогда в прямоугольном  $\triangle AA_1O$

$$A_1O = AA_1 \cdot \sin 45^\circ = 4 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 2\sqrt{2} \text{ (см).}$$

Далее, найдем площадь основания по формуле:

$$S_{\text{осн}} = \sqrt{p(p-AB)(p-AC)(p-BC)} =$$

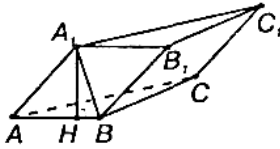
$$= \sqrt{4 \cdot (4-2)(4-3)(4-3)} = 2\sqrt{2} \text{ (см)}. \text{ Далее, объем призмы:}$$

$$V = S_{\text{осн}} \cdot A_1O = 2\sqrt{2} \cdot 2\sqrt{2} = 8 \text{ (см}^3\text{)}. \text{ Объем куба равен}$$

$$V_1 = a^3. \text{ Тогда, если } V_1 = V = 8 \text{ см}^3, \text{ то } a^3 = 8 \text{ и } a = 2 \text{ (см).}$$

Ответ: 2 см.

**31.** Основанием наклонной призмы является равносторонний треугольник со стороной  $a$ ; одна из боковых граней перпендикулярна основанию и является ромбом, у которого меньшая диагональ равна  $c$ . Найдите объем призмы.



Пусть грань  $AA_1B_1B$  является ромбом и перпендикулярна основанию. Тогда проведем  $A_1H \perp AB$  так, что получим  $A_1H$  — высота призмы.  $AB = AA_1 = a$ . Площадь  $\triangle ABC$  равна  $S_{\text{осн}} = \frac{a^2 \sqrt{3}}{4}$ .

Далее, площадь  $\triangle AA_1B$  равна:

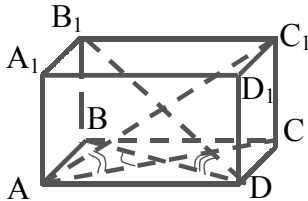
$$S_{AA_1B} = \frac{1}{2} AB \cdot A_1H = \frac{a}{2} A_1H. \text{ С другой стороны}$$

$$\begin{aligned} S_{AA_1B} &= \sqrt{p(p-AB)(p-AA_1)(p-A_1B)} = \\ &= \sqrt{\frac{2a+c}{2} \cdot \left(\frac{2a+c}{2} - a\right) \left(\frac{2a+c}{2} - a\right) \left(\frac{2a+c}{2} - c\right)} = \\ &= \sqrt{\frac{2a+c}{2} \cdot \frac{c}{2} \cdot \frac{c}{2} \cdot \frac{2a-c}{2}} = \frac{c}{4} \sqrt{4a^2 - c^2}. \end{aligned}$$

$$\text{Так что } A_1H = \frac{2S_{AA_1B}}{a} = \frac{c\sqrt{4a^2 - c^2}}{2a}.$$

$$\text{Далее, } V = S_{\text{осн}} \cdot A_1H = \frac{a^2 \sqrt{3}}{4} \cdot \frac{c}{2a} \sqrt{4a^2 - c^2} = \frac{ac}{8} \sqrt{12a^2 - 3c^2}.$$

**32.** Чему равен объем прямой четырехугольной призмы, если ее высота  $h$ , диагонали наклонены к плоскости основания под углами  $\alpha$  и  $\beta$  и острый угол между диагоналями равен  $\gamma$ ?



В прямоугольных  $\triangle AC_1C$  и  $\triangle BDD_1$  имеем:

$$AC = \frac{CC_1}{\text{tg}\alpha} = \frac{h}{\text{tg}\alpha}, \quad BD = \frac{DD_1}{\text{tg}\beta} = \frac{h}{\text{tg}\beta}.$$

Площадь четырехугольника равна произведению диагоналей на синус угла между ними. Так что

$$S_{\text{осн}} = \frac{1}{2} AC \cdot DB \cdot \sin \gamma = \frac{h^2 \sin \gamma}{2 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}.$$

$$\text{Тогда объем } V = S_{\text{осн}} \cdot h = \frac{h^3 \sin \gamma}{2 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}.$$

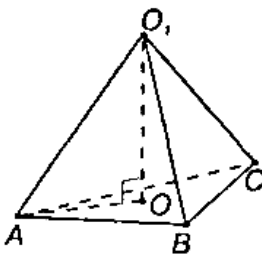
**33.** По стороне основания  $a$  и боковому ребру  $b$  найдите объем правильной пирамиды: 1) треугольной, 2) четырехугольной, 3) шестиугольной.

В правильной пирамиде высота проходит через центр окружности, описанной около основания. Тогда

1) Площадь основания равна площади равностороннего треугольника:  $S_{\text{осн}} = \frac{a^2 \sqrt{3}}{4}$ . Радиус описанной окружности  $AO = \frac{a \sqrt{3}}{3}$ . Тогда в  $\triangle AO_1O$ :

$$OO_1 = \sqrt{AO_1^2 - AO^2} = \sqrt{b^2 - \frac{a^2}{3}} = \sqrt{\frac{3b^2 - a^2}{3}}. \text{ Так что}$$

$$V = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot OO_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{a^2 \sqrt{3}}{4} \cdot \sqrt{\frac{3b^2 - a^2}{3}} = \frac{a^2}{12} \cdot \sqrt{3b^2 - a^2}.$$

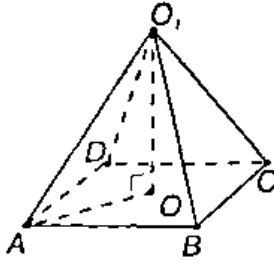


2) Основание — квадрат с площадью  $S_{\text{осн}} = a^2$ . Радиус описанной окружности  $AO$  равен половине диагонали квадрата:

$$AO = \frac{AC}{2} = \frac{a \sqrt{2}}{2}. \text{ Далее, в } \triangle AOO_1:$$

$$OO_1 = \sqrt{AO_1^2 - AO^2} = \sqrt{b^2 - \frac{a^2}{2}} = \sqrt{\frac{2b^2 - a^2}{2}}. \text{ Так что}$$

$$V = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot OO_1 = \frac{1}{3} \cdot a^2 \cdot \sqrt{\frac{2b^2 - a^2}{2}} = \frac{a^2}{6} \sqrt{4b^2 - 2a^2}.$$



3) Площадь основания равна площади правильного шестиугольника, то есть площади шести равносторонних треугольников со стороной  $a$ .

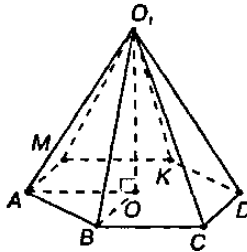
$$S_{\text{осн}} = 6 \cdot S_{\Delta ABO} = 6 \cdot \frac{a^2 \sqrt{3}}{4} = \frac{3\sqrt{3}a^2}{2}. \text{ Далее,}$$

Радиус описанной окружности равен стороне основания  $AO=a$ .

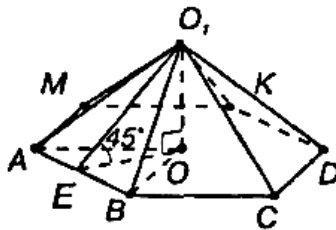
Тогда в  $\Delta AOO_1$ :

$$OO_1 = \sqrt{AO_1^2 - AO^2} = \sqrt{b^2 - a^2}. \text{ Ну и}$$

$$V = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot OO_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{3\sqrt{3}a^2}{2} \cdot \sqrt{b^2 - a^2} = \frac{a^2}{2} \cdot \sqrt{3(b^2 - a^2)}.$$



34. Сторона основания правильной шестиугольной пирамиды  $a$ , а двугранный угол при основании равен  $45^\circ$ . Найдите объем пирамиды.





Проведем высоту пирамиды  $O_1O$ . В правильной пирамиде высота проходит через центр окружности, вписанной в основание. Тогда проведем  $OE \perp AB$ . По теореме о трех перпендикулярах  $O_1E \perp AB$ . Так что  $OE$  — радиус вписанной окружности, а  $\angle O_1EO = 45^\circ$  как линейный угол данного двугранного угла.

$$\text{Тогда } OE = r = \frac{a\sqrt{3}}{2}.$$

Далее в  $\Delta O_1OE$ :

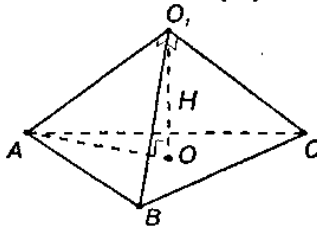
$$OO_1 = OE = \frac{a\sqrt{3}}{2} \text{ (так как } \Delta O_1OE \text{ — равнобедренный).}$$

Далее площадь основания равна площади 6 равносторонних треугольников со стороной  $a$ :

$$S_{\text{осн}} = 6 \cdot S_{\Delta ABO} = \frac{3\sqrt{3}a^2}{2}. \text{ Так что}$$

$$V = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot OO_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{3\sqrt{3}a^2}{2} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{2} = \frac{3}{4} a^3.$$

**35.** Боковые ребра треугольной пирамиды взаимно перпендикулярны, каждое ребро равно  $b$ . Найдите объем пирамиды.



Проведем высоту  $OO_1$  пирамиды. Поскольку все боковые ребра равны, то высота пирамиды проходит через центр описанной около основания окружности. Так что  $AO = R$ .

Далее в равнобедренных прямоугольных  $\Delta AO_1B$ ,  $\Delta BO_1C$ ,  $\Delta AO_1C$ :

$$AB = BC = AC = \frac{b}{\sin 45^\circ} = b\sqrt{2}.$$

Так что в  $\Delta ABC$ :  $AO = R = \frac{AB\sqrt{3}}{3} = \frac{b\sqrt{6}}{3}$ . Далее площадь равносто-

ронного  $\Delta ABC$  равна  $S_{\text{осн}} = \frac{AB^2\sqrt{3}}{4} = \frac{b^2\sqrt{3}}{2}$ . Затем в прямоуголь-

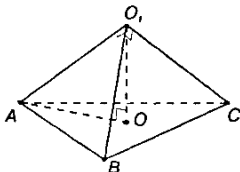
ном  $\Delta AO_1O$  по теореме Пифагора получаем:

$$OO_1 = \sqrt{AO_1^2 - AO^2} = \sqrt{b^2 - \frac{b^2 \cdot 6}{9}} = \frac{b\sqrt{3}}{3}.$$

$$\text{Тогда } V = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot OO_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{b^2 \sqrt{3}}{2} \cdot \frac{b\sqrt{3}}{3} = \frac{b^3}{6}.$$

$$\text{Ответ: } \frac{b^3}{6}.$$

**36.** Чему равен объем правильной треугольной пирамиды, у которой сторона основания  $a$ , а боковые ребра взаимно перпендикулярны?



Площадь основания равна площади равностороннего треугольника со стороной  $a$ , то есть  $S_{\text{осн}} = \frac{a^2 \sqrt{3}}{4}$ . Далее каждая боковая грань является равнобедренным прямоугольным треугольником. Так что

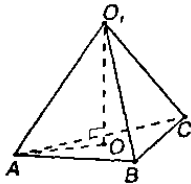
$$AO_1 = BO_1 = CO_1 = \frac{AB}{\sqrt{2}} = \frac{a\sqrt{2}}{2}.$$

Далее знаем, что высота правильной пирамиды  $OO_1$  проходит через центр окружности, описанной около основания. Так что

$$AO = R = \frac{a\sqrt{3}}{3}. \text{ По теореме Пифагора в } \triangle AOO_1 \text{ получим:}$$

$$OO_1 = \sqrt{AO_1^2 - AO^2} = \sqrt{\frac{a^2}{2} - \frac{a^2}{3}} = \frac{a}{\sqrt{6}}. \text{ Тогда } V = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot OO_1 = \\ = \frac{1}{3} \cdot \frac{a^2 \sqrt{3}}{4} \cdot \frac{a}{\sqrt{6}} = \frac{a^3}{12\sqrt{2}} = \frac{a^3 \sqrt{2}}{24}.$$

**37.** По ребру  $a$  правильного тетраэдра найдите его объем.



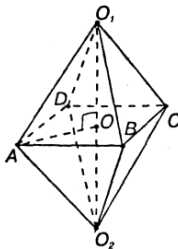
Площадь основания тетраэдра равна площади равностороннего треугольника со стороной  $a$ . Так что  $S_{\text{осн}} = \frac{a^2\sqrt{3}}{4}$ .

Далее высота пирамиды  $OO_1$  проходит через центр окружности, описанной около основания. Поэтому  $AO=R = \frac{a\sqrt{3}}{3}$ . Далее в

$$\Delta AOO_1: OO_1 = \sqrt{AO_1^2 - AO^2} = \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{3}} = a\sqrt{\frac{2}{3}}.$$

$$\text{Тогда } V = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot OO_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{a^2\sqrt{3}}{4} \cdot a\sqrt{\frac{2}{3}} = \frac{a^3\sqrt{2}}{12}.$$

**38.** По ребру  $a$  октаэдра найдите его объем.



Октаэдр состоит из двух правильных равных четырехугольных пирамид. Площадь основания каждой пирамиды  $S_{\text{осн}} = a^2$ . Высота каждой пирамиды проходит через центр окружности, описанной около квадрата, лежащего в основании.

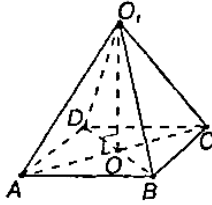
Так что  $AO=R = a\frac{\sqrt{2}}{2}$ . Далее в  $\Delta AOO_1$ :

$$OO_1 = \sqrt{AO_1^2 - AO^2} = \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{2}} = a\frac{\sqrt{2}}{2}. \text{ Тогда объем пирамиды}$$

$$V_0 = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot OO_1 = \frac{1}{3} a^2 \cdot a\frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{a^3\sqrt{2}}{6}.$$

А объем октаэдра равен двум объемам пирамиды  $V = 2V_0 = \frac{a^3\sqrt{2}}{3}$ .

**39.** Основание пирамиды - прямоугольник со сторонами 9 м и 12 м, все боковые ребра равны 12,5 м. Найдите объем пирамиды.



Так как все боковые ребра равны, то высота  $OO_1$  пирамиды проходит через центр описанной около основания окружности. Но центр окружности, описанной около прямоугольника это точка пересечения диагоналей. Так что  $AO=R=\frac{1}{2}AC$ . Далее в  $\triangle ACB$ :

$$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2} = \sqrt{12^2 + 9^2} = 15 \text{ (м)}.$$

$$\text{Поэтому } AO = \frac{1}{2}AC = 7,5 \text{ (м)}.$$

Далее по теореме Пифагора в  $\triangle AOO_1$ :

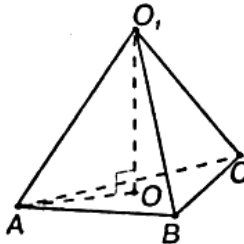
$$OO_1 = \sqrt{AO_1^2 - AO^2} = \sqrt{12,5^2 - 7,5^2} = 10 \text{ (м)}.$$

Площадь основания  $S_{\text{осн}} = AB \cdot BC = 9 \cdot 12 = 108 \text{ (м}^2\text{)}$ .

$$\text{Тогда } V = \frac{1}{3}S_{\text{осн}} \cdot OO_1 = \frac{1}{3} \cdot 108 \cdot 10 = 360 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Ответ:  $360 \text{ м}^3$ .

**40.** Основание пирамиды — равнобедренный треугольник со сторонами 6 см, 6 см и 8 см. Все боковые ребра равны 9 см. Найдите объем пирамиды.



Так как все боковые ребра равны, то высота  $OO_1$  пирамиды проходит через центр окружности, описанной около основания. То есть  $AO=R$ . Далее по формуле Герона:

$$\begin{aligned} S_{\text{осн}} &= \sqrt{p(p-AB)(p-AC)(p-BC)} = \\ &= \sqrt{10(10-6)(10-6)(10-8)} = 8\sqrt{5} \text{ (см}^2\text{)}. \end{aligned}$$

Далее радиус описанной вокруг треугольника окружности найдем по формуле:

$$AO = R = \frac{AB \cdot BC \cdot AC}{4S_{ABC}} = \frac{6 \cdot 6 \cdot 8}{4 \cdot 8\sqrt{5}} = \frac{9\sqrt{5}}{5} \text{ (см)}.$$

Тогда в  $\triangle AOO_1$ :

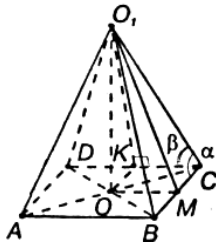
$$OO_1 = \sqrt{AO_1^2 - AO^2} = \sqrt{81 - \frac{81}{5}} = \frac{18\sqrt{5}}{5} \text{ (см)}.$$

Так что  $V = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot OO_1 = \frac{1}{3} \cdot 8\sqrt{5} \cdot \frac{18\sqrt{5}}{5} = 48 \text{ (см}^3\text{)}$ .

Ответ:  $48 \text{ см}^3$ .

**42.** В основании пирамиды лежит прямоугольник. Каждое боковое ребро пирамиды равно  $l$  и составляет со смежными сторонами прямоугольника углы  $\alpha$  и  $\beta$ .

Найдите объем пирамиды.



Так как все боковые ребра пирамиды равны, то ее высота  $OO_1$  проходит через центр описанной около основания окружности. Центр окружности, описанной около прямоугольника, это точка пересечения диагоналей. Так что  $AO = R = \frac{1}{2} AC$ . Проведем  $O_1M \perp BC$  и

$O_1K \perp DC$ . Тогда по теореме о трех перпендикулярах  $OM \perp BC$ , а  $OK \perp DC$ . Так что  $OMCK$  — прямоугольник и  $OM = KC$ .

В прямоугольных  $\triangle O_1CM$  и  $\triangle O_1CK$ :  $CM = O_1C \cdot \cos \alpha = l \cdot \cos \alpha$ ,  
 $KC = O_1C \cdot \cos \beta = l \cdot \cos \beta$ .

Далее, в прямоугольном  $\triangle OCM$  по теореме Пифагора:

$$OC = R = \sqrt{OM^2 + CM^2} = \sqrt{l^2 \cos^2 \beta + l^2 \cos^2 \alpha} = l \sqrt{\cos^2 \beta + \cos^2 \alpha}.$$

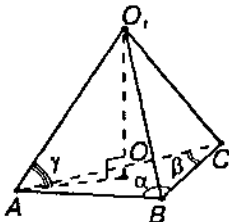
Далее, в прямоугольном  $\triangle O_1OC$ :

$$OO_1 = \sqrt{O_1C^2 - OC^2} = \sqrt{l^2 - l^2 \cos^2 \beta - l^2 \cos^2 \alpha} = l \sqrt{\sin^2 \beta - \cos^2 \alpha}.$$

Затем площадь основания  $S_{\text{осн}} = DC \cdot BC = 2KC \cdot 2MC = 4l^2 \cos \beta \cos \alpha$ .

$$\begin{aligned} \text{Тогда } V &= \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot OO_1 = \frac{1}{3} \cdot 4l^2 \cos \alpha \cos \beta \cdot l \sqrt{\sin^2 \beta - \cos^2 \alpha} = \\ &= \frac{4}{3} l^3 \cos \alpha \cos \beta \sqrt{\sin^2 \beta - \cos^2 \alpha} . \end{aligned}$$

**43.** Найдите объем пирамиды, имеющий основанием треугольник, два угла которого  $\alpha$  и  $\beta$ ; радиус описанного круга  $R$ . Боковые ребра пирамиды наклонены к плоскости ее основания под углом  $\gamma$ .



Так как все боковые ребра пирамиды наклонены к плоскости основания под одним и тем же углом, то высота пирамиды  $O_1O$  проходит через центр описанной около основания окружности. Так что  $AO = OB = OC = R$ .

Далее, в прямоугольном  $\Delta AO_1O$ :  $OO_1 = AO \cdot \operatorname{tg} \gamma = R \cdot \operatorname{tg} \gamma$ .

В  $\Delta ABC$   $\angle BAC = 180^\circ - (\alpha + \beta)$ . Тогда согласно теореме синусов

$$\frac{AC}{\sin \alpha} = \frac{AB}{\sin \beta} = \frac{BC}{\sin(180^\circ - (\alpha + \beta))} = 2R .$$

Так что  $AB = 2R \cdot \sin \beta$ ,  $AC = 2R \cdot \sin \alpha$ ,  $BC = 2R \cdot \sin(180^\circ - (\alpha + \beta)) = 2R \cdot \sin(\alpha + \beta)$ .

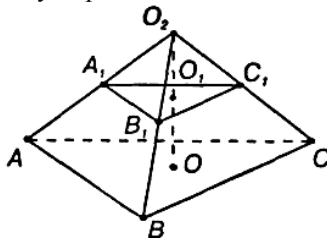
$$\begin{aligned} \text{Затем площадь треугольника } ABC: S_{\text{осн}} &= \frac{AB \cdot BC \cdot AC}{4R} = \\ &= \frac{2R \sin \beta \cdot 2R \sin \alpha \cdot 2R \sin(\alpha + \beta)}{4R} = 2R^2 \sin \alpha \cdot \sin \beta \sin(\alpha + \beta) . \end{aligned}$$

$$\text{Тогда } V = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot OO_1 = \frac{2}{3} R^3 \sin \alpha \sin \beta \sin(\alpha + \beta) \operatorname{tg} \gamma .$$

**44.** Найдите объем усеченной пирамиды с площадью оснований  $Q_1$  и  $Q_2$  ( $Q_1 > Q_2$ ) и высотой  $h$ .

Задача решена в учебнике п. 205, стр. 104.

45. В пирамиде с площадью основания  $Q_1$  проведено сечение, параллельное основанию, на расстоянии  $h$  от него. Площадь сечения  $Q_2$ . Найдите высоту пирамиды.



Сечение отсекает от данной пирамиды подобную пирамиду  $O_2A_1B_1C_1$ . Так как площади подобных фигур относятся как квадрат

коэффициента подобия, то  $K = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_2}}$ .

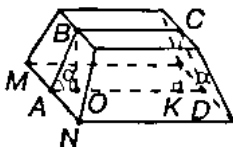
Линейные размеры подобных фигур относятся как коэффициент

подобия. Так что  $\frac{OO_2}{O_1O_2} = K$ , так что  $\frac{OO_2}{OO_2 - h} = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_2}}$ . Так что

$$OO_2(\sqrt{Q_2} - \sqrt{Q_1}) = -h\sqrt{Q_1}. \text{ Так что } OO_2 = \frac{h\sqrt{Q_1}}{\sqrt{Q_1} - \sqrt{Q_2}}.$$

46. В правильной усеченной четырехугольной пирамиде стороны нижнего и верхнего оснований равны  $a$  и  $b$ , а двугранный угол при ребре нижнего основания равен  $\alpha$ .

Найдите объем пирамиды.



Построим осевое сечение  $ABCD$ , перпендикулярное стороне основания  $MN$ . Тогда  $\angle BAD = \alpha$  — линейный угол данного двугранного угла. Проведем перпендикуляры  $BO \perp AD$  и  $CK \perp AD$ . Тогда  $BO = CK$  — высота усеченной пирамиды.

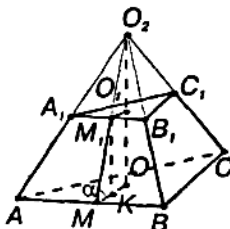
Рассмотрим равнобедренную трапецию  $ABCD$ .  $\triangle ABO = \triangle DCK$ .

$$\text{Так что } KD = AO = \frac{AD - OK}{2} = \frac{AD - BC}{2} = \frac{a - b}{2}.$$

Тогда в  $\triangle ABO$   $BO=AO \cdot \operatorname{tg}\alpha = \frac{a-b}{2} \operatorname{tg}\alpha$ . Далее площади нижнего и верхнего оснований пирамиды равны соответственно  $S_1=a^2$  и  $S_2=b^2$ . Тогда объем пирамиды (из задачи № 44) равен:

$$V = \frac{1}{3}BO(S_1 + \sqrt{S_1S_2} + S_2) = \\ = \frac{1}{3} \cdot \frac{a-b}{2} \operatorname{tg}\alpha(a^2 + \sqrt{a^2b^2} + b^2) = \frac{a^3 - b^3}{6} \cdot \operatorname{tg}\alpha.$$

47. Решите предыдущую задачу в случае правильной усеченной треугольной пирамиды.



Дополним данную усеченную пирамиду до полной. Проведем высоту  $O_2O$ . Так как в правильной пирамиде высота проходит через центр окружности, вписанной в основание, то  $MO$  и  $M_1O_1$  — радиусы окружностей, вписанных в  $\triangle ABC$  и  $\triangle A_1B_1C_1$ . Далее площади

равны  $\triangle ABC$  и  $\triangle A_1B_1C_1$  равны  $S_1 = \frac{a^2\sqrt{3}}{4}$  и  $S_2 = \frac{b^2\sqrt{3}}{4}$  соответ-

ственно, а радиусы вписанных окружностей  $OM = \frac{a\sqrt{3}}{6}$  и

$$O_1M_1 = \frac{b\sqrt{3}}{6}.$$

Поскольку  $OM \perp AB$ , то  $\angle M_1MO = \alpha$  — линейный угол данного двугранного угла. В прямоугольной трапеции  $MM_1O_1O$  проведем  $M_1K \perp MO$ , тогда

$$MK = MO - KO = MO - M_1O_1 = \frac{(a-b)\sqrt{3}}{6}.$$

Далее в  $\triangle M_1MK$ :

$$M_1K = MK \cdot \operatorname{tg}\alpha = \frac{(a-b)\sqrt{3}}{6} \operatorname{tg}\alpha. \text{ Так что}$$



$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{3} M_1 K (S_1 + \sqrt{S_1 S_2} + S_2) = \frac{1}{3} \cdot \frac{(a-b)\sqrt{3}}{6} \cdot \operatorname{tg} \alpha (a^2 + ab + b^2) \frac{\sqrt{3}}{4} = \\
 &= \frac{(a^3 - b^3) \operatorname{tg} \alpha}{24}.
 \end{aligned}$$

**48.** Через середину высоты пирамиды проведена плоскость, параллельная основанию.

В каком отношении она делит объем пирамиды?

Задача решена в учебнике п. 206, стр. 105.

**49.** Высота пирамиды  $h$ .

На каком расстоянии от вершины находится сечение, параллельное основанию и делящее ее объем пополам?

Проведенное сечение отсекает от данной пирамиды подобную. В подобных фигурах отношение линейных размеров равно коэффициенту подобия, а отношение объемов кубу коэффициента подобия. Так что  $V_1 : V_2 = k^3 = \frac{1}{2}$ , то есть  $k = \frac{1}{\sqrt[3]{2}}$ . Далее  $h_1 = kh = \frac{h}{\sqrt[3]{2}}$ .

Ответ:  $\frac{h}{\sqrt[3]{2}}$ .

## § 23. Объемы и поверхности тел вращения.

1. 25м медной проволоки имеют массу 100,7г.

Найдите диаметр проволоки (плотность меди  $8,94 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  ).

Найдем объем проволоки:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{100,7}{8,94} \text{ (см}^3\text{)}.$$

Но  $V = \pi R^2 \cdot l = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l$ . Так что

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi l}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100,7}{8,94 \cdot \pi \cdot 2500}} \approx 0,076 \text{ (см)} = 0,76 \text{ (мм)}.$$

2. Насос, подающий воду в паровой котел, имеет два водяных цилиндра. Диаметры цилиндров 80мм, а ход поршня 150мм.

Чему равна часовая производительность насоса, если каждый поршень делает 50 рабочих ходов в минуту?

Объем каждого цилиндра равен  $V_0 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h = 240000\pi \text{ (мм}^3\text{)}$ .

Тогда за 1 минуту через насос проходит

$$V_1 = 250 \cdot V_2 = 100 \cdot 240000\pi = 24 \cdot 10^6 \pi \text{ (мм}^3\text{)} = 24\pi \text{ (л)}.$$

А за 1 час =60 минут  $V = 60 \cdot V_1 = 1440\pi \text{ (л)} \approx 4500 \text{ (л)}$ .

3. Во сколько раз надо увеличить высоту цилиндра, не меняя его основание, чтобы объем увеличился в  $n$  раз? Во сколько раз надо увеличить радиус основания цилиндра, не меняя высоту, чтобы объем увеличился в  $n$  раз?

Объем цилиндра равен  $V = S_{\text{осн}} \cdot h$ . Тогда, если

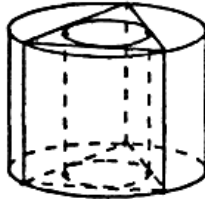
$$\frac{V'}{V_0} = n, \text{ то } \frac{S' \cdot h'}{S_0 \cdot h_0} = n \text{ и } S' = S_0, \text{ то } h' = nh_0.$$

То есть, если не менять основание для того, чтобы объем увеличить в  $n$  раз, надо высоту цилиндра увеличить в  $n$  раз. Далее, если

$$\frac{V'}{V_0} = n, \text{ и } h' = h_0, \text{ то } \frac{S' \cdot h'}{S_0 \cdot h_0} = \frac{\pi(R')^2}{\pi R_0^2} = \left(\frac{R'}{R_0}\right)^2 = n, \text{ так что}$$

$R' = \sqrt{n} \cdot R_0$ . То есть чтобы при неизменной высоте увеличить объем цилиндра в  $n$  раз, надо радиус основания увеличить в  $\sqrt{n}$  раз.

4. В цилиндр вписана правильная треугольная призма, а в призму вписан цилиндр. Найдите отношение объемов цилиндров.



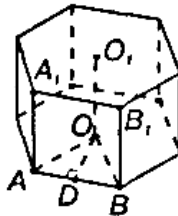
Пусть сторона основания призмы равна  $x$ .

Тогда радиус цилиндра, описанного около призмы, равен радиусу окружности, описанной около правильного треугольника, со стороной  $x$   $R_1 = \frac{x\sqrt{3}}{3}$ .

А радиус вписанного в призму цилиндра равен радиусу окружности, вписанной в правильный треугольник, со стороной  $x$ ;  $R_2 = \frac{x\sqrt{3}}{6}$ . Отношения объемов цилиндров:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\pi R_1^2 \cdot h}{\pi R_2^2 \cdot h} = \frac{R_1^2}{R_2^2} = \left( \frac{x \cdot \sqrt{3} \cdot 6}{3 \cdot x\sqrt{3}} \right)^2 = 4.$$

5. Найдите объем цилиндра, вписанного в правильную шестиугольную призму, у которой каждое ребро равно  $a$ .



По условию  $H=AA_1=a$ . Далее  $\triangle AOB$  — равносторонний. Радиус вписанного цилиндра  $OD = AO \cdot \sin \angle OAD = AO \cdot \sin 60^\circ = \frac{a\sqrt{3}}{2}$  (так как  $AO=R=AB=a$ ).

Тогда объем цилиндра

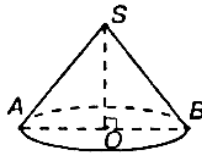
$$V = S_{\text{осн}} \cdot h = \pi OD^2 \cdot AA_1 = \pi \cdot \left( \frac{a\sqrt{3}}{2} \right)^2 \cdot a = \frac{3\pi a^3}{4}.$$

- 6.** Свинцовая труба (плотность свинца  $11,4 \text{ г/см}^3$ ) с толщиной стенок  $4 \text{ мм}$  имеет внутренний диаметр  $13 \text{ мм}$ . Какова масса  $25 \text{ м}$  этой трубы?

Если внутренний диаметр  $d_1 = 1,3 \text{ см}$ , то внешний диаметр  $d_2 = 1,3 + 2 \cdot 0,4 = 2,1 \text{ (см)}$ .  
Далее,

$$\begin{aligned} m &= \rho \cdot V = \rho(V_2 - V_1) = \rho \left( \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot h - \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot h \right) = \\ &= \frac{\rho \pi h}{4} (d_2^2 - d_1^2) = \frac{11,4 \cdot 3,14 \cdot 2500}{4} (2,1^2 - 1,3^2) \approx 60854 \text{ (г)} \approx 61 \text{ (кг)}. \end{aligned}$$

- 7.** Куча щебня имеет коническую форму, радиус основания которой  $2 \text{ м}$ , а образующая  $2,5 \text{ м}$ .  
Найдите объем кучи щебня.



В  $\triangle SAO$  по теореме Пифагора получаем:

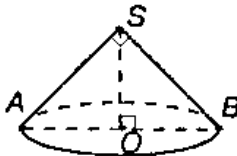
$$SO = \sqrt{SA^2 - OA^2} = \sqrt{2,5^2 - 2^2} = 1,5 \text{ (м)}.$$

Тогда объем кучи:

$$V = \frac{1}{3} \pi \cdot AO^2 \cdot SO = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot 2^2 \cdot 1,5 = 2\pi \text{ (м}^3\text{)} \approx 6,3 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Ответ:  $6,3 \text{ м}^3$ .

- 8.** Осевым сечением конуса является равнобедренный прямоугольный треугольник, площадь которого  $9 \text{ м}^2$ .  
Найдите объем конуса.



$$V = \frac{1}{3} \pi R^2 \cdot H = \frac{1}{3} \pi \cdot OB^2 \cdot SO.$$

В равнобедренном прямоугольном треугольнике  $ASB$   $AS=SB$  и  $S = \frac{1}{2} AS \cdot SB = \frac{AS^2}{2}$ .

$$\text{Так что } AS = BS = \sqrt{2 \cdot S} = \sqrt{2 \cdot 9} = 3\sqrt{2} \text{ (м)}.$$

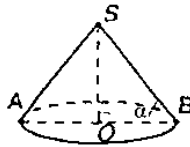
$$\text{Тогда } AB = \sqrt{AS^2 + BS^2} = \sqrt{18 + 18} = 6 \text{ (м)} \text{ и } AO = \frac{1}{2} AB = 3 \text{ (м)}.$$

$$\text{Далее в } \triangle SAO: OS = AS \cdot \sin 45^\circ = 3\sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 3 \text{ (м)}.$$

$$\text{Так что } V = \frac{1}{3} \pi AO^2 \cdot SO = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot 3^2 \cdot 3 = 9\pi \text{ (м}^3) \approx 28,26 \text{ (м}^3).$$

Ответ:  $\approx 28,26 \text{ м}^3$ .

**9.** Длина образующей конуса равна  $l$ , а длина окружности основания —  $c$ . Найдите объем конуса.



Формула для длины окружности  $L = 2\pi R$ . Так что  $OB = R = \frac{c}{2\pi}$ .

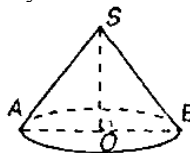
Далее в прямоугольном  $\triangle SBO$  по теореме Пифагора получаем:

$$SO = \sqrt{BS^2 - OB^2} = \sqrt{l^2 - \frac{c^2}{4\pi^2}} = \frac{\sqrt{4\pi^2 l^2 - c^2}}{2\pi}.$$

$$\text{Тогда } V = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot h =$$

$$= \frac{1}{3} \pi R^2 \cdot SO = \frac{1}{3} \pi \cdot \frac{c^2}{4\pi^2} \cdot \frac{\sqrt{4\pi^2 l^2 - c^2}}{2\pi} = \frac{c^2}{24\pi^2} \sqrt{4\pi^2 l^2 - c^2}.$$

**10.** Образующая конуса составляет с плоскостью основания угол  $\alpha$ . Найдите объем конуса.

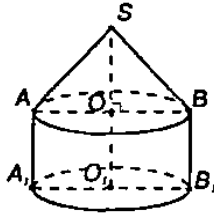


В прямоугольном  $\Delta SBO$   $SO=BS \cdot \sin \alpha = l \sin \alpha$ , а  
 $BO=BS \cdot \cos \alpha = l \cos \alpha$ .

$$\text{Тогда } V = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot SO = \frac{1}{3} \pi l^2 \cos^2 \alpha / \sin \alpha = \frac{\pi l^3}{3} \cos^2 \alpha \sin \alpha .$$

**11.** Стог сена имеет форму цилиндра с коническим верхом. Радиус его основания 2,5 м, высота 4 м, причем цилиндрическая часть стога имеет высоту 2,2 м. Плотность сена 0,03 г/см<sup>3</sup>.

Определите массу стога сена.



$$\rho = 0,03 \text{ г/см}^3 = 30 \text{ кг/м}^3. \quad OA=R, \quad OO_1=h_1, \quad OS=h_2.$$

$$\text{Тогда } R = 2,5(\text{м}), \quad h_1 = 2,2(\text{м}).$$

$$\text{Так что } h_2 = 4\text{м} - h_1 = 1,8(\text{м}).$$

$$\text{Далее, } m = V \cdot \rho = \rho \cdot (V_1 + V_2) =$$

$$= \rho \left( \pi R^2 \cdot h_1 + \frac{1}{3} \pi R^2 h_2 \right) = \rho \pi R^2 \left( h_1 + \frac{1}{3} h_2 \right) =$$

$$= 30 \pi \cdot 2,5^2 (2,2 + 0,6) = 525 \pi (\text{кг}) \approx 1648,5(\text{кг}).$$

Ответ:  $\approx 1648,5$  кг

**12.** Жидкость, налитая в конический сосуд высотой 0,18 м и диаметром основания 0,24 м, переливается в цилиндрический сосуд, диаметр основания которого 0,1 м.

Как высоко будет стоять уровень жидкости в сосуде?

Найдем объем конического сосуда:

$$V_0 = \frac{1}{3} \pi R_0^2 \cdot h_0 = \frac{1}{12} \pi d_0^2 \cdot h_0 = \frac{1}{12} \pi \cdot 0,24^2 \cdot 0,18 = 0,864 \pi \cdot 10^{-3} (\text{м}^3).$$

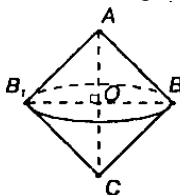
Так как объем жидкости не изменился, то объем цилиндра

$$V = V_0. \text{ То есть } \frac{\pi d^2}{4} \cdot h = V_0.$$

$$\text{Так что } h = \frac{4V_0}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,864 \cdot \pi \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,01} = 0,3456 (\text{м}) \approx 0,35(\text{м}).$$

13. Равносторонний треугольник вращается вокруг своей стороны  $a$ .

Найдите объем полученного тела вращения.



В равностороннем  $\triangle ABC$

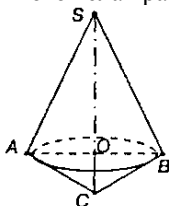
$$OC=AO=\frac{1}{2}AC=\frac{a}{2}, \text{ а } BO=\frac{a\sqrt{3}}{2}.$$

Тогда объем полученного тела вращения равен сумме объемов двух одинаковых конусов с радиусом  $BO$  и высотой  $AO=OC$ .

$$\text{То есть } V = 2 \cdot V_0 = 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot OB^2 \cdot AO = 2 \cdot \frac{1}{3} \pi \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{a^2 \cdot 3}{4} = \frac{\pi}{4} a^3.$$

14. Прямоугольный треугольник с катетами  $A$  и  $B$  вращается около гипотенузы.

Найдите объем полученного тела вращения.



Объем полученного тела вращения равен сумме объемов конусов с радиусом  $OB$  и высотами  $SO$  и  $CO$ .

Далее в  $\triangle SBC$  по теореме Пифагора  $CS = \sqrt{a^2 + b^2}$ . Площадь треугольника  $SBC$  равна  $S = \frac{1}{2} \cdot BC \cdot BS$ , а также  $S = \frac{1}{2} \cdot SC \cdot BO$ .

$$\text{Так что } BO = \frac{BC \cdot BS}{SC} = \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}.$$

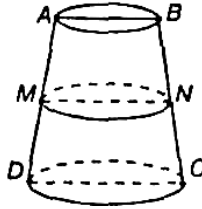
$$\begin{aligned} \text{Далее } V &= V_0 + V_1 = \frac{1}{3} \pi OB^2 \cdot SO + \frac{1}{3} \pi OB^2 \cdot OC = \frac{1}{3} \pi OB^2 (SO + CO) = \\ &= \frac{1}{3} \pi OB^2 \cdot CS = \frac{1}{3} \pi \frac{a^2 b^2}{a^2 + b^2} \cdot \sqrt{a^2 + b^2} = \frac{a^2 b^2 \pi}{3 \sqrt{a^2 + b^2}}. \end{aligned}$$

15. Найдите объем усеченного конуса, у которого радиусы оснований  $R_1$  и  $R_2$  ( $R_1 < R_2$ ), а высота  $h$ .

Задача решена в учебнике п. 209, стр. 111.

16. Сосновое бревно длиной 15,5 м имеет диаметры концов 42 см и 25 см.

Какую ошибку (в процентах) совершают, когда вычисляют объем бревна, умножая его длину на площадь поперечного сечения в середине бревна?



Проведем осевое сечение  $ABCD$ . Тогда  $MN$  — средняя линия трапеции  $ABCD$ ,  $AB=25\text{см}=0,25\text{м}$ ,  $CD=42\text{см}=0,42\text{м}$ . Так что

$$MN = \frac{AB + CD}{2} = 0,335(\text{м}). \text{ Далее}$$

$$\text{Объем бревна равен } V = \frac{1}{3}\pi h(S_1^2 + \sqrt{S_1 S_2} + S_2^2) =$$

$$= \frac{1}{3}\pi h(R^2 + Rr + r^2) =$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 15,5 \cdot (0,21^2 + 0,21 \cdot 0,125 + 0,125^2) \approx 1,395 (\text{м}^3).$$

Если вычислять объем бревна путем умножения его длины на площадь поперечного сечения в середине бревна, то получим:

$$V = \pi \cdot \frac{MN^2}{4} \cdot h = 3,14 \cdot \frac{0,335^2}{4} \cdot 15,5 \approx 1,365 (\text{м}^3). \text{ Так что допускает-}$$

ся ошибка  $\frac{1,395 - 1,365}{1,395} \cdot 100\% \approx 2,15\% \approx 2\%$ .

17. Радиусы оснований усеченного конуса  $R$  и  $r$ , образующая наклонена к плоскости основания под углом  $45^\circ$ .

Найдите объем.





Проведем высоту  $OO_1$ . Тогда  $AOO_1D$  — прямоугольная трапеция. Проведем  $AA_1 \perp DO_1$ .

$AOO_1A_1$  — прямоугольник, так что  $AO = A_1O_1 = r$ .

Тогда  $DA_1 = DO_1 - A_1O_1 = R - r$ .

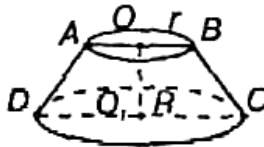
Далее, в прямоугольном треугольнике  $\triangle DAA_1$   $\angle DAA_1 = 45^\circ$ , так что  $\angle ADA_1 = 90^\circ - \angle DAA_1 = 45^\circ$ . Поэтому

$\triangle DAA_1$  — равнобедренный и  $AA_1 = DA_1 = R - r = OO_1$ , — высота конуса. Тогда

$$V = \frac{1}{3} \pi OO_1 \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) = \frac{1}{3} \pi (R - r)(R^2 + Rr + r^2) = \frac{1}{3} \pi (R^3 - r^3).$$

**18.** Площадь осевого сечения усеченного конуса равна разности площадей оснований, а радиусы оснований  $R$  и  $r$ .

Найдите объем этого конуса.



Площадь трапеции  $ABCD$  равна разности площадей оснований, то есть  $\frac{AB + DC}{2} \cdot OO_1 = \pi \cdot O_1C^2 - \pi \cdot OB^2$ ,  $\frac{2R + 2r}{2} \cdot OO_1 = \pi R^2 - \pi r^2$ .

$$\text{Так что } OO_1 = \frac{\pi(R^2 - r^2)^2}{R + r} = \pi(R - r).$$

$$\begin{aligned} \text{Тогда } V &= \frac{1}{3} \pi OO_1 (R^2 + Rr + r^2) = \frac{1}{3} \pi^2 (R - r)(R^2 + Rr + r^2) = \\ &= \frac{1}{3} \pi^2 (R^3 - r^3). \end{aligned}$$

**19.** Усеченный конус, у которого радиусы оснований 4 см и 22 см, и равновеликий цилиндр имеют одну и ту же высоту.

Чему равен радиус основания этого цилиндра?

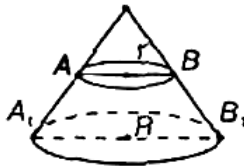
По условию объемы цилиндра и конуса одинаковы и их высоты равны, так что  $V = V'$  и  $h = h'$ .

$$\text{Так что, } \pi R^2 \cdot h = \frac{1}{3} \pi h (4^2 + 4 \cdot 22 + 22^2).$$

$$\text{То есть, } R = \sqrt{\frac{22^2 + 22 \cdot 4 + 4^2}{3}} = 14 \text{ (см).}$$

Ответ: 14 см.

20. По данным радиусам оснований  $R$  и  $r$  определите отношение объемов усеченного конуса и полного конуса.



Дополним усеченный конус до полного. Тогда, если  $V_0$  — объем усеченного конуса, а  $V_1$  — объем конуса с радиусом  $r$ , то  $V = V_2 + V_1$ .

Из подобия конусов следует, что если  $\frac{r}{R} = k$ , то  $\frac{V_1}{V} = k^3$ ,

$$\text{Так что } \frac{V_0}{V} = \frac{V - V_1}{V} = 1 - \frac{V_1}{V} = 1 - k^3 = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^3.$$

21. Чугунный шар регулятора имеет массу 10 кг.

Найдите диаметр шара (плотность чугуна  $7,2 \text{ г/см}^3$ ).

Плотность  $\rho = 7,2 \text{ г/см}^3 = 7200 \text{ кг/м}^3$ . Далее объем шара

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{10}{7200} = \frac{1}{720} \text{ (м}^3\text{)}.$$

$$\text{Так как } V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi d^3}{6}, \text{ то } d = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi \cdot 720}} = \sqrt[3]{\frac{1}{120\pi}} \approx 0,14 \text{ (м)}.$$

22. Требуется переплавить в один шар два чугунных шара с диаметром 25 см и 35 см. Найдите диаметр нового шара.

Объем нового шара равен сумме объемов данных шаров:  $V = V_1 + V_2$ . Так что

$$\frac{\pi d_0^3}{6} = \frac{\pi d_1^3}{6} + \frac{\pi d_2^3}{6}, \text{ то есть } d_0 = \sqrt[3]{d_1^3 + d_2^3} = \sqrt[3]{25^3 + 35^3} \approx 39 \text{ (см)}.$$

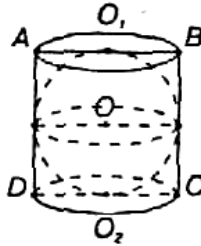
23. Имеется кусок свинца массой 1 кг.

Сколько шариков диаметром 1 см можно отлить из куска (плотность свинца  $11,4 \text{ г/см}^3$ )?

$$\text{Масса одного шарика } m = V \cdot \rho = \frac{\pi d^3}{6} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 1^3}{6} \cdot 11,4 = 1,9\pi \text{ (г)}.$$

$$\text{Значит, общее число шариков: } n = \frac{1 \text{ кг}}{m} = \frac{1000 \text{ г}}{1,9\pi \text{ г}} \approx 167.$$

24. Из деревянного цилиндра, высота которого равна диаметру основания, выточен наибольший шар. Сколько процентов материала сточено ?



Радиус шара равен радиусу цилиндра и половине высоте цилиндра. Тогда, если  $R$  — радиус цилиндра, то объем шара  $V_0 = \frac{4}{3}\pi R^3$ , а объем цилиндра  $V_2 = S_{\text{осн}} \cdot 2R = \pi R^2 \cdot 2R = 2\pi R^3$ .

Тогда объем сточенного материала

$$V' = V - V_0 = 2\pi R^3 - \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{2}{3}\pi R^3.$$

А процентное соотношение:

$$\frac{V'}{V} \cdot 100\% = \frac{\frac{2}{3}\pi R^3}{2\pi R^3} \cdot 100\% = 33\frac{1}{3}\%.$$

25. Внешний диаметр полого шара 18 см. Толщина стенок 3 см. Найдите объем материала, из которого изготовлен шар.

Внешний радиус  $R = \frac{1}{2} \cdot 18 = 9$  (см). Тогда внутренний радиус

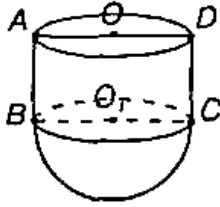
$$r = R - \frac{2}{3} = 6 \text{ (см)}.$$

Объем материала равен разности объемов внешнего и внутреннего шаров, то есть  $V = V_1 - V_2 = \frac{4}{3}\pi R^3 - \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 = \frac{4}{3}\pi(R^3 - r^3) =$

$$= \frac{4}{3}\pi \cdot (9^3 - 6^3) = 684\pi \approx 2148 \text{ (см}^3\text{)}.$$

26. Сосуд имеет форму полушара радиуса  $R$ , дополненного цилиндром.

Какой высоты должна быть цилиндрическая часть, чтобы сосуд имел объем  $V$ ?



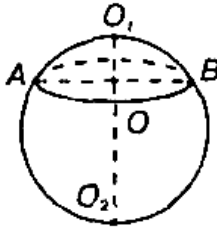
Объем сосуда равен сумме объемов полушара радиусом  $R$  и цилиндра с радиусом основания  $R$  и искомой высотой  $X$ .

$$\text{То есть } V = \frac{2}{3}\pi R^3 + \pi R^2 \cdot X.$$

$$X = \frac{V - \frac{2}{3}\pi R^3}{\pi R^2} = \frac{V}{\pi R^2} - \frac{2}{3}R.$$

**27.** Плоскость, перпендикулярная диаметру шара, делая его на части 3 см и 9 см.

На какие части делится объем шара?



$OO_1 = 3$  см, так что объем верхнего сегмента равен  $V_1 = \pi OO_1^2 \cdot \left( R - \frac{OO_1}{3} \right)$ .

$$V_1 = \pi \cdot 3^2 \cdot \left( 6 - \frac{3}{3} \right) = 45\pi \text{ (см}^3\text{)}, \text{ так как } R = \frac{OO_1 O_2}{2} = \frac{3+9}{2} = 6 \text{ (см)} —$$

радиус шара.

Тогда объем нижней части равен разности объемов шара и верхнего сегмента, то есть

$$V_2 = V_0 - V_1 = \frac{4}{3}\pi R^3 - V_1 = \frac{4}{3}\pi \cdot 6^3 - 45\pi = 243\pi \text{ (см}^3\text{)}.$$

**28.** Какую часть объема шара составляет объем шарового сегмента, у которого высота равна 0,1 диаметра шара?

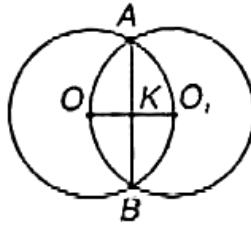
Высота  $h = 0,1d = 0,2R$ . Тогда объем шарового сегмента

$$V_0 = \pi h^2 \left( R - \frac{h}{3} \right) = 0,04\pi R^2 \left( R - \frac{0,2R}{3} \right) = \frac{0,112\pi R^3}{3}.$$

$$\text{Так что } \frac{V_0}{V} = \frac{0,112\pi R^3}{3 \cdot \frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{0,112}{4} = 0,028.$$

**29.** Два равных шара расположены так, что центр одного лежит на поверхности другого.

Как относится объем общей части шаров к объему целого шара?

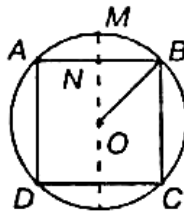


Общая часть шаров представляет собой сумму двух одинаковых шаровых сегментов с высотой  $OK = \frac{1}{2} R$ , где  $R$  — радиус шара.

$$\text{Так что } V_0 = 2\pi OK^2 \left( R - \frac{OK}{3} \right) = 2\pi \cdot \frac{R^2}{4} \left( R - \frac{R}{6} \right) = \frac{5R^3\pi}{12}.$$

$$\frac{V_0}{V} = \frac{5\pi R^3 \cdot 3}{12 \cdot 4\pi R^3} = \frac{5}{16}.$$

**30.** Диаметр шара, равный 30 см, является осью цилиндра, у которого радиус основания равен 12см. Найдите объем части шара, заключенный внутри цилиндра.



Рассмотрим осевое сечение шара. Объем части шара, заключенный внутри цилиндра, равен сумме объемов цилиндра с радиу-

сом основания  $NB=12$  см и высотой  $BC$ , а также двух одинаковых шаровых сегментов с высотой  $MN$ .

Имеем в  $\triangle OBN$ :  $OB = \frac{1}{2} \cdot 30 = 15$  (см) и  $NB = 12$  (см).

Так что по теореме Пифагора:

$$ON = \sqrt{OB^2 - NB^2} = 9 \text{ (см)} .$$

Далее  $BC = 2NO = 18$  (см) и  $NM = OM - ON = 15 - 9 = 6$  (см) .

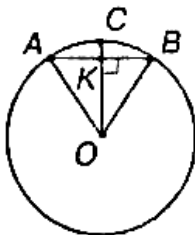
Так что объем шарового сегмента  $V_1 = \pi NM^2 \left( R - \frac{NM}{3} \right) =$

$$= 36\pi(R-2) = 36\pi \cdot 13 = 468\pi \text{ (см}^3\text{)} .$$

Объем цилиндра  $V_2 = \pi NB^2 \cdot BC = \pi \cdot 12^2 \cdot 18 = 2592\pi \text{ (см}^3\text{)} .$

Так что общий объем  $V = 2V_1 + V_2 = 3528\pi \text{ (см}^3\text{)} .$

**31.** Чему равен объем шарового сектора, если радиус окружности его основания 60 см, а радиус шара 75 см.



Рассмотрим осевое сечение шара. В прямоугольном  $\triangle OVK$   $OV=75$  см,  $KB=60$  см (по условию).

Тогда по теореме Пифагора

$$OK = \sqrt{OV^2 - KB^2} = \sqrt{75^2 - 60^2} = 45 \text{ (см)} .$$

Так что высота шарового сегмента

$$CK = CO - OK = 75 - 45 = 30 \text{ (см)} .$$

И объем одного сегмента:

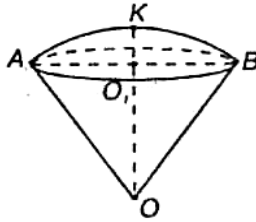
$$V_1 = \frac{2}{3} \pi CO^2 \cdot CK = \frac{2}{3} \pi \cdot 75^2 \cdot 30 = 112500\pi \text{ (см}^3\text{)} = 112,5\pi \text{ (дм}^3\text{)} .$$

Объем оставшегося шарового сектора равен разности объема шара и найденного объема сегмента:

$$V_2 = \frac{4}{3} \pi CO^3 - V_1 = \frac{4}{3} \pi \cdot 75^3 - 112500\pi = 450000 \text{ (см}^3\text{)} = 450\pi \text{ (дм}^3\text{)} .$$

32. Круговой сектор с углом  $30^\circ$  и радиусом  $R$  вращается около одного из боковых радиусов.

Найдите объем полученного тела.



В прямоугольном  $\triangle OO_1B$   $BO=R$ ,  $\angle BOO_1=30^\circ$ .

$$\text{Так что, } OO_1=BO \cdot \cos 30^\circ = \frac{R\sqrt{3}}{2}.$$

Далее, высота полученного шарового сегмента

$$KO_1=KO-OO_1=R-R \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}=R \cdot \frac{2-\sqrt{3}}{2}.$$

Так что его объем

$$V = \frac{2}{3} \pi R^2 \cdot O_1K = \frac{2}{3} \pi R^2 \cdot R \cdot \frac{2-\sqrt{3}}{2} = \pi R^3 \frac{2-\sqrt{3}}{3}.$$

33. Поверхности двух шаров относятся как  $m:n$ .

Как относятся их объемы?

Поверхность вычисляется по формуле  $S = 4\pi R$ . Тогда, если

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{4\pi R_1^2}{4\pi R_2^2} = \frac{m}{n}, \text{ то } \frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{m}{n}}; \text{ так что}$$

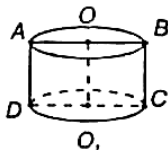
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\frac{4}{3} \pi R_1^3}{\frac{4}{3} \pi R_2^3} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3 = \left(\sqrt{\frac{m}{n}}\right)^3 = \left(\frac{m}{n}\right)^{\frac{3}{2}}.$$

34. Гипотенуза и катеты треугольника являются диаметрами трех шаров. Какая существует зависимость между их поверхностями?

По теореме Пифагора в прямоугольном треугольнике:  $c^2=a^2+b^2$ .

Так что  $\pi c^2 = \pi a^2 + \pi b^2$ . Площадь поверхности шара равна  $S = \pi d^2$ , так что площадь шара с диаметром, равным гипотенузе, равна сумме двух шаров с диаметрами, равными катетам.

35. Поверхность тела, образуемого вращением квадрата около стороны, равновелика поверхности шара, имеющего радиусом сторону квадрата. Докажите.



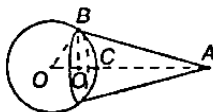
Так как  $OBCO_1$  — квадрат, то высота цилиндра  $OO_1$  равна радиусу основания  $OB$ . Площадь поверхности цилиндра равна сумме площадей боковой поверхности и двух оснований:

$$S_1 = 2S_{\text{осн}} + S_{\text{бок}} = 2\pi OB^2 + 2\pi OB \cdot OO_1 = 4\pi OB^2.$$

Далее, площадь поверхности шара, имеющего радиусом сторону основания, равна  $S_2 = 4\pi R^2 = 4\pi OB^2 = S$ . Что и требовалось доказать.

36. Радиус шара 15 см.

Какую площадь имеет часть его поверхности, видимая из точки, удаленной от центра на 25 см?



В прямоугольном треугольнике катет является средним геометрическим между гипотенузой и его проекцией на гипотенузу. Так что в  $\triangle OBA$ :

$$OB^2 = OA \cdot OO_1.$$

$$\text{Так что } OO_1 = \frac{OB^2}{OA} = \frac{15^2}{25} = 9 \text{ (см).}$$

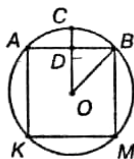
$$\text{Поэтому } O_1C = OC - OO_1 = 15 - 9 = 6 \text{ (см).}$$

Так что площадь видимого сферического сегмента равна

$$S = 2\pi R \cdot O_1C = 2\pi OB \cdot O_1C = 2\pi \cdot 15 \cdot 6 = 180\pi \text{ (см}^2\text{)}.$$

37. Шар радиусом 10 см цилиндрически просверлен по оси. Диаметр отверстия 12 см.

Найдите полную поверхность тела.





Рассмотрим осевое сечение шара.

Тогда  $OB=R=10(\text{см})$

$$BD=r=\frac{1}{2}D=\frac{1}{2}\cdot 12=6(\text{см}).$$

Так что в  $\triangle DBO$  по теореме Пифагора получим:

$$OD=\sqrt{OB^2-BD^2}=\sqrt{10^2-6^2}=8(\text{см}).$$

Площадь искомой поверхности равна сумме площади боковой поверхности цилиндра с радиусом основания, равным  $DB$ , и высотой  $BM=2\cdot OD=2\cdot 8=16(\text{см})$  и площади  $S'$ , равной разности площадей шара и двух шаровых сегментов с высотой

$$CD=CO-OD=10-8=2(\text{см}).$$

$$\begin{aligned} \text{То есть } S=S_0+S' &=2\pi\cdot DB\cdot BM+(4\pi\cdot OB^2-2\cdot 2\pi\cdot OB\cdot CD)= \\ &=\pi(2\cdot 6\cdot 16+4\cdot 10^2-4\cdot 10\cdot 2)=512\pi \text{ (см}^3\text{)}. \end{aligned}$$

**38.** Цилиндрическая дымовая труба с диаметром 65 см имеет высоту 18м.

Сколько жести нужно для ее изготовления, если на заклепки уходит 10% материала?

Боковая поверхность трубы равна боковой поверхности цилиндра с радиусом  $R=\frac{1}{2}\cdot 65=32,5(\text{см})$  и высотой  $h=18(\text{м})$ .

$$S_{\text{бок}}=2\pi Rh=2\pi\cdot 0,325\cdot 18=11,7 \text{ (м}^2\text{)}.$$

$$S=\pi D\cdot H.$$

Учитывая, что на заклепки уходит 10% материала, то общее количество его:  $S=1,1S_{\text{бок}}=1,1\cdot 11,7\pi\approx 40,4 \text{ (м}^2\text{)}$ .

**39.** Полуцилиндрический свод подвала имеет 6 м в длину и 5,8м в диаметре. Найдите полную поверхность подвала.

Полная поверхность подвала состоит из половины полной поверхности цилиндра и площади пола, т. е. площади прямоугольника со сторонами  $h=6$  м и  $d=5,8$  м.

$$\text{Так что } S=\frac{1}{2}(S_{\text{бок}}+2S_{\text{осн}})+h\cdot d=\frac{1}{2}\left(\pi dh+\frac{\pi d^2}{2}\right)+h\cdot d=$$

$$=\frac{1}{2}(\pi\cdot 5,8\cdot 6+16,82\pi)+34,8=25,81\pi+34,8\approx 116(\text{м}^2).$$

Ответ: 116 (м<sup>2</sup>).

**40.** Из круглого листа металла выштампован цилиндрический стакан диаметром 25 см и высотой 50 см. Предполагая, что площадь листа при штамповке не изменилась, найдите диаметр листа.

Площадь стакана  $S_0$  равна сумме площади боковой поверхности цилиндра и площади основания

$$S_0 = \frac{\pi d^2}{4} + \pi dh = \frac{\pi \cdot 25^2}{4} + \pi \cdot 25 \cdot 50 = 1406,25\pi \text{ (см}^2\text{)}.$$

Так как площадь не изменилась, то  $S = \frac{\pi d^2}{4} = S_0$ .

Откуда  $d = \sqrt{\frac{4S_0}{\pi}} = \sqrt{5625} = 75 \text{ (см)}.$

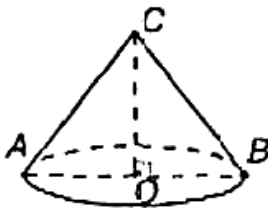
Ответ: 75 (см).

**41.** В цилиндре площадь основания равна  $Q$ , а площадь осевого сечения  $M$ . Чему равна полная поверхность цилиндра?

Осевым сечением цилиндра является прямоугольник со сторонами  $d$  — диаметр и  $h$  — высота цилиндра, так что  $M = d \cdot h$ .

Далее,  $S = S_{\text{бок}} + 2S_{\text{осн}} = \pi d \cdot h + 2Q = \pi M + 2Q$ .

**42.** Конусообразная палатка высотой 3,5 м и диаметром основания 4 м покрыта парусиной. Сколько квадратных метров парусины пошло на палатку?



$$BO = \frac{1}{2} AB = 2 \text{ (м)}.$$

В прямоугольном  $\triangle CBO$  по теореме Пифагора получим:

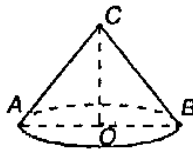
$$CB = \sqrt{CO^2 + BO^2} = \sqrt{3,5^2 + 2^2} = \sqrt{16,25} \text{ (м)}.$$

Далее площадь боковой поверхности конуса

$$S = \pi Rl = \pi \cdot OB \cdot BC = \pi \cdot 2 \cdot \sqrt{16,25} \approx 25,3 \text{ (см}^2\text{)}.$$

43. Крыша башни имеет форму конуса. Высота крыши 2 м, диаметр башни 6 м.

Найдите поверхность крыши.



$$OB = \frac{1}{2} AB = 3 \text{ (м)}.$$

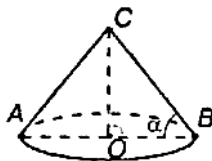
В прямоугольном  $\triangle CBO$  по теореме Пифагора получим

$$BC = \sqrt{OB^2 + OC^2} = \sqrt{3^2 + 2^2} = \sqrt{13} \text{ (м)}.$$

$$\text{Далее, } S = \pi \cdot Rl = \pi \cdot OB \cdot BC = \pi \cdot 3\sqrt{13} \approx 34 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Ответ: 34 (м<sup>2</sup>).

44. Площадь основания конуса  $S$ , а образующие наклонены к плоскости основания под углом  $\alpha$ . Найдите боковую поверхность конуса

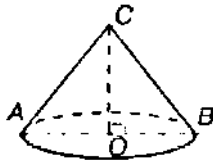


Площадь основания конуса  $S = \pi R^2 = \pi \cdot OB^2$ . Откуда  $R = OB = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$ .

Далее, в прямоугольном  $\triangle CBO$ :  $CB = \frac{OB}{\cos \alpha} = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}}$ .

Тогда,  $S_{\text{бок}} = \pi Rl = \pi OB \cdot BC = \pi \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \frac{S}{\cos \alpha}$ .

45. Как относятся между собой боковая и полная поверхности равностороннего конуса (в сечении правильный треугольник)?



Так как  $\triangle ABC$  — равносторонний, то

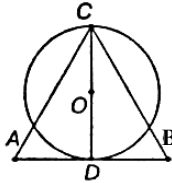
$$R = OB = \frac{1}{2} AB = \frac{1}{2} BC. \text{ Тогда боковая поверхность равна}$$

$$S_{\text{бок}} = \pi R l = \pi R \cdot BC = \pi R \cdot 2R = 2\pi R^2.$$

$$\text{А полная поверхность равна } S = S_{\text{бок}} + S_{\text{осн}} = 2\pi R^2 + \pi R^2 = 3\pi R^2.$$

$$\text{Так что } \frac{S_{\text{бок}}}{S} = \frac{2\pi R^2}{3\pi R^2} = \frac{2}{3}.$$

**46.** Полная поверхность равностороннего конуса равновелика поверхности шара, построенного на его высоте как на диаметре. Докажите.



Полная поверхность равностороннего конуса равна  $S_0 = 3\pi R^2$  (смотри задачу №45).

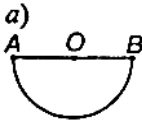
Далее рассмотрим осевое сечение. Тогда в равностороннем  $\triangle ABC$  высота  $CD = \frac{AB\sqrt{3}}{2} = R\sqrt{3}$ . Так что  $OD = \frac{R\sqrt{3}}{2}$  и

площадь поверхности шара равна

$$S = 4\pi OC^2 = 4\pi \left( \frac{R\sqrt{3}}{2} \right)^2 = 3\pi R^2 = S_0.$$

Что и требовалось доказать.

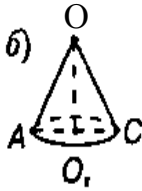
**47.** Полуокруг свернут в коническую поверхность. Найдите угол между образующей и осью конуса.



При сворачивании полуокруга в конус длина дуги  $AB$  будет равна длине окружности основания конуса. Так что

$$l_1 = \frac{2\pi \cdot AO}{2} = \pi \cdot AO = 2\pi \cdot AO_1.$$

$$\text{Так что } AO_1 = \frac{AO}{2}.$$

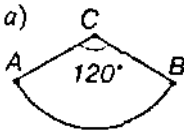


В прямоугольном  $\triangle AOO_1$ :

$$\sin \angle AOO_1 = \frac{AO_1}{AO} = \frac{1}{2}. \text{ Так что } \angle AOO_1 = 30^\circ.$$

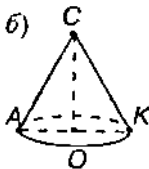
Ответ:  $30^\circ$ .

48. Радиус кругового сектора равен 3 м, его угол  $120^\circ$ . Сектор свернут в коническую поверхность. Найдите радиус основания конуса.



Длина окружности основания конуса (б) равна длине дуги  $AB$ . То есть

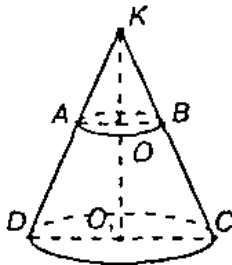
$$l = \frac{2\pi AC \cdot 120^\circ}{360^\circ} = \frac{2\pi \cdot 3}{3} = 2\pi = l = 2\pi AO.$$



Так что  $AO = \frac{2\pi}{2\pi} = 1$  (м).

Ответ: 1 м.

49. Сколько квадратных метров латунного листа потребуется, чтобы сделать рупор, у которого диаметр одного конца 0,43 м, другого конца — 0,036 м и образующая — 1,42 м?



Дополним усеченный конус до полного. Тогда из подобия конусов следует, что  $\frac{AB}{DC} = \frac{KB}{KC}$ .

Пусть  $KB = a$ .

$$\text{Тогда } \frac{0,036}{0,43} = \frac{a}{a+1,42}.$$

Так что  $a \approx 0,1297(\text{м})$  и  $KC = a + 1,42 = 1,5497(\text{м})$ .

Площадь боковой поверхности усеченного конуса равна разности площадей боковых поверхностей конусов:

$$S = S_1 - S_2 = \pi \cdot O_1C \cdot KC - \pi \cdot OB \cdot KB = \pi \left( \frac{DC}{2} \cdot KC - \frac{AB}{2} \cdot KB \right) = \\ = \pi(0,215 \cdot 1,5497 - 0,018 \cdot 0,1297) \approx 1,04 (\text{м}^2).$$

**50.** Сколько олифы потребуется для окраски внешней поверхности 100 ведер, имеющих форму усеченного конуса с диаметрами оснований 25 см и 30 см и образующей 27,5 см, если на 1 м<sup>2</sup> требуется 150 г олифы?

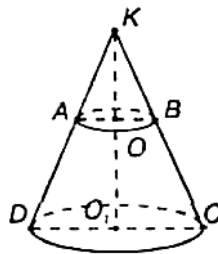
Дополним усеченный конус до полного.

Пусть  $KB = a$ .

Из подобия конусов следует:

$$\frac{AB}{DC} = \frac{KB}{KC}, \quad \frac{25}{30} = \frac{a}{a+27,5}, \quad \text{откуда}$$

$$KB = a = 137,5(\text{см}) \quad \text{и} \quad KC = a + 27,5 = 165(\text{см}).$$



Полная площадь ведра состоит из площади основания  $S_{\text{осн}} = \frac{\pi AB^2}{4} = 156,25\pi (\text{см}^2)$  и боковой поверхности ведра, равной разности боковых поверхностей конусов:

$$S_{\text{бок}} = S_1 - S_2 = \pi \left( \frac{DC}{2} \cdot KC - \frac{AB}{2} \cdot KB \right) =$$

$$= \pi(15 \cdot 165 - 12,5 \cdot 137,5) = 756,25\pi (\text{см}^2).$$

Так что  $S = S_{\text{осн}} + S_{\text{бок}} = 912,5 (\text{см}^2) = 0,09125 (\text{м}^2)$ .

Общее количество краски  $m = 100 \cdot S \cdot 150 \approx 4300 (\text{г}) = 4,3 \text{ кг}$ .