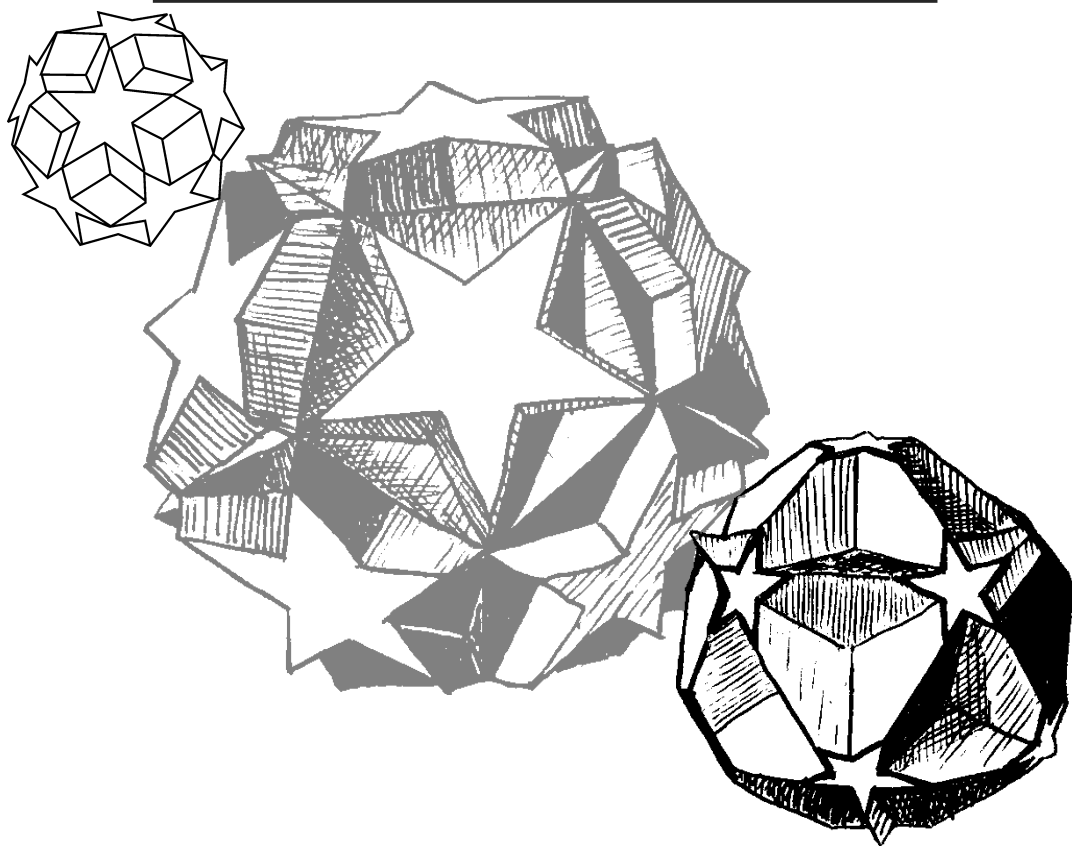


В.В. ГОНЧАР, Д.Р. ГОНЧАР

МОДЕЛИ МНОГОГРАННИКОВ



Москва
Школьные технологии
2014

УДК 746
ББК 37.248
КТК 510
Г 65

Гончар В.В., Гончар Д.Р.

Г 65 Модели многогранников / В.В. Гончар, Д.Р. Гончар.
Изд-е 4-е, доп. и испр. — М.: Школьные технологии, 2014. — 144 с.

ISBN 978-5-91447-137-5

Пособие содержит выкройки для изготовления бумажных моделей многогранников: всех платоновых и архимедовых тел, ряда звёздчатых многогранников и природных кристаллов, а также пояснения и советы делающему.

Расположение моделей построено по принципу от простого к сложному. Приведены отдельные примеры украшения граней, а также игры в готовые модели.

Большинство приведённых моделей доступно для изготовления отдельными учащимся, начиная со 2-го класса начальной школы. Заключительная модель (в силу большей трудоёмкости) больше подойдёт для коллективной работы и для особо настойчивых и трудолюбивых читателей.

Достижение на занятиях по бумажному моделированию интересной цели в обозримое для ребёнка время способствуют воспитанию у детей самостоятельности, привычки доводить дело до завершения, а также точности и прилежности в деятельности.

Учебное пособие предназначено для работы в рамках курса технологии в начальной школе, кружковой работе (в т.ч. по математике), а также для занятий в кругу семьи.

ISBN 978-5-91447-137-5

УДК 746
ББК 37.248

© Гончар В.В., Гончар Д.Р., 2014
© Школьные технологии, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Посвящается



Давно замечено, что усвоение знаний, особенно у младших школьников, происходит легче, если опирается на предметную, осязаемую основу — будь то разумная игра или труд (конечно, посильный, увлекательный, безопасный), что убедительно подтвердили и исследования учёных.

При этом вечное детское желание самоутвердиться и поскорее подрасти («я сам», «я сама») перестаёт быть помехой окружающим, превращаясь в мощный двигатель обучения и самовоспитания. Неподдельная увлечённость ребёнка объясняется просто — он(а) видит посильную, достижимую за обозримое время (минуты, часы, по мере взросления — дни и недели) цель, которая интересна либо как игрушка, либо как возможность самовыражения и утверждения (например, сделанный собственными руками подарок), как деятельное познание себя и мира.

Понятно и воспитательное значение посильного и увлекательного труда — при встрече с неизбежными трудностями ребёнок ведёт себя по отношению к ним совсем по-иному, чем обычно. Ведь в данном случае цель выбрана им самим и трудности воспринимаются не досадной помехой, а препятствием к самоутверждению! И если обычные, навязанные школой или родителями сложности нередко вызывают проявления лени, а то и буйные приступы детского негодования, то сложности в посильном, самостоятельно выбранном труде (игре), наоборот, заставляют собраться, лучше продумывать свои действия, проявить терпение, сосредоточенность, выносливость, изобретательность и постоянно совершенствовать эти качества. И, что важно, критерием успешности будет не торопливая похвала спешащих по своим делам взрослых, а прежде всего, успешное завершение самого Дела, пусть поначалу маленького и простого.

Поэтому народная педагогика в самых разных странах, временах и уголках мира всегда была трудовой, а не словесно-описательной. «Добродетель взращивается посредством дел, а не посредством болтовни», — писал Ян Амос Коменский в своей «Великой дидактике».

В российской, а до неё — в советской школе ручной (тем более производительный) труд оказался с середины 30-х гг. во многом на обочине

интересов школы. Он, по сути, был отнесён ко «второму сорту» и не слишком обязательному «предмету» изучения. Главным объяснением этому служило «ограждение детей от неумеренной эксплуатации» их труда и «необходимостью оставить больше времени для учёбы» (разумеется, «словесной»). А действительной, хотя и менее очевидно причиной существующего отношения к труду в школе явилось то, что производительный труд вырачивает самостоятельного, крепко стоящего на ногах в жизни человека. Такого, который способен и привык не только слушать, но и говорить, не только верить, но и проверять, не только внимать действиям других, но и по Закону спрашивать с них за свои поступки! Иными словами, в трудовой школе оказалось слишком много настоящего, причём неотъемлемого, демократизма. Наиболее ярко это показал опыт коммун А.С. Макаренко.

Поэтому любой(!) производительный труд в советской школе с середины 30-х годов был законодательно запрещён до 16 лет (даже когда в семье ученика оставался один родитель, да и тот занемог). И большинство школ бывшего СССР (в том числе российские), к сожалению, действуют по той же привычке. В нынешней школе возможное применение огромного большинства изучаемых знаний переносится на многие годы вперёд, причём вероятность применения их в жизни (подобно реакции омыления жиров) для 99% населения близка к нулю. При всей кажущейся для неспециалиста прогрессивности такого подхода в школе производительность труда крестьян и рабочих в СССР, а ныне и в России, после её окончания почему-то в разы отставала и отстаёт от западной (а ныне — и от восточной). А невостребованным нашей промышленностью теоретикам нередко остаётся мечтать преимущественно о заграничном применении своих талантов.

С другой стороны, более широко трудовые и деятельностные подходы к обучению распространены в нынешних развитых странах. К примеру, в сплошь компьютеризированной Японии обучение школьников счёту начинают не в тетрадке и тем более не на компьютере, а на восточной разновидности счёта (соробане), изучение ботаники начинают с ухода за растениями, обучение ручному труду и основам геометрии — со знакомства с оригами в детских садах и т.д.

В научной (природосообразной) педагогике (Я.А. Коменский, Дж. Локк, И. Песталоцци, А. Дистервег, К.Д. Ушинский, Дж. Дьюи, А.С. Макаренко, Г. Кершенштейнер и др.) учёт существенного разнообразия природных способностей детей, опора на деятельность и краеугольная роль труда в обучении — азбучные истины. Но пока современная российская педагогика безмолвствует. А дети не могут ждать. И общество пытается восполнить прорехи трудового воспитания школы многочисленными посо-

биями для дополнительного образования, среди которых заметное место занимают книги по работе с таким доступным, технологичным и декоративным материалом, как бумага.

В данной книге авторы знакомят читателей с одним из увлекательных направлений бумажного моделирования: построением правильных, полуправильных многогранников (своего рода азбукой пространственных тел) и некоторых звёздчатых тел на их основе. Считается, что уже созерцание таких многогранников способствует гармонизации внутреннего состояния человека.

Представленные модели достаточно разнообразны по сложности, трудоёмкости, внешнему виду. По сравнению с несколько суховато изложенной и ныне редкой книгой М. Венниджера («Модели многогранников», 1974) авторы уделяют больше внимания возможностям применения многогранников в игре, украшении праздников и т.п., иными словами — зримой красоте математики. Многие выкройки многогранников улучшены (уменьшено число необходимых склеек), показано, как их удобно масштабировать. По сравнению с одноимённым изданием В.В. Гончар (1998 г.), в данную книгу добавлен ряд красивых звёздчатых тел, некоторые выкройки даны в различных видах. Всё это призвано облегчить и разнообразить изготовление многогранников и других изделий на их основе, пробудить воображение заинтересованных читателей и пригласить их к дальнейшему деятельному творчеству.

Ваши отклики и замечания вы можете направить по адресу издательства или непосредственно авторам (jorigami@yandex.ru).

Успехов вам, читатель!

Дмитрий Гончар,
К. Т. Н.

ВВЕДЕНИЕ

В данной книге представлены основные модели классических многогранников (5 правильных многогранников или платоновых тел и 13 полуправильных многогранников или архимедовых тел, все грани которых — правильные многоугольники разных типов), их звёздчатых форм и некоторых известных природных кристаллов.

С многогранниками мы постоянно встречаемся в жизни — это древние Египетские пирамиды и кубики, которыми играют дети, образы архитектуры и дизайна, природные кристаллы (например, одна из разновидностей алмаза — октаэдр), вирусы, которые можно рассмотреть только в электронный микроскоп, прочные конструкции — шестиугольные соты, которые пчёлы строили задолго до появления человека.

Мы с вами начнём знакомство с правильных плоских и пространственных фигур.

Название «правильные» идёт от античных времен, когда стремились найти гармонию, правильность, совершенство в Природе и человеке. Правильные многоугольники — это многоугольники, у которых все стороны и углы равны, правильные многогранники — это многогранники, ограниченные правильными и одинаковыми многоугольниками.

До сих пор многоугольники нередко называют в науке по-гречески с окончанием «гон»: полигон (многоугольник), пентагон — пятиугольник (таков вид сверху здания театра Российской Армии в Москве и Министерства обороны США в Вашингтоне), гексагон — шестиугольник (ячейка пчелиных сот сверху) и т.д.

Каждый из вас знаком с простейшими пространственными математическими фигурами или многогранниками. По-гречески они оканчиваются на «эдр». Тетраэдр напоминает пирамиду или треугольный пакет для молока; каждая из четырёх составляющих его плоскостей является равносторонним треугольником. Куб или гексаэдр — это известный всем с раннего детства кубик; каждая из 6-ти составляющих его граней является правильным четырёхугольником или квадратом.

А вот ещё три менее известных правильных многогранника. Из восьми равносторонних треугольников состоит октаэдр. Равносторонний пятиугольник или пентагон является основным элементом додекаэдра — многогранника, состоящего из 12 таких пятиугольников. Из 20 равносторонних треугольников состоит икосаэдр. На основе этих правильных плато-

новых тел можно составить множество красивейших многогранников — от букета альпийских фиалок и магического многогранника с предсказаниями до весёлых игрушек.

Причём многогранники можно склеить, а можно и собрать без клея.

При изготовлении многогранников лучше использовать для основных деталей плотную бумагу — ватман, открытки, тонкий картон и для дополнительных деталей, которые наклеиваются на основные детали, — тонкую цветную бумагу.

Внимание! Для возможности неоднократного использования выкроек в будущем не вырезайте их из книги, а перекальвайте выкройки или переводите их на кальку!

На листах выкроек даны все необходимые детали с указанием их количества.

На выкройках пунктиром (прерывистой линией) показаны линии сгиба, сплошной линией — линии разреза или надразов; места склеивания или закладные детали показаны светло-серым цветом.

Необходимые инструменты и материалы:

- 1) ножницы среднего размера;
- 2) мягкая кисточка средней толщины;
- 3) линейка;
- 4) булавки или канцелярское шило;
- 5) маленький нож с тупым лезвием (хорошо подойдёт пластмассовый нож для резки пластилина, уже не пишущая шариковая ручка);
- 6) простой твёрдый карандаш;
- 7) циркуль;
- 8) клей (ПВА, бустилат, или в крайнем случае мучной клейстер, но ни в коем случае не конторский силикатный или универсальный типа «Момент»).

При работе с инструментами, имеющими острые концы (ножницы, шило, циркуль, измеритель и т.д.), **необходимо:**

- держать их остриями от себя;
- не брать инструмент за острия;
- не отвлекаться при работе с этими инструментами;
- в перерывах класть инструменты в пенал, рабочую коробку и т.д.;
- передавать при необходимости инструменты, держа их ручкой вперёд;
- в конце работы на острие конторского шила надеть кусочек ластика (для безопасности владельца и сохранности инструмента).

Чтобы модели получились аккуратными, с чёткими гранями и чистой поверхностью, советуем действовать в следующей последовательности:

— если нужно что-то скопировать, надо переколоть точки пересечения линий при помощи шила или перевести на кальку.

Для этого под лист с выкройкой в книге кладут плотную бумагу на картон или фанерку и перекальвают точки пересечения. Затем бумагу с точками кладут рядом с выкройкой и карандашом, отмечают линии сгиба (пунктир) и линии разреза (сплошные линии);

— прочертить неострым ножом по линиям сгиба;

— вырезать деталь точно по линиям разрезов;

— согнуть бумагу по всем линиям сгиба;

— только теперь начинать склейку.

Будьте внимательны и старайтесь не спешить, и тогда вы получите красивые игрушки, сделанные своими руками.

Несколько простых правил, которые позволяют успешно выполнить любую работу:

— подготовить место так, чтобы нужные инструменты были под рукой, а все посторонние предметы не отвлекали внимание;

— время от времени надо убирать скопившийся мусор, смывать с рук клей — словом, поддерживать чистоту и порядок на рабочем месте;

— никогда не следует спешить. Семь раз отмерь — один раз отрежь;

— не надо пытаться сделать всё и сразу. Усталость приводит к ошибкам;

— начинать нужно всегда с менее сложных дел. Освоение простых приёмов обязательно перед серьёзной работой;

— и, наконец, точно выполняйте указания.

Всегда помните об этих правилах, и тогда всё получится. Пробудив воображение, можно придумать множество интересных применений представленных в книге многогранников или изобрести свои модели.

Итак, дорогу осилит идущий!

ПРАВИЛЬНЫЕ МНОГОГРАННИКИ

ПЛАТОНОВЫ ТЕЛА

Из глубины веков от Платона, Архимеда и Евклида к нам пришла совершенная классическая система многогранников — правильных и полуправильных математических пространственных фигур, которые с течением тысячелетий обрастали всё новыми и новыми формулами, связывающими их внутреннее и внешнее пространство, величину углов, соотношение рёбер, вершин и граней (знаменитая формула Эйлера) и т.д. и т.п. В средние века (XII–XIV вв.) изучением многогранников занимался *Томас Бридвердайн*, ставший впоследствии епископом Кентерберийским, в XV–XVI вв. — *Иоганн Кеплер* и *Рене Декарт*, а в XIX и XX вв. — *По́я*, *Коши*, *Гамильтон*, *Кокстер*, *Веннинджер*.

В настоящее время подтверждено неизменное количество правильных и полуправильных многогранников — их 18. Существует только 5 правильных многогранников, состоящих из одинаковых граней и имеющих одинаковые внешние и внутренние углы и одинаковые расстояния всех вершин от центра фигуры, — это так называемые Платоновы тела: *тетраэдр*, *октаэдр*, *икосаэдр*, *гексаэдр (куб)* и *додекаэдр*. Грани всех Платоновых тел — это правильные многоугольники, их только 3: правильный, т.е. равносторонний треугольник, правильный, т.е. равносторонний четырёхугольник с равными внутренними углами (или квадрат) и правильный, т.е. равносторонний пятиугольник с равными внутренними углами (или пентагон).

Тетраэдр состоит из 4-х граней — 4-х равносторонних треугольников.

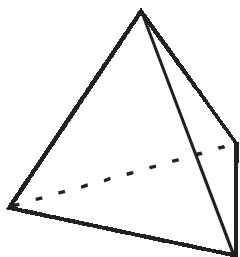
Октаэдр состоит из 8-ми граней — 8-ми равносторонних треугольников.

Икосаэдр состоит из 20 граней — 20-ти равносторонних треугольников.

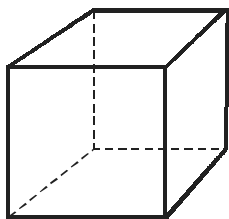
Гексаэдр состоит из 6-ти граней — 6 квадратов.

Додекаэдр состоит из 12-ти граней — 12-ти пентагонов (пятиугольников).

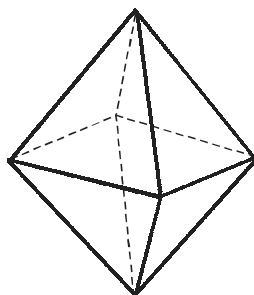
Многогранник — это часть пространства, ограниченная пересекающимися плоскостями. Линии пересечения плоскостей — это рёбра многогранника, а точки, в которых эти рёбра сходятся, — это вершины многогранника. Часть плоскости, ограниченная линиями пересечения плоскостей, — это многоугольник или грань многогранника.



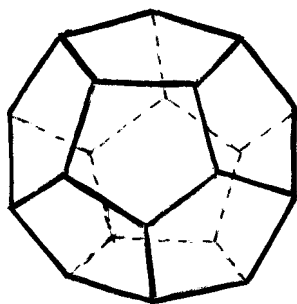
тетраэдр



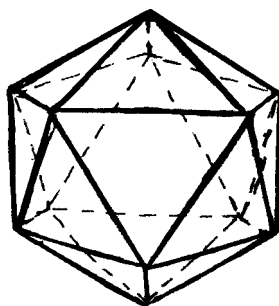
гексаэдр



октаэдр



додекаэдр



икосаэдр

Для всех многогранников характерно, что сумма углов при любой вершине не превышает и не равна 360° .

Давайте это проверим!

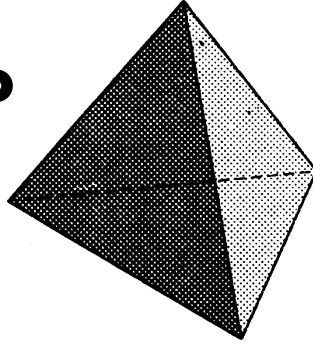
В каждой вершине тетраэдра сходятся три грани — значит, сумма трёх углов — $60^\circ \times 3 = 180^\circ$.

В каждой вершине октаэдра сходятся четыре грани — $60^\circ \times 4 = 240^\circ$.

В каждой вершине икосаэдра сходятся пять граней — $60^\circ \times 5 = 300^\circ$.

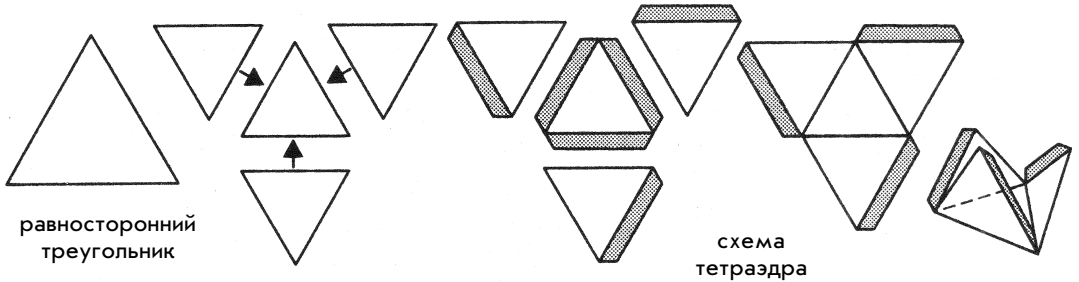
А что будет, если мы добавим ещё одну грань — $60^\circ \times 6 = 360^\circ$? Это значит, что многогранник исчез — все углы развернулись на плоскости в полный круг.

Тетраэдр



Основа тетраэдра — равносторонний треугольник. Таких треугольников надо 4.

Схема сборки тетраэдра следующая: сначала к каждой стороне центрального треугольника приклеим три треугольника. Затем, считая центральный треугольник основанием тетраэдра и поэтому оставив его на столе, поднимем три боковых треугольника вверх до соединения их боковых сторон и трёх вершин.



Если тетраэдр делается из отдельных деталей (например, все грани — разноцветные), то треугольники друг с другом соединяются закладными деталями или местами склеивания. Для тетраэдра нужен один треугольник с тремя закладными деталями и три треугольника с одной закладной деталью каждый.

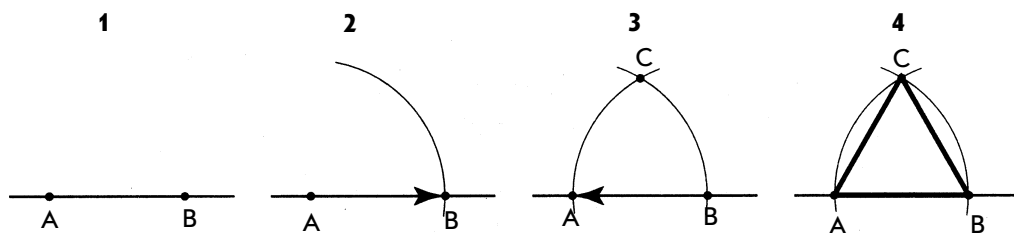
Если тетраэдр одноцветный, то его можно сделать из целого листа по единой выкройке, представленной на страницах 15 и 16.

А если вам захочется сделать тетраэдр большего или меньшего размера, то сначала начертите равносторонний треугольник нужной величины и по уже знакомой вам схеме соберите его.

Вы умеете строить равносторонний треугольник?

Построение равностороннего треугольника

- 1** Проведём прямую. Отложим на ней произвольный отрезок AB .
- 2** Проведём циркулем дугу радиусом, равным AB , с центром в точке A .
- 3** Тем же радиусом проведём другую дугу с центром в точке B до пересечения с первой.
- 4** Точку пересечения дуг — C — соединим с точками A и B . Полученный треугольник ABC — правильный, т.е. равносторонний и с равными внутренними углами.



Построение номограммы треугольника

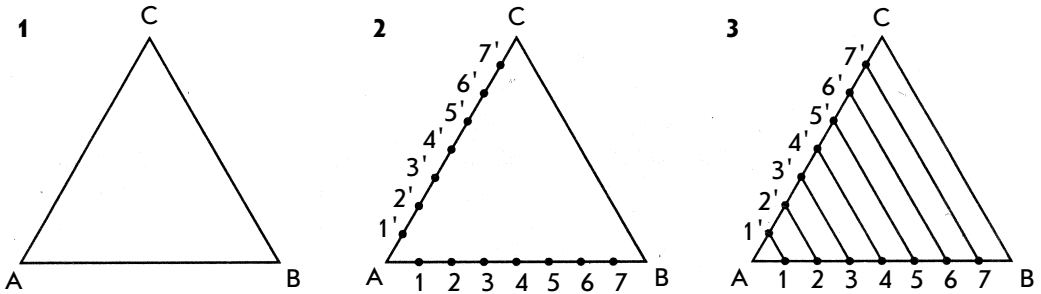
Если вы захотите сделать много разных тетраэдров, то совсем не обязательно каждый раз строить равносторонние треугольники — можно воспользоваться номограммой для треугольника.

Номограмму для треугольника можно построить и самому.

- 1** Сначала на листе бумаги построим самый большой равносторонний треугольник ABC .
- 2** От любой вершины треугольника, например, от точки A , по прямым AB и AC отложим равные отрезки (0,5 см или 1 см или ... и т.д.) — точки $1, 2, 3...$ и точки $1', 2', 3'...$

3

Соединим соответствующие точки — получим ряд треугольников различной величины — $A-1-1'$, $A-2-2'$, $A-3-3'$ и т.д., ABC .



Как начертить центрально-осевую номограмму треугольника

1

Стороны равностороннего треугольника разделим пополам. Для этого с внешней стороны треугольника одним и тем же радиусом циркуля сделаем засечки над прямой AB с центрами в точках A и B — точка пересечения 1, над прямой BC с центрами в точках B и C — точка пересечения 2 и над прямой AC с центрами в точках A и C — точка пересечения 3.

2

Соединим точки A и 2, B и 3, и C и 1. Все они, если построение было точным, пересекутся в одной и той же точке O .

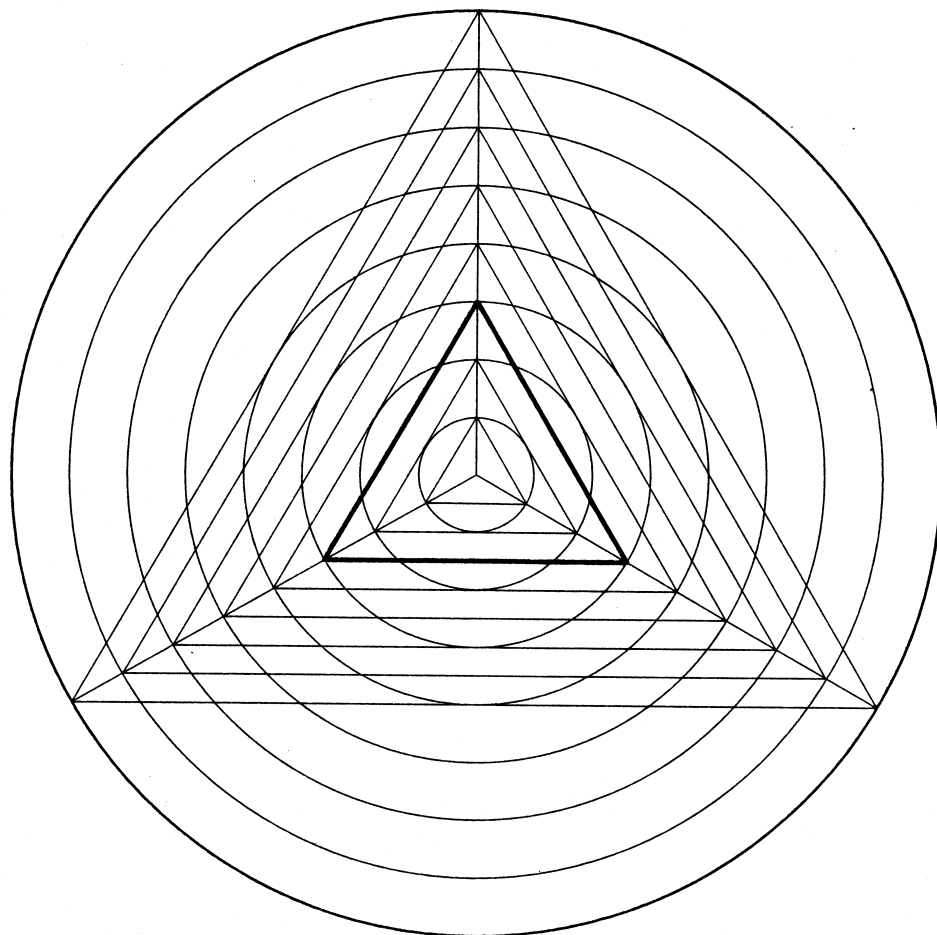
3

От точки O по прямым OA , OB и OC отложим равные отрезки (0,5 см или 1 см или ... и т.д.); получим точки 1, 2, 3 ...; $1'$, $2'$, $3'$... и $1''$, $2''$, $3''$...

4

Соединим соответствующие точки — получим ряд треугольников различной величины — $1-1'-1''$, $2-2'-2''$, $3-3'-3''$ и т.д.

Центрально-осевая номограмма треугольника



Центрально-осевая номограмма треугольника представляет собой 8 треугольников разной величины.

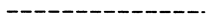
Эта номограмма поможет вам сделать различные по величине равно-сторонние треугольники. Они уже построены, и они перед вами.

Вам надо только снять на кальку подходящий вам по величине треу-гольник или, подложив под номограмму плотную бумагу (на картонке или фанерке — помните?), переколоть точки этого треугольника. Если для работы вам понадобятся несколько одинаковых треугольников, то совсем не обязательно перекальвывать их несколько раз — достаточно сделать один шаблон, а потом прикладывать его на плотную бумагу и обводить карандашом столько раз, сколько это необходимо.

Первая выкройка тетраэдра



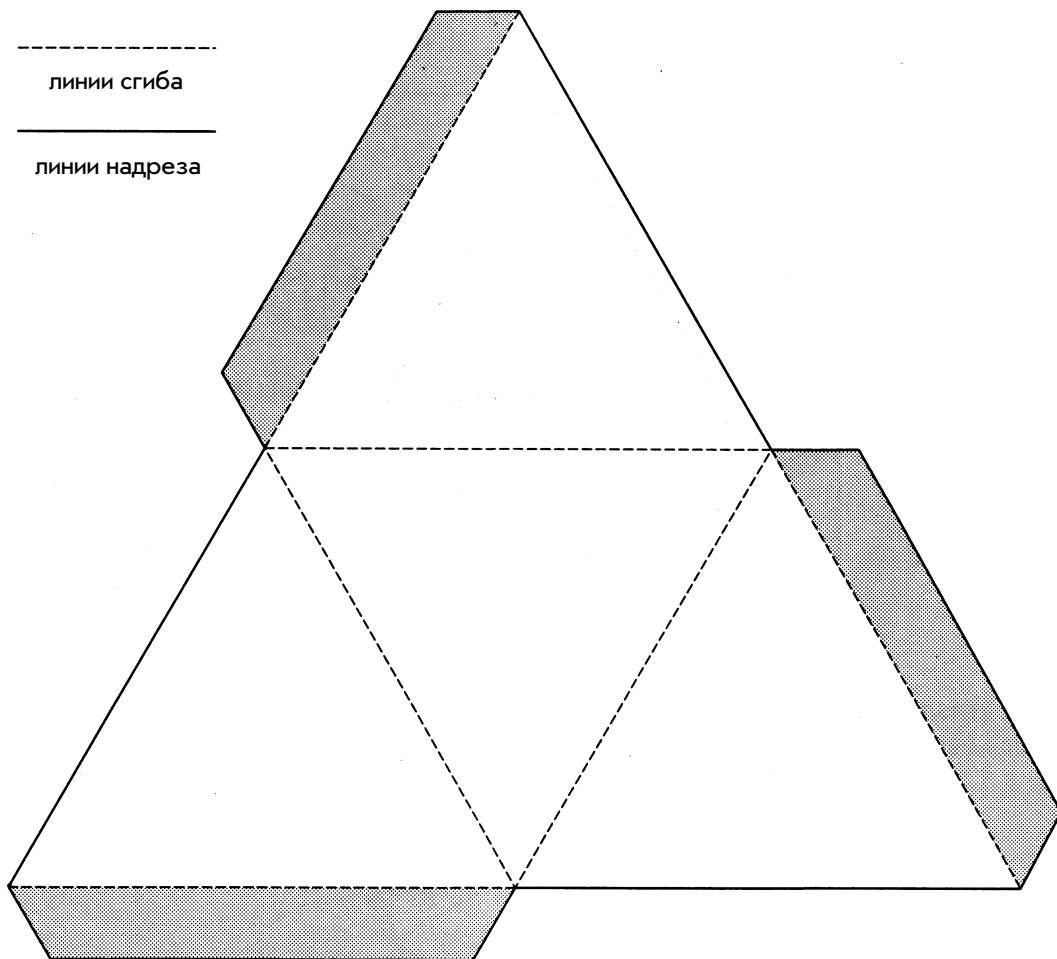
места склеивания



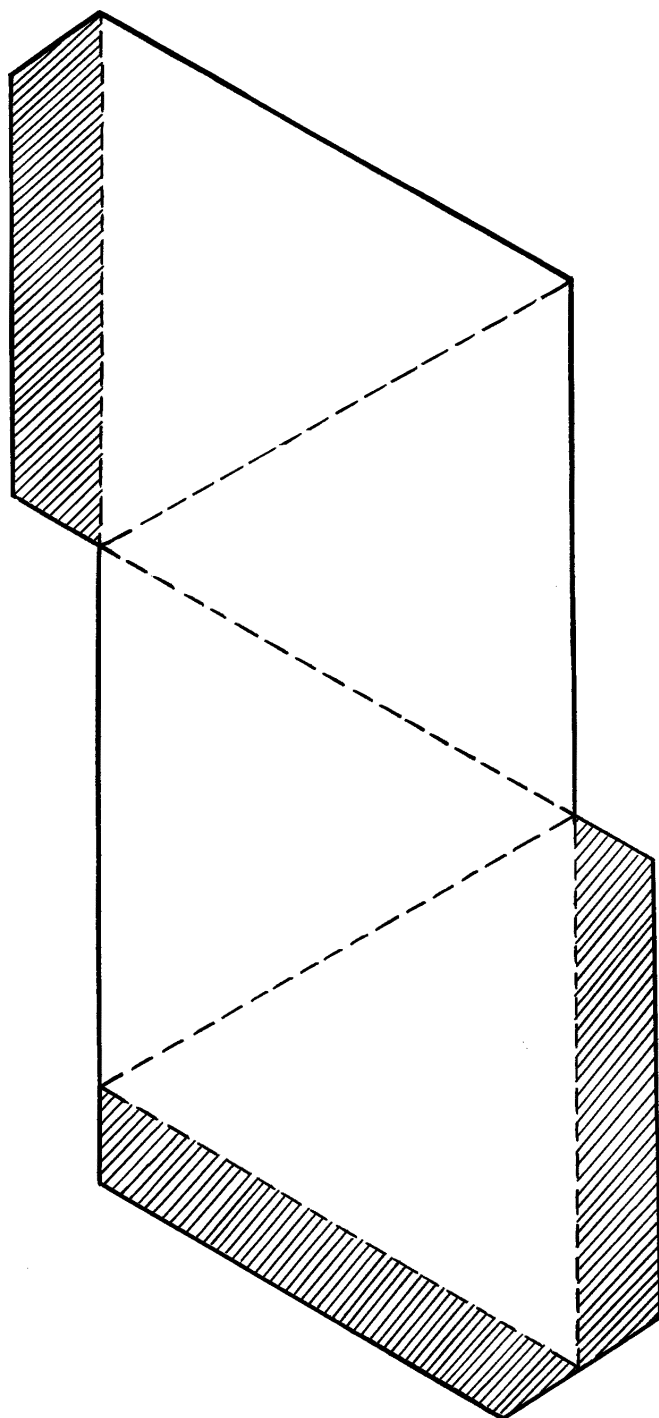
линии сгиба



линии надреза



Вторая выкройка тетраэдра

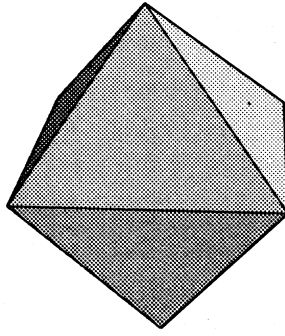
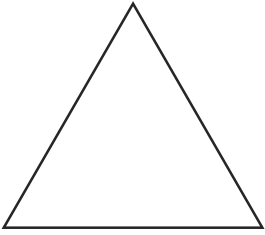


—
линии надреза

- - -
линии сгиба

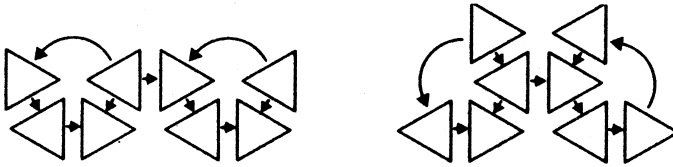

места склеивания

Октаэдр

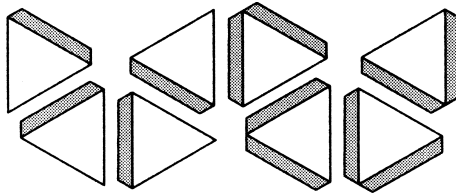


Основу октаэдра — равносторонний треугольник. Таких треугольников надо 8.

Собираются они по следующей схеме:



Для склеивания треугольников между собой предусмотрены закладные детали.



Для октаэдра нужно 4 треугольника с одной закладной деталью у каждого и 4 треугольника с двумя закладными деталями у каждого.

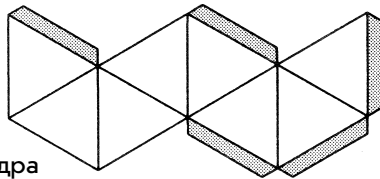


Схема октаэдра

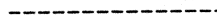
Октаэдр можно сделать по единой выкройке.

Используя номограмму, можно получить треугольники, а значит, и октаэдры разной величины.

Первая выкройка октаэдра



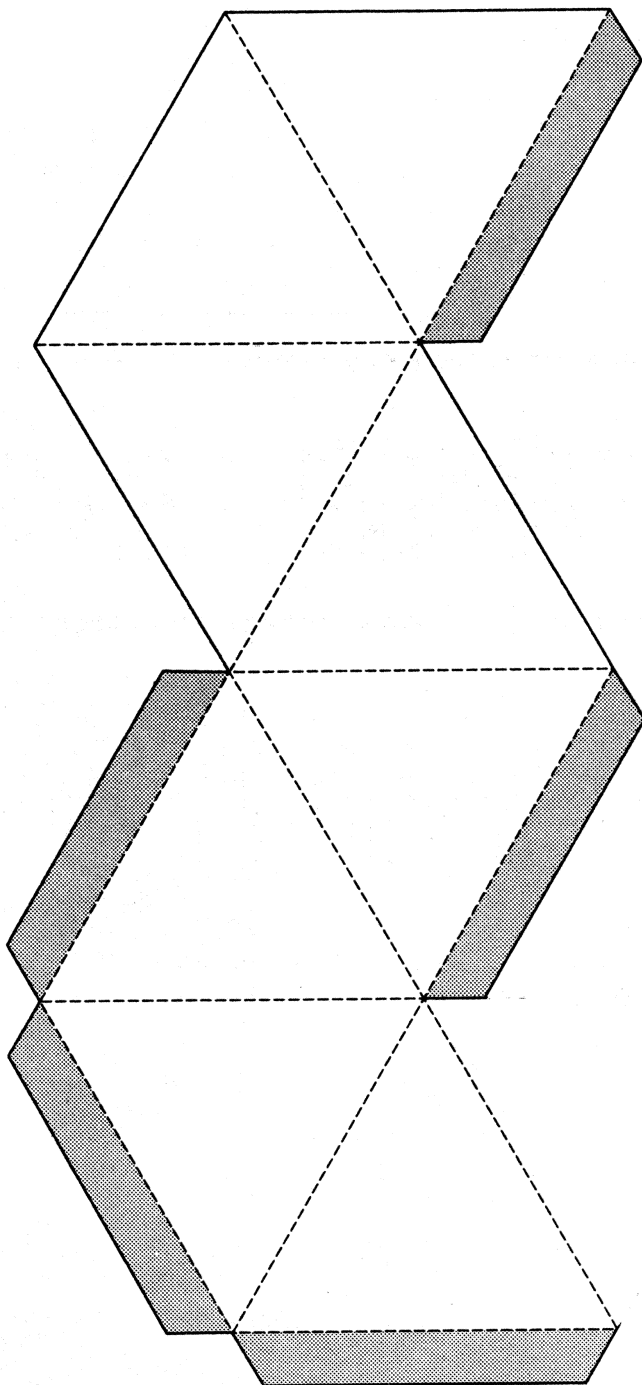
места
склеивания



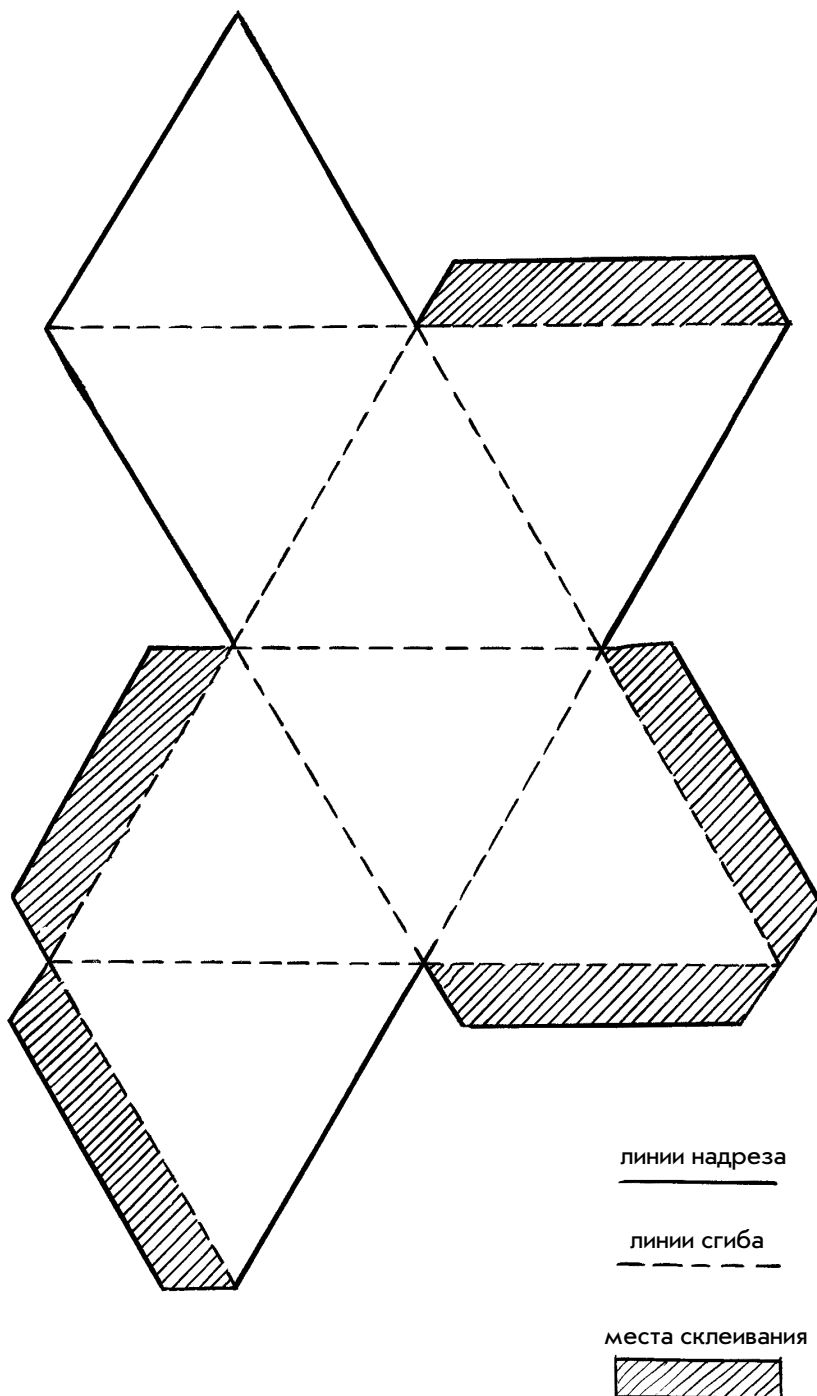
линии сгиба



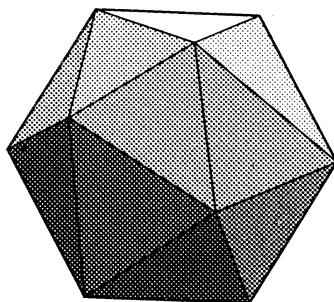
линии надреза



Вторая выкройка октаэдра



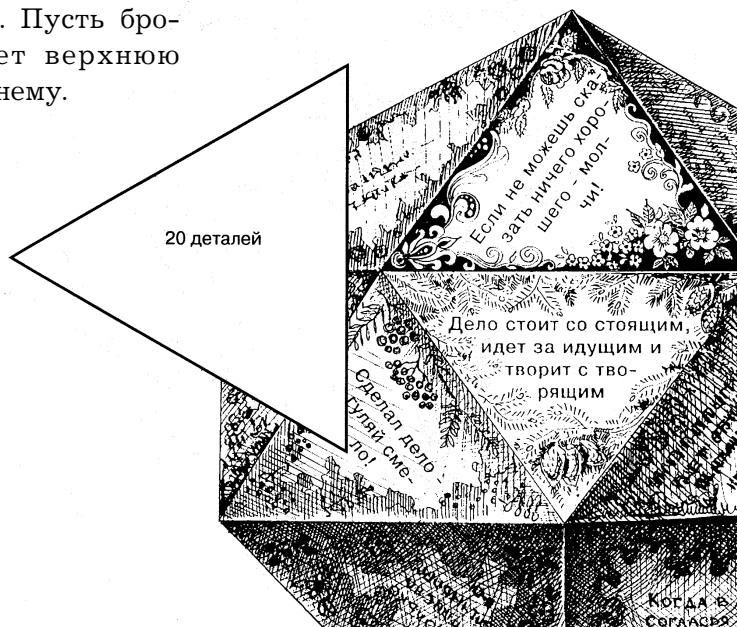
Икосаэдр



Основная деталь икосаэдра — равносторонний треугольник. Таких деталей надо 20. Нет необходимости склеивать треугольники между собой — икосаэдр можно сделать из целого листа бумаги по выкройке, представленной на следующей странице.

Номограмма поможет вам сделать равносторонний треугольник, а значит, и икосаэдр любой величины.

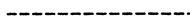
Из целого листа ватмана размером 60×80 см получается икосаэдр с основанием треугольника в 12 см. Превратить его в «магический кристалл» можно, написав на каждой грани афоризмы, пословицы, поговорки, предсказания и мысли Великих. Оставшиеся от надписей места икосаэдра можно украсить вырезками из открыток, укрепив одновременно и его рёбра. Бросьте его легонько на пол — он покатится, покатится и остановится. Пусть бросивший его прочтает верхнюю грань, обращённую к нему.



Первая выкройка икосаэдра



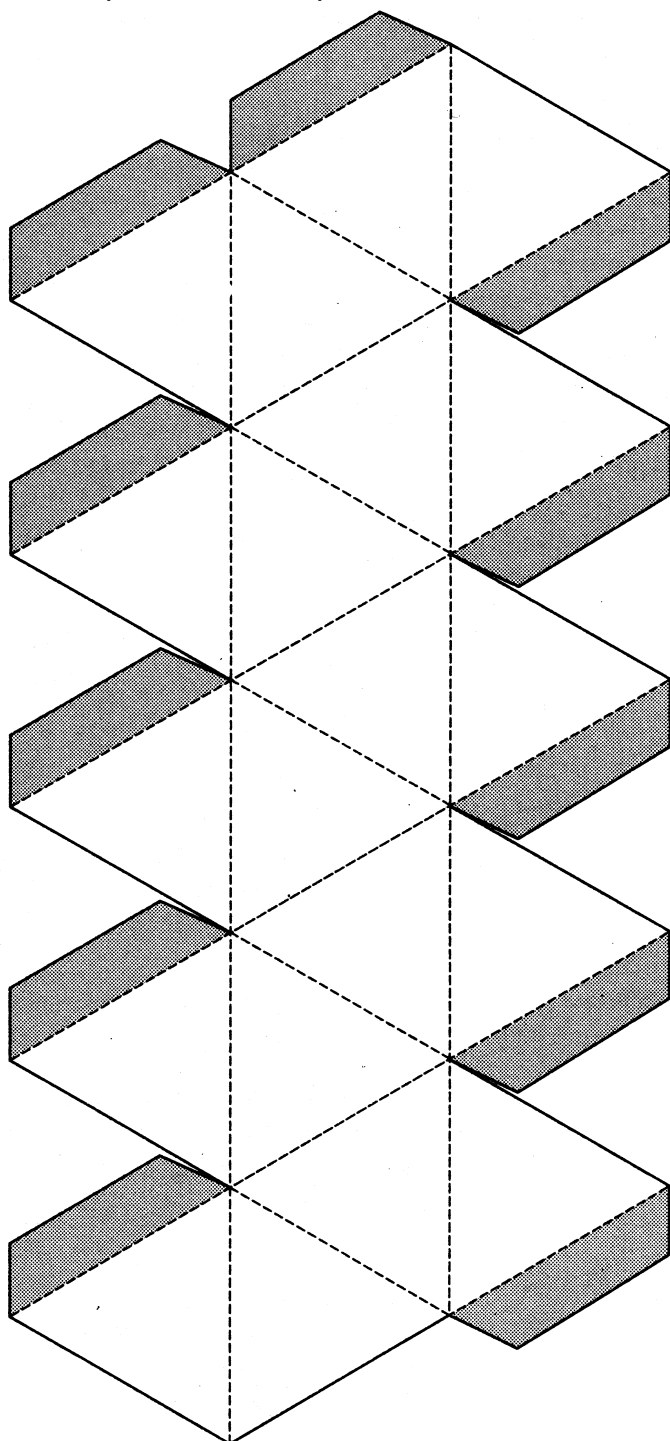
места склеивания



линии сгиба



линии надреза

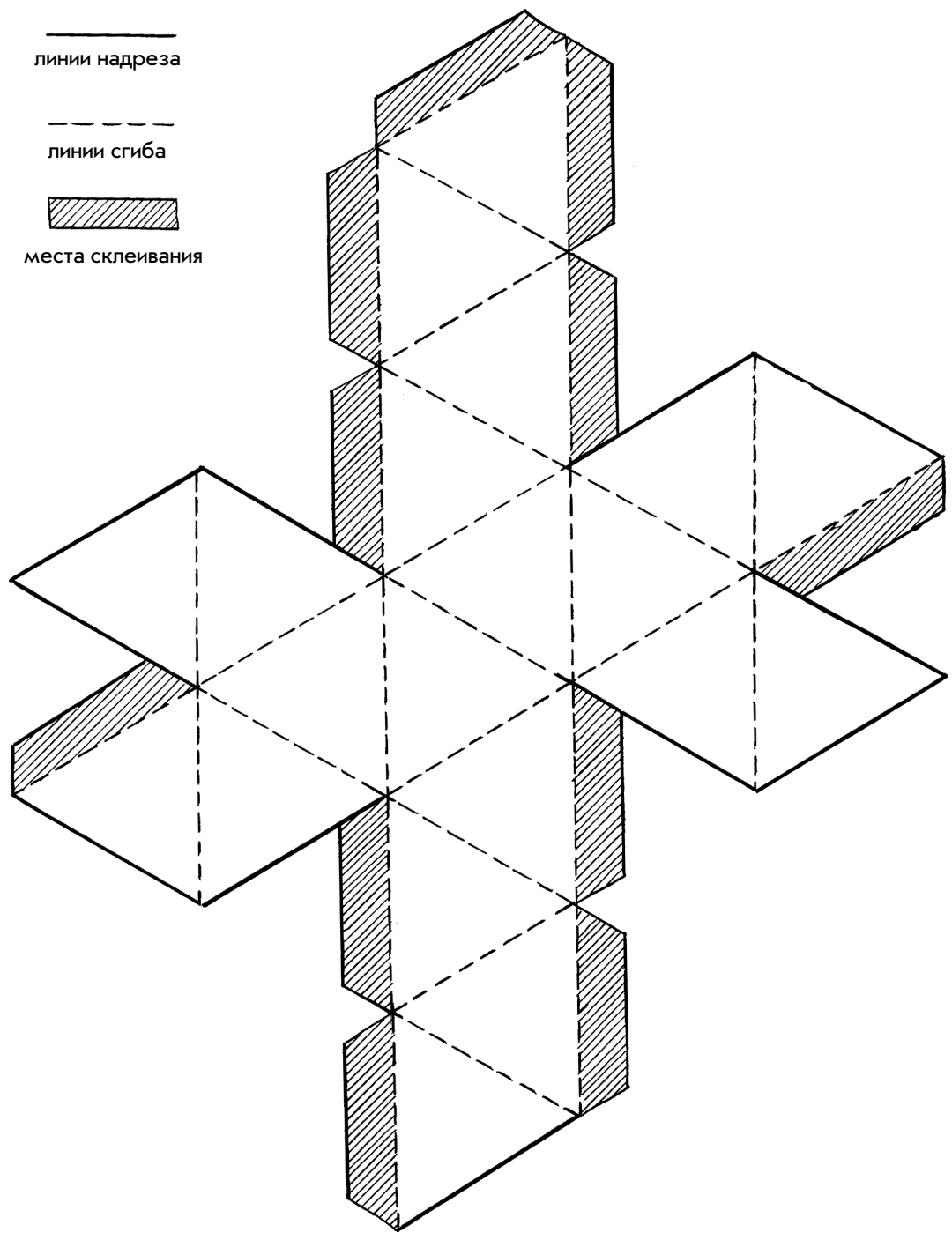


Вторая выкройка икосаэдра

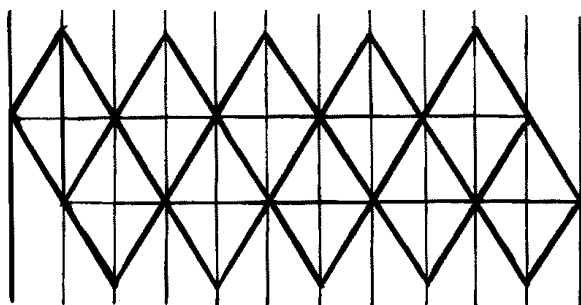
———
линии надреза

- - - - -
линии сгиба


места склеивания

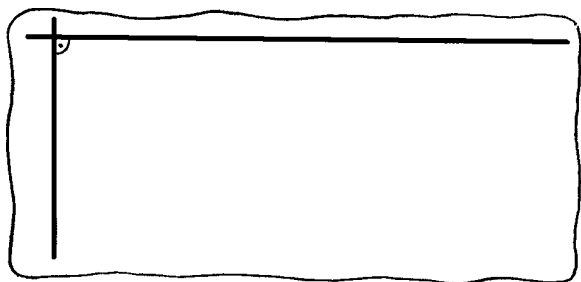


Построение выкройки икосаэдра из целого листа произвольной величины

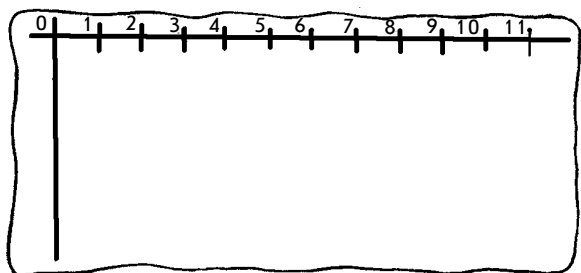


Предположим, что мы уже построили выкройку. Проведём через все вершины вертикали. Подсчитаем количество частей, на которые разделилась выкройка.

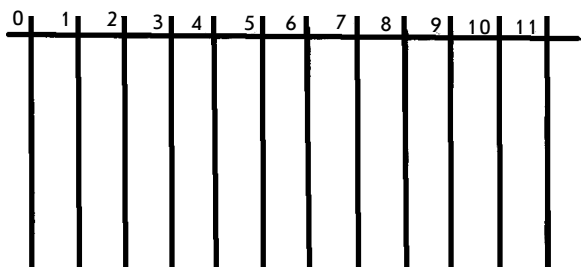
Готовая выкройка делится на 11 равных частей.



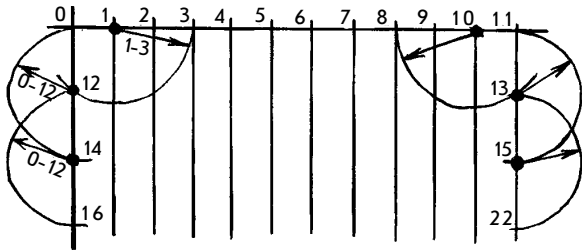
Возьмём произвольный лист бумаги и проведём 2 взаимоперпендикулярные прямые — горизонталь (как можно ближе к верхнему краю листа) и вертикаль (как можно ближе к левому краю листа). Формат листа приблизительно — чуть больше двух квадратов. Наибольшую величину должна иметь горизонталь.



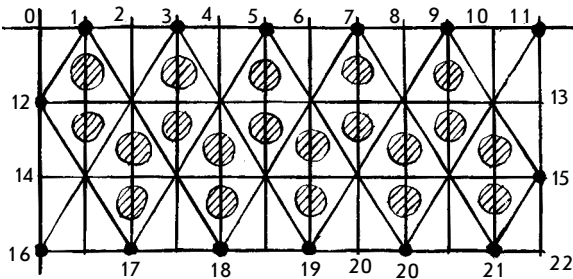
Измерим величину горизонтальной линии и разделим на 11. Остаток, если таковой будет, отбросим, а частное от деления отложим на горизонтали 11 раз от точки пересечения горизонтали и вертикали.



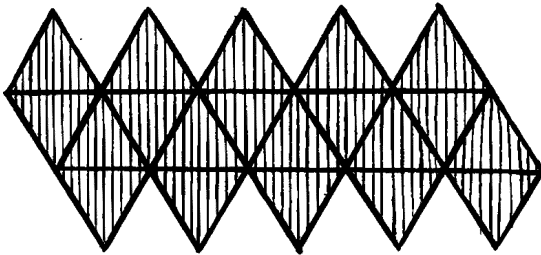
Через точки 0-11 проведём перпендикуляры (или прямые, параллельные вертикали).



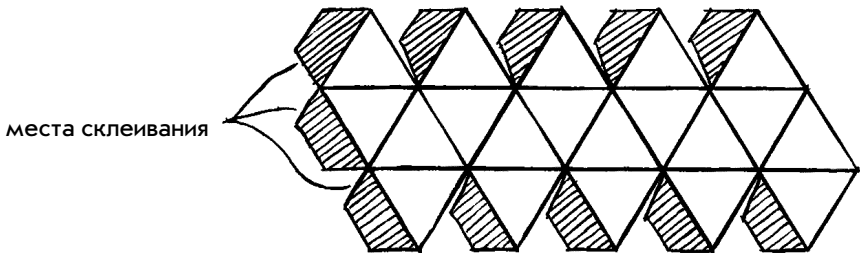
С центрами в точках 1 и 10 проведём дуги, радиусами, равными двум отрезкам до пересечения с вертикалями 0 и 11 — получим точки 12 и 13. На вертикали 0 от точки 12 отложим вниз 2 отрезка, равные отрезку 0-12, получим точки 14 и 16. То же самое — на вертикали 11: точки 15 и 22.



Проведём горизонтали 12-13, 14-15, 16-22. Соединим точки 1 и 12, 1 и 18, 3 и 16, 3 и 19, 5 и 17, 5 и 20, 7 и 18, 7 и 21, 9 и 19, 9 и 15, 11 и 20, 12 и 7, 15 и 21. Выделим средний пояс из 10 примыкающих друг к другу треугольников и по 5 треугольников, примыкающих сверху и снизу к среднему пояску.



Развёртка икосаэдра



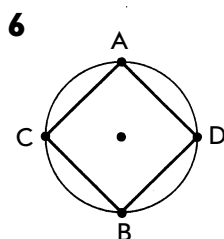
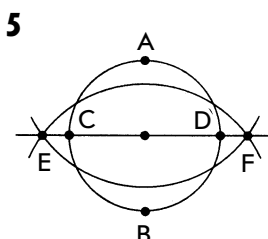
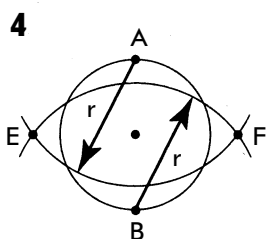
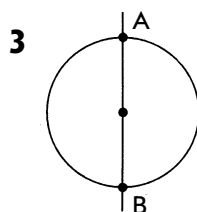
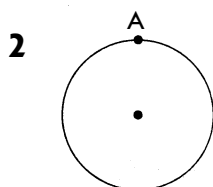
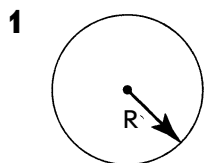
Выкройка икосаэдра

Как построить правильный четырёхугольник или квадрат

Из одних только квадратов можно построить только один многогранник — гексаэдр или куб. В каждой вершине гексаэдра сходятся 3 грани. Каждый угол многоугольника, составляющего гексаэдр, равен 90° . Значит, сумма углов при вершине будет равна $90^\circ \times 3 = 270^\circ$, т.е. $< 360^\circ$. Схема и выкройка гексаэдра на страницах 29–30.

А вы умеете строить квадрат?

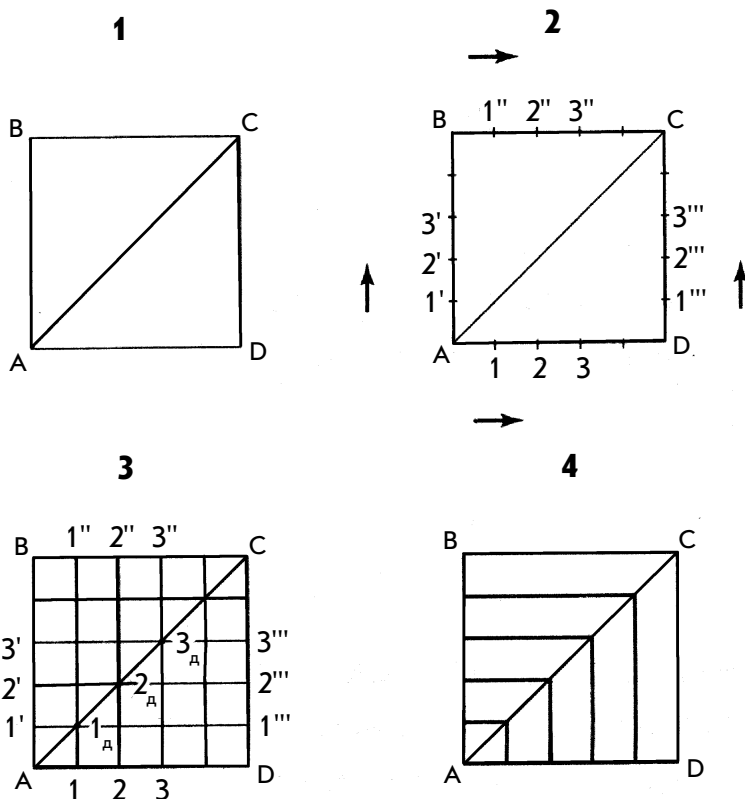
- 1 Начертим окружность радиуса R .
- 2 На окружности отметим точку A .
- 3 Через точку A и центр окружности проведём прямую, пересекающую окружность в двух точках — A и B .
- 4 Проведём циркулем дуги радиусом большим радиуса окружности с центром в точке B до пересечения (точки E и F) по обе стороны от прямой AB .
- 5 Проведём прямую через точки E и F до пересечения с окружностью в точках C и D . Если ваше построение было точным, то прямая CD проходит через центр окружности.
- 6 Соединим точки A, D, B, C — получим квадрат.



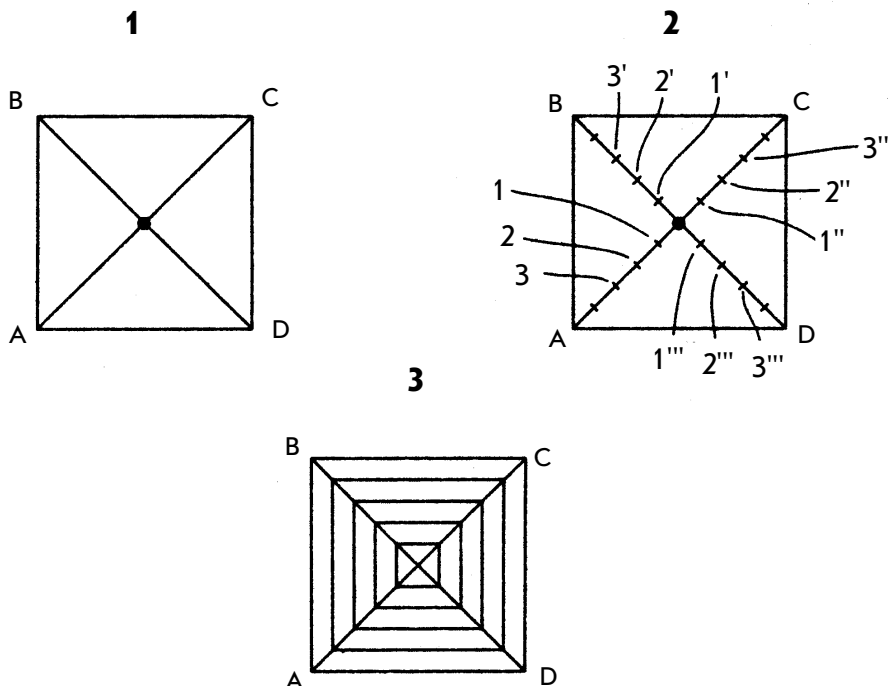
Чтобы не строить каждый раз квадрат нужного размера, давайте один раз построим номограмму для квадрата и будем пользоваться ею.

Как построить номограмму квадрата

- 1** Проведём в квадрате $ABCD$ диагональ AC .
- 2** Отложим равные отрезки (0,5 см или 1 см или ... и т.д.) от точки A на прямой AD и AB , от точки B на прямой BC и от точки D на прямой DC . Не перепутайте порядок откладывывания отрезков, так как сторона квадрата может оказаться не кратной выбранному вами отрезку! Получим точки $1, 2, 3 \dots, 1', 2', 3', \dots$ и т.д.
- 3** Соединим соответствующие точки на прямых AB и DC . При этом точки пересечения прямых $1-1''$ и $1'-1'''$, $2-2''$ и $2'-2'''$, $3-3''$ и $3'-3'''$ и т.д., если построение было точным, должны лежать на диагонали AC — получим точки $1_d, 2_d, 3_d$ и т.д.
- 4** Мы получили ряд различных квадратов $A-1-1_d-1'$, $A-2-2_d-2'$, $A-3-3_d-3'$, и т.д.



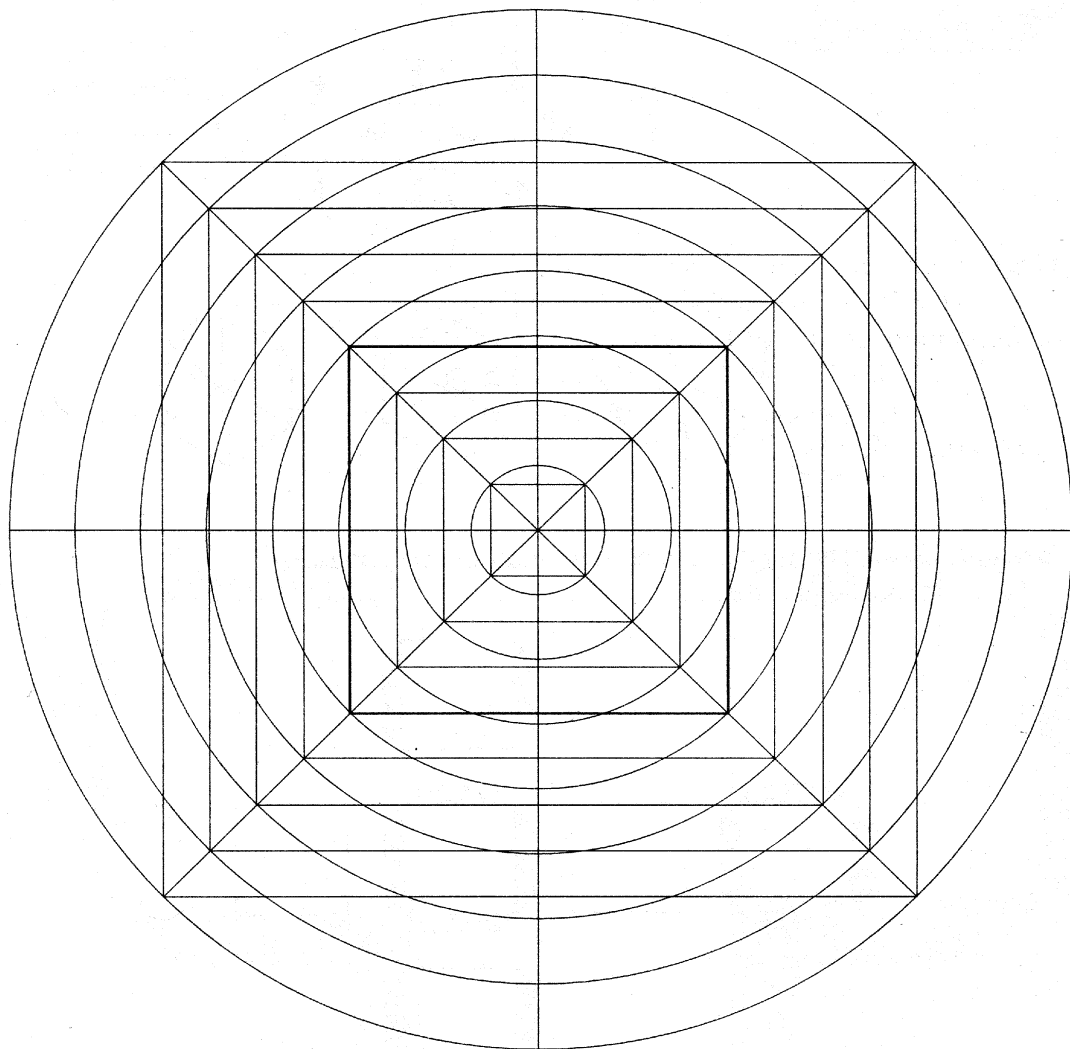
Как начертить центрально-осевую номограмму квадрата



- 1** В квадрате проведём две диагонали AC и BD — точка пересечения O .
- 2** От точки O на прямых OA , OB , OC и OD отложим равные отрезки.
- 3** Соединим соответствующие точки — получим ряд различных квадратов — $1-1'-1''-1'''$, $2-2'-2''-2'''$, $3-3'-3''-3'''$ и т.д. до $ABCD$.

Готовая центрально-осевая номограмма для квадрата представлена на следующей странице.

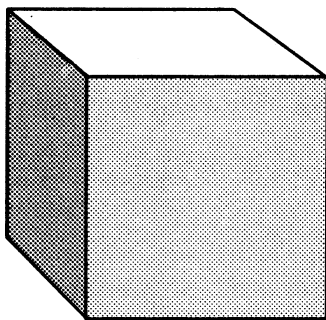
Центрально-осевая номограмма квадрата



Эта номограмма поможет вам сделать различные по величине квадраты. Номограмма уже построена и квадраты перед вами.

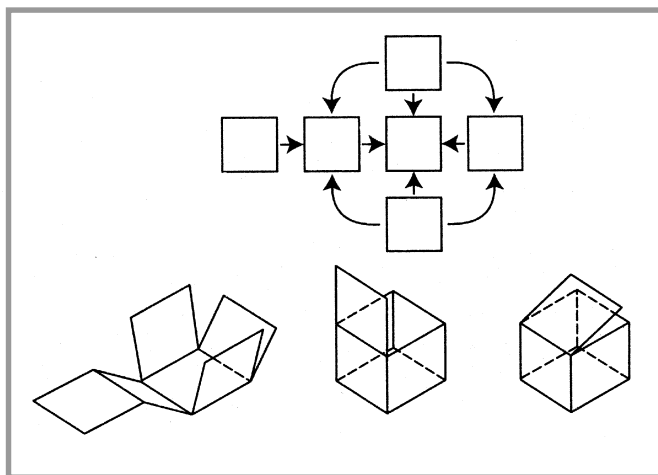
Вам надо только снять на кальку подходящий вам по величине квадрат или переколоть его на плотную бумагу. При необходимости изготовления нескольких одинаковых квадратов советуем сделать один шаблон и пользоваться им.

Гексаэдр, или куб

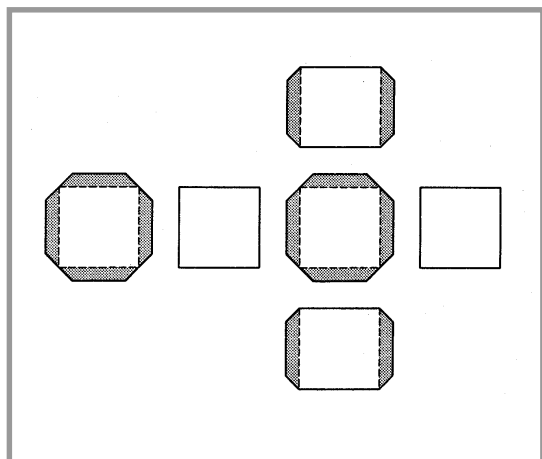


Основа гексаэдра — правильный четырёхугольник или квадрат. Таких квадратов надо 6.

Собираются они по представленной схеме.



Закладные детали распределяются следующим образом:



Для гексаэдра необходимы 2 квадрата с четырьмя закладными деталями каждый, 2 квадрата с двумя закладными деталями каждый и 2 квадрата без закладных деталей.

Гексаэдр, или куб, может быть сделан на основе единой выкройки, представленной на следующей странице. Номограмма поможет вам сделать квадрат, а значит, и куб любой величины.

Выкройка гексаэдра или куба



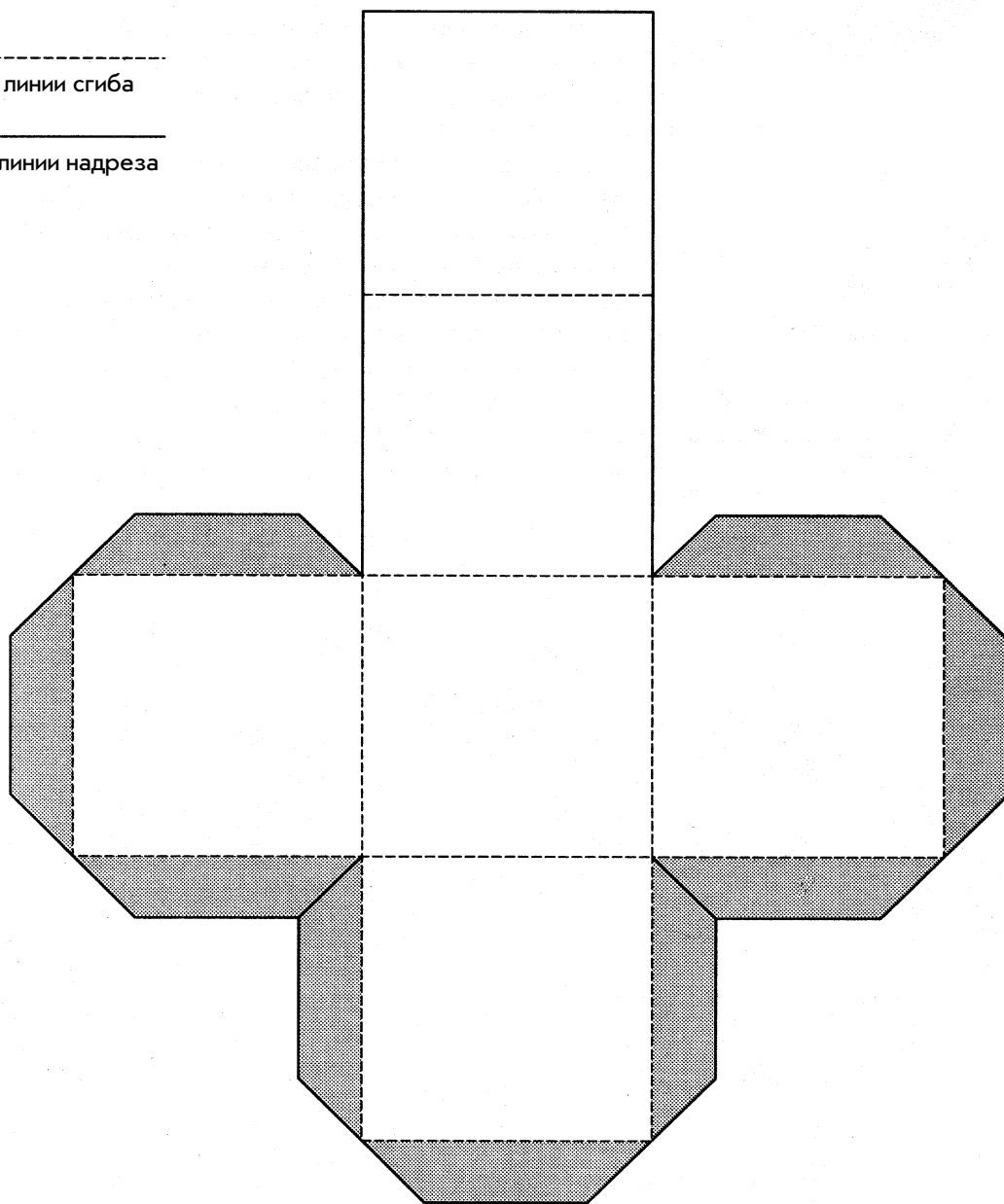
места склеивания



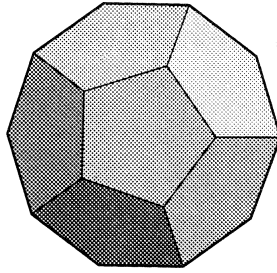
линии сгиба



линии надреза



Додекаэдр



Пентагон

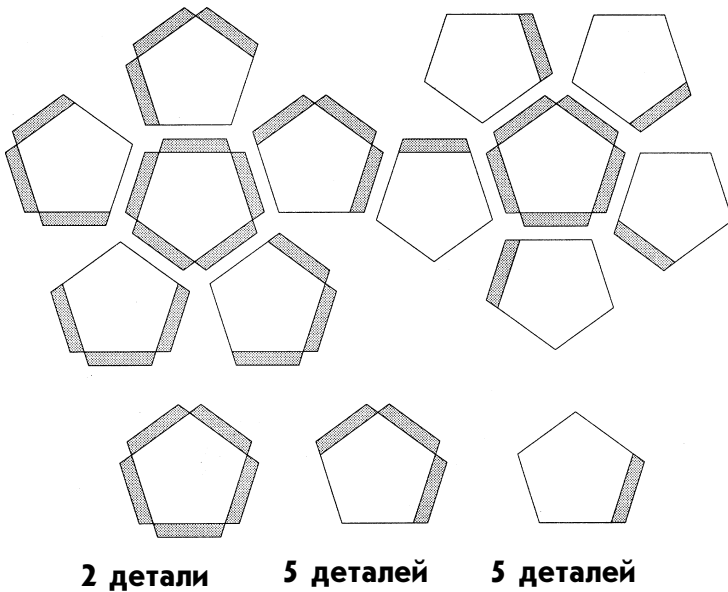
И, наконец, последний, пятый правильный многогранник — додекаэдр. Основа додекаэдра — правильный равносторонний пятиугольник — пентагон. Таких пятиугольников — 12.

В каждой вершине додекаэдра сходятся по три грани. Сумма углов при вершине равна $108^\circ \times 3 = 324^\circ$, т.е. $< 360^\circ$.

Общая схема сборки додекаэдра представлена на рисунке.

Не забывайте о закладных деталях (или местах склеивания): 2 пятиугольника должны иметь по 5 закладных деталей, 5 пятиугольников — по 3 закладные детали и 5 пятиугольников — по одной закладной детали.

Схема сборки додекаэдра



Додекаэдр можно сделать и из целого листа бумаги по представленной выкройке.

Первая выкройка додекаэдра



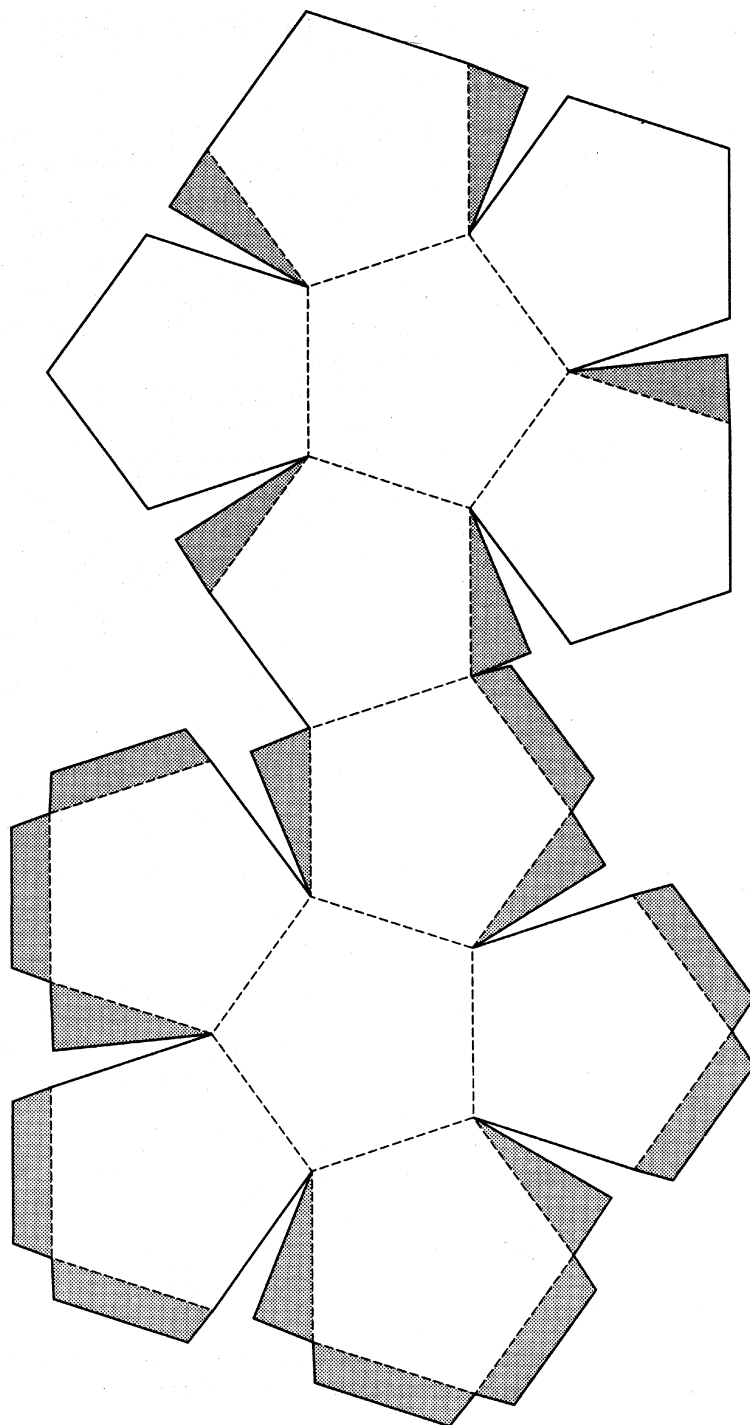
места склеивания



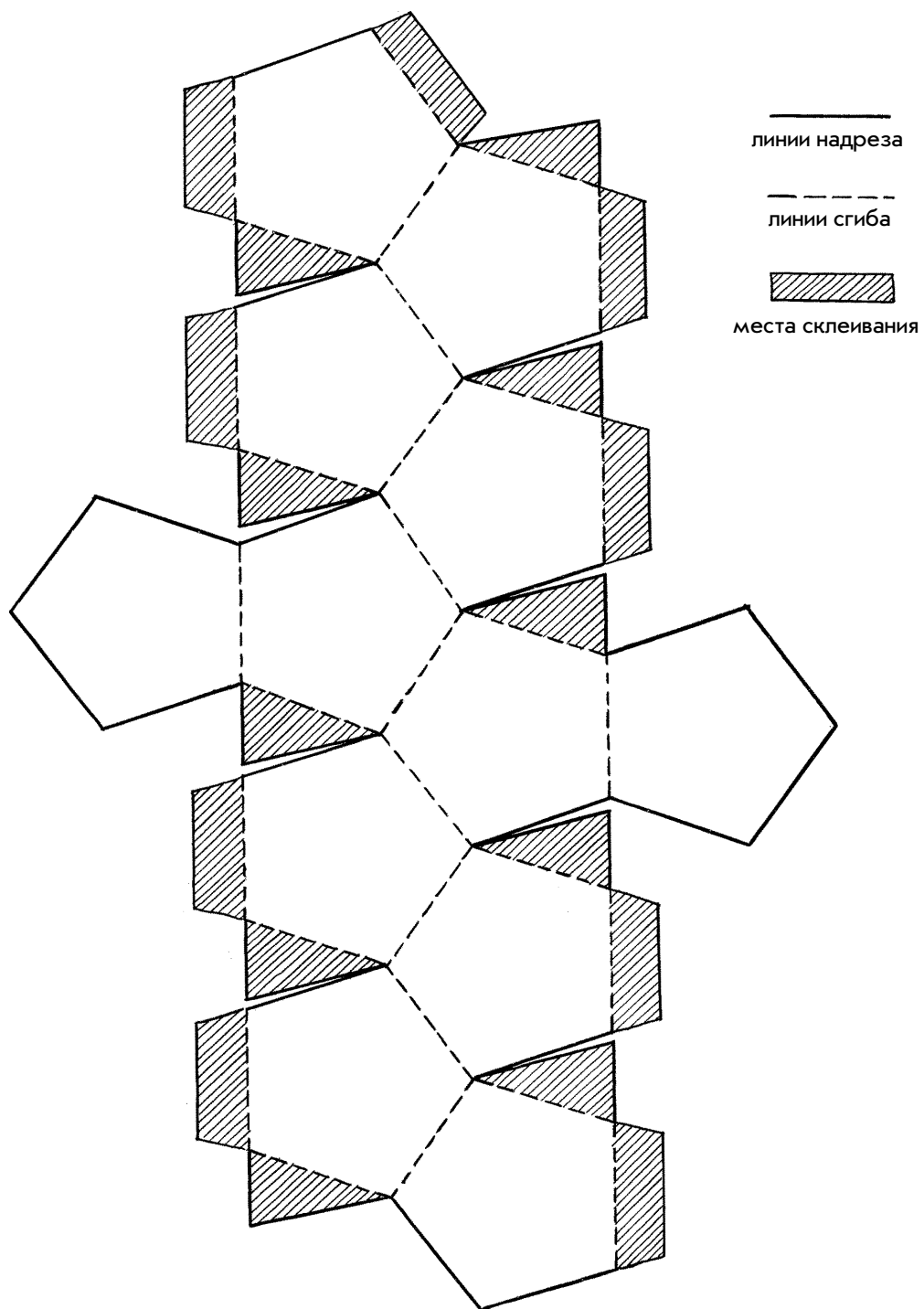
линии сгиба



линии надреза



Вторая выкройка додекаэдра

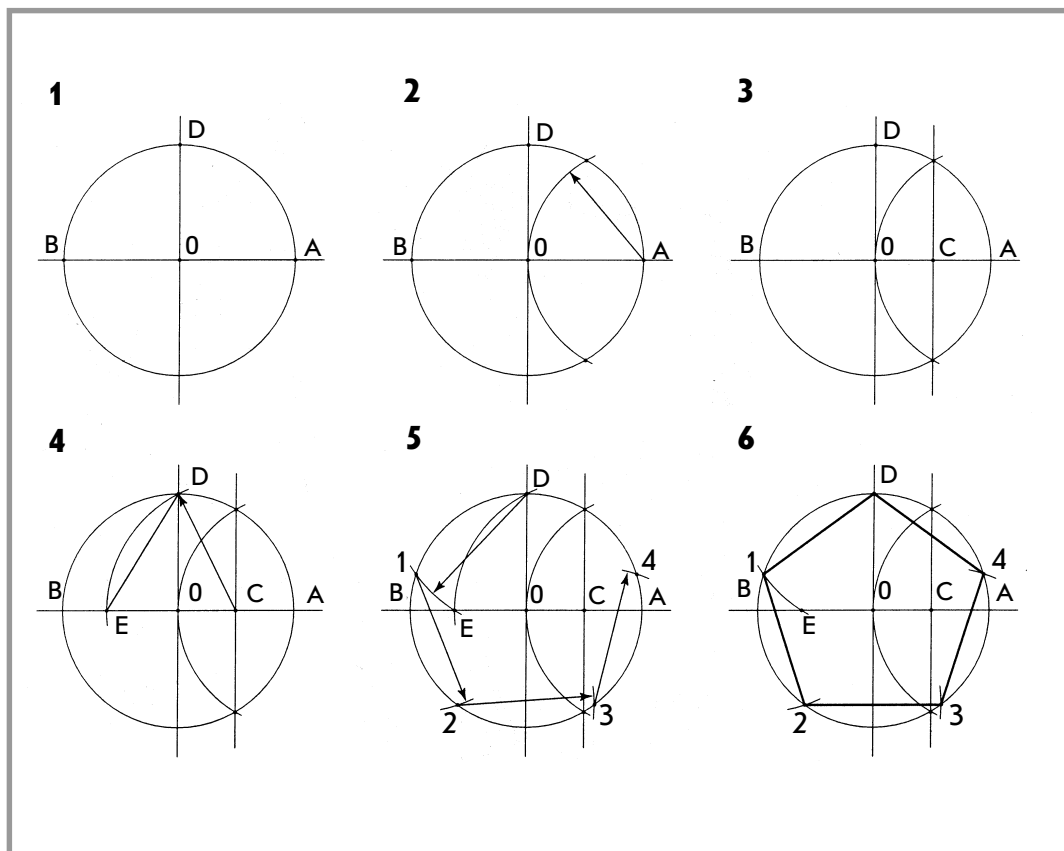


Как построить правильный пятиугольник или пентагон

А вы умеете построить пентагон или правильный пятиугольник?

Существует точный графический способ построения пентагона, он описан в выдающемся сочинении античности — «Альмагесте» Птолемея. Разберём этот метод.

- 1** Проведём окружность и построим две перпендикулярные линии, проходящие через её центр — точку O . Отметим диаметр окружности — AB . Радиус окружности равен AO и DO .
- 2** Проведём тем же радиусом, т.е. не меняя раствора циркуля, дугу окружности с центром в точке A до пересечения с первой окружностью.
- 3** Проведя прямую через точки пересечения окружностей, получим точку C , являющуюся серединой радиуса AO .



- 4** Радиусом CD чертим дугу окружности с центром в точке C до пересечения с диаметром AB в точке E . Отрезок ED и есть сторона правильного пятиугольника, вписанного в построенную нами окружность.
- 5** Отметим циркулем с раствором, равным ED , точки на окружности — вершины правильного пятиугольника.
- 6** Пентагон построен.

Если вы хотите получить пентагоны, а следовательно, и додекаэдры, разной величины, постройте номограмму для пентагона.

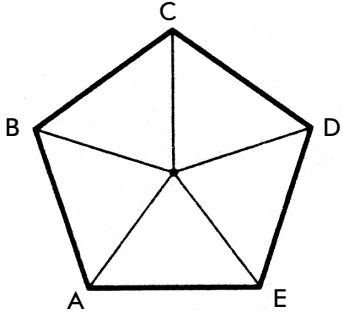
Как построить центрально-осевую номограмму для пентагона

- 1** Если на чертеже пентагона сохранился центр окружности, в которую он вписан, то соединим этот центр — точку O — с каждой вершиной пентагона.
- 2** От точки O на прямых OA , OB , OC , OD и OE отложим равные отрезки (0,5 см или 1 см или ... и т.д.).
- 3** Соединив соответствующие точки, получим ряд пентагонов различной величины.
- 4** Если на чертеже пентагона нет центра, то на внешней стороне пентагона делаем циркулем засечки одинаковыми радиусами с центрами в каждой из вершин пентагона — получим точки a , b , c , d , e .
- 5** Соединим точки A и c , B и d , C и e , D и a и E и b . Все эти прямые должны пересечься в одной и той же точке — O . Далее, как было указано для пентагона выше.

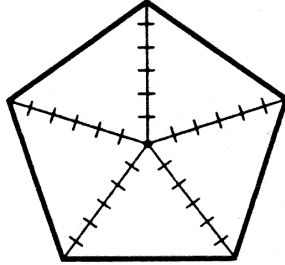
Центрально-осевая номограмма для пентагона представлена на стр. 37.

Центрально-осевые номограммы треугольника, квадрата и пентагона можно объединить в одну номограмму, которой можно пользоваться как для увеличения, так и для уменьшения указанных выше многоугольников, а также получать различной величины шести-, восьми-, десяти-, двенадцати- и т.д. угольники. Такая общая номограмма представлена на стр. 38.

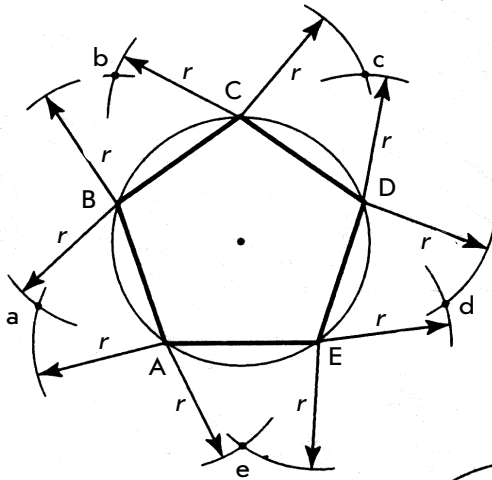
1



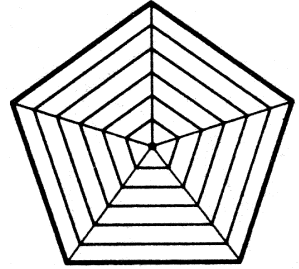
2



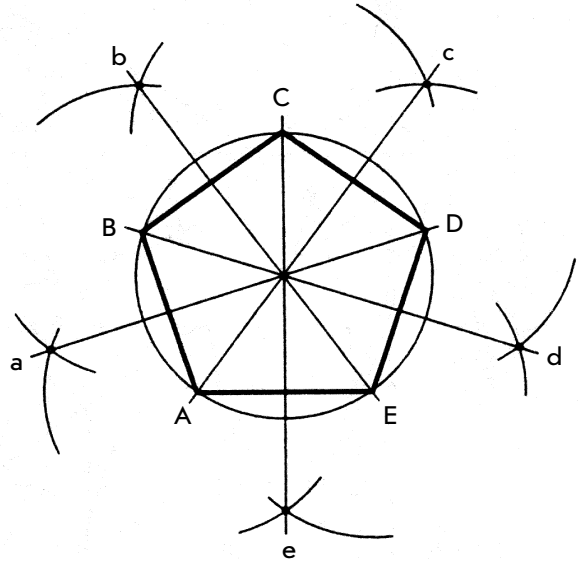
4



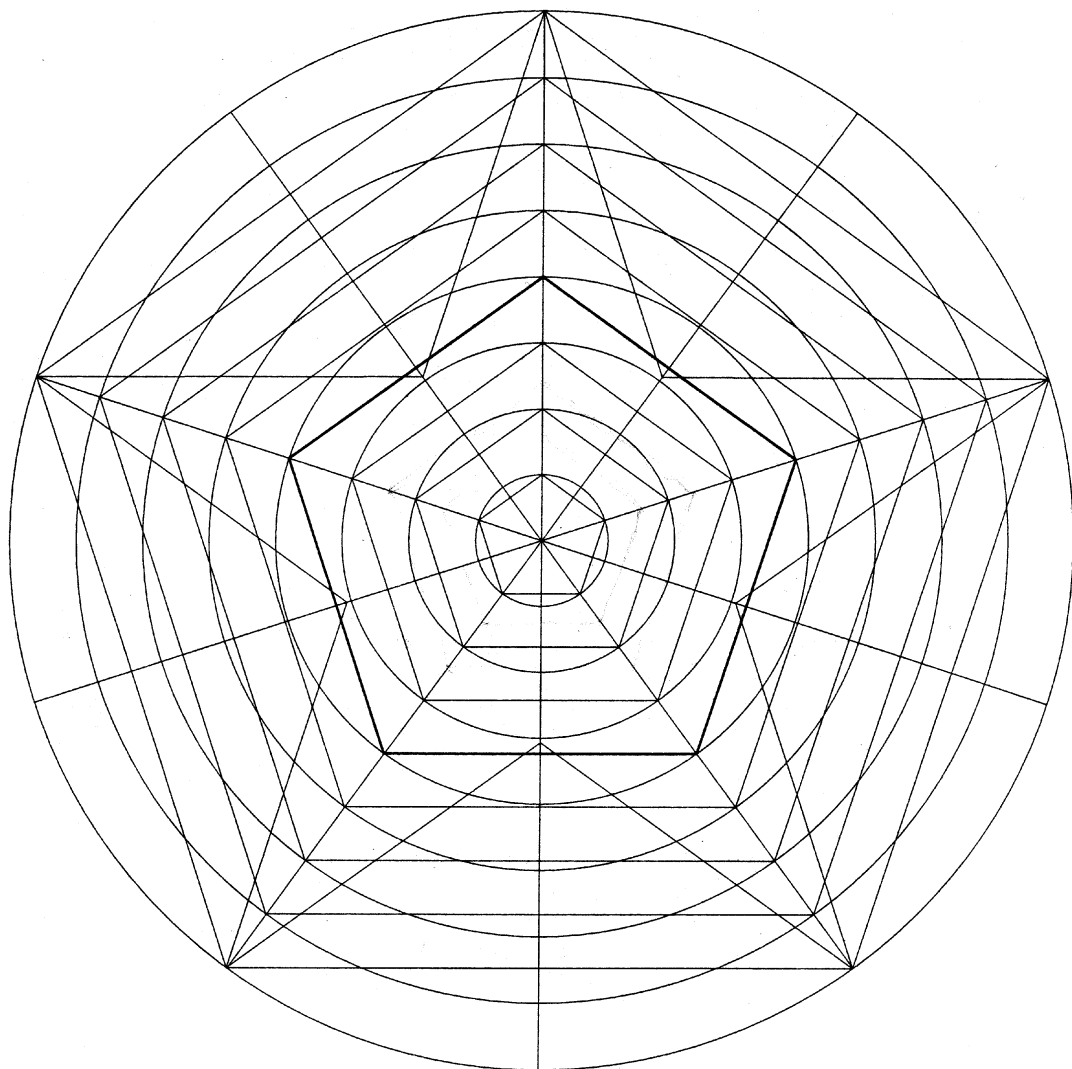
3



5

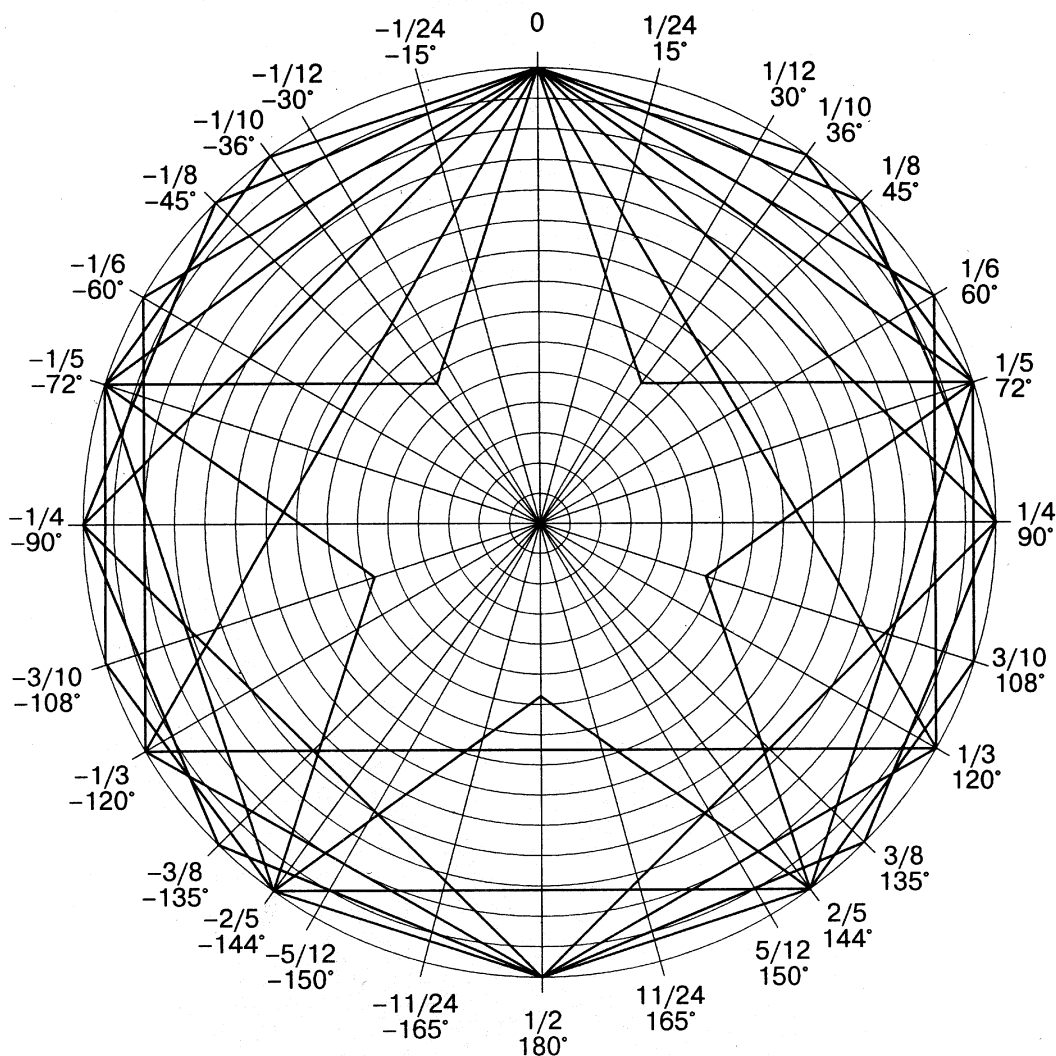


Центрально-осевая номограмма пентагона



Эта номограмма поможет вам сделать пентагоны разной величины.

Общая номограмма для построения правильных многоугольников



Общая номограмма — это обычная линованная бумага, на ней про-
черчены направления наиболее употребительных углов, которые делят
полный круг (360 градусов) на равные части. Также через каждые 5 мил-
лиметров проведены концентрические окружности (то есть окружности
с общим центром), позволяющие откладывать радиусы нужной длины.
С помощью этого инструмента можно без лишних забот чертить пра-
вильные многоугольники.

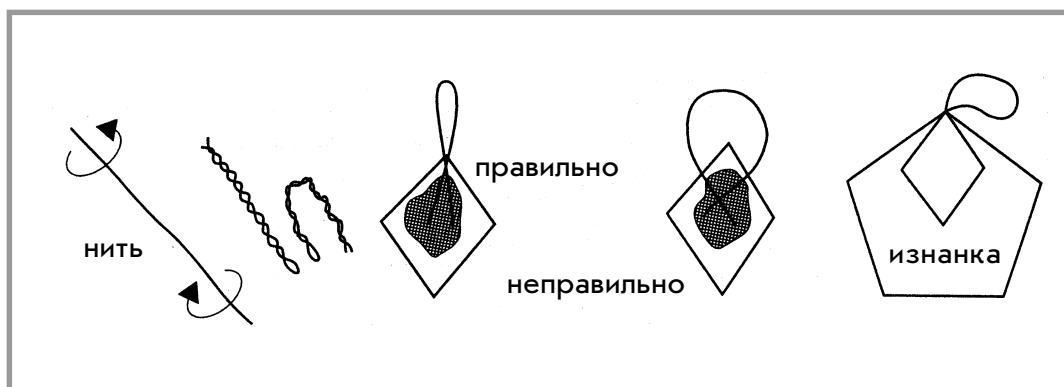
Усложняя пространственный рисунок граней правильных и полуправильных многогранников (т.е. платоновых и архимедовых тел), можно получить огромное количество разных по форме многогранников, в том числе особенно красивые их звёздчатые формы. Некоторые из них, а также все платоновы и архимедовы тела и некоторые природные кристаллы представлены в виде развёрток-выкроек в альбоме В.В. Гончар «Кристаллы» из серии «Бумажная планета» (М.: Аллегро-Пресс, 1994). Более 100 многогранников в виде их основных деталей представлены в книге Н. Веннинджера «Модели многогранников» (М.: Мир, 1974).

А знаете, во что может превратиться простой додекаэдр? Он может стать отличным поздравлением от 12 человек, так как в додекаэдре 12 граней. На каждой грани можно написать или нарисовать свои добрые пожелания, а можно просто расписать цветными фломастерами. Но самой красивой и эффектной моделью из додекаэдра будет, пожалуй, фонарик.



Делаем фонарик!

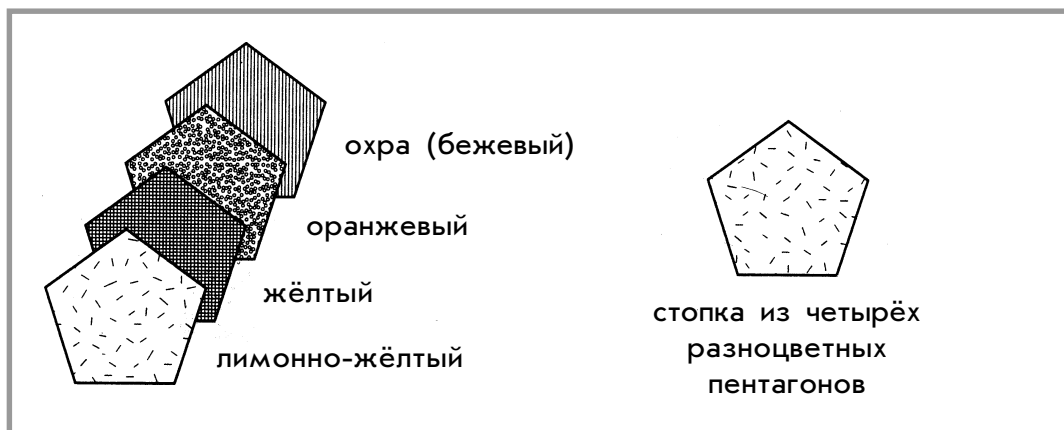
Сделайте выкройку додекаэдра — основы фонарика — из целого листа ватмана. Снимите с этой выкройке на кальку или переколите на плотную бумагу один пентагон — он будет вашим шаблоном, и ещё 4 пентагона на тонкой бумаге или кальке. Склейте додекаэдр. Перед тем как приклеить последнюю грань додекаэдра, приклейте к уголку петельку. А делается это так: кусок бечёвки или скрученную двойную нитку длиной 10 см согнём пополам и приклеим к углу квадратика из бумаги так, чтобы на углу квадрата оказались обе нитки. Потом, когда нитки приклеятся, намажем клеем весь квадратик с этой же стороны и приклеим его к грани додекаэдра с внутренней стороны так, чтобы уголки квадратика и додекаэдра совпали внутри. Такую петельку можно сделать и в начале склейки додекаэдра. Когда будете оклеивать грани тонкой цветной бумагой, не забудьте про петельку и случайно не заклейте её.



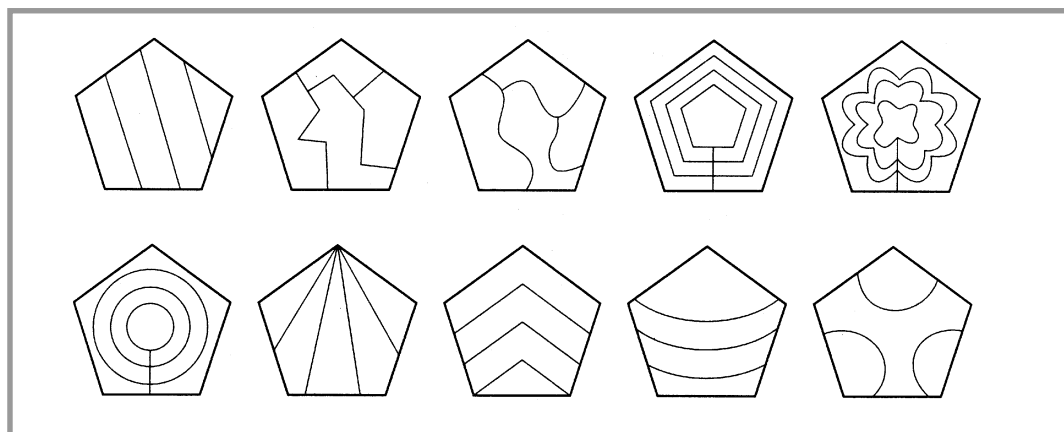
В эту петельку потом можно продеть шнур нужной вам длины.

Когда фонарик светится изнутри, кажется, что он переливается разными цветами — охристыми, жёлтыми, оранжевыми. Подберите имеющуюся у вас цветную бумагу. Это может быть только 2 цвета, или 3 и более.

Возьмём 4 цвета — лимонно-жёлтый, жёлтый, оранжевый и охристый (или бежевый) или любые их сочетания с более светлыми или более тёмными тонами одного цвета. Теперь на каждый лист цветной бумаги положим наш шаблон и карандашом обведём его. Вырежем получившийся пентагон. У нас получились 4 разноцветных пентагона. Сложим их стопкой вместе.

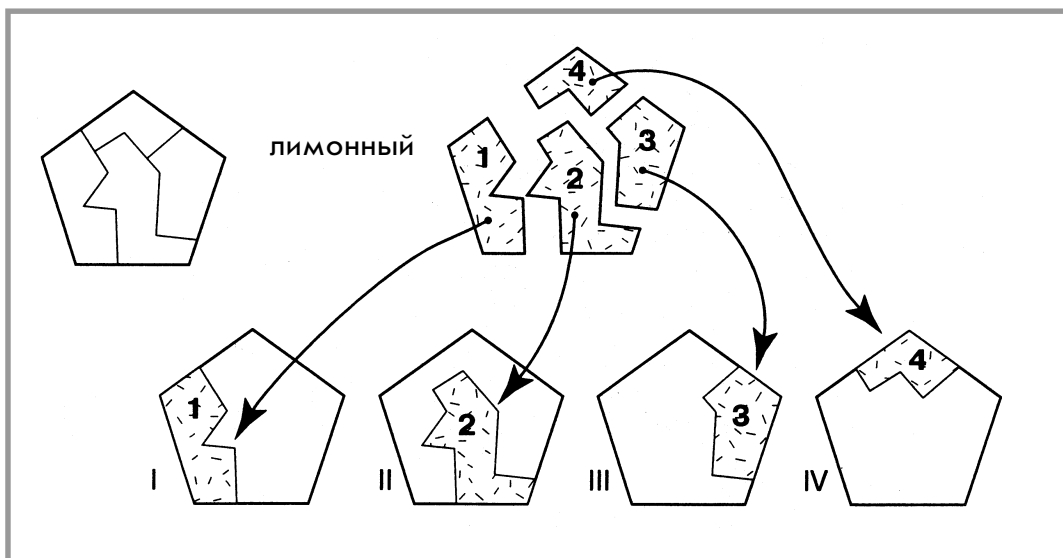


На верхнем пентагоне карандашом наметим прямые или иные линии, разделяющие наш пентагон на 4 части произвольной величины. Например, такие:

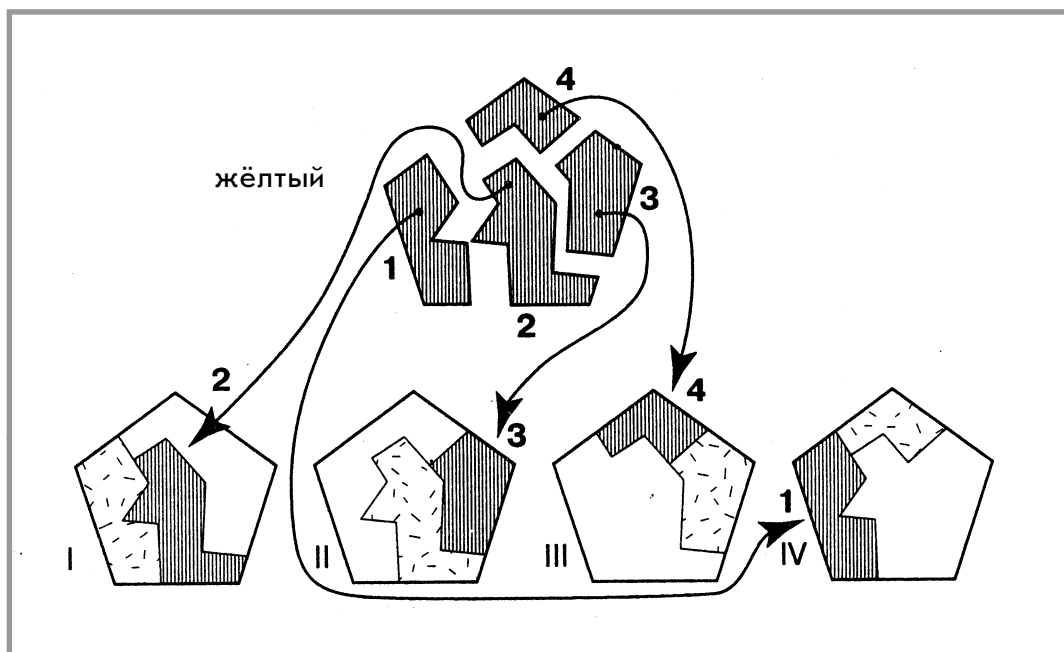


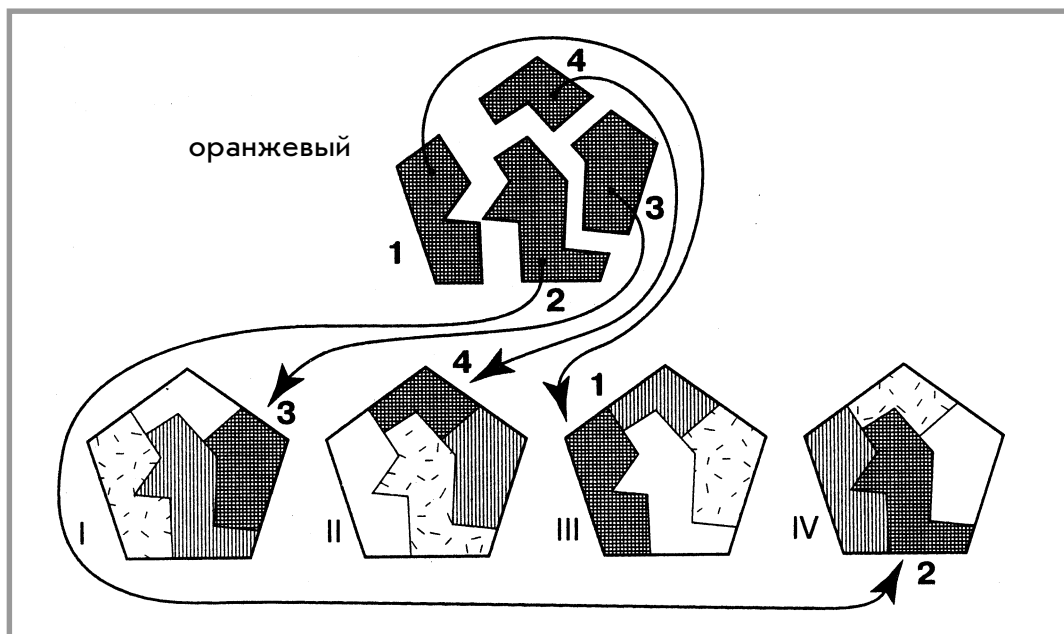
Возьмите всю стопку в руку и, следя за тем, чтобы пентагоны не сдвигались, разрежьте по намеченным линиям. Разрезанные стопки положите не как попало, а так, чтобы они вместе составили пентагон.

Предположим, что верхний пентагон лимонного цвета. Под разрезанным пентагоном разместим в ряд 4 пентагона из тонкой бумаги или кальки и на каждый положим часть лимонного цвета на то место, какое она занимала на разрезанном пентагоне (просто положим, а не наклеим!). Таким образом, мы сняли с разрезанного пентагона все части лимонного цвета.



Следующий цвет — жёлтый. Теперь на 4 нижних пентагона снимаем части жёлтого цвета. Но теперь снимать начинаем не с 1-ой, а со 2-ой части. Снимаем 2-ю часть жёлтого цвета и кладём её на I пентагон, 3-ю — на II, 4-ю — на III, а 1-ю — на IV пентагон. Все части жёлтого цвета сняты. Следующий цвет — оранжевый.





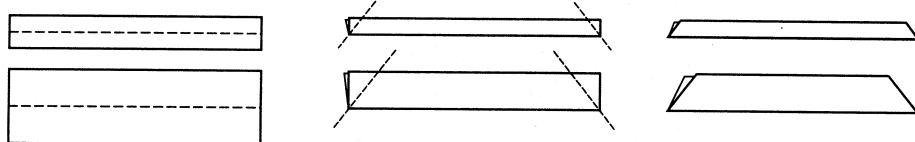
Снимаем 3-ю часть — на I пентагон, 4-ю часть — на II, 1-ю часть — на III, и 2-ю — на IV пентагон. У нас остался последний цвет. Вы уже догадались, как разложить его 4-ю часть — на I пентагон и т.д.

Таким образом мы подобрали раскладку цветов для 4 пентагонов. Возьмём додекаэдр и наклеим на четыре его грани четыре получившиеся у нас раскладки: на одну грань — раскладку цветов I пентагона, на вторую грань — раскладку цветов II пентагона, на третью — III, на четвёртую — IV.

Так как в додекаэдре 12 граней, то нам надо подобрать ещё 2 стопки по четыре цвета в каждой такого же рисунка или любого другого, придуманного вами.

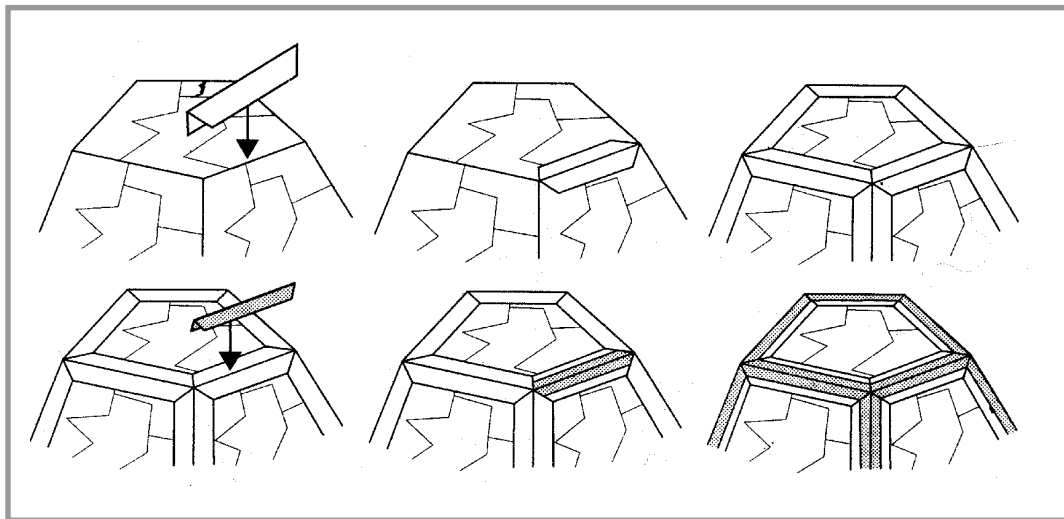
Нарежем полоски шириной в 1 см из бумаги тёмного цвета — синего, сиреневого или фиолетового и шириной в 2 см из голубого длиной, равной длине ребра додекаэдра. В додекаэдре 30 рёбер, значит, нам надо 30 полосок голубого цвета и 30 полосок фиолетового.

Каждую полоску надо прочертить тупым ножом посередине и сложить пополам, уголки немного подрезать.



Наклеим на все рёбра додекаэдра голубые полоски, а на них сверху более узкие — лиловые.

С такими полосками фонарик будет аккуратнее, будет чётче его рисунок и более жёсткой — его конструкция.



А теперь делаем «снежинки». Обычно «снежинки» вырезают из белой или цветной, но светлой бумаги четырёхугольными или восьмиугольными для простоты и быстроты выполнения, хотя на самом деле настоящие снежинки шестиугольные или с другим числом лучей, кратным шести. Однако для декоративных целей нам могут понадобиться и треугольные, и четырёхугольные, и пятиугольные, и круглые «снежинки».

Наши «снежинки» для фонарика будут чёрного, тёмно-синего, тёмно-лилового, или другого тёмного цвета. Для нашего фонарика подойдут пятиугольные и круглые «снежинки». Если фонарик сделан на основе кубика, то «снежинки» подойдут четырёхугольные и круглые, для октаэдра — треугольные и круглые.

Выкройки «снежинок» приведены на стр. 45. Там представлены 4 вертикальных ряда:

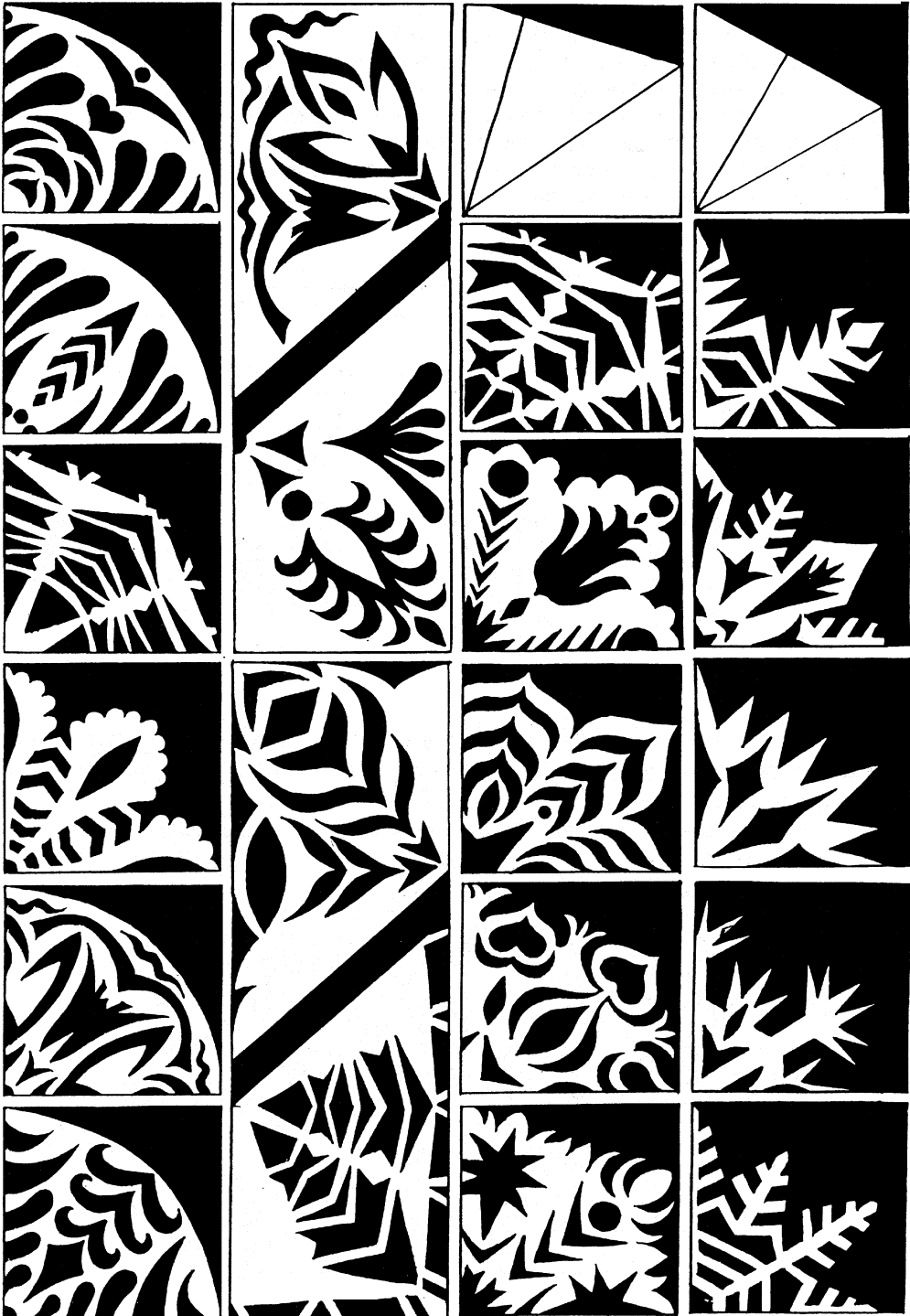
- первый ряд (I) — выкройки круглых «снежинок»;
- второй ряд (II) — выкройки четырёхугольных «снежинок»;
- третий ряд (III) — выкройки пятиугольных «снежинок»;
- четвёртый ряд (IV) — выкройки шестиугольных «снежинок».

I

II

III

IV



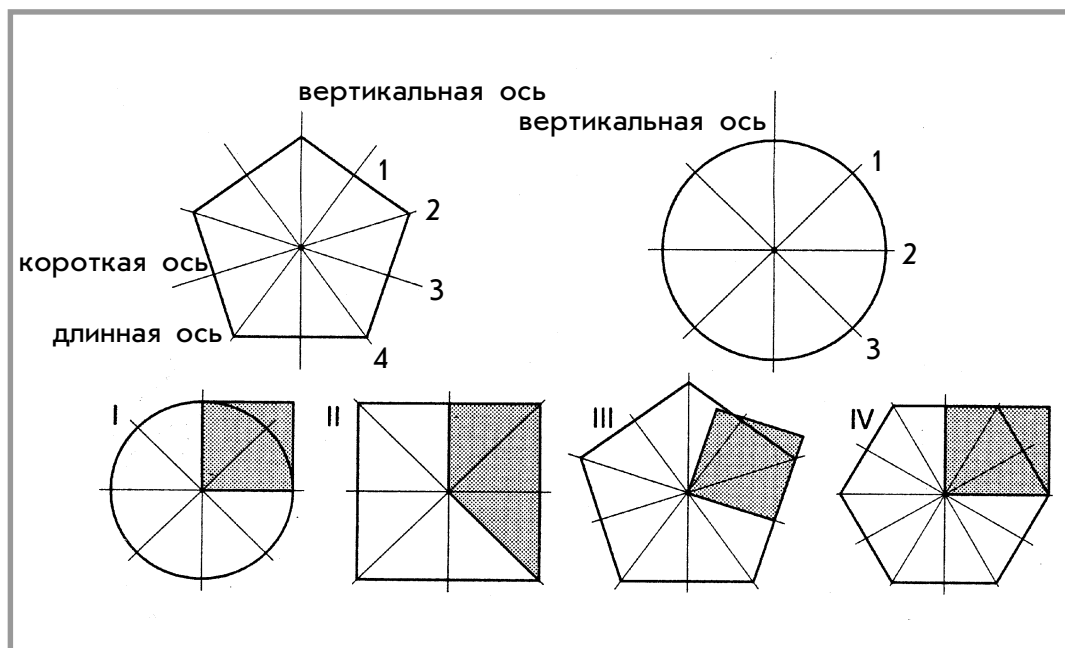
Посмотрите внимательно на «снежинки».

У каждой из них — 2 основных рисунка, симметрично расположенных, один — по обе стороны длинной оси, другой — короткой.

Вернёмся к нашему фонарику. Свободное поле каждого пентагона, где мы наклеим «снежинку», теперь стало меньше. Вырежем из чёрной бумаги 12 таких меньших пентагонов или кружков, или и тех и других. Рисунок «снежинки» можно выбрать любой из разных 17-ти, представленных на стр. 45. или придумать самому.

Давайте выберем 2-ой рисунок из III-го вертикального ряда.

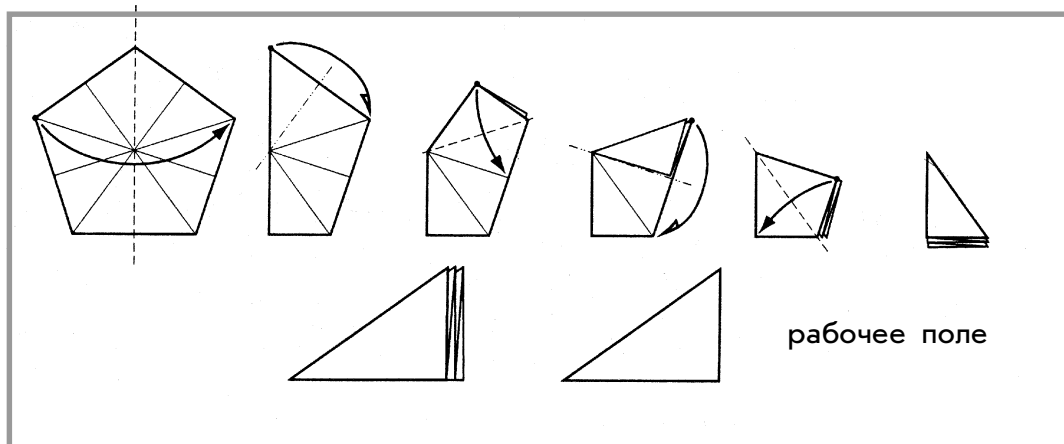
Прочертите тупым ножом основные оси пентагона и круга.



На листе выкроек показана заштрихованная на этих фигурах часть «снежинки». Оси делят фигуры на равные части. Значит, надо нанести рисунок только на одну такую часть, остальные повторятся.

Сложим наш пентагон по вертикальной оси пополам, затем сложим по оси 1 «от себя», продолжаем складывать — по оси 2 — «на себя», по оси 3 — «от себя» и по оси 4 — «на себя», как показано на рисунке (стр. 44).

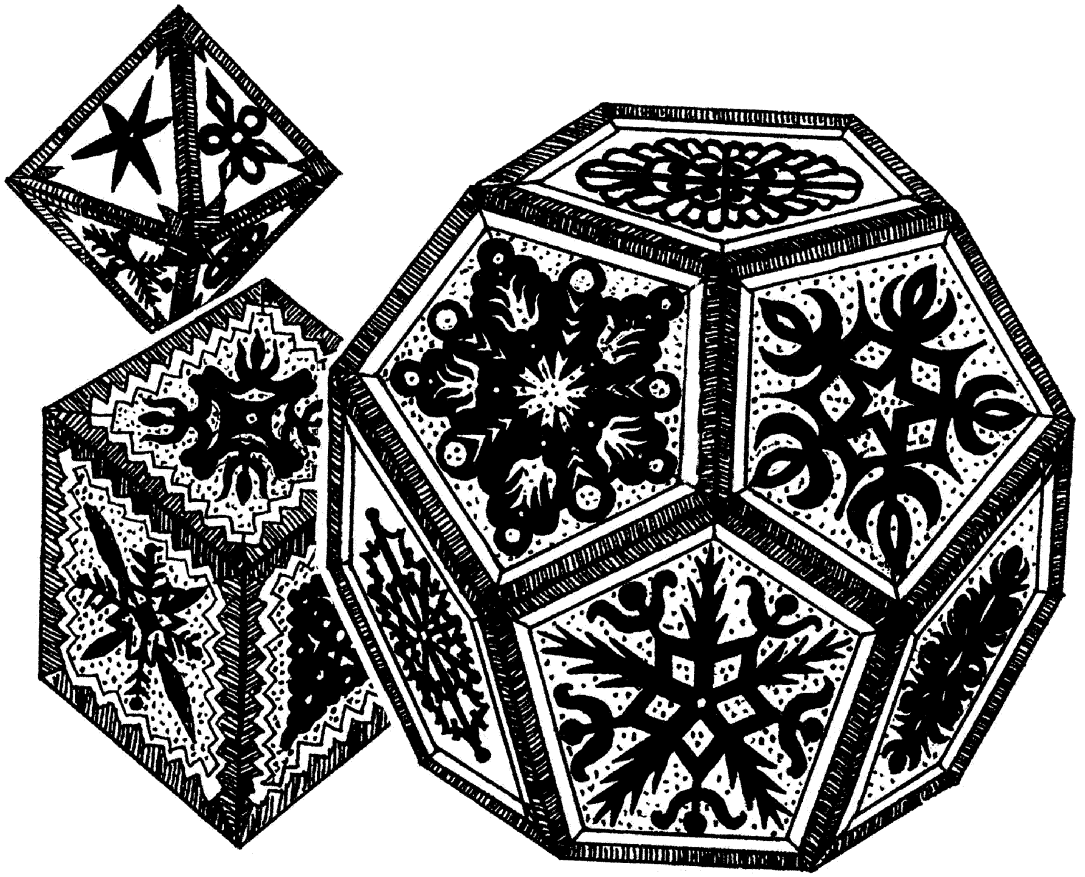
Можно положить кальку на сложенный пентагон и передавить рисунок, если размер рисунка вам подходит. Если рисунок больше или меньше вашего пентагона — срисуйте его с выкройки и вырежьте.



Можно не переносить рисунок с кальки на сложенный пентагон, а сразу вырезать рисунок вместе с калькой.

Осторожно и последовательно разверните «снежинку». Наклейте её на грань фонарика. Вам надо ещё 11 таких «снежинок». Успеха вам!

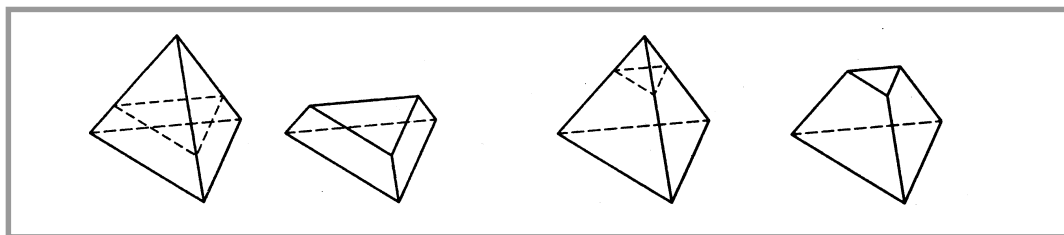
Получить рабочее поле других фигур можно по аналогии с пентагоном.



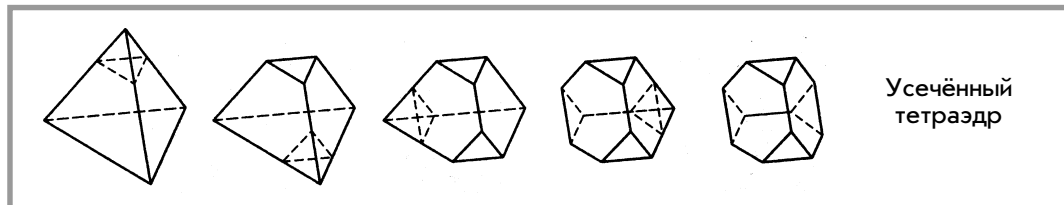
АРХИМЕДОВЫ ТЕЛА

Если гранями правильных многогранников или платоновых тел являются однотипные правильные многоугольники (только треугольники, только квадраты или только пентагоны), то гранями полуправильных многогранников или архимедовых тел являются правильные многоугольники разных типов. Существует только 13 полуправильных многогранников, открытие которых приписывается древнегреческому учёному Архимеду, впервые перечислившему их в недошедшей до нас рукописи. Ссылки на эту работу имеются в рукописях математика Паппа, который жил в III в. н. э.

Архимедовы тела частично получаются из платоновых тел в результате их усечения. Усечённое тело есть не что иное, как тело с отрезанной верхушкой.



Для платоновых тел это можно сделать таким образом, что и получающиеся новые грани, и остающиеся части старых будут правильными многоугольниками. Например, тетраэдр можно усечь так, что его четыре треугольные грани превратятся в четыре гексагональные, а к ним добавятся четыре новые правильные треугольные грани.



Так могут быть получены первые пять архимедовых тел: усечённый тетраэдр, усечённый гексаэдр, усечённый октаэдр, усечённый додекаэдр и усечённый икосаэдр.

Вторая группа архимедовых тел представлена двумя многогранниками, являющимися результатом пересечения двух платоновых тел подходящих размеров и расположенных так, что их центры совпадают.

Это — кубооктаэдр, являющийся результатом пересечения куба и октаэдра, и гексододекаэдр, являющийся результатом пересечения икосаэдра и додекаэдра.

В свою очередь в итоге усечения кубооктаэдра и икосододекаэдра получены два следующих многогранника — ромбокубооктаэдр и ромбоикосододекаэдр. Дальнейшие видоизменения могут превратить их в два других многогранника — ромбоусечённый кубооктаэдр и ромбоусечённый икосододекаэдр. И, наконец, последние 2 архимедовых тела, «курносые» виды — один для куба, другой для додекаэдра — курносый куб и курносый додекаэдр.

На следующих страницах представлены схемы выкроек архимедовых тел. Легко можно заметить, что все рёбра каждого такого многогранника равны между собой. 10 из 13 архимедовых тел ограничены многоугольниками двух разных типов, 3 из них ограничены многоугольниками трёх разных типов.

Усечённый тетраэдр

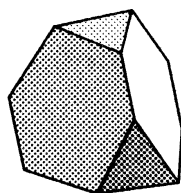
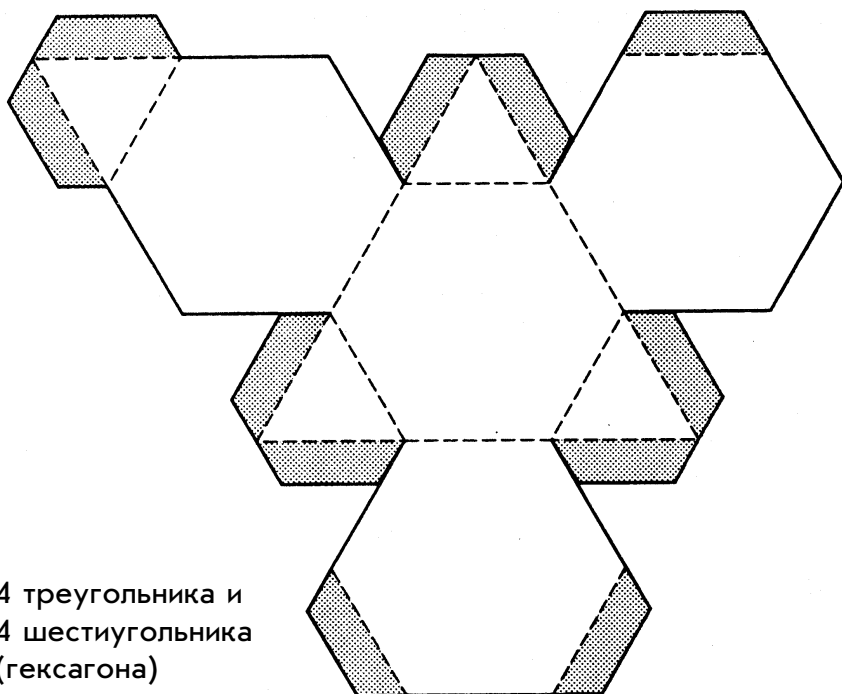
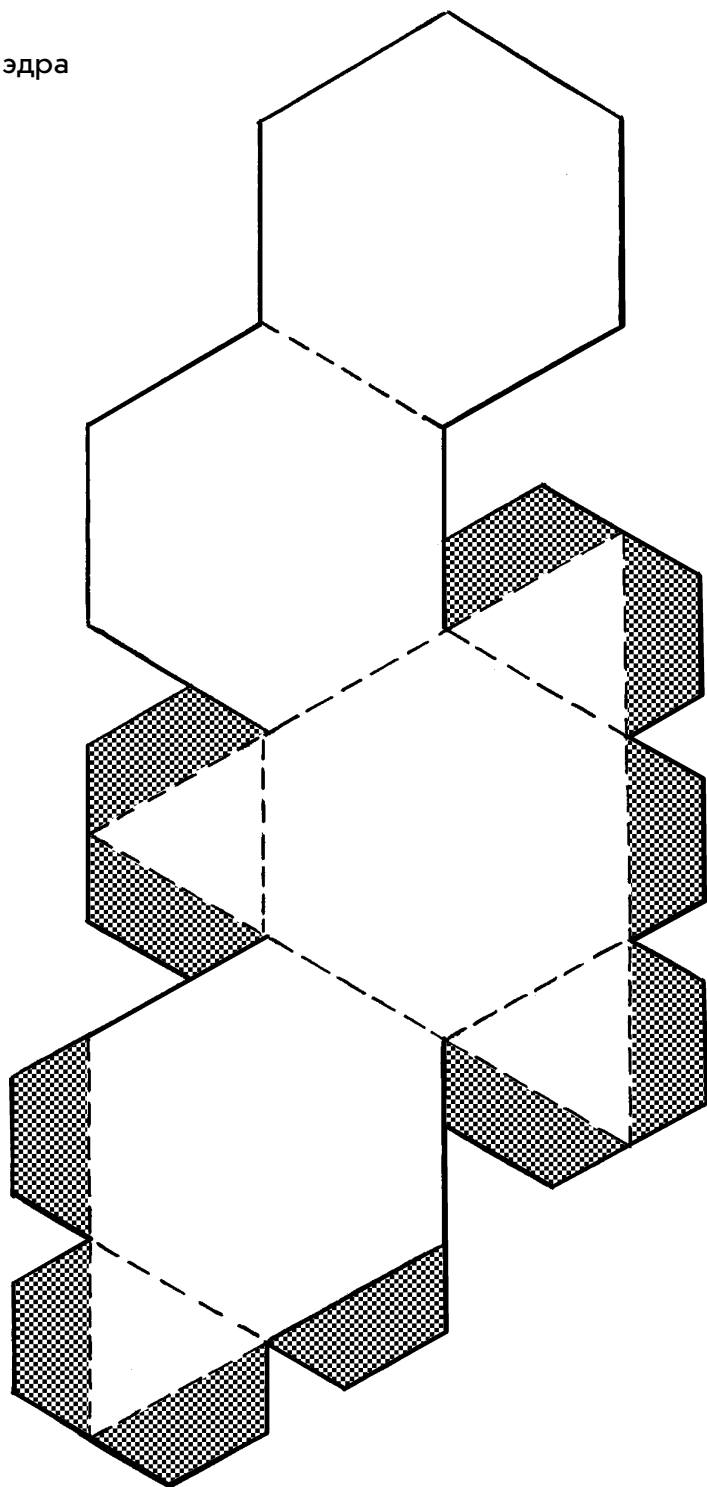


Схема усечённого тетраэдра

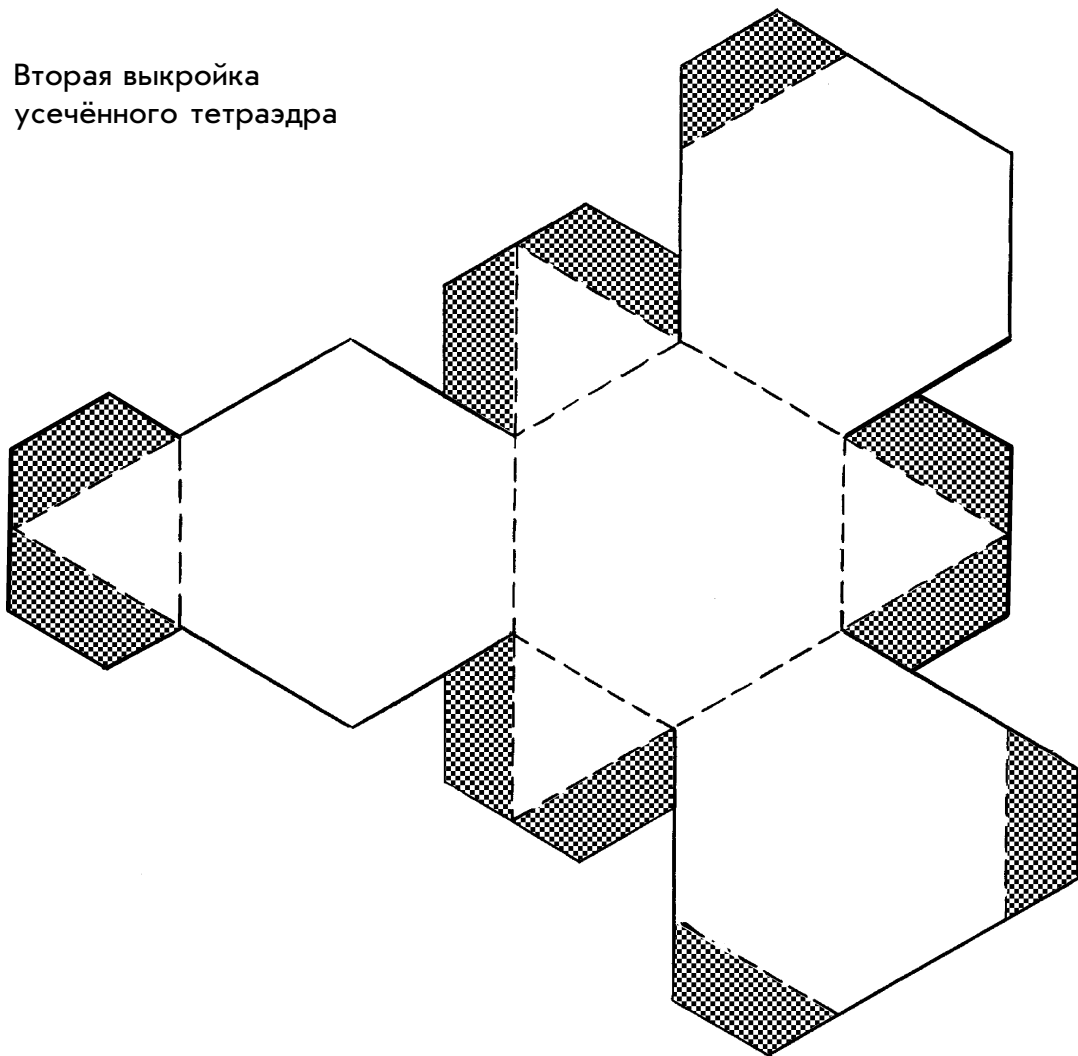


4 треугольника и
4 шестиугольника
(гексагона)

Первая выкройка
усечённого тетраэдра



Вторая выкройка
усечённого тетраэдра



Усечённый октаэдр

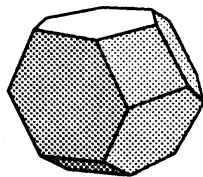
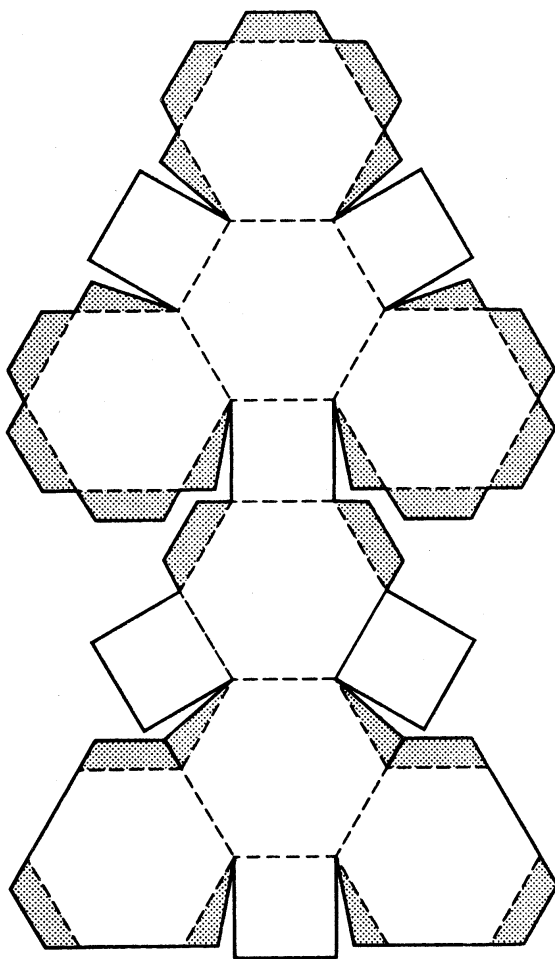


Схема усечённого октаэдра

6 квадратов и
8 гексагонов



Выкройка усечённого октаэдра

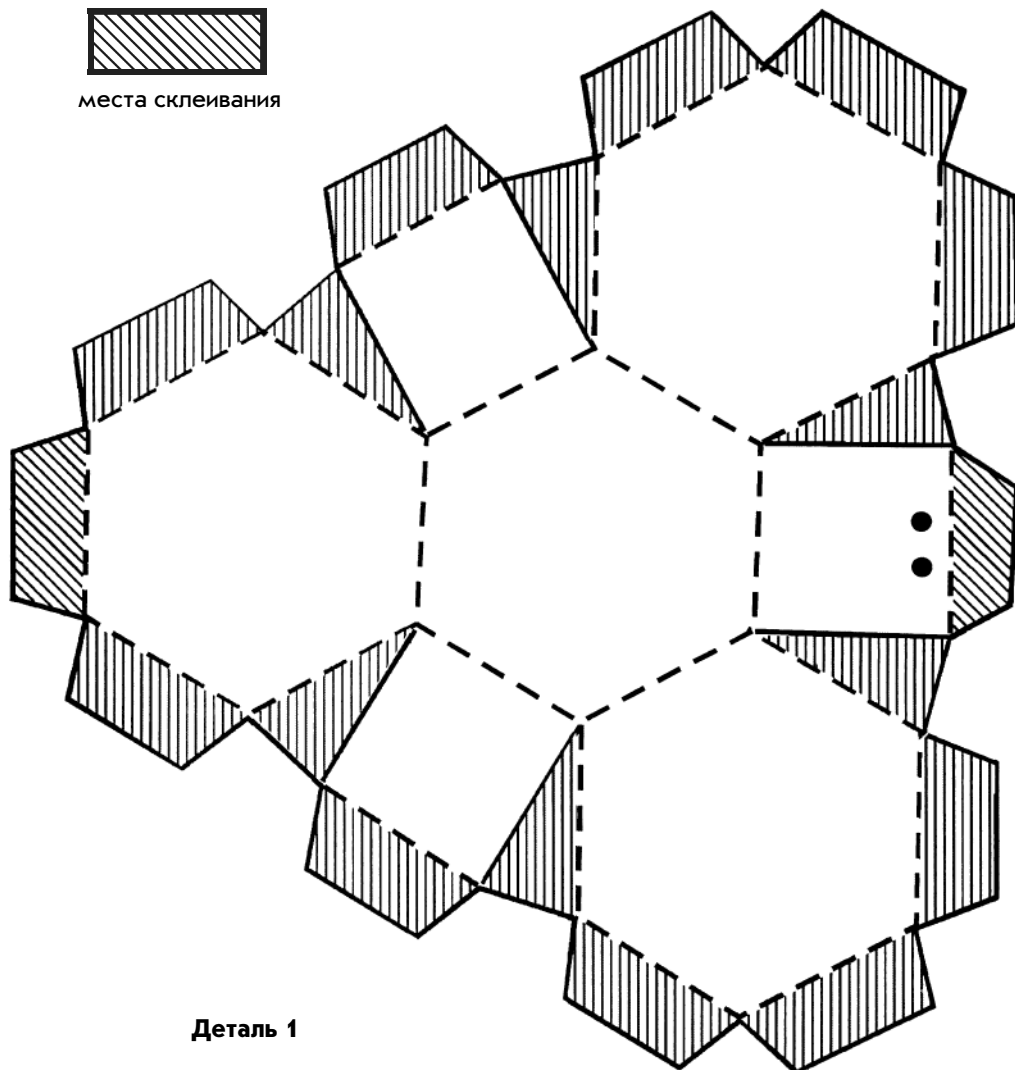
———
линии надреза

● место соединения
деталей

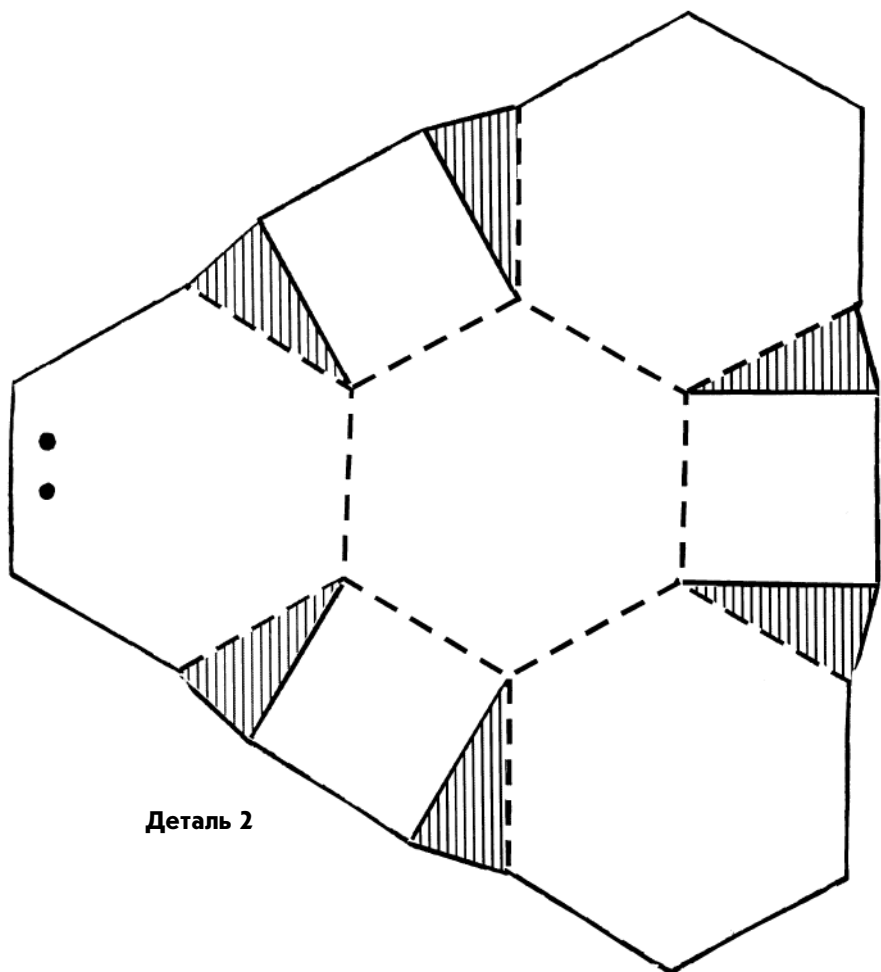
- - - -
линии сгиба



места склеивания



Деталь 1



Деталь 2

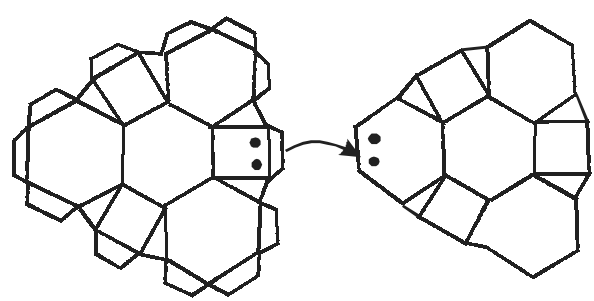


Схема соединения
деталей 1 и 2

Усечённый куб

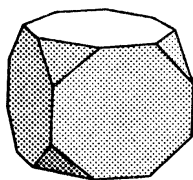
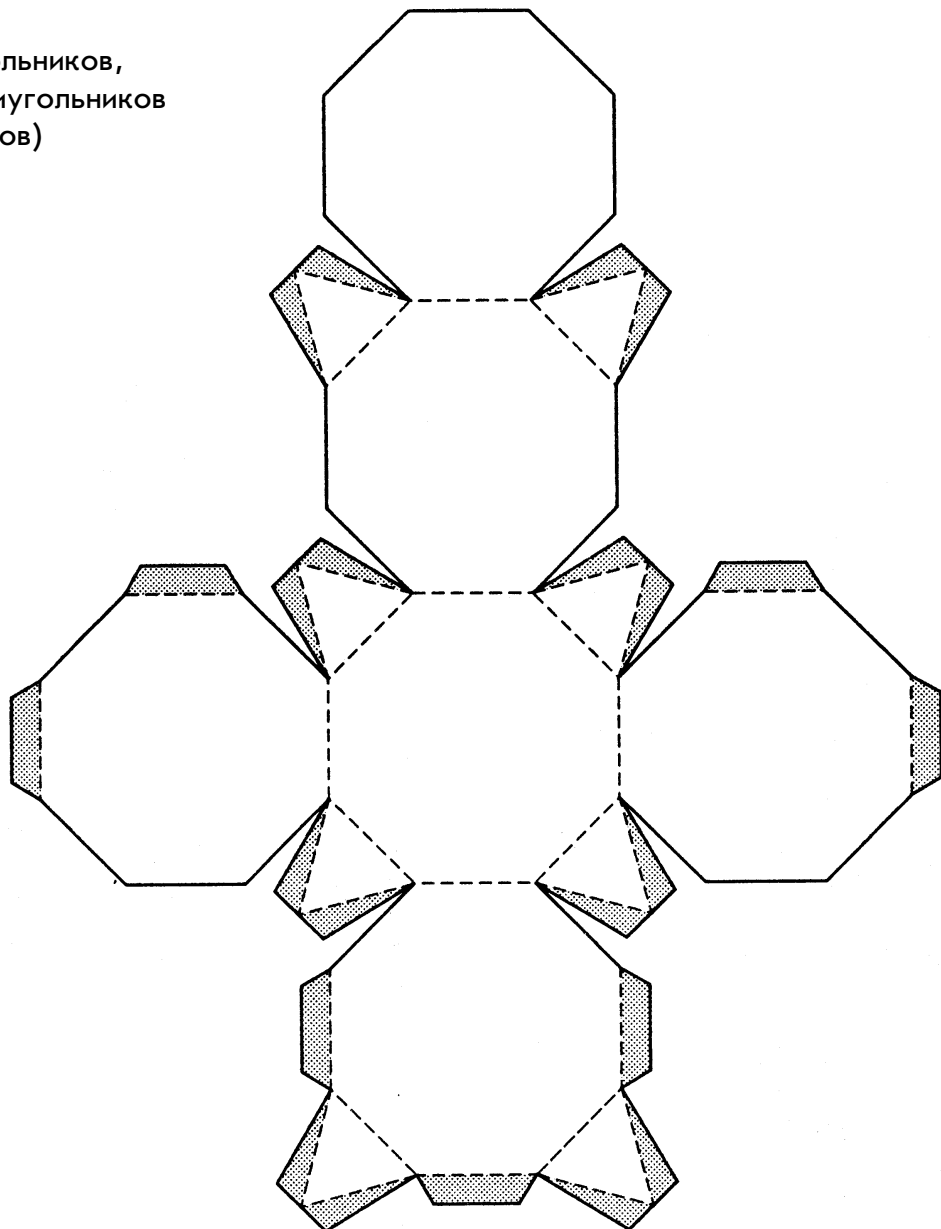


Схема и выкройка усечённого куба

8 треугольников,
6 восьмиугольников
(октагонов)



Усечённый икосаэдр

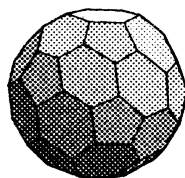
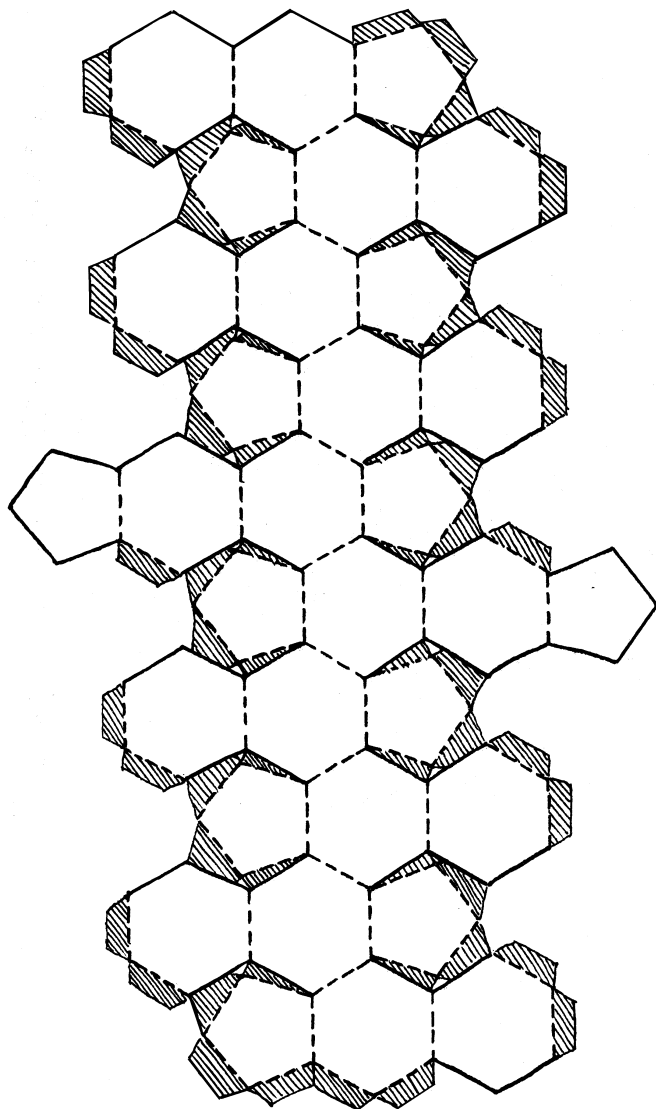


Схема усечённого икосаэдра

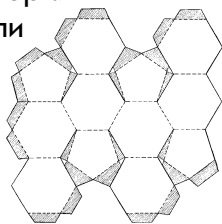
Вариант I
1 деталь

12 пентагонов и
20 гексагонов

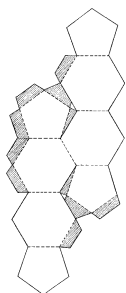


Выкройка усечённого икосаэдра

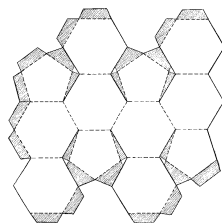
Схема сборки модели



Деталь 1

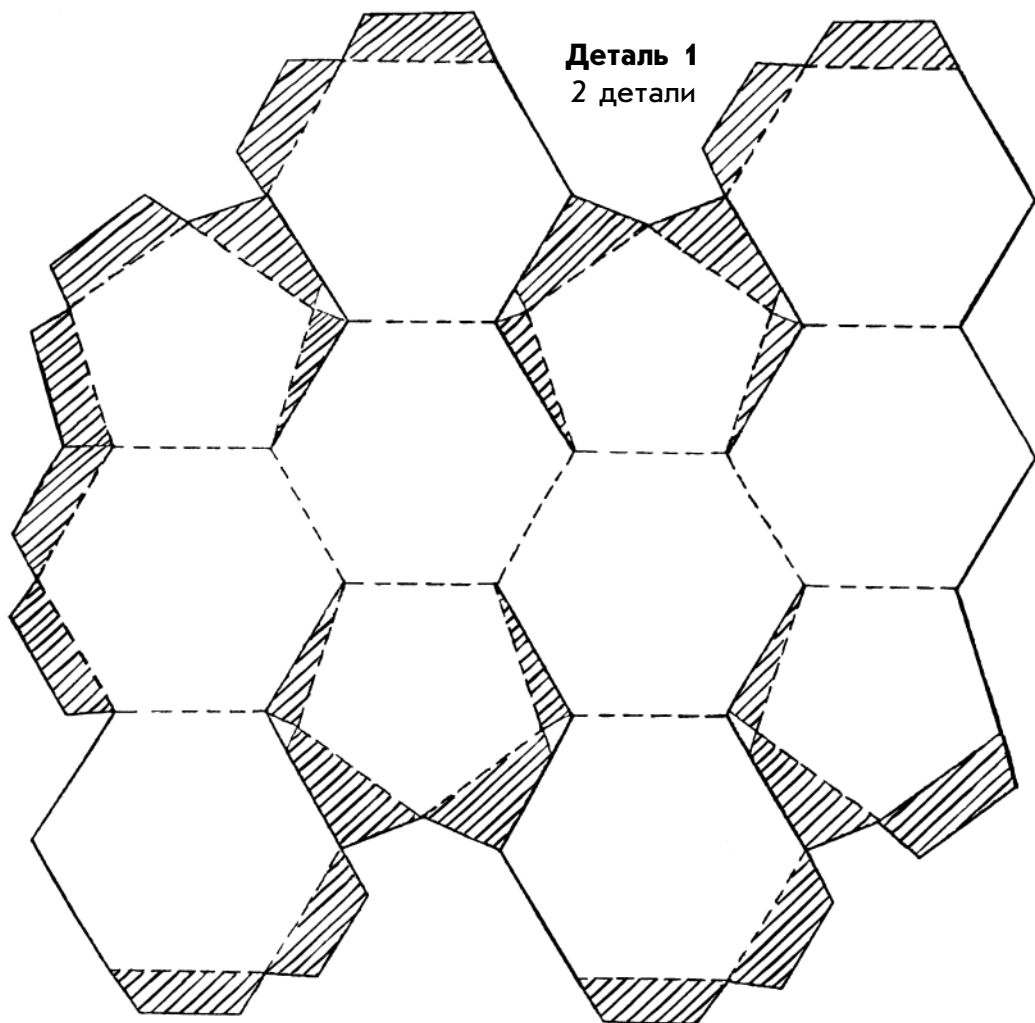


Деталь 2



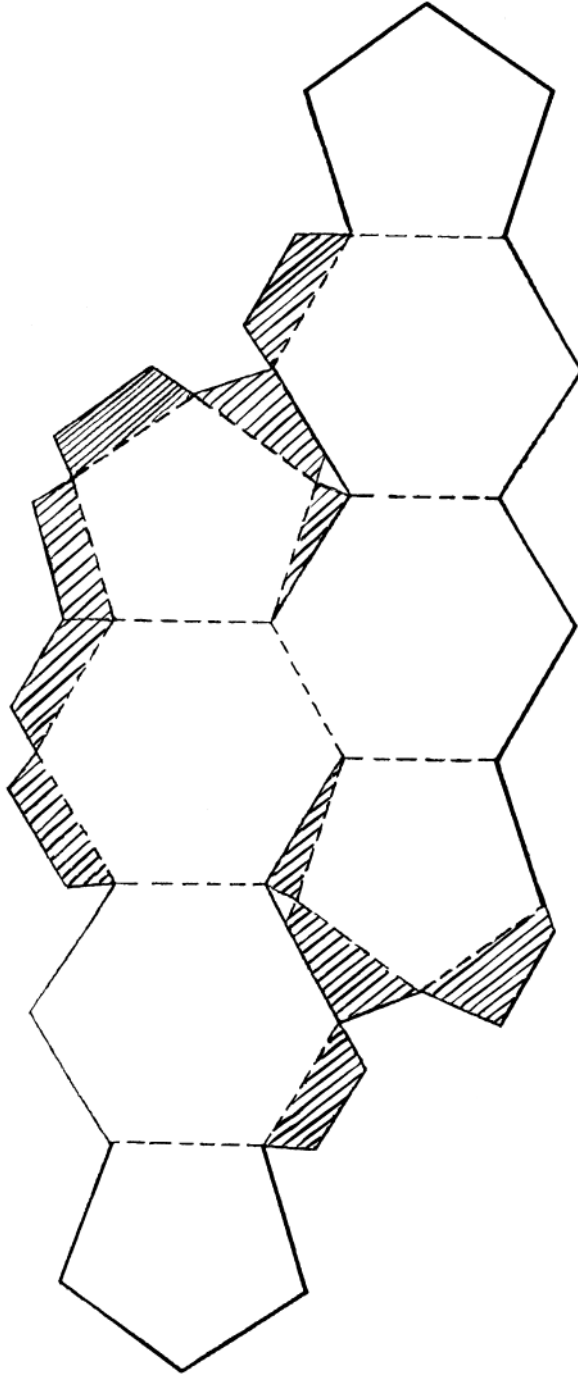
Деталь 1

Вариант II
3 детали



Деталь 1
2 детали

Деталь 2
1 деталь



Усечённый додекаэдр

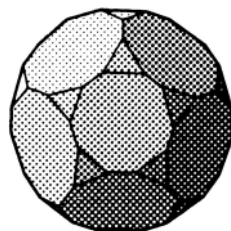


Схема усечённого додекаэдра

Вариант I

20 треугольников и
12 десятиугольников
или декагонов

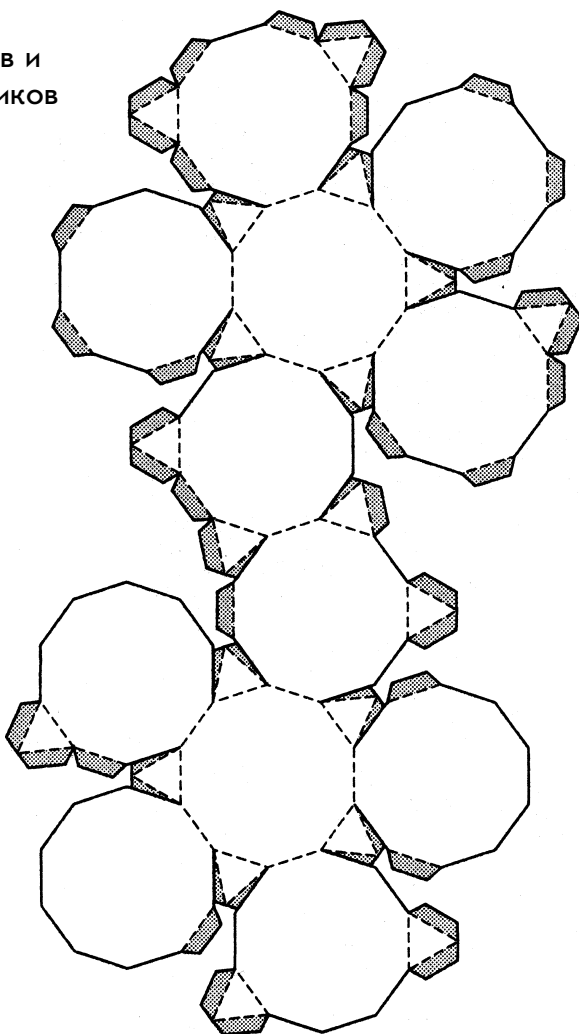
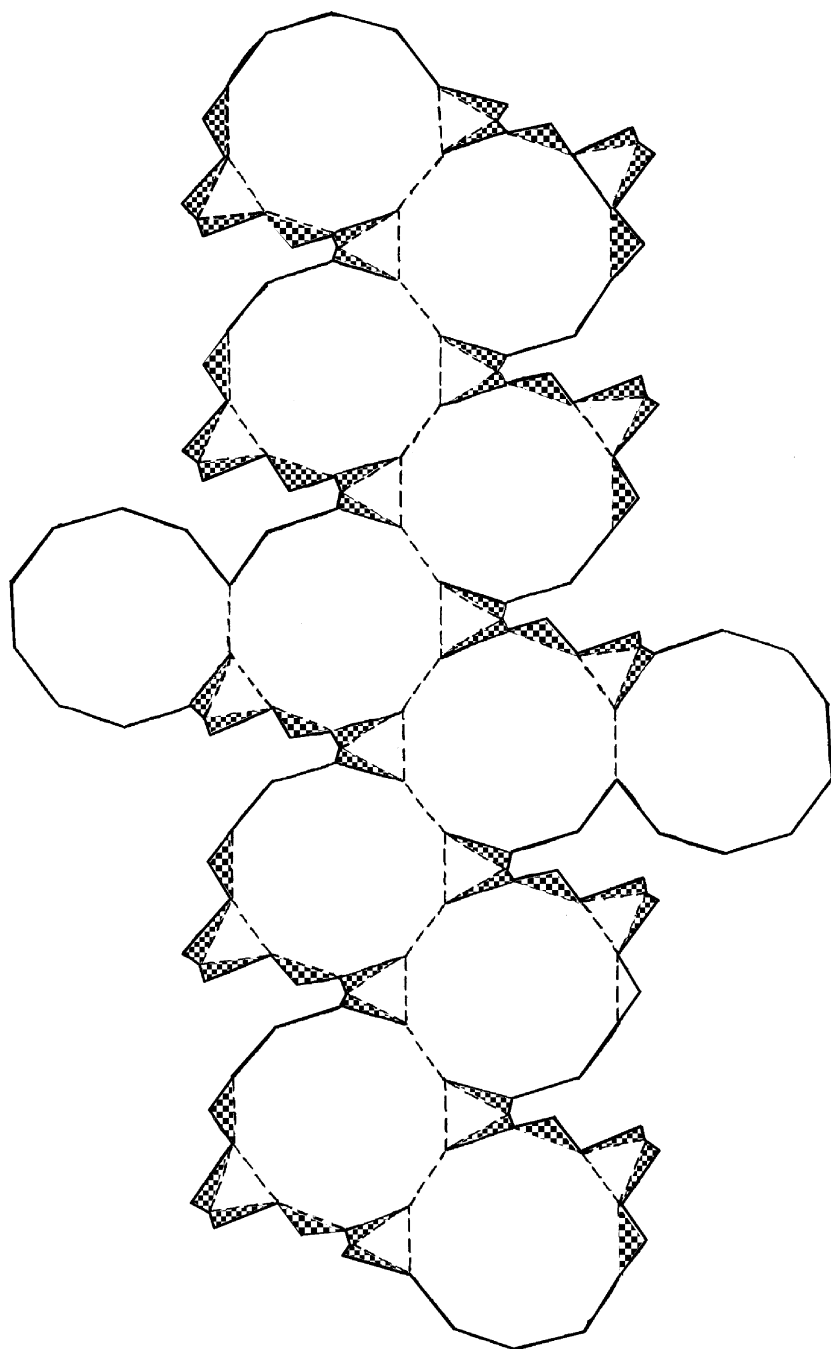


Схема усечённого додекаэдра

Вариант II



Выкройка усечённого додекаэдра

Вариант I

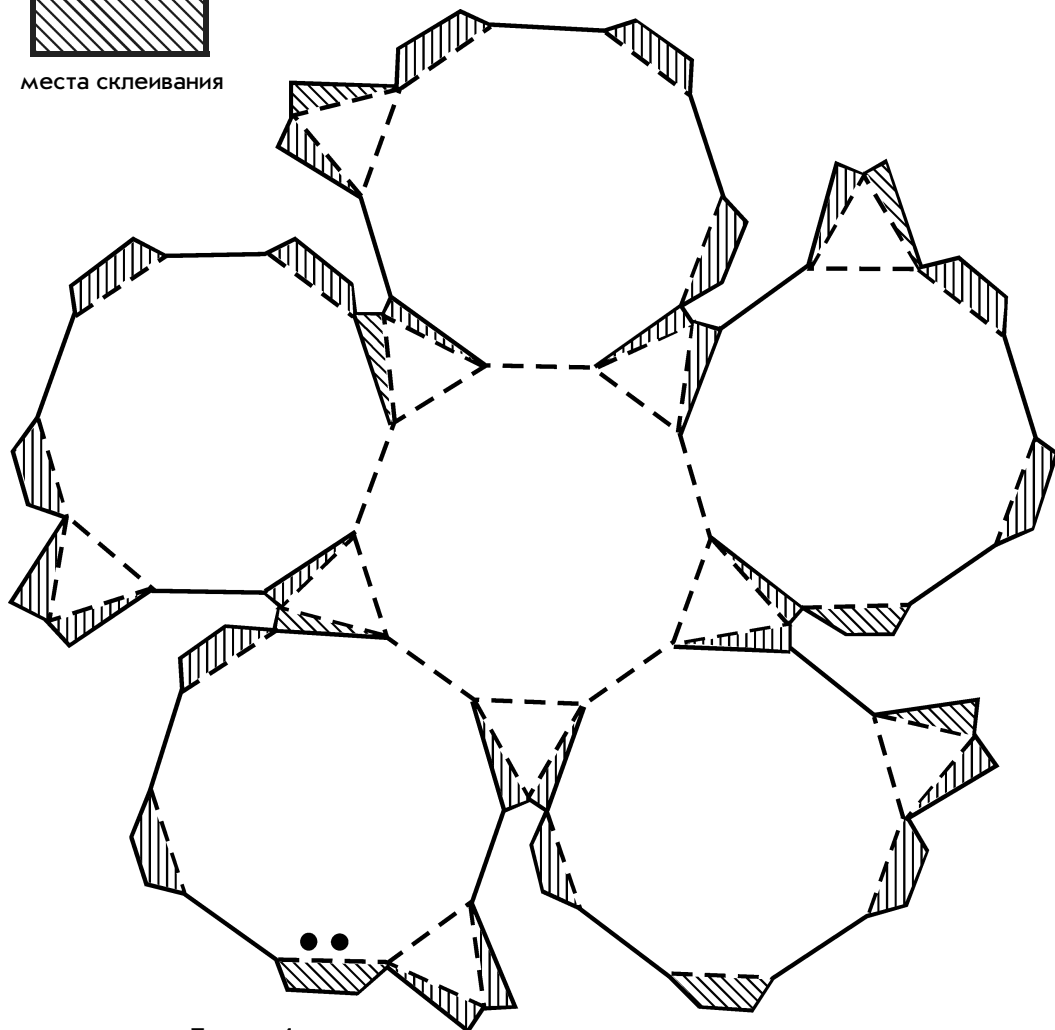
———
линии надреза

● место соединения
деталей

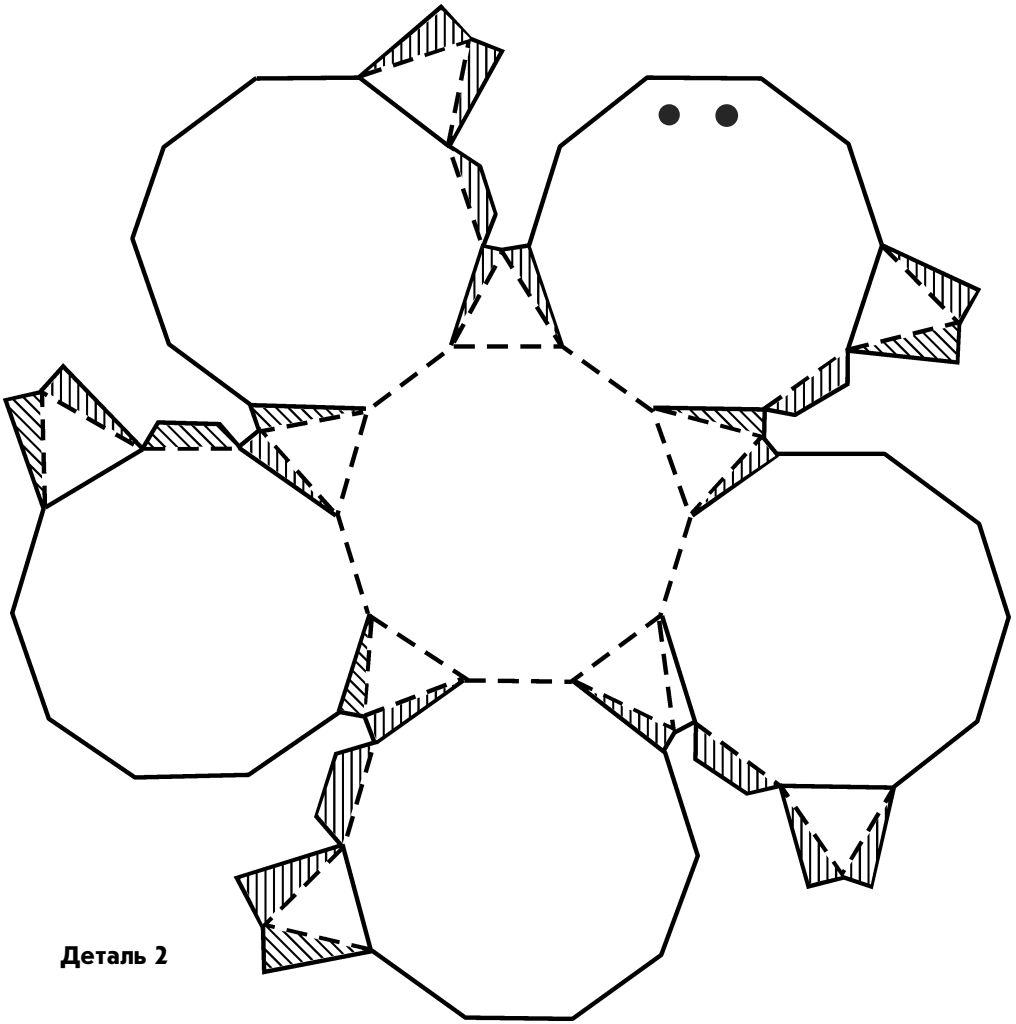
- - - - -
линии сгиба



места склеивания

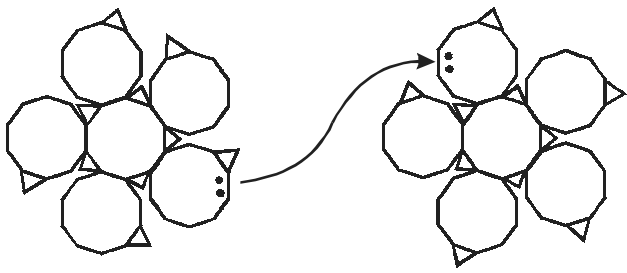


Деталь 1



Деталь 2

Схема соединения деталей 1 и 2



Деталь 1

Деталь 2

Икосододекаэдр

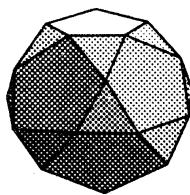
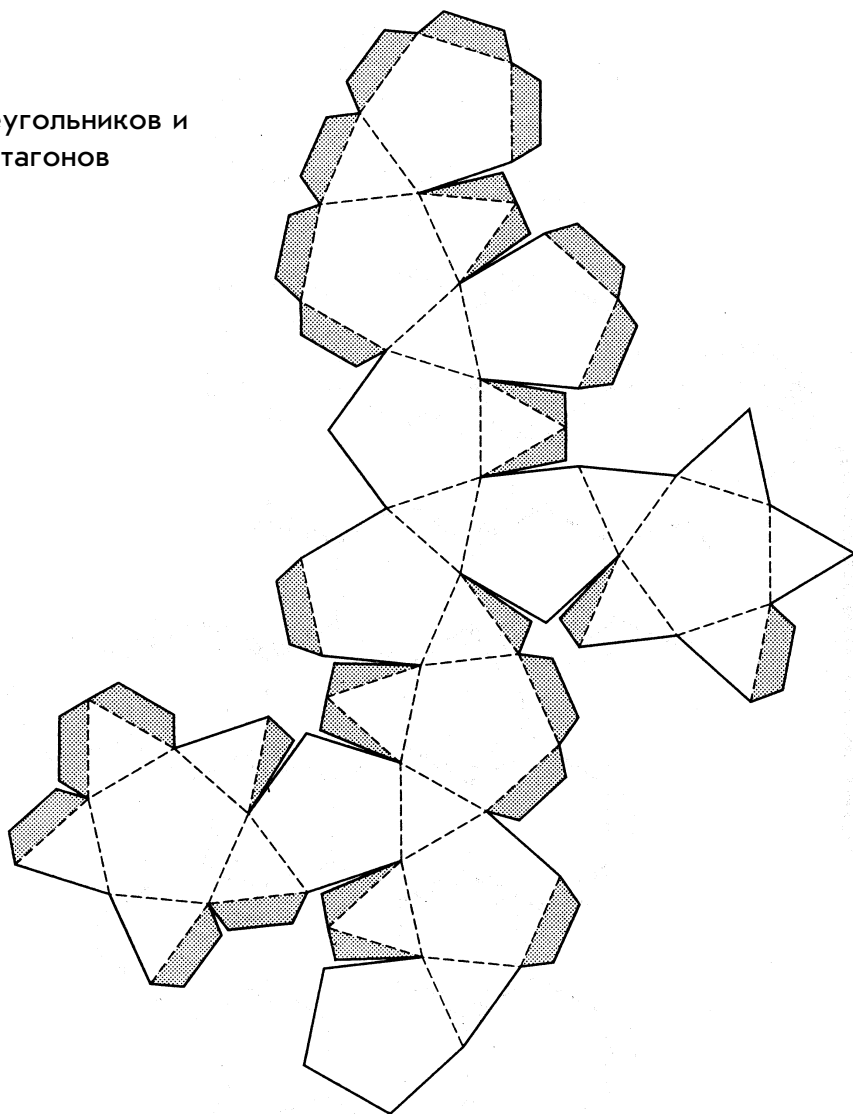
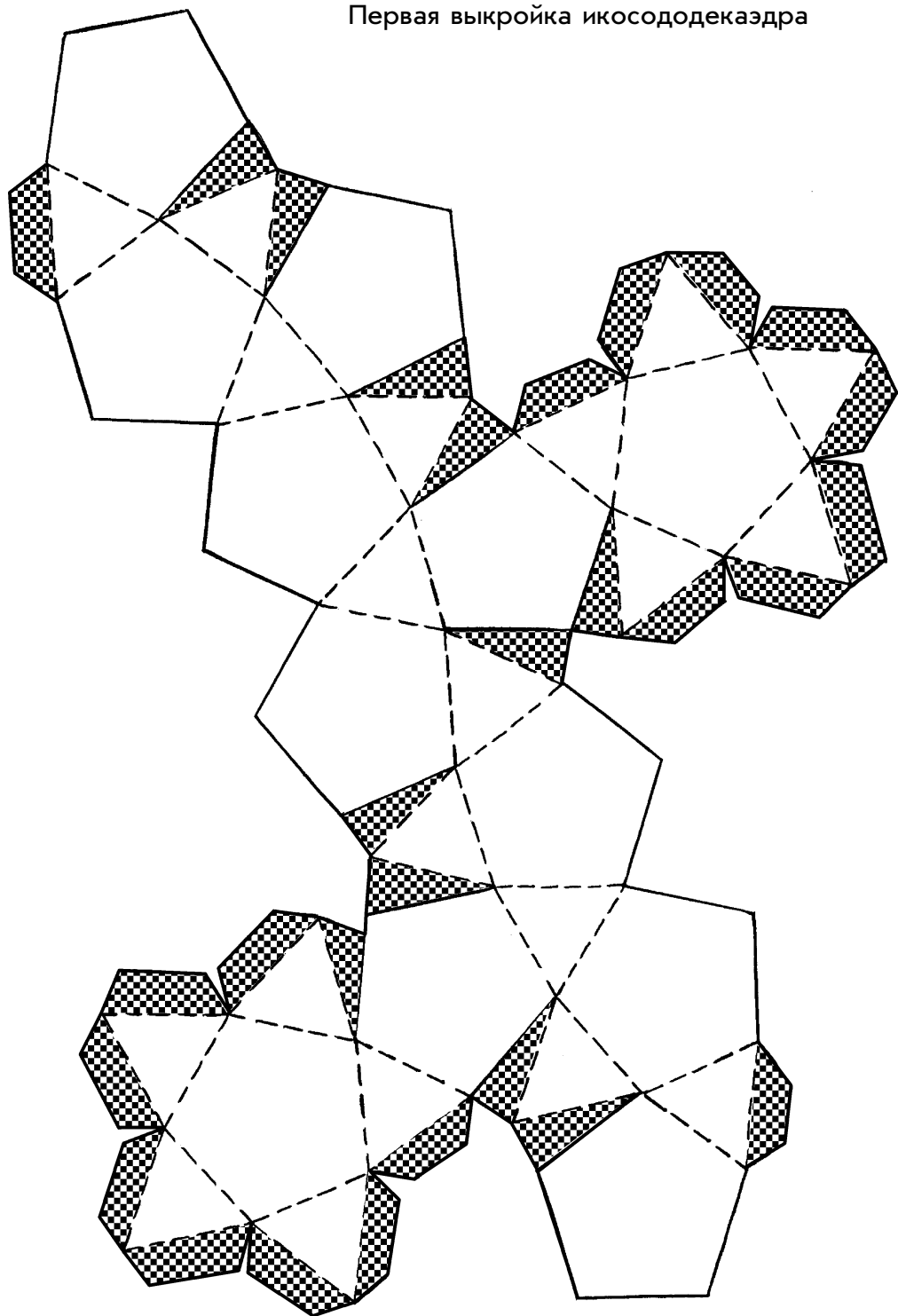


Схема икосододекаэдра

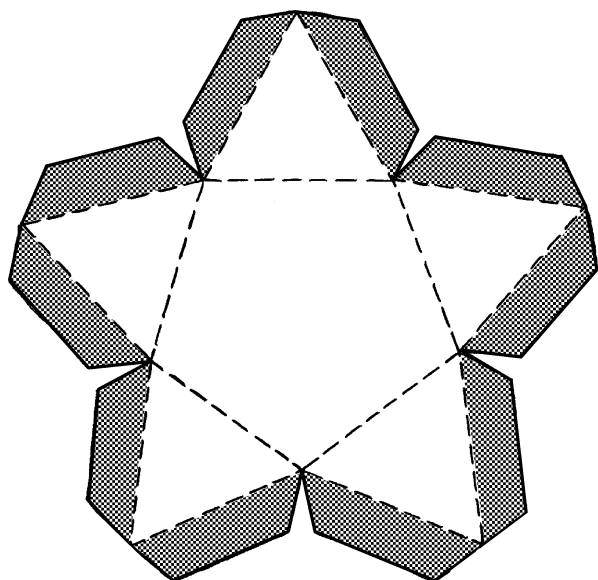
20 треугольников и
12 пентагонов



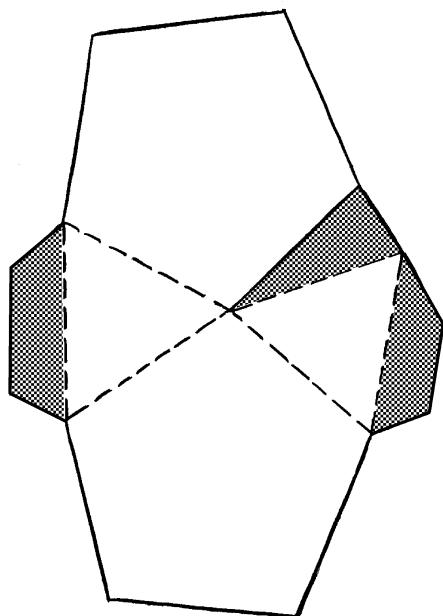
Первая выкройка икосододекаэдра



Вторая выкройка икосододекаэдра

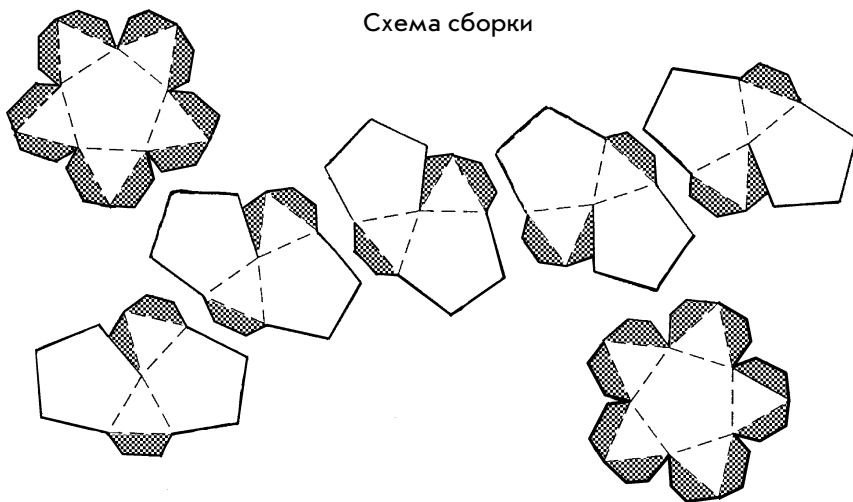


Деталь 1
2 детали



Деталь 2
5 деталей

Схема сборки



Ромбокубооктаэдр

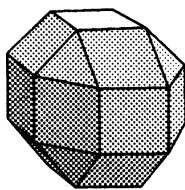
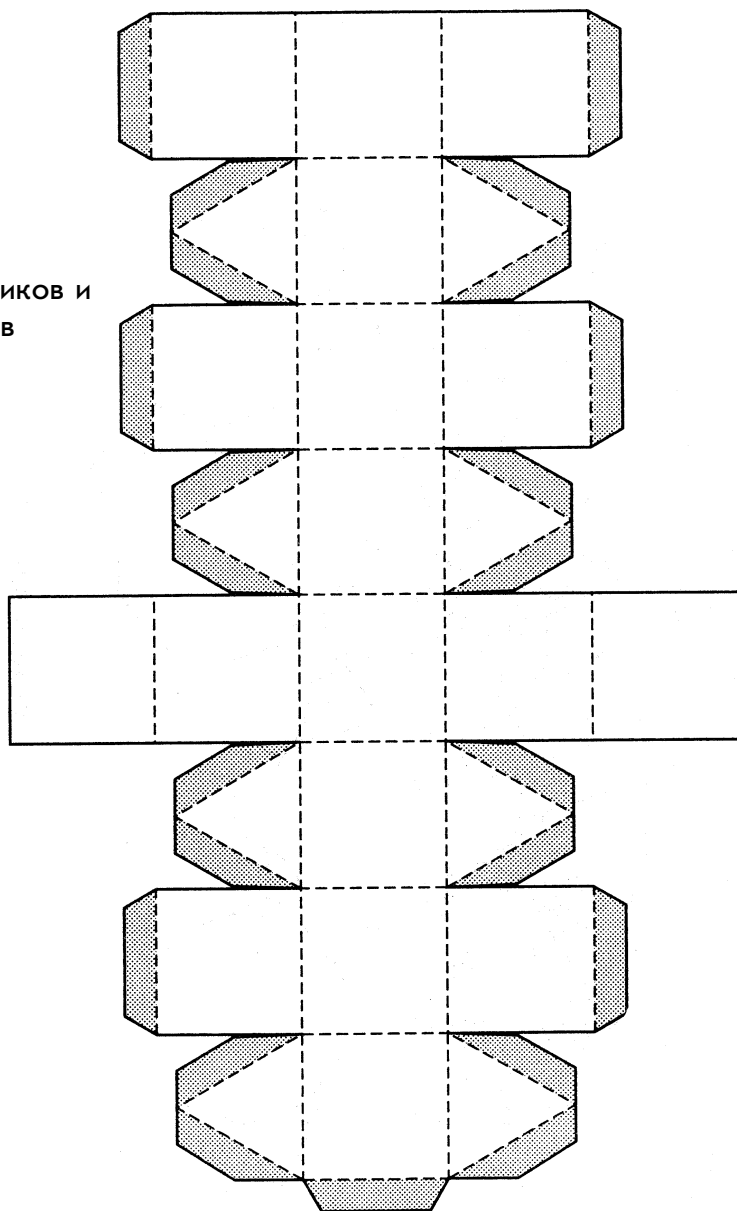


Схема ромбокубооктаэдра

8 треугольников и
18 квадратов



Кубоктаэдр

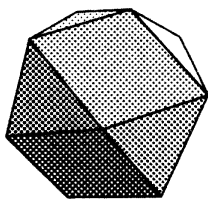
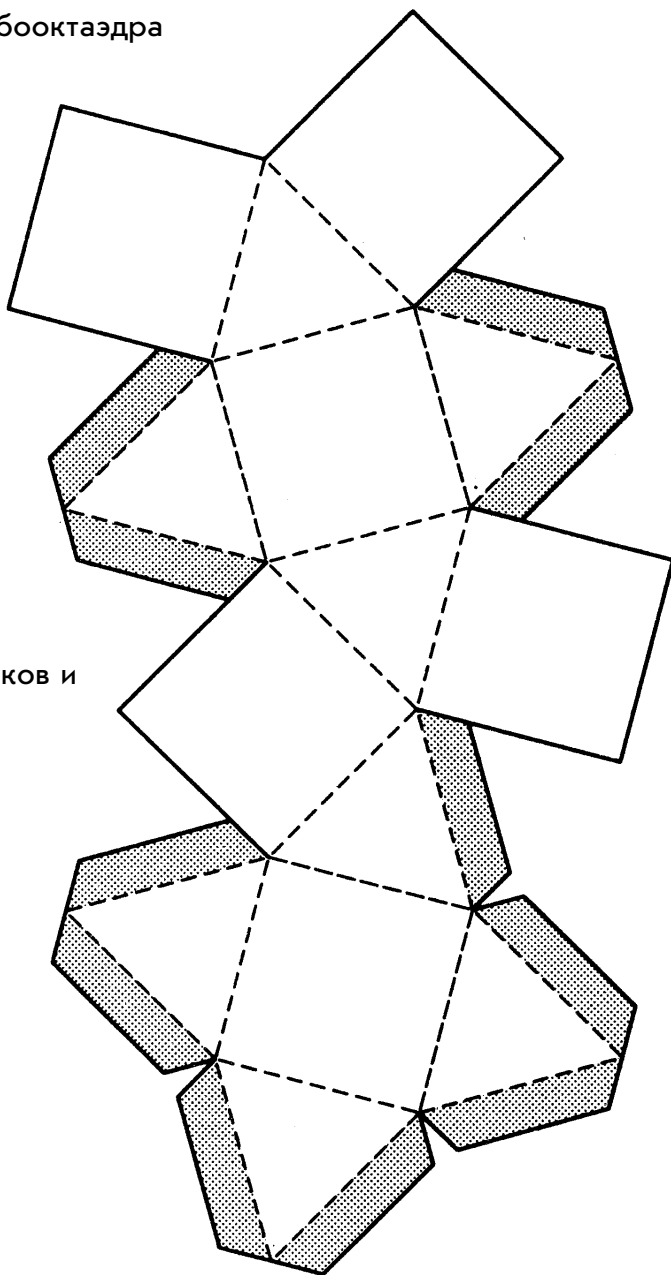
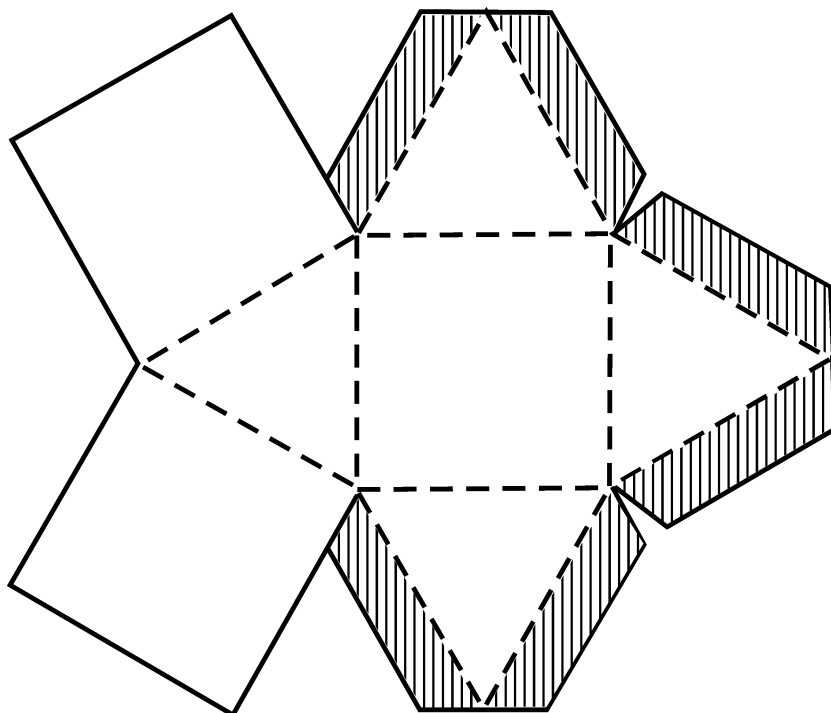


Схема кубоктаэдра



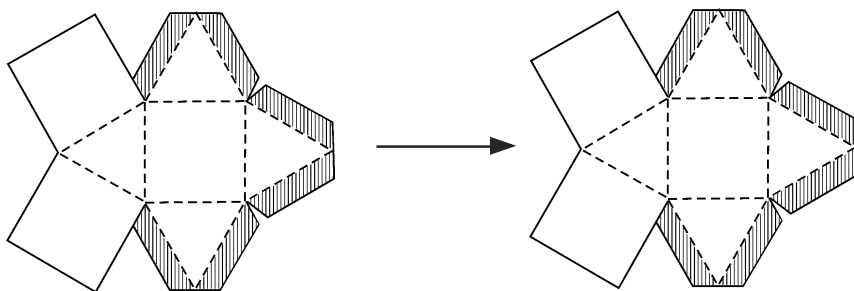
8 треугольников и
6 квадратов

Выкройка кубооктаэдра



Для модели надо таких 2 детали

Схема сборки кубооктаэдра



Ромбоикосододекаэдр

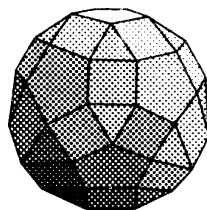


Схема ромбоикосододекаэдра

20 треугольников,
30 квадратов и
12 пентагонов

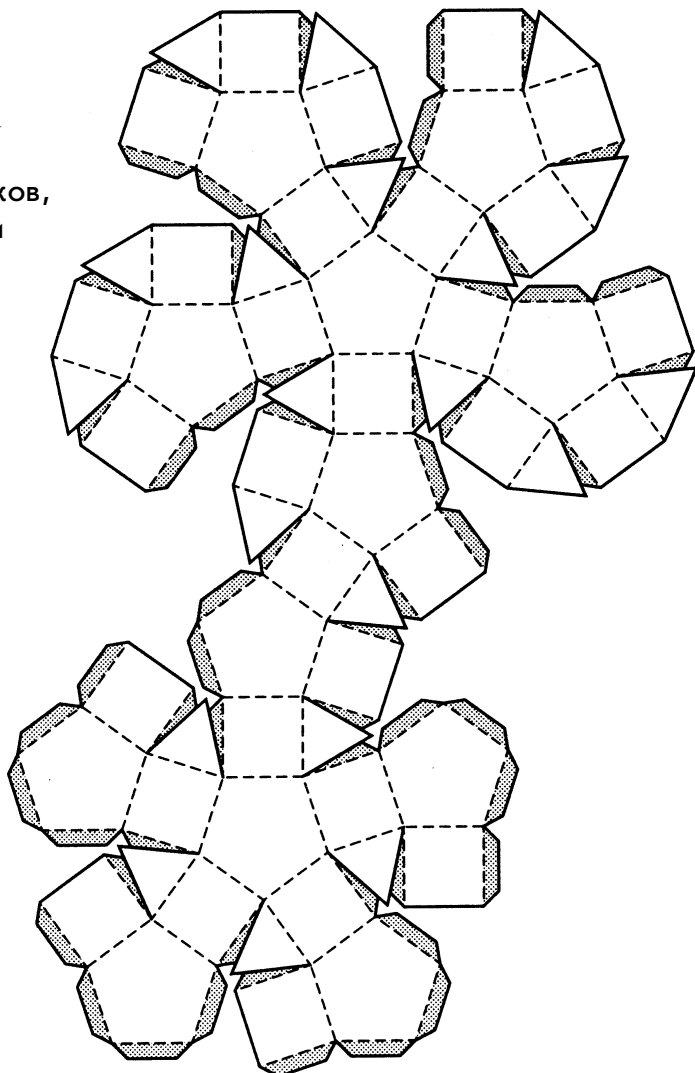
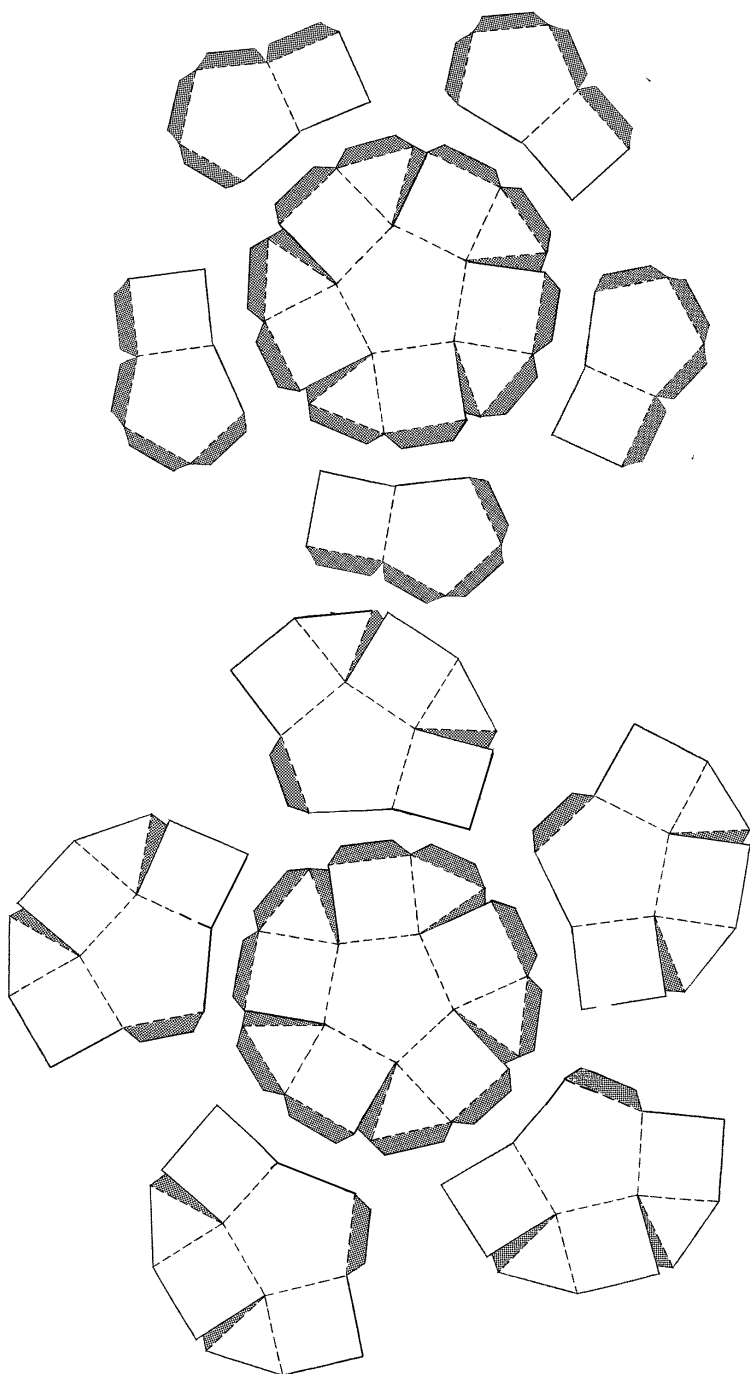
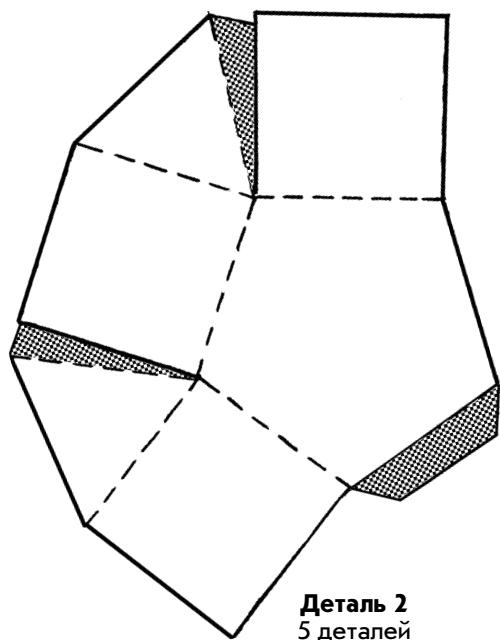
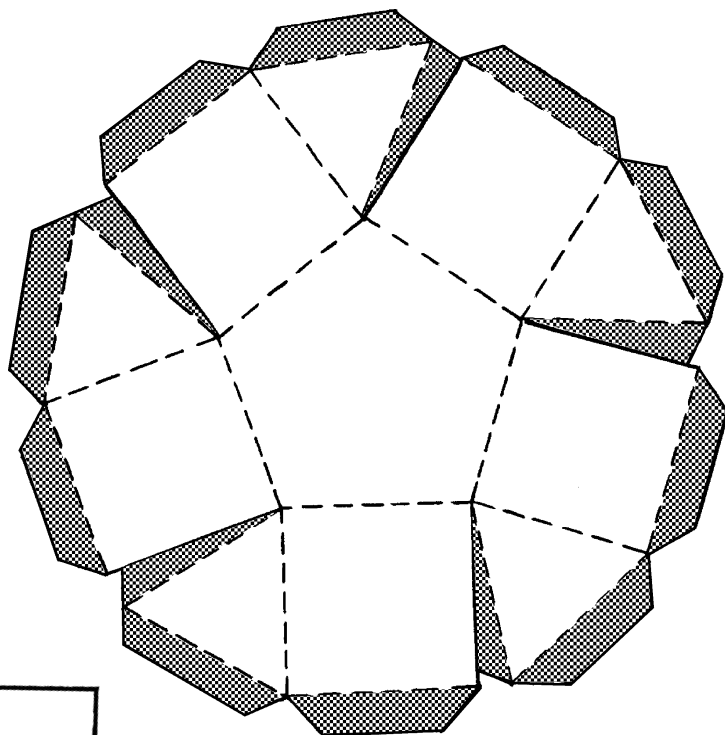


Схема сборки ромбоикосододекаэдра

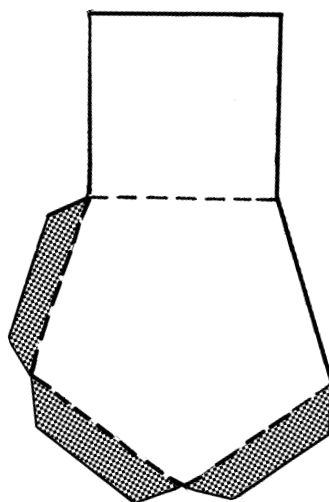


Выкройка ромбоикосододекаэдра

Деталь 1
2 детали



Деталь 2
5 деталей



Деталь 3
5 деталей

«Курносый» додекаэдр

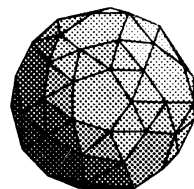


Схема «курносого» додекаэдра

Вариант I

80 треугольников и
12 пентагонов

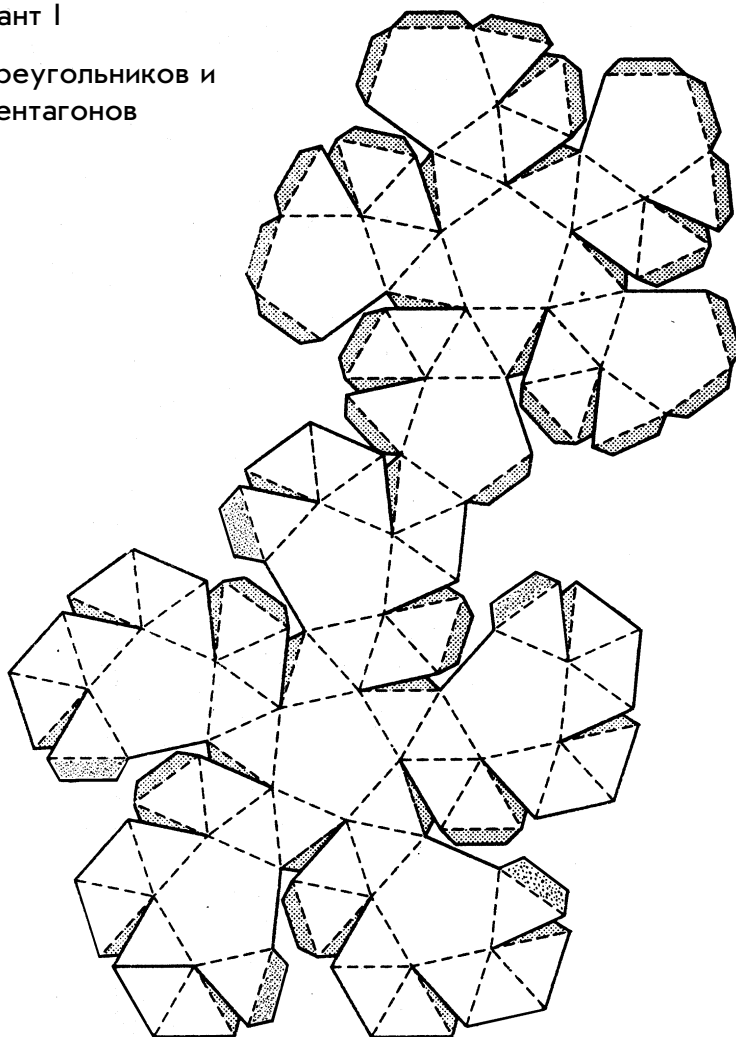
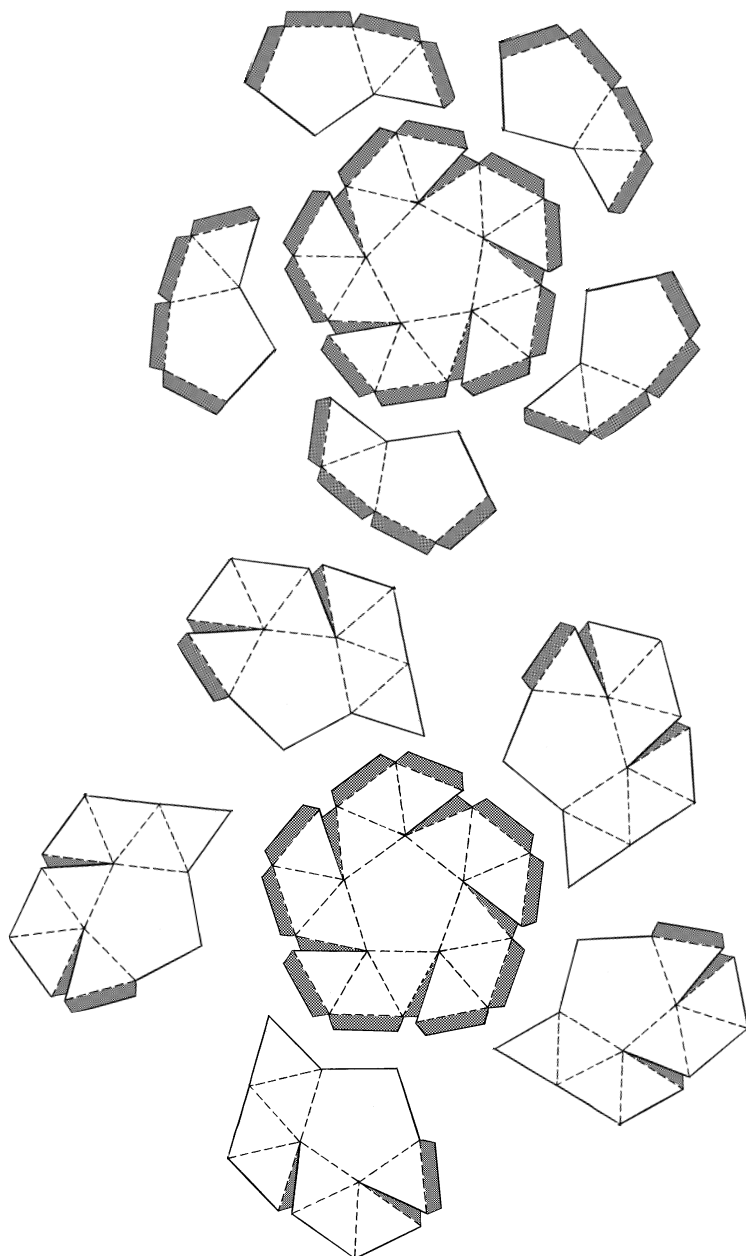
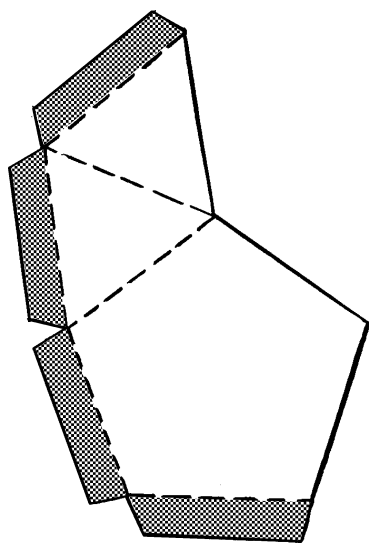
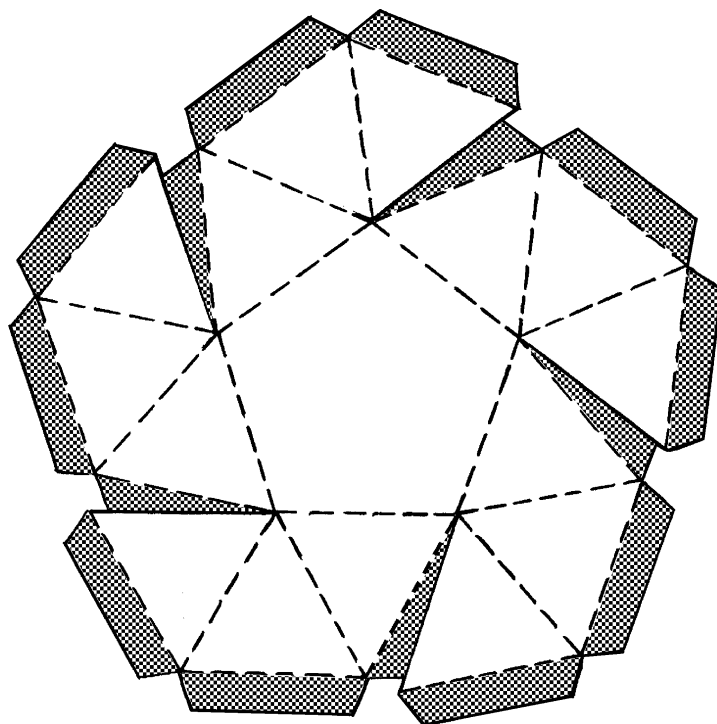


Схема сборки «курносого» додекаэдра

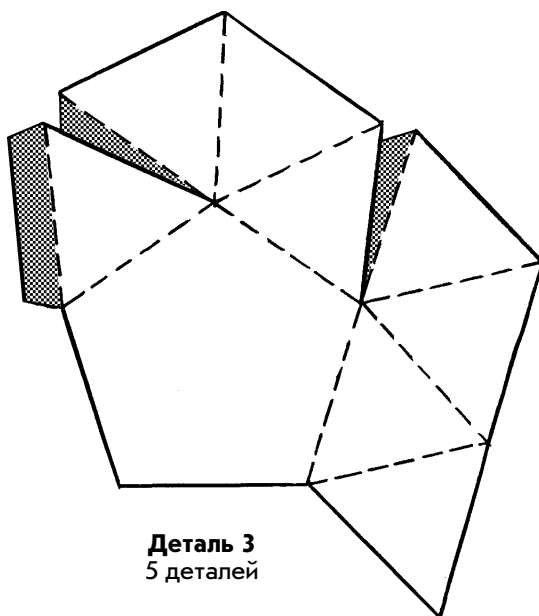


Выкройка «курносого» додекаэдра

Деталь 1
2 детали



Деталь 2
5 деталей



Деталь 3
5 деталей

«Курносый» куб

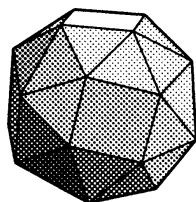
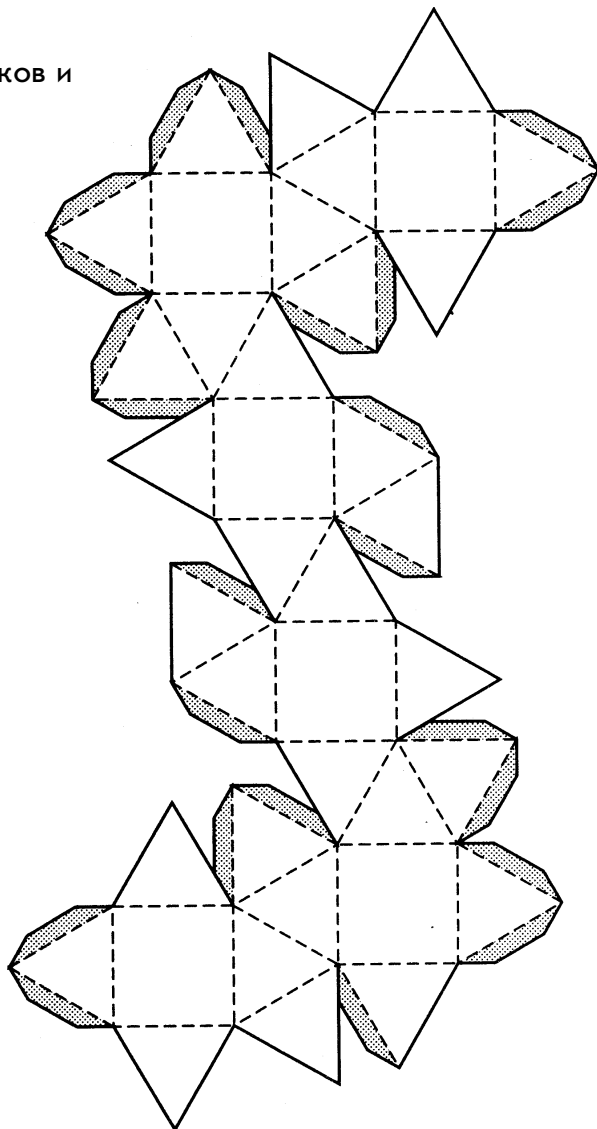


Схема «курносого» куба

32 треугольников и
6 квадратов



Выкройка «курносого» куба

линии надреза

линии сгиба



места склеивания

- место соединения
- деталей

Для модели нужно
две таких детали

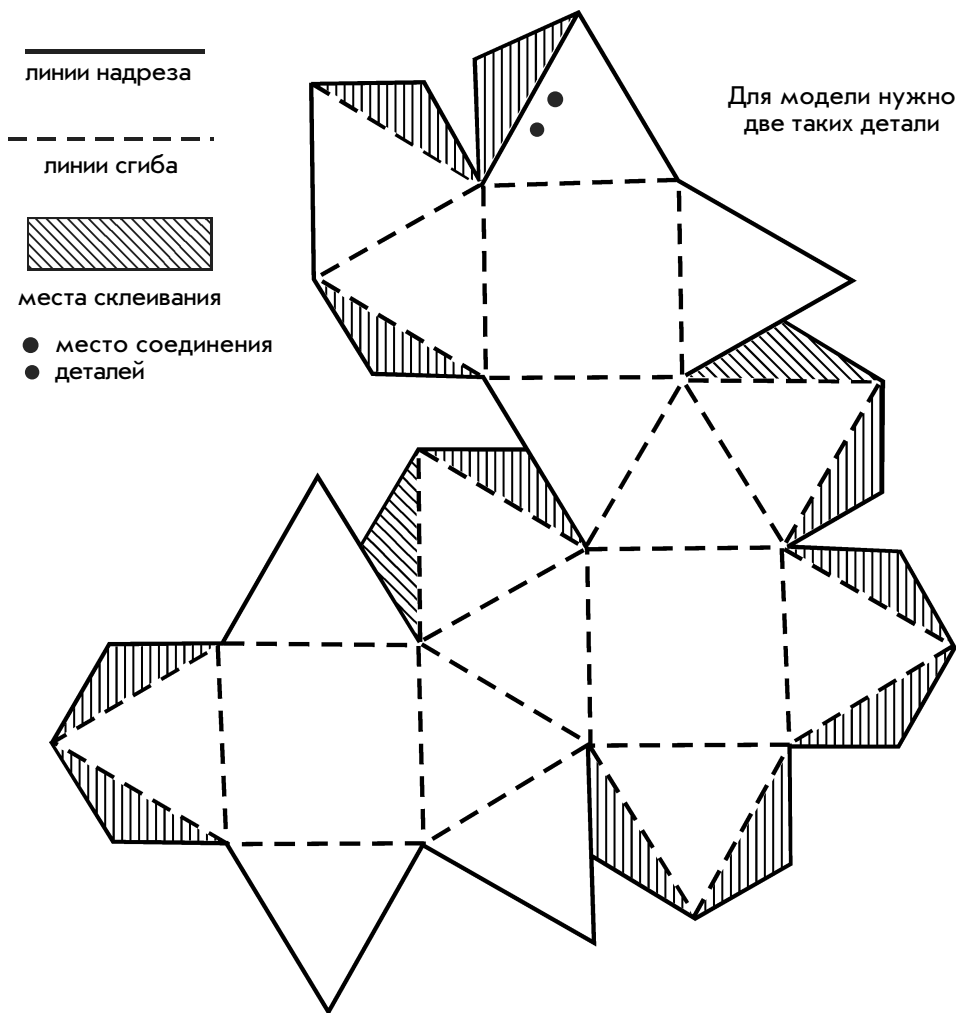
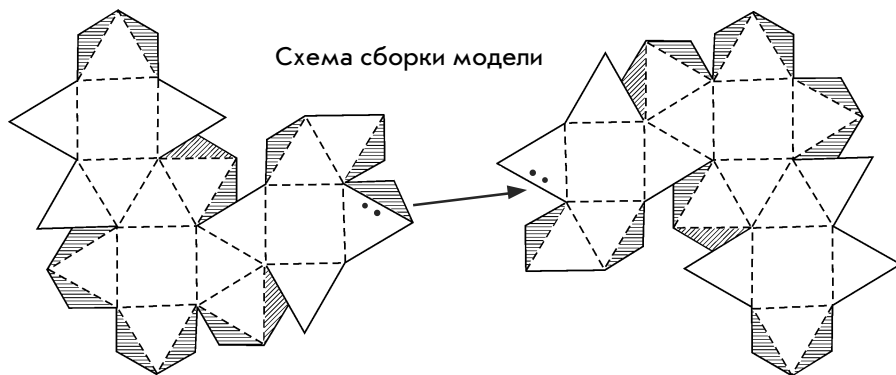


Схема сборки модели



Усечённый кубоктаэдр

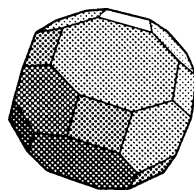
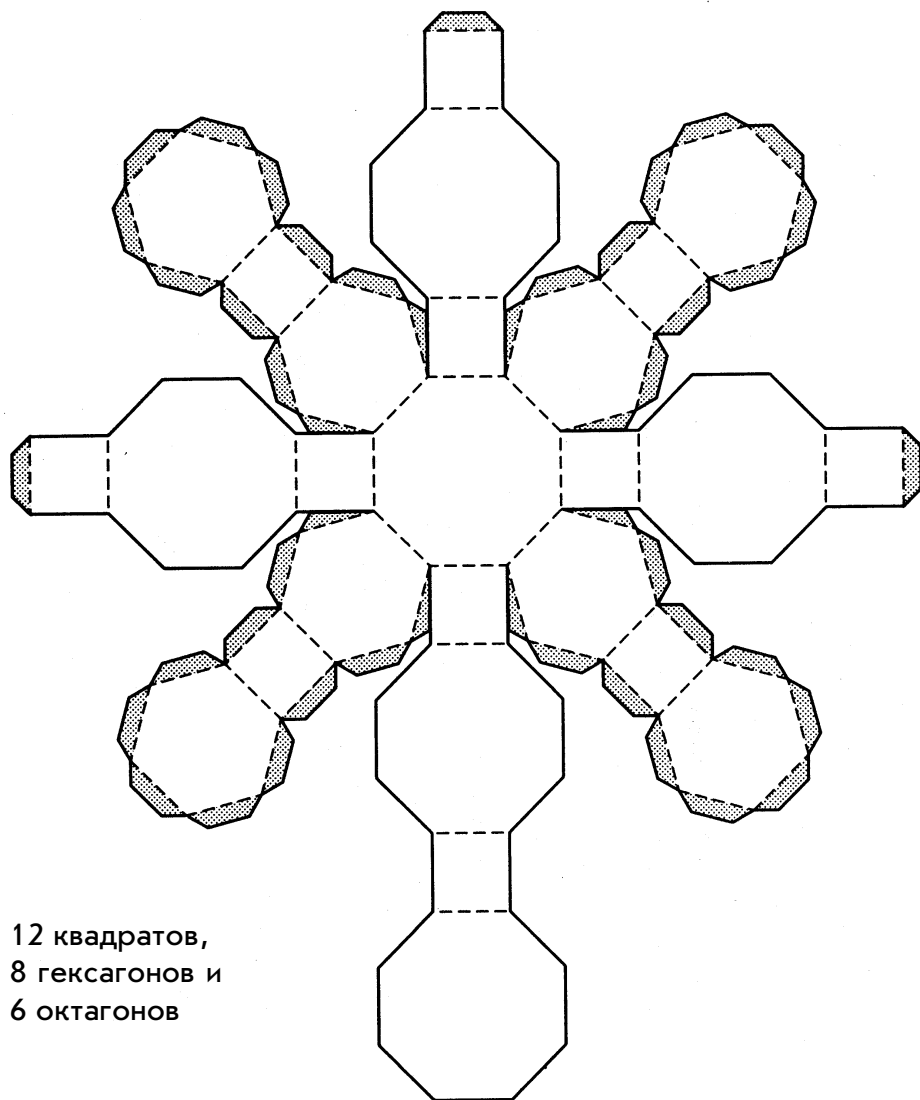


Схема усечённого кубоктаэдра



12 квадратов,
8 гексагонов и
6 октагонов

Выкройка усечённого кубооктаэдра

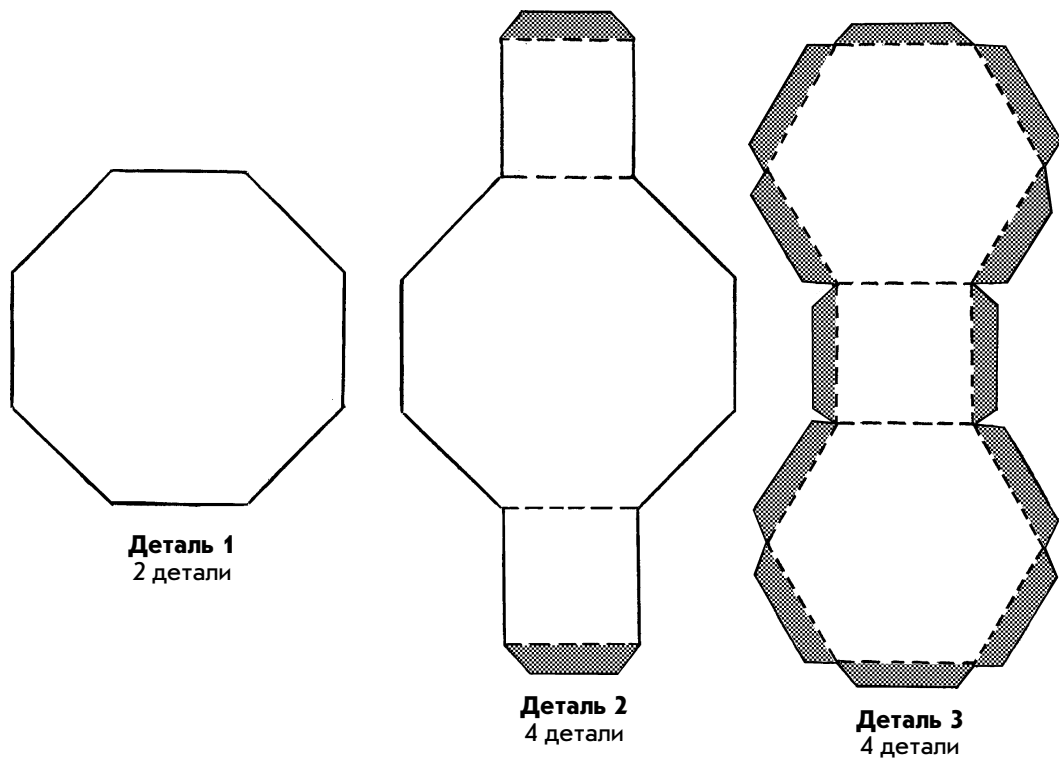
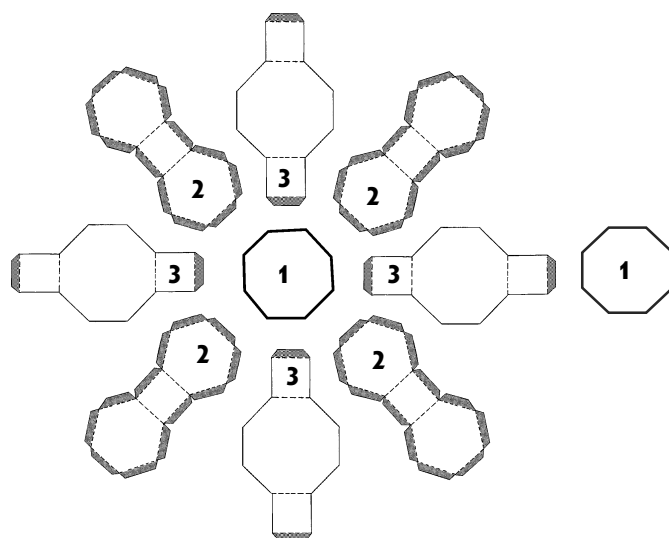


Схема сборки модели



Усечённый икосододекаэдр

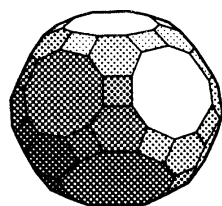


Схема усечённого икосододекаэдра

30 квадратов,
20 гексагонов и
12 декагонов

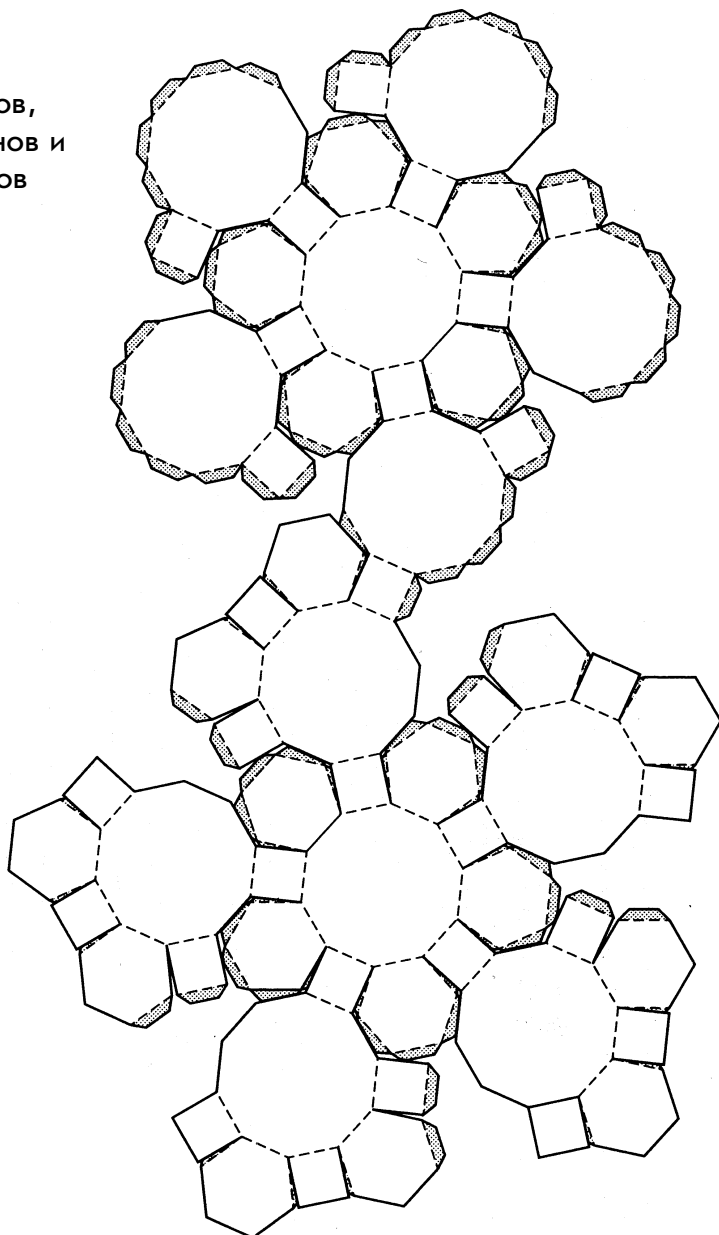


Схема сборки усечённого икосододекаэдра

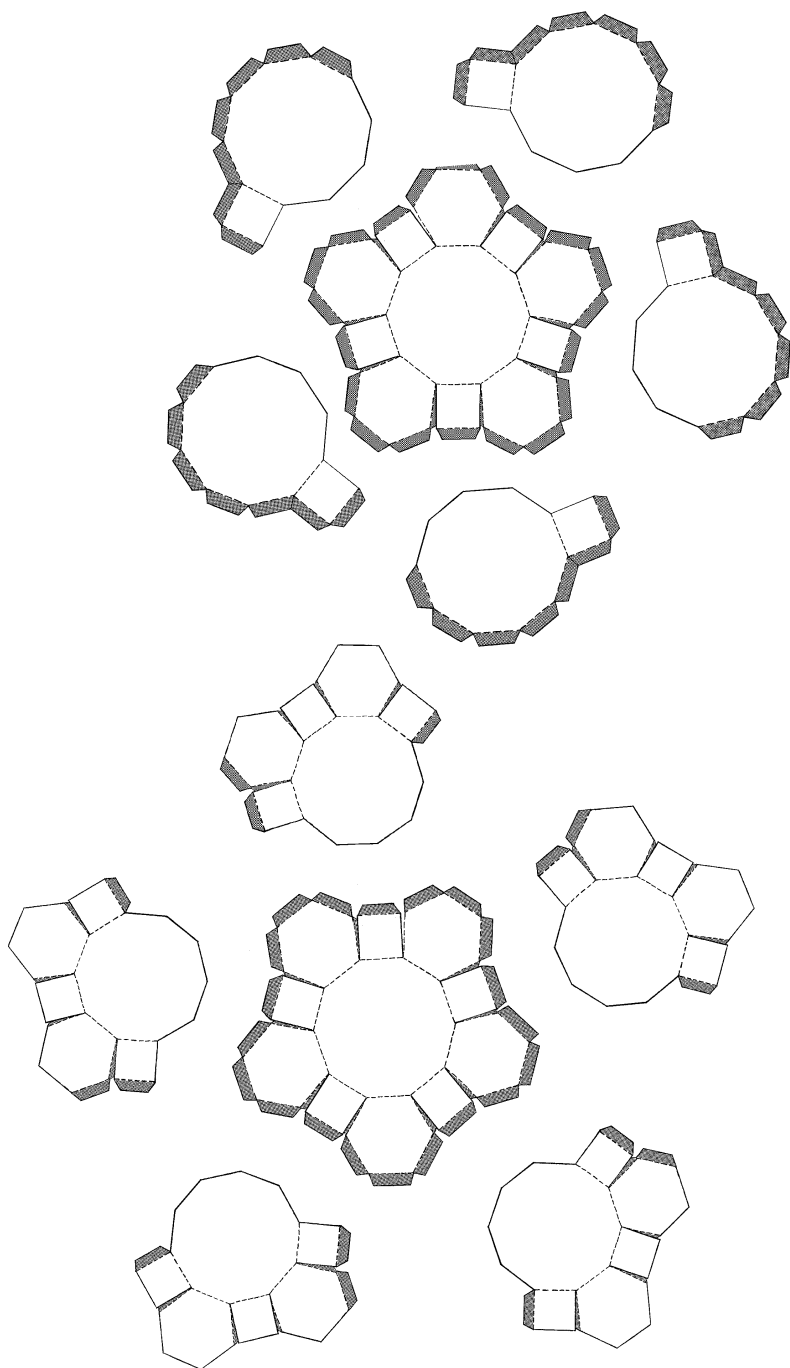
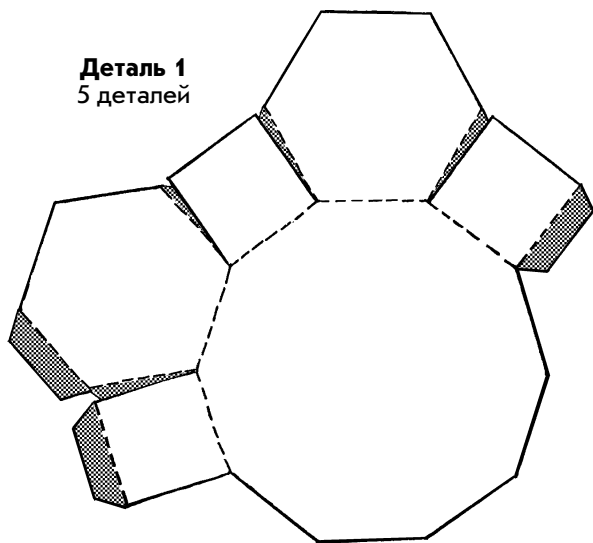
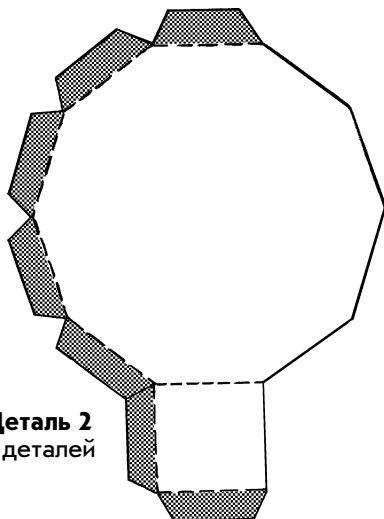


Схема усечённого икосододекаэдра

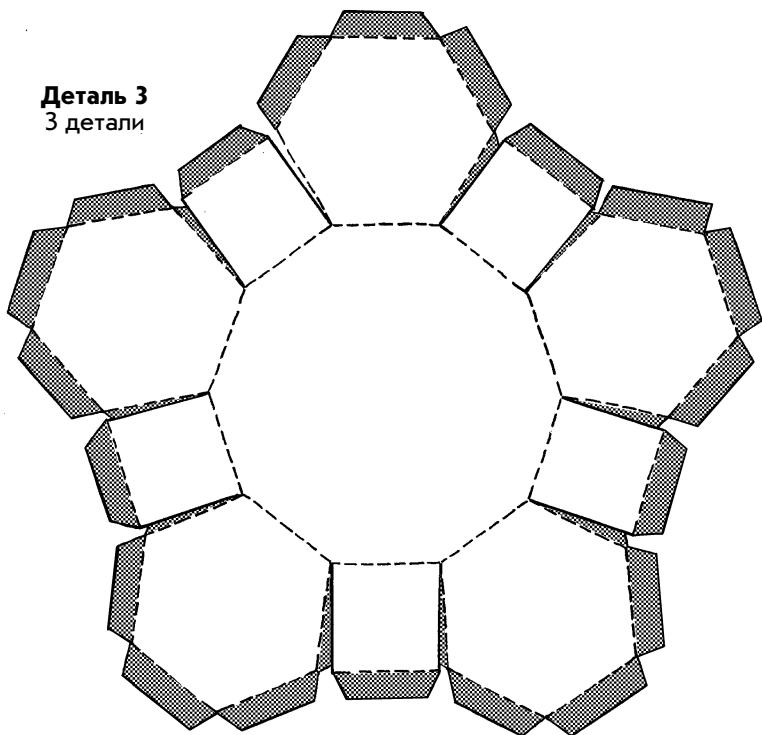
Деталь 1
5 деталей



Деталь 2
5 деталей



Деталь 3
3 детали



Выкройка усечённого икосододекаэдра

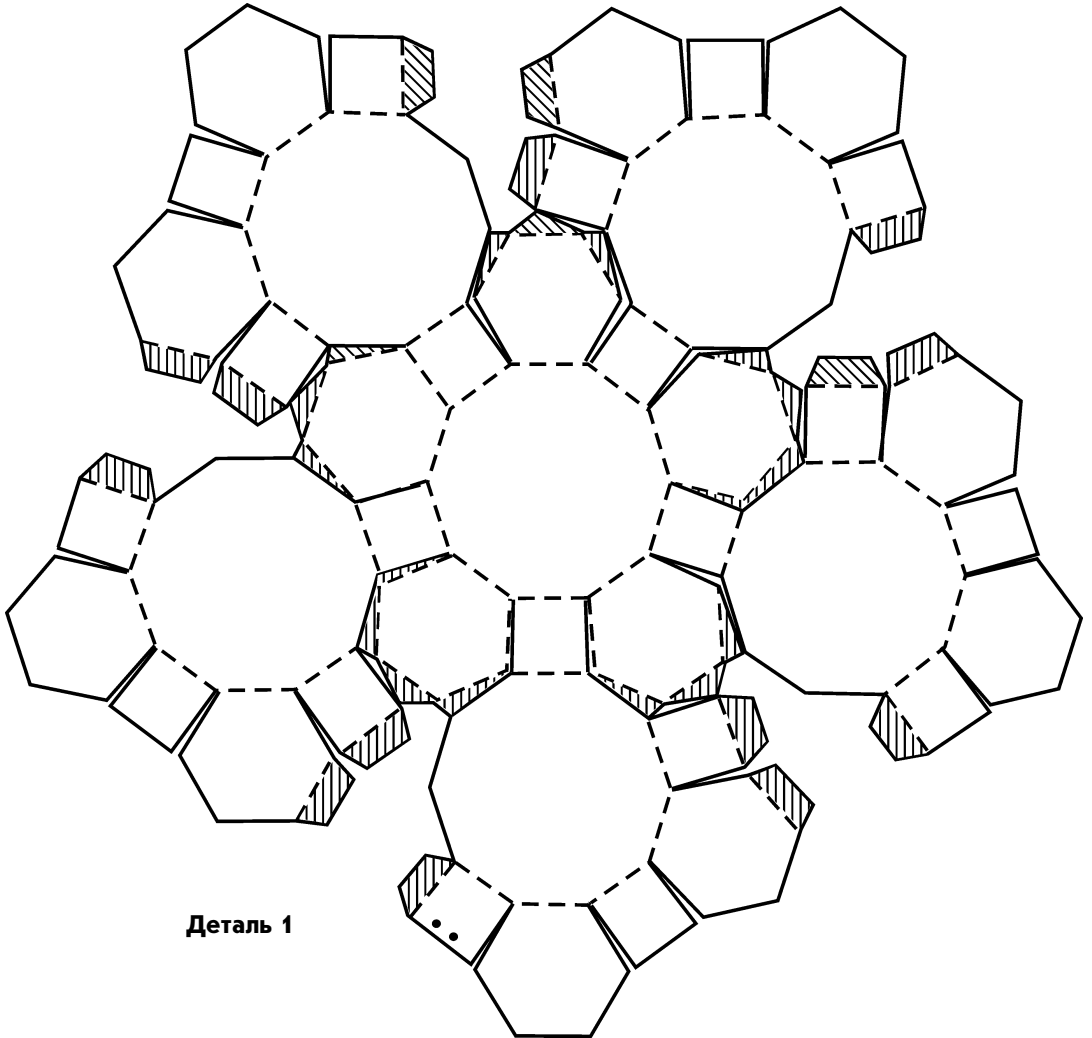
линии надреза

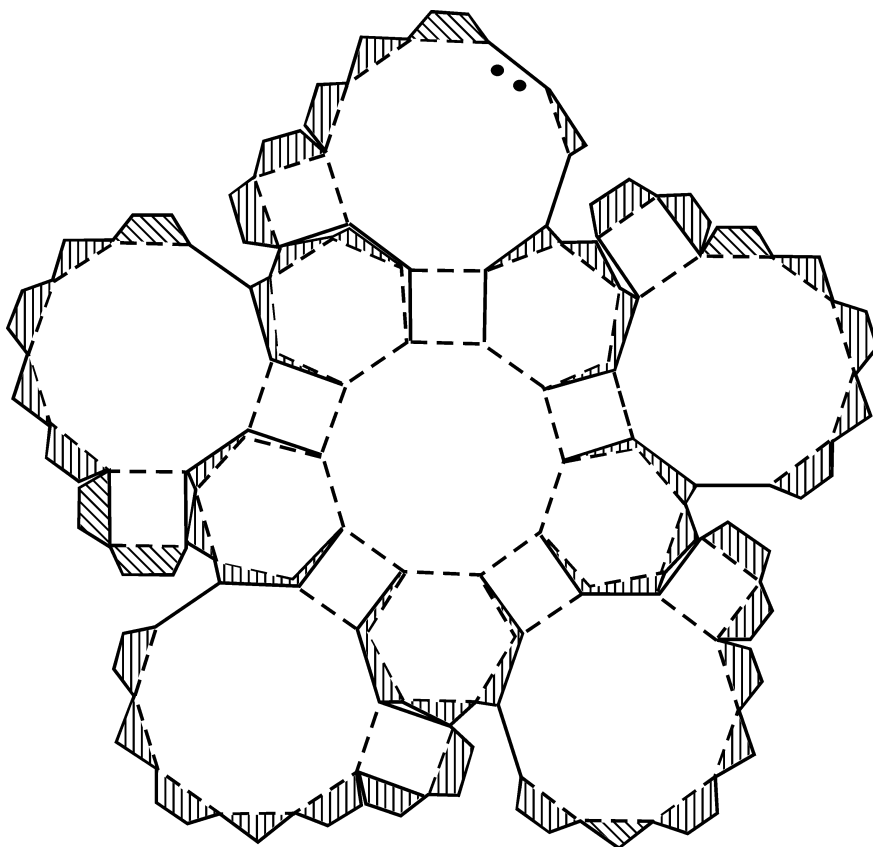
линии сгиба



места склеивания

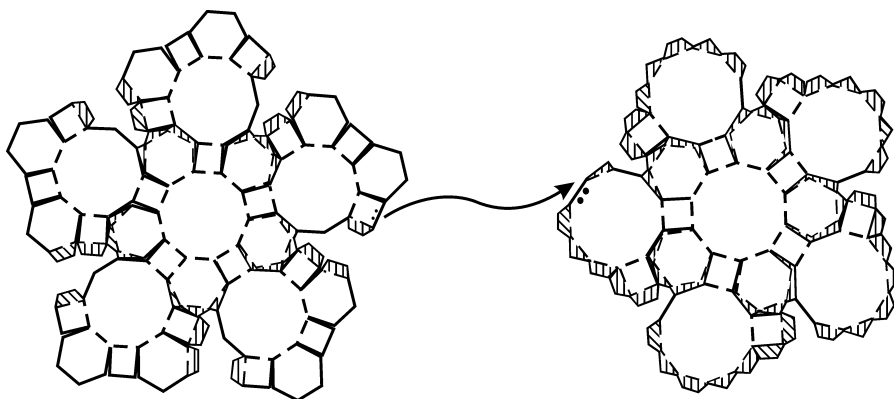
● место соединения
● деталей





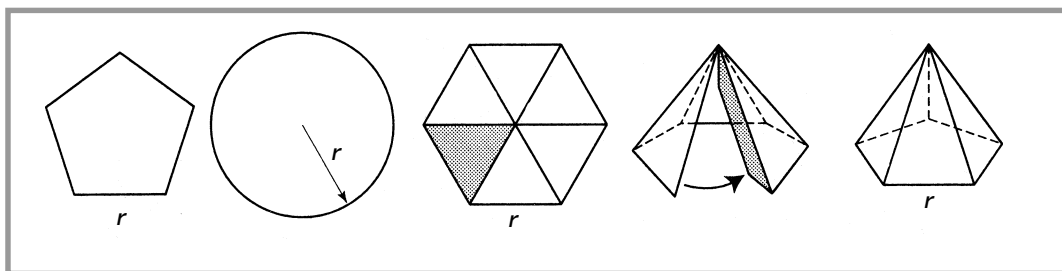
Деталь 2

Схема соединения деталей 1 и 2

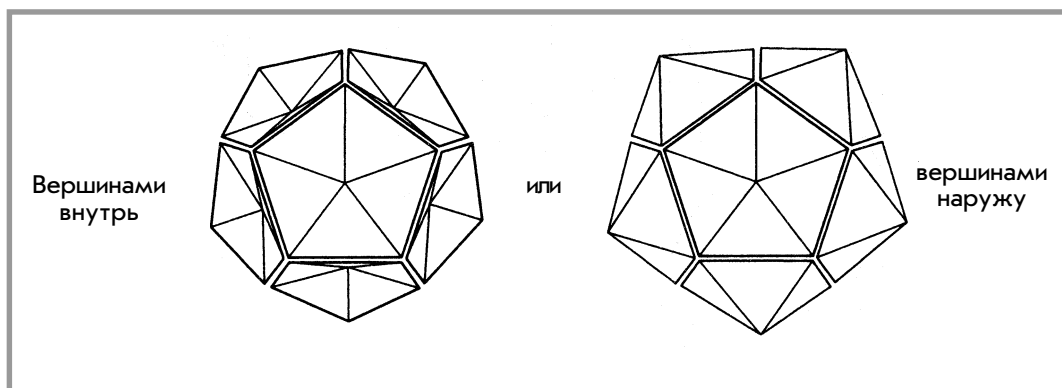


ЗВЁЗДЧАТЫЕ МНОГОГРАННИКИ

Додекаэдр, как Вы уже знаете, ограничен 12-ю плоскими пентагонами. Теперь представьте себе, что вместо пентагона Вы взяли выпуклую или вогнутую поверхность, которая образует пятигранную пирамиду с этим пентагоном в основании.

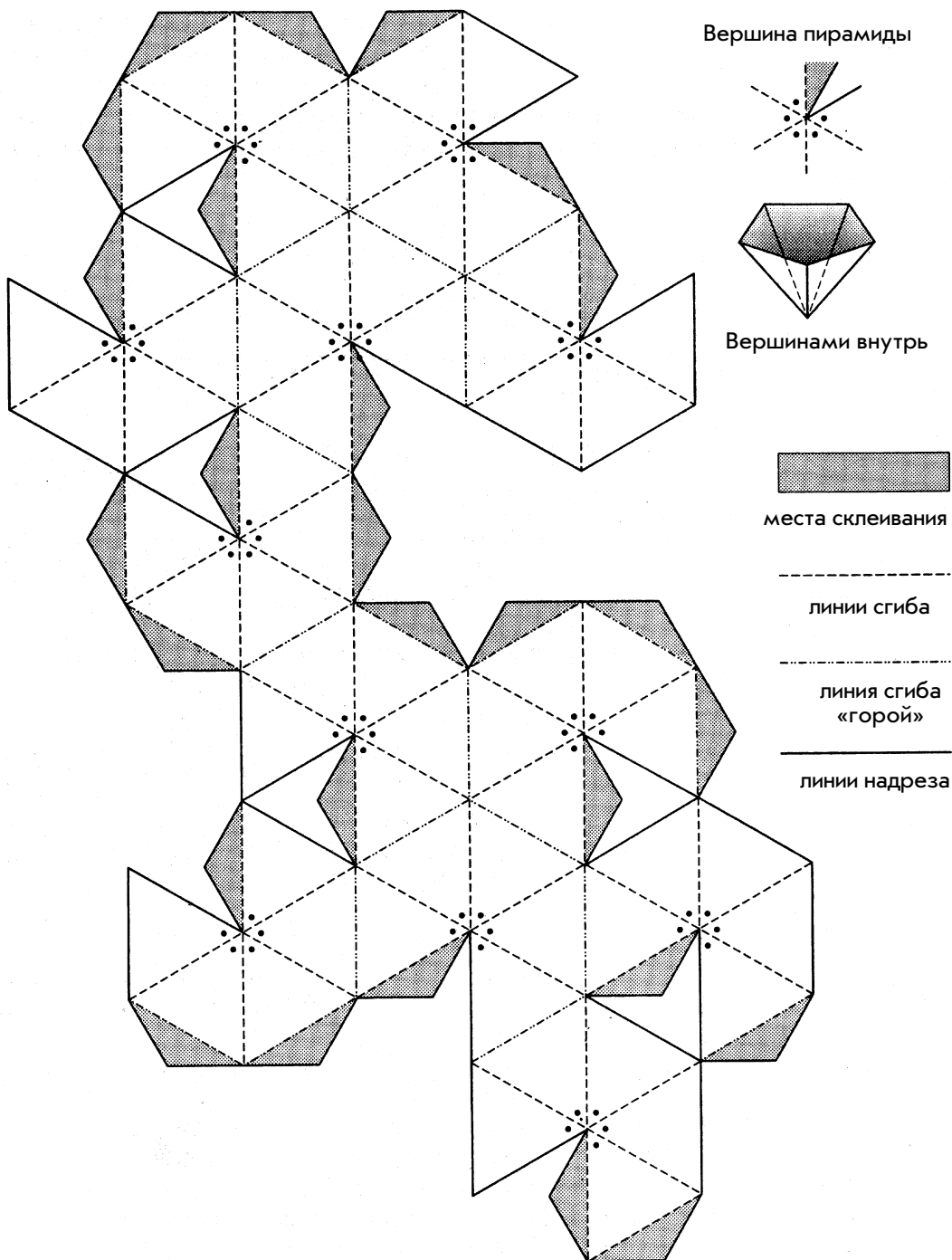


Теперь возьмём 12 таких пирамид и склеим их:

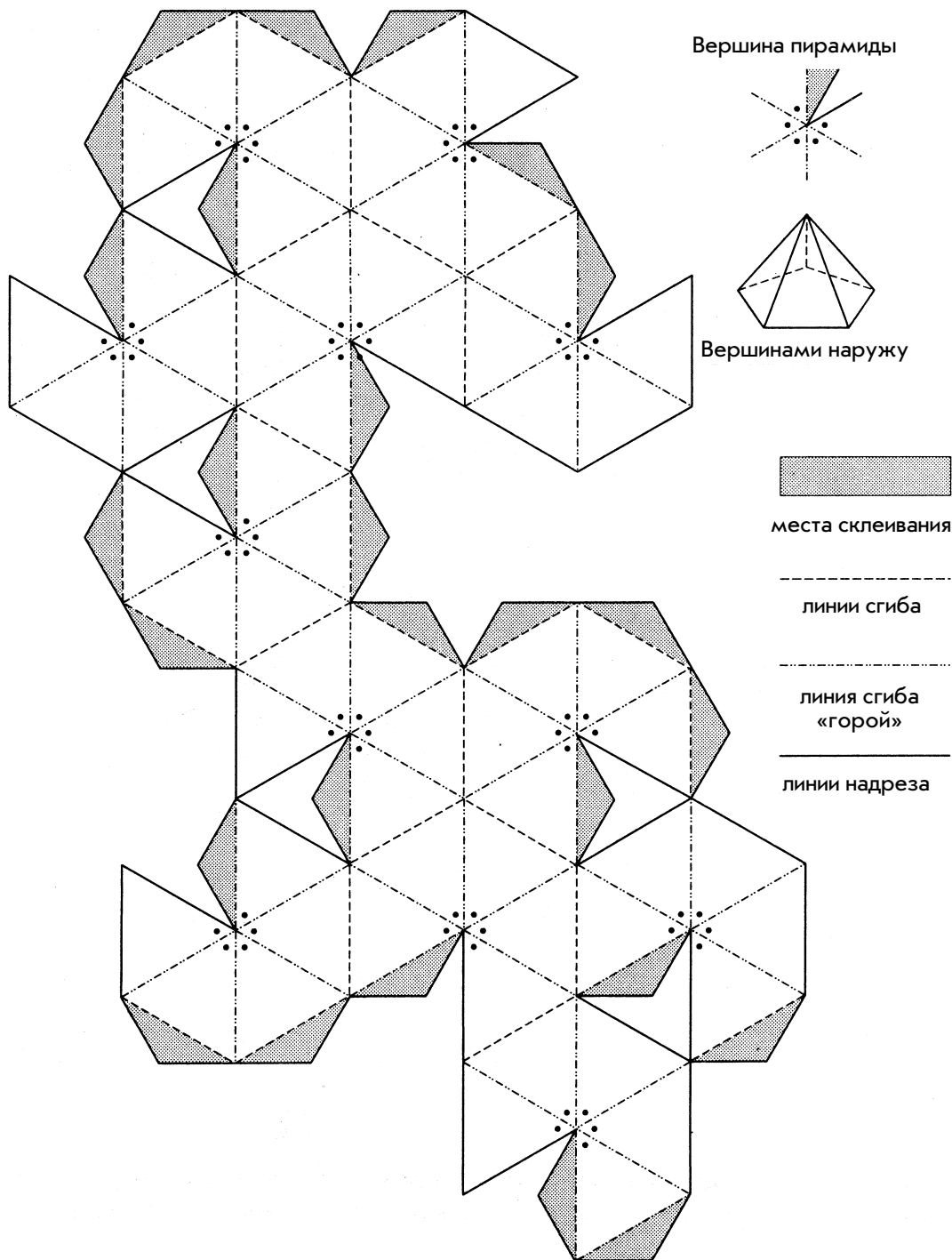


Вы помните, что додекаэдр необязательно склеивать из отдельных пентагонов, а можно использовать единую выкройку из целого листа? Для наших новых многогранников такая же единая выкройка представлена на 2-х следующих страницах.

Выкройка многогранника с вогнутыми пирамидами



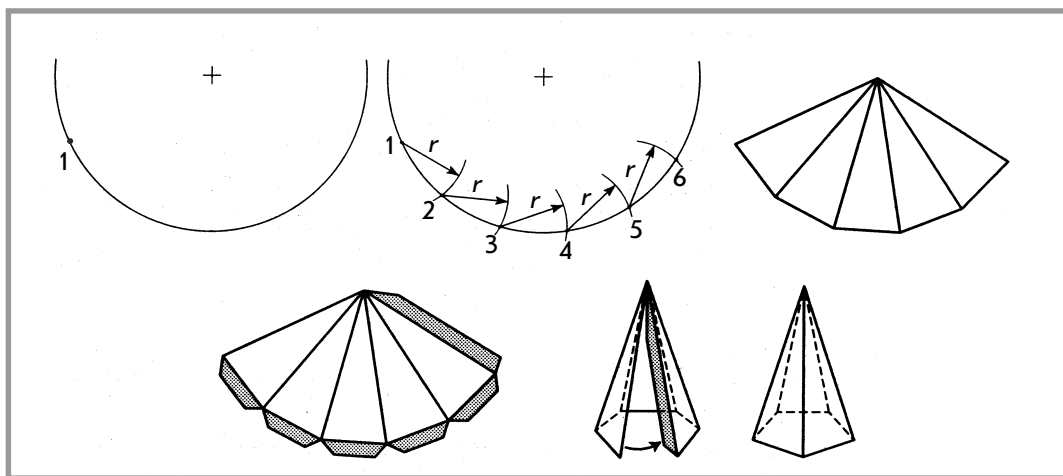
Выкройка многогранника с выпуклыми пирамидами



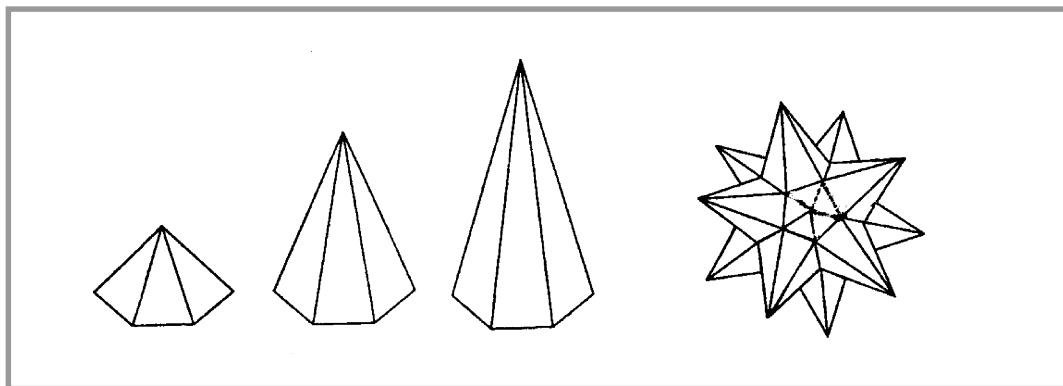
Как построить выкройку одного луча звезды

Звезда состоит из 12 лучей-пирамид. Каждая пирамида строится следующим образом:

- 1** Начертите полуокружность, отметив её центр радиусом равным боковой грани пирамиды.
- 2** На полуокружности отметьте произвольную точку.
- 3** От точки 1 циркулем отложите 5 равных отрезков.
- 4** Точки пересечения с дугой соедините друг с другом и с центром полуокружности. Не забудьте про закладные детали на боковой стороне пирамиды и на основаниях граней пирамиды.



Высоту пирамиды при том же основании можно увеличить или уменьшить.



А вы уже догадались, как можно построить звезду на основе тетраэдра, октаэдра, икосаэдра и куба? Только в этих случаях пирамиды будут трёхгранными и четырёхгранными.

Представляем вам совмещённую номограмму для 2-х звёзд на следующей странице.

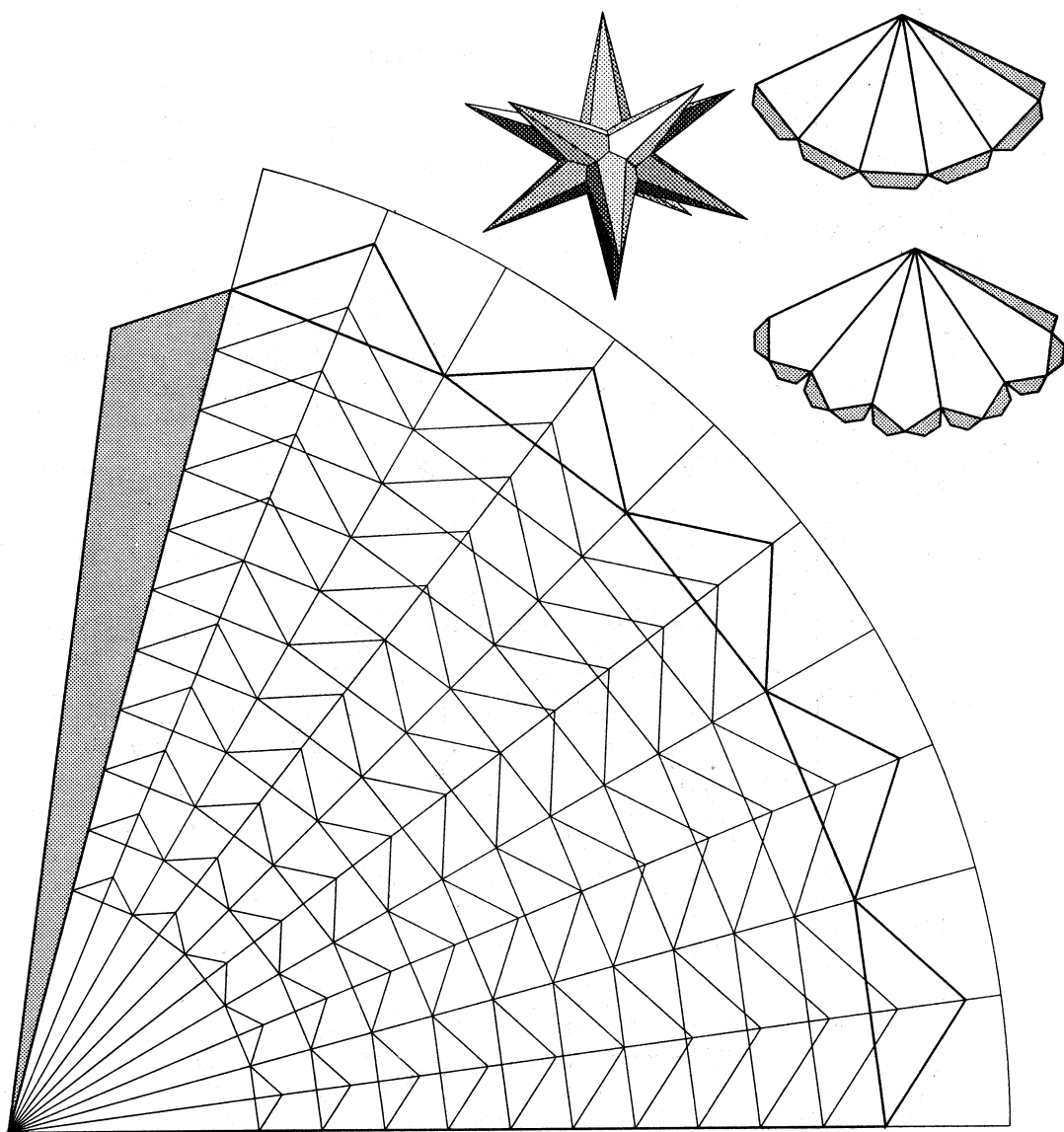
Эти звёзды можно выполнить следующим образом:

- из белого ватмана;
- все лучи звезды одного цвета по вашему выбору;
- все лучи звезды разных цветов;
- все лучи звезды одного цвета, но разных тонов, например, один луч тёмно-красного цвета, другой — красного, третий — светлее и так до светло-розового (так можно решить звёзды в синей, зелёной, охристой гамме и т.д.);
- все лучи одного цвета, но грани пятигранных пирамид различаются по тону — одна грань темнее, другая светлее, и так — все пять граней одного луча;
- все лучи разных цветов, и каждый луч имеет грани разных тонов выбранного цвета;
- все лучи звезды в каком-то заданном цветовом диапазоне, например, все оттенки цветов группы красного, оранжевого и жёлтого. Или все оттенки синего, голубого, сиреневого, или охристо-коричневая гамма, или контрастные цвета — лимонный и фиолетовый и т.д. и т.п.;
- все грани лучей разноцветные, здесь, естественно (так как граней то — 60!), без повторения цветов не обойдётся, но надо стараться сделать так, чтобы расположенные рядом грани не были бы одного цвета;
- грани раскрашены в полоску, правильными или произвольными цветовыми пятнами, узором и т.п.

Если вы сделаете все эти варианты, то для Вашей новогодней ёлки других украшений не понадобится!

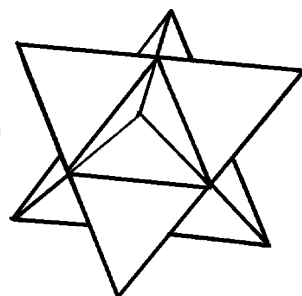
Удачи вам!

Номограмма и выкройка для двух звёздчатых многогранников

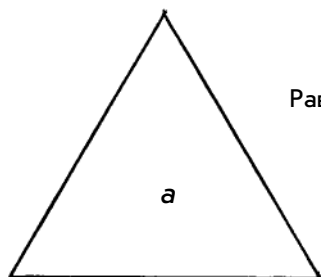


После того как переведите или переколете выкройку нужного вам размера, не забудьте про закладные детали, размещение которых показано на двух маленьких схемах сверху.

Звёздчатый октаэдр (Звезда Кеплера)



Состав модели



Равносторонний треугольник
24 детали

Соединим 3 детали «а» в одну деталь 1

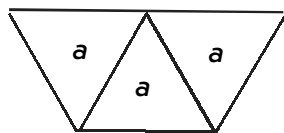
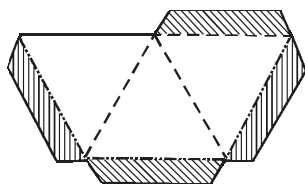
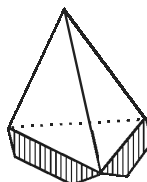


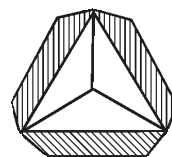
Схема детали 1



Выкройка-развёртка
детали 1



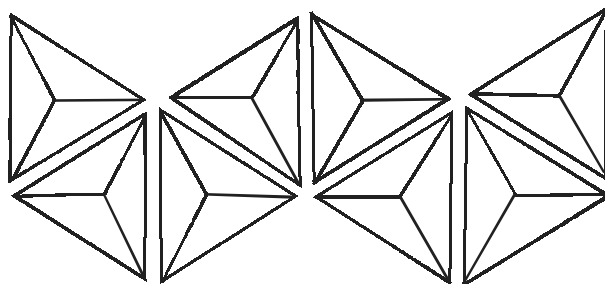
Деталь 1
в собранном виде



Деталь 1
вид сбоку

Для модели надо собрать 8 деталей 1

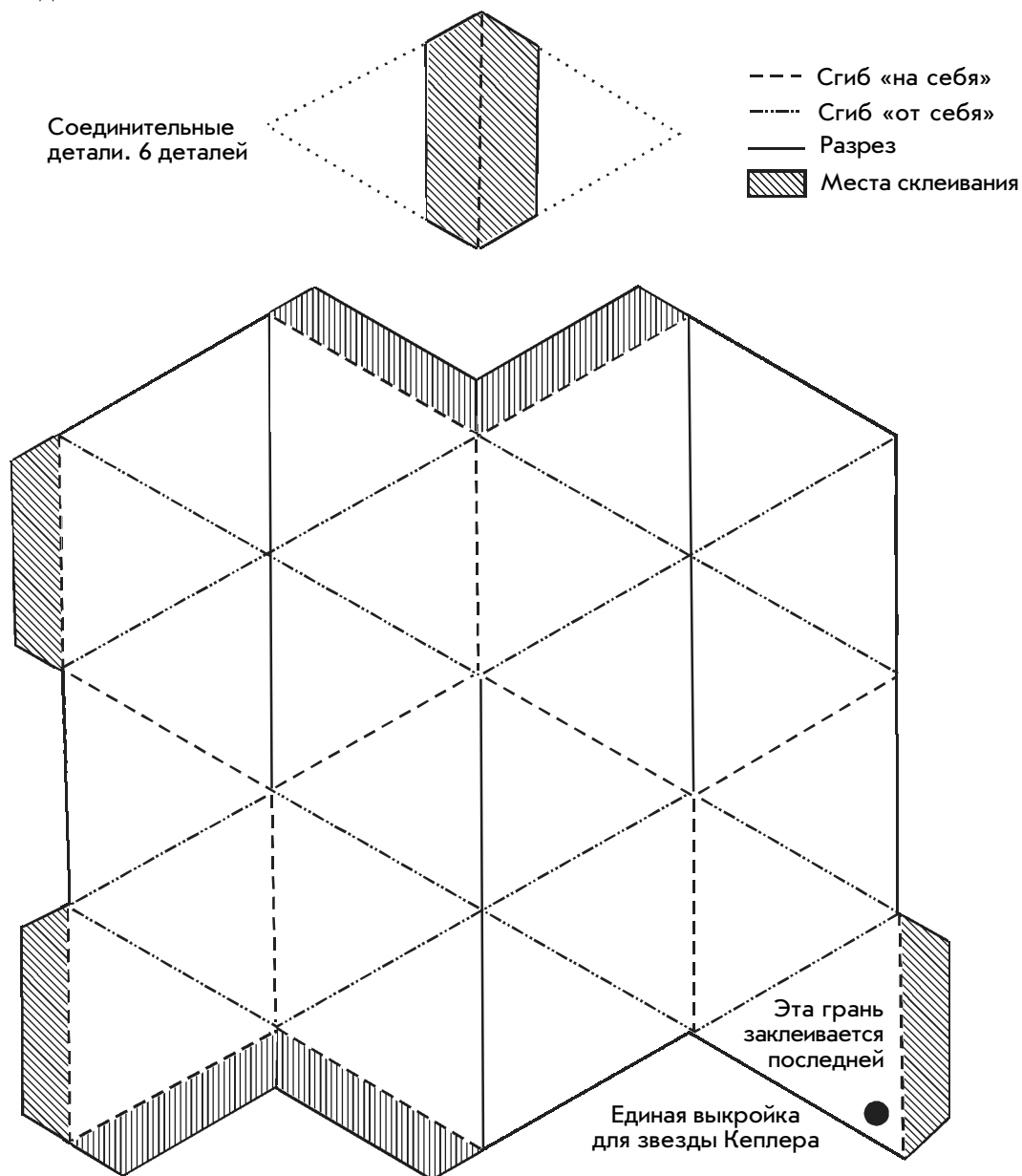
Схема сборки



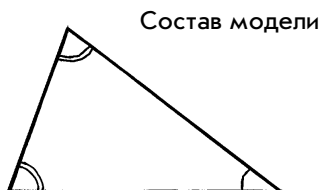
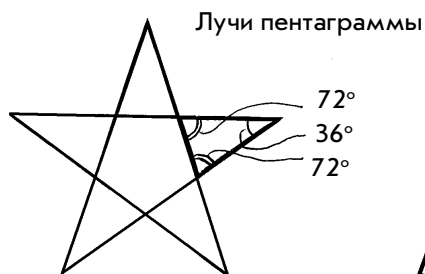
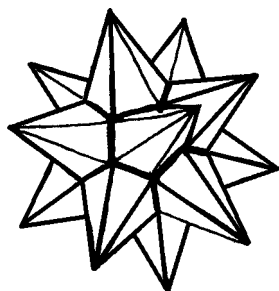
Звезду Кеплера можно собрать по единой выкройке, объединяющей 24 правильных треугольника, и дополнительно надо добавить 6 соединительных элементов, построенных на основе двух треугольников.

Выкройку-развёртку надо сначала прочертить (тупым ножом и т.д.), сделать указанные надрезы, сгибы и только потом собирать модель.

Одну из граней, отмеченных точкой, надо при сборке заклеивать последней.

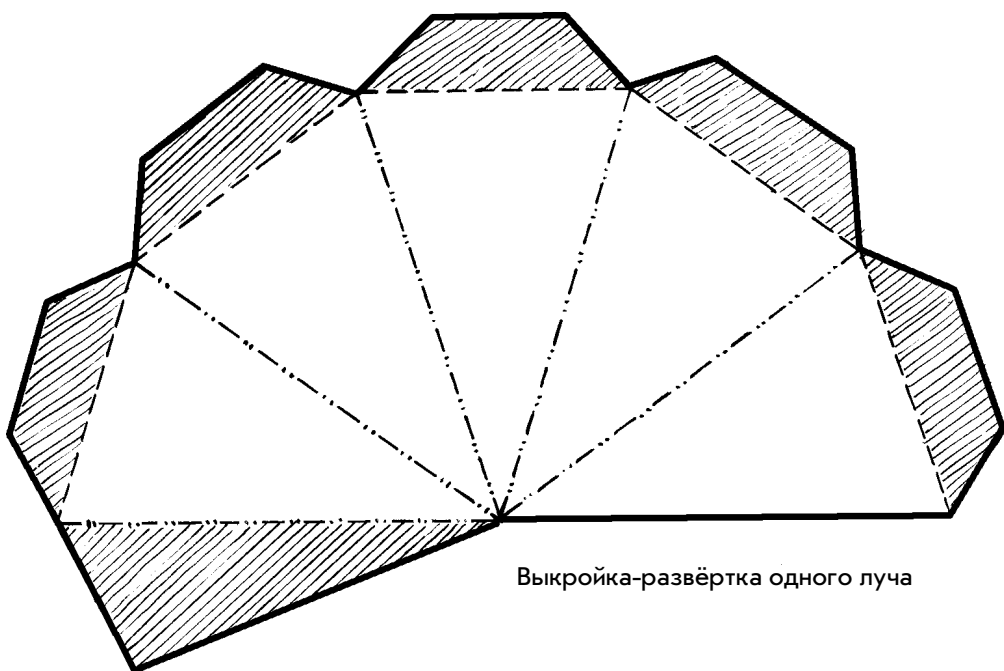
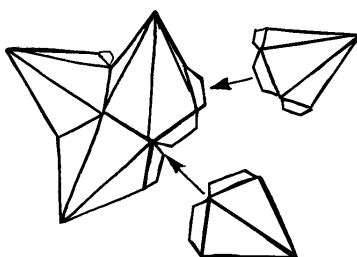


Малый звёздчатый додекаэдр



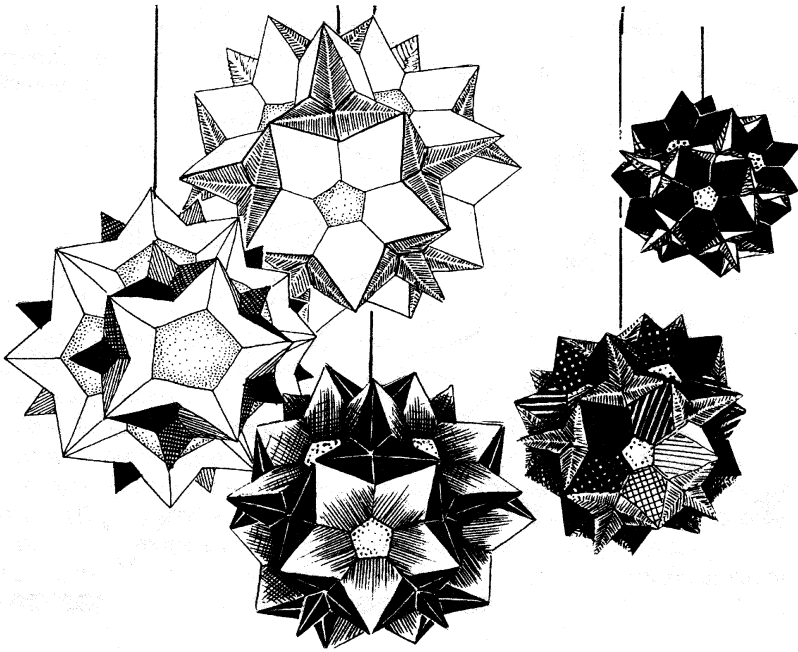
60 деталей

Объединим 5 деталей в одну укрупнённую деталь № 1 — луч звезды — пятигранную пирамиду и из 12 таких лучей соберём модель. Соберите сначала 3 луча, а потом к каждому двум добавляйте третий и т.д.



Выкройка-развёртка одного луча

Большой икосододекаэдр и большой додекогемидодекаэдр



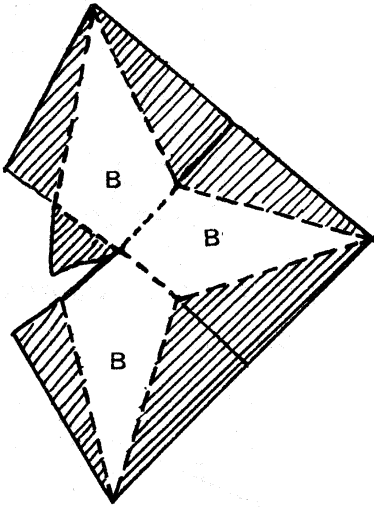
Усложняя пространственный рисунок пентагона, можно получить другие звёздчатые виды многогранников, например, большой икосододекаэдр и большой додекогемидодекаэдр. Здесь мы просто добавим, что если детали «а» сделать жёлтыми или оранжевыми, детали «б» — белыми, голубыми, розовыми и т.д., а детали «в» — зелёными, то мы получим красивый букет цветов.

Попробуйте детали «б» сделать разными по насыщенности окраски, но не по цвету, например, вместо одного голубого сделать один цветок светло-голубым, другой — темнее и т.д. до тёмно-голубого.

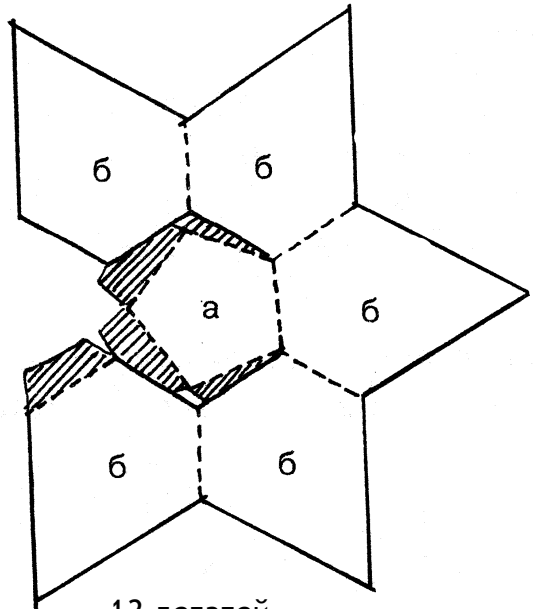
То же самое в пределах одного цветка — лепестки разного по насыщенности одного и того же цвета!

Для детали «в» — листика — можно предложить светло-зелёный, зелёный и тёмно-зелёный цвета как для всего листика, так и для отдельных его лепестков.

Выкройка большого икосододекаэдра

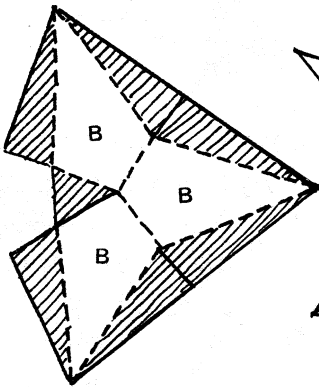


20 деталей

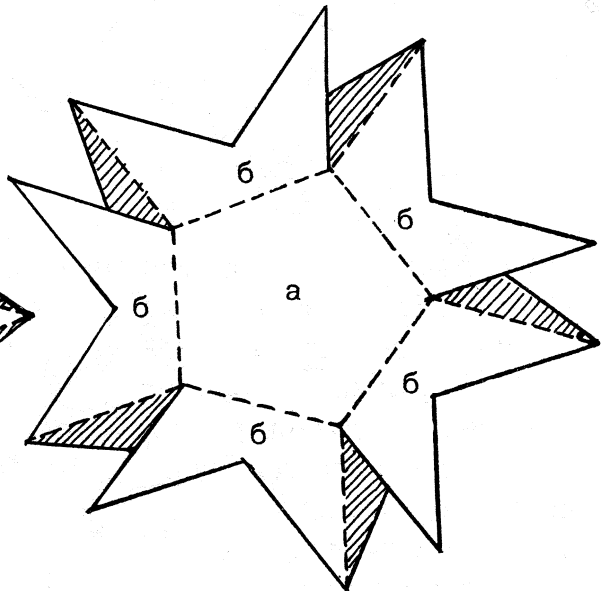


12 деталей

Выкройка большого додекогемидодекаэдра



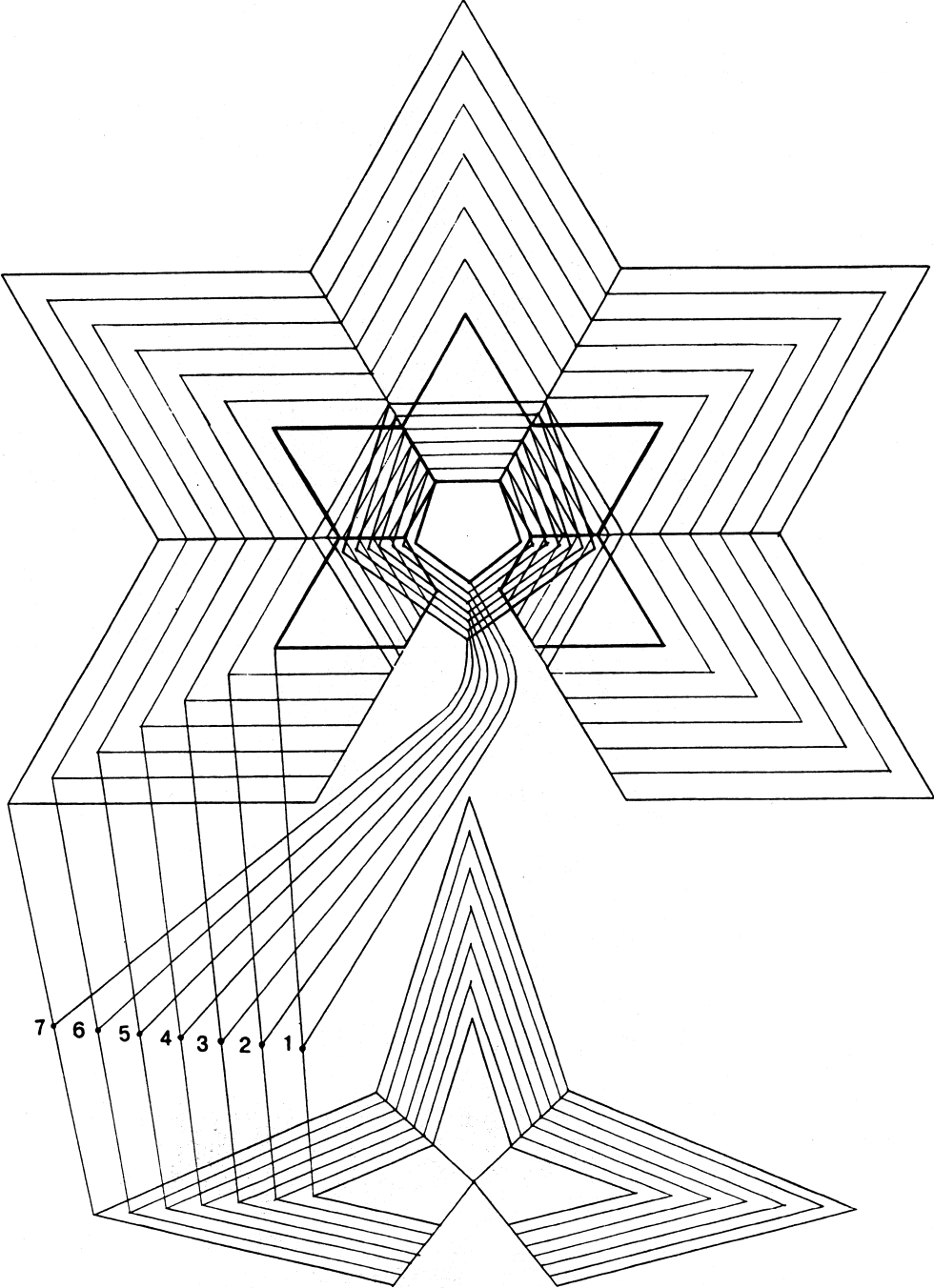
20 деталей



12 деталей

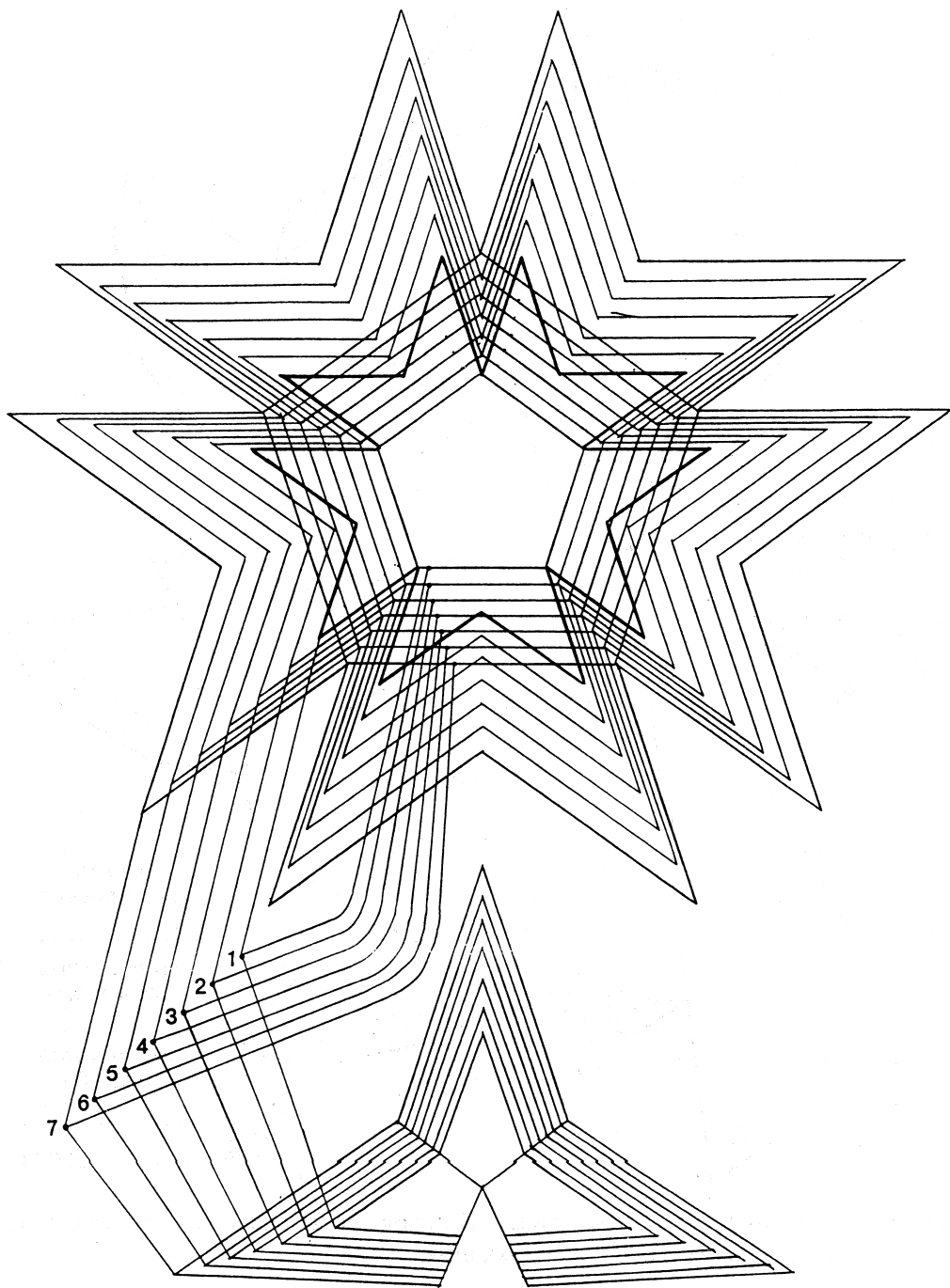
Номограмма большого икосододекаэдра

Эта номограмма поможет вам сделать многогранники разной величины.



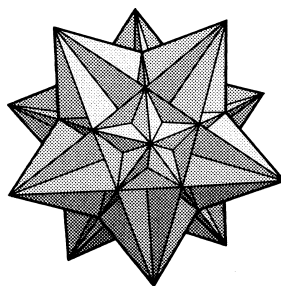
Номограмма большого додекогемидодекаэдра

Эта номограмма поможет вам сделать многогранники разной величины.

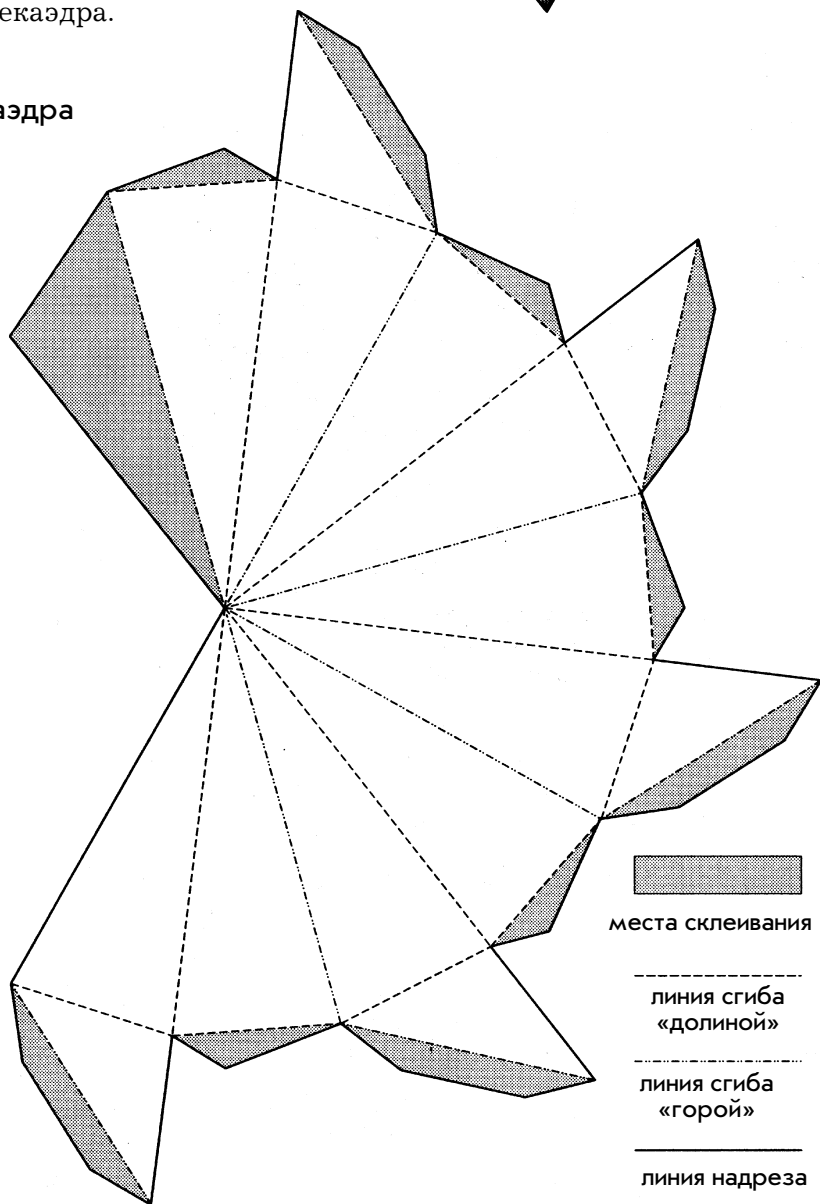


Большой икосаэдр

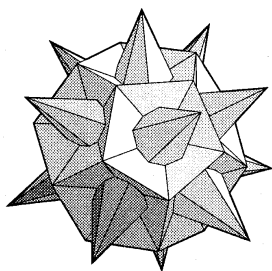
Для изготовления многогранника надо 12 таких звёзд, склейка которых осуществляется по общей схеме склейки додекаэдра.



Выкройка
большого икосаэдра



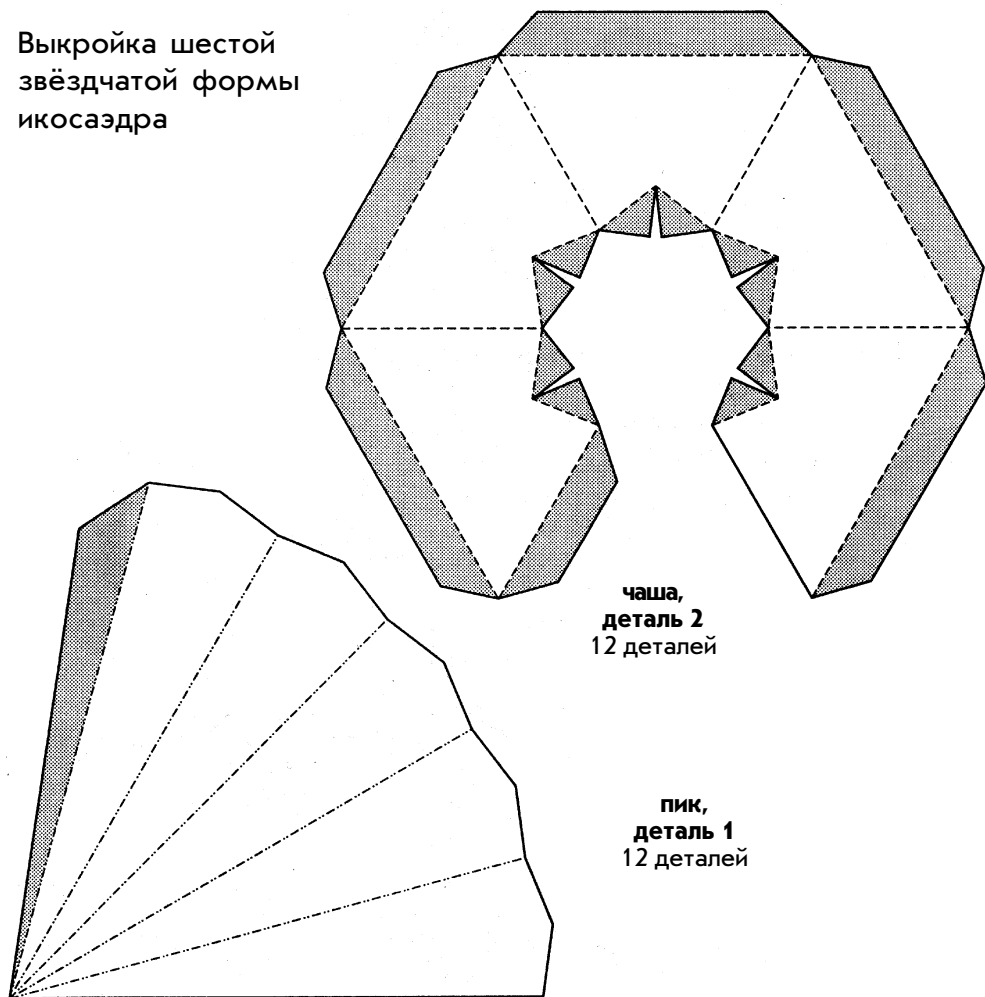
Шестая звёздчатая форма икосаэдра



Многогранник состоит из 12 усложнённых пространственных «пентагонов». Каждый такой «пентагон» состоит из длинного пика (деталь № 1), выступающего из впадины в виде пятигранной чаши (деталь № 2).

Сначала склеивается чаша, потом пик, затем пик вклеивается в чашу и, наконец, по общей схеме склейки додекаэдра склеиваются 12 чаш.

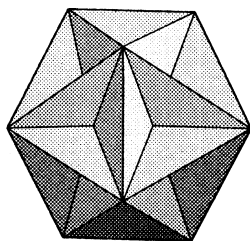
Выкройка шестой звёздчатой формы икосаэдра



чаша,
деталь 2
12 деталей

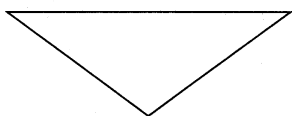
пик,
деталь 1
12 деталей

Большой додекаэдр

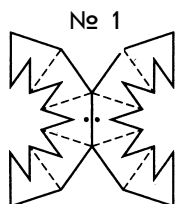


Многогранник состоит из 20 трёхгранных пирамид вершинами внутрь. Единая выкройка сокращает количество склеиваний. Выкройки большого додекаэдра размещены на двух листах. Точкой и двумя точками отмечены места склеивания.

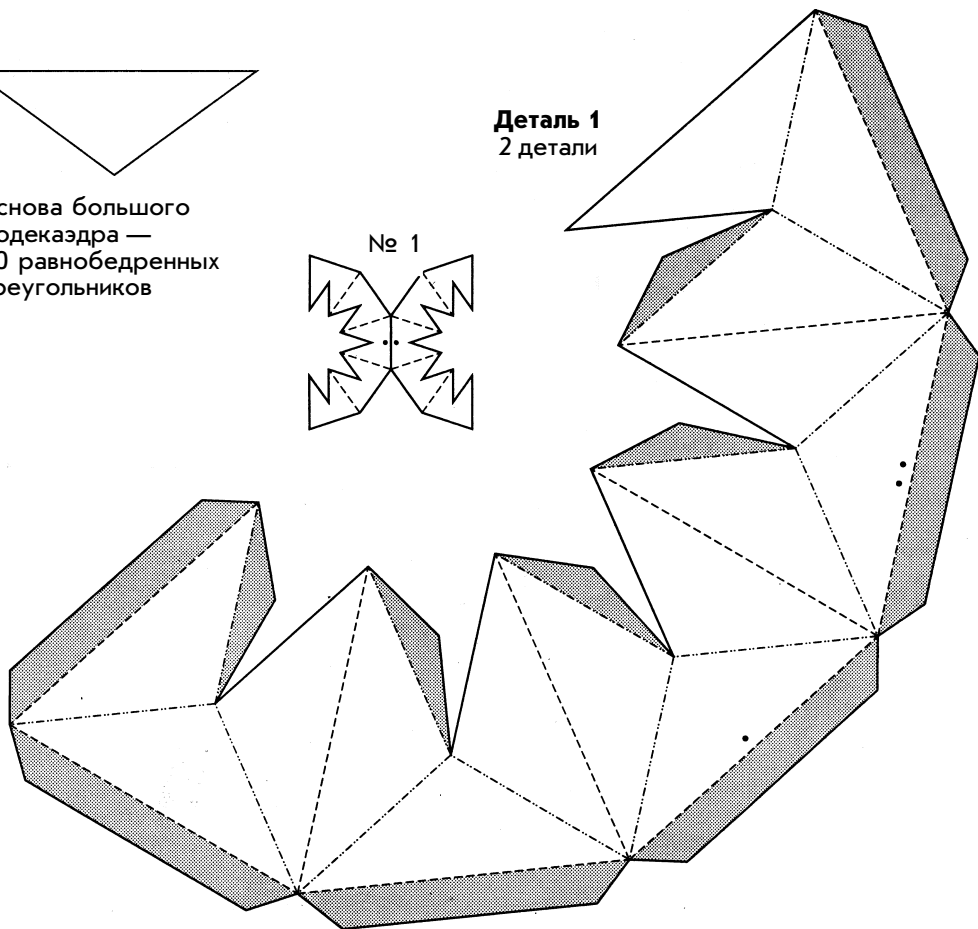
Выкройка большого додекаэдра



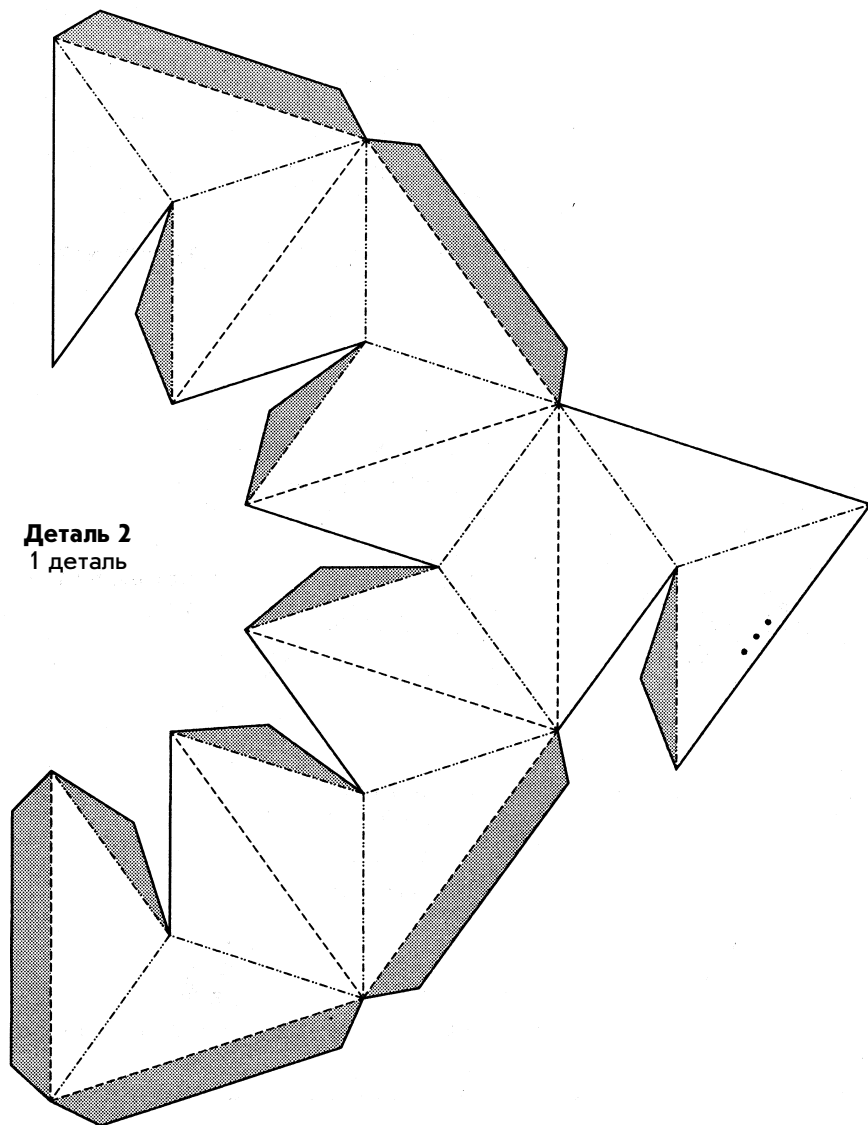
основа большого додекаэдра — 60 равнобедренных треугольников



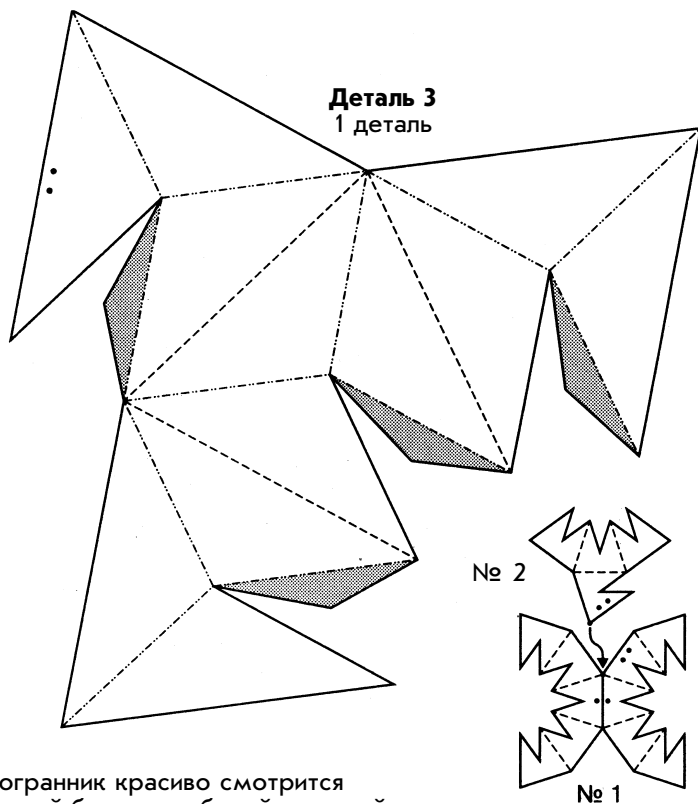
Деталь 1
2 детали



Выкройка большого додекаэдра



Выкройка большого додекаэдра



Этот многогранник красиво смотрится из одноцветной бумаги — белой, красной и т.д. Поэтому чертёж выкройки дан с изнаночной стороны.

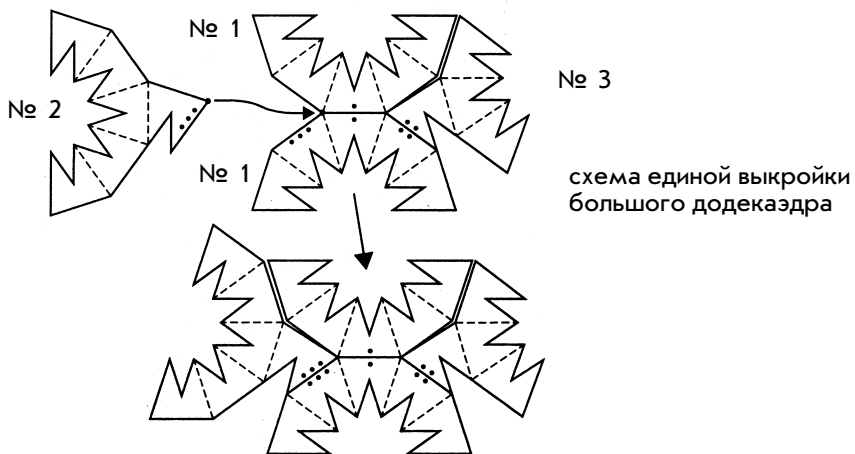
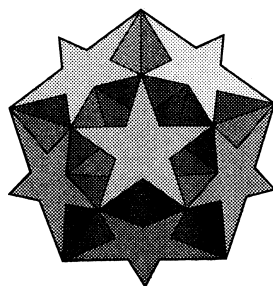


схема единой выкройки
большого додекаэдра

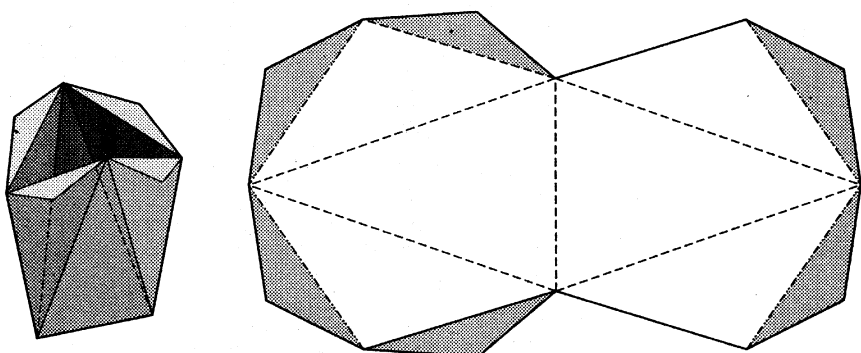
Битригональный додекаэдр



Многогранник состоит из 12 пентаграмм, между пиками которых вклеены глубокие шестигранные чаши.

Сборка осуществляется по общей схеме сборки додекаэдра.

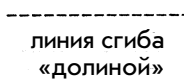
Выкройка битригонального додекаэдра



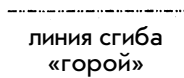
Деталь 2
30 деталей



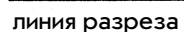
места
склеивания



линия сгиба
«долиной»



линия сгиба
«горой»

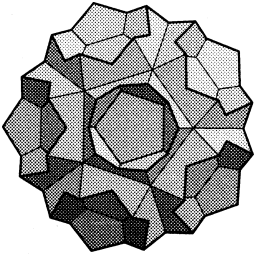


линия разреза

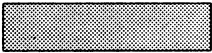
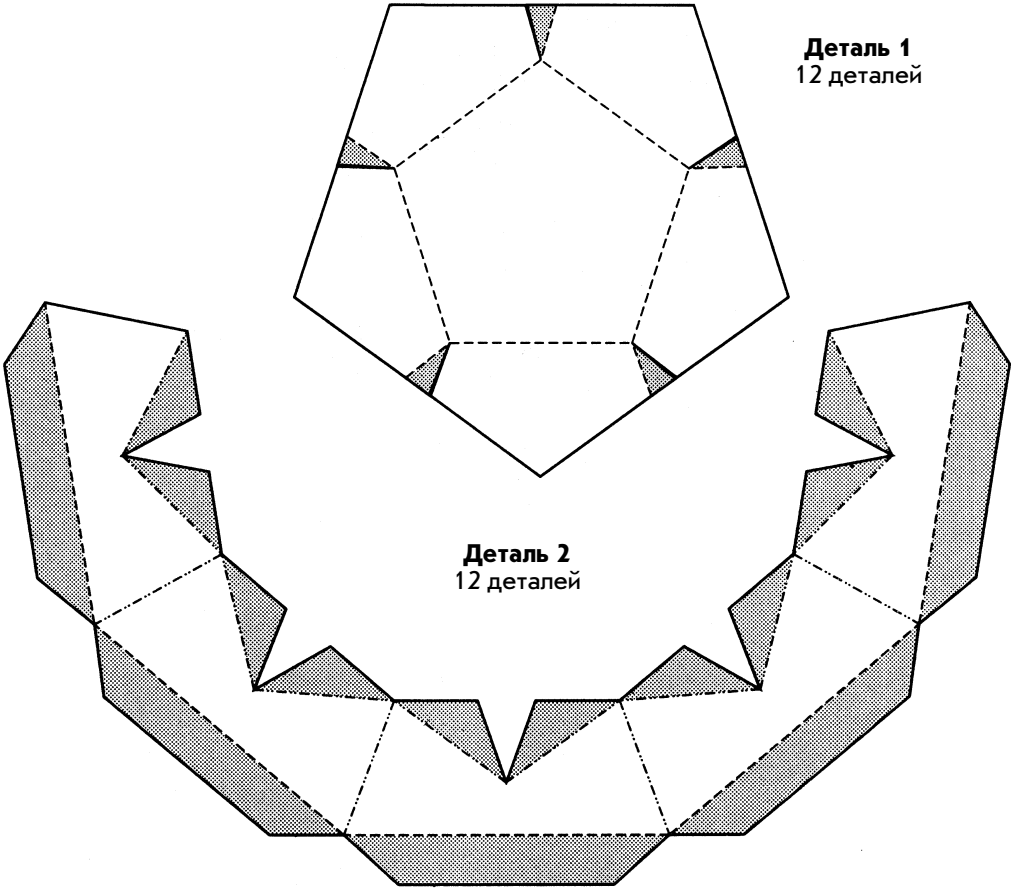


Деталь 1
12 деталей

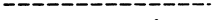
Квазиусечённый звёздчатый додекаэдр



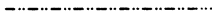
Выкройка квазиусечённого звёздчатого додекаэдра



места склеивания



линия сгиба
«долиной»

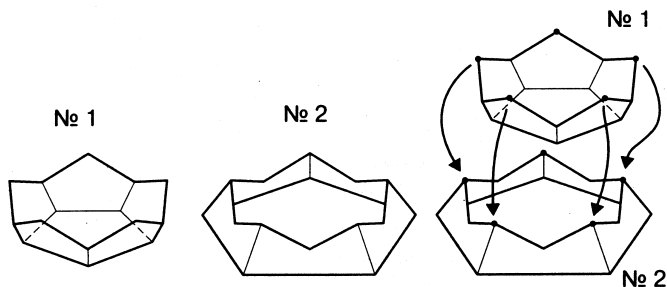


линия сгиба
«горой»



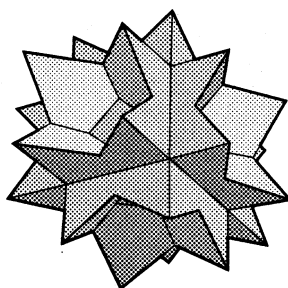
линия разреза

Сначала надо склеить цветок (деталь 1), затем обрамление (деталь 2), и цветок вклеить в обрамление. 12 таких деталей собираются по общей схеме сборки додекаэдра.



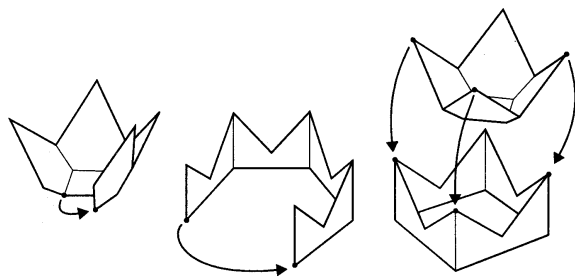
Попробуйте раскрасить гуашью или обклеить тонкой цветной бумагой этот многогранник, как букет цветов.

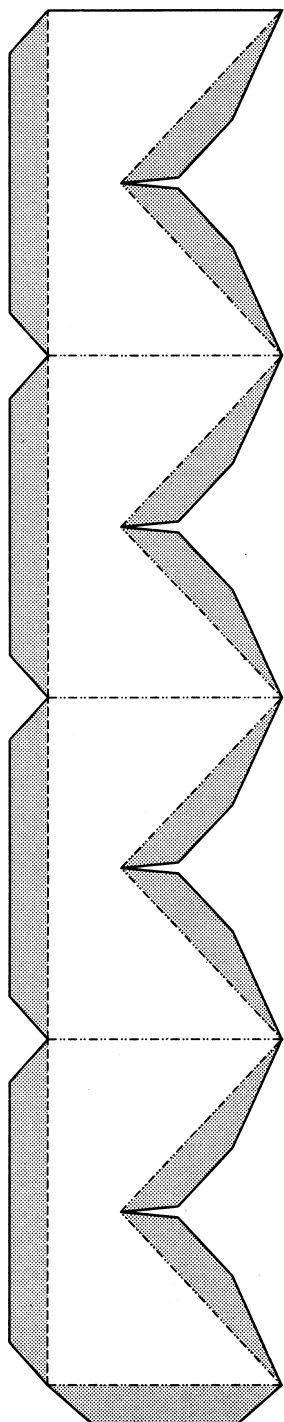
Квазиусечённый гексаэдр



Звёздчатые формы можно получить не только на основе додекаэдра. Усложняя пространственный рисунок квадрата, мы можем получить красивую звёздчатую форму гексаэдра.

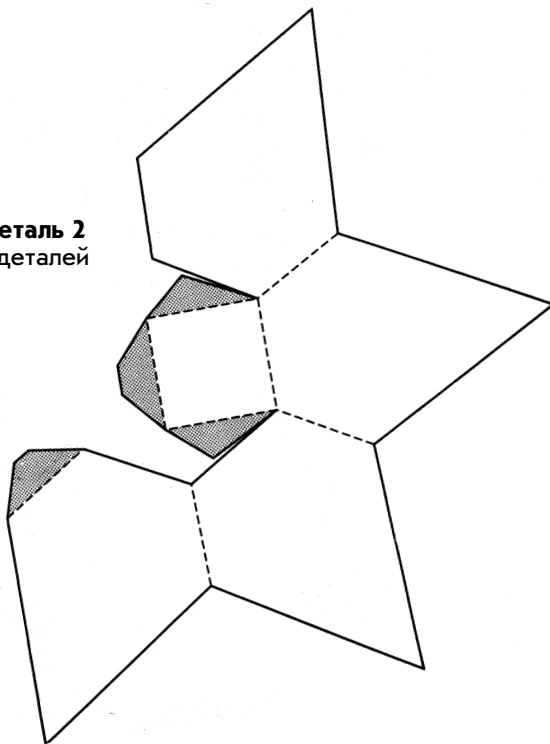
Сначала склеивается «цветок» (деталь 1), потом его обрамление (деталь 2), затем «цветок» вклеивается в обрамление и по общей схеме склейки гексаэдра склеивается и этот многогранник.





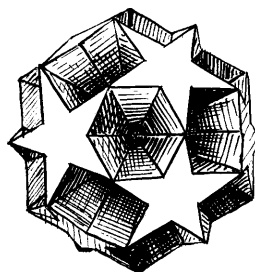
6 квадратов
24 пятиугольника выпуклых
24 пятиугольника вогнутых

Деталь 2
6 деталей



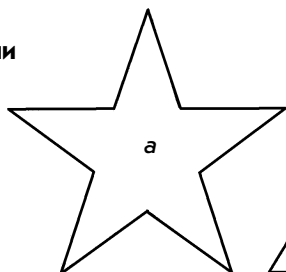
Деталь 1
6 деталей

Малый додекогеммикосаэдр

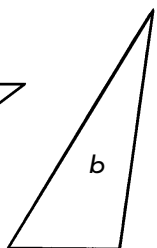


132 детали

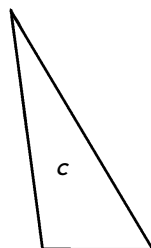
Состав модели



12 деталей

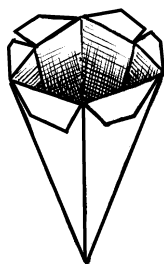


60 деталей

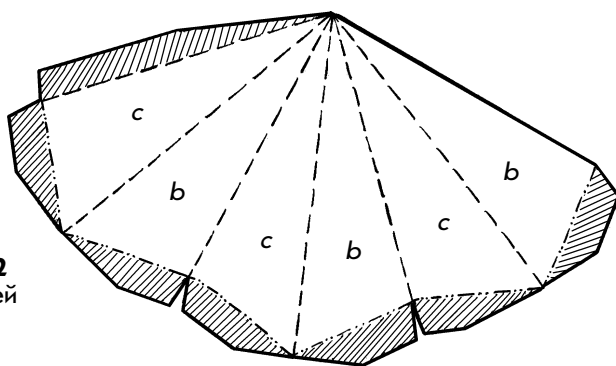


60 деталей

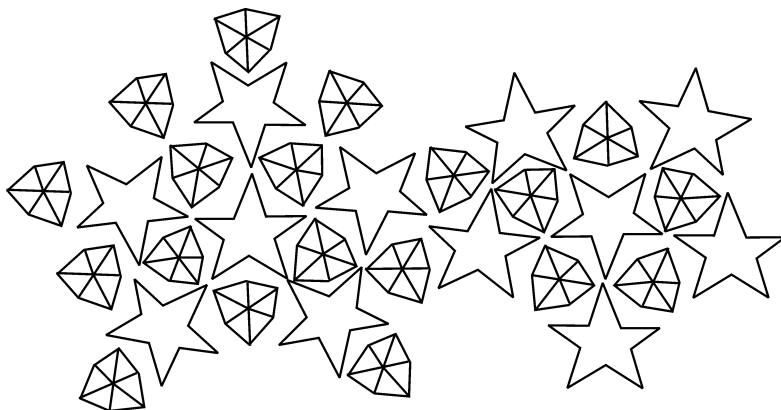
Пусть звёздочка будет деталью № 1. Объединим 3 детали «b» и 3 детали «c» в одну укрупнённую деталь № 2.



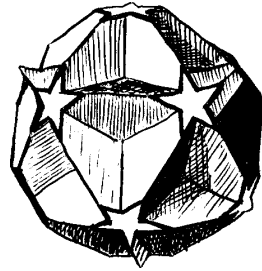
Деталь 2
20 деталей



Общая схема
сборки модели



Усечённый большой додекаэдр

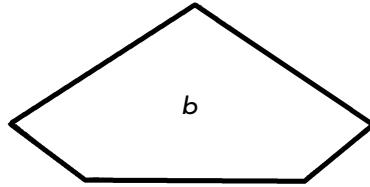


72 детали

Состав модели

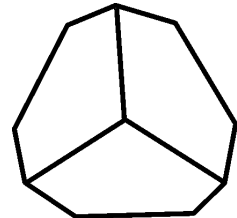
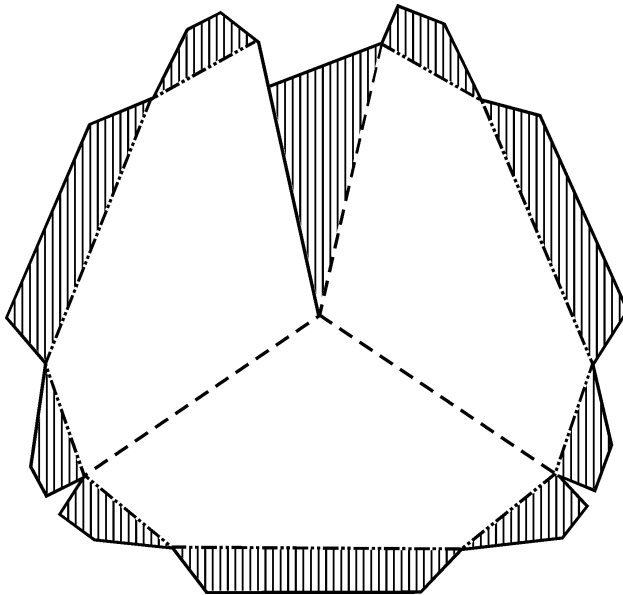


12 деталей



60 деталей

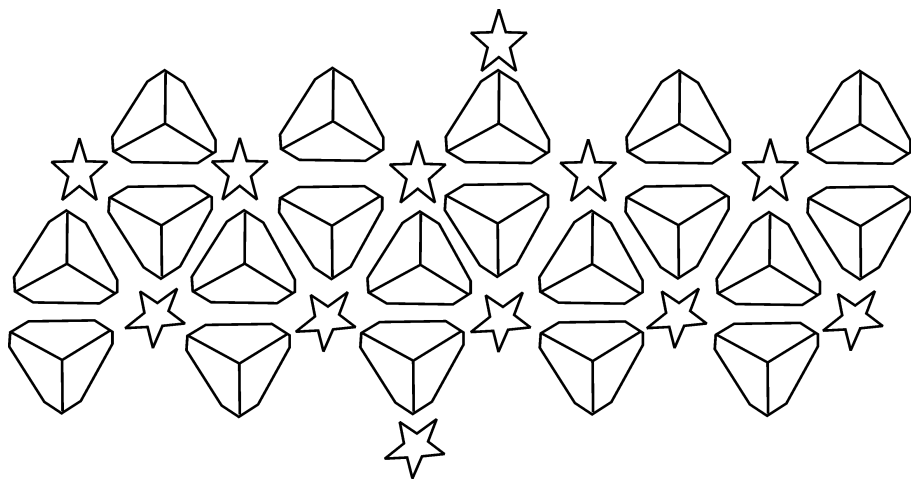
Пусть звёздочка будет деталью 1.
Объединим 3 детали «b» в одну укрупнённую деталь 2.



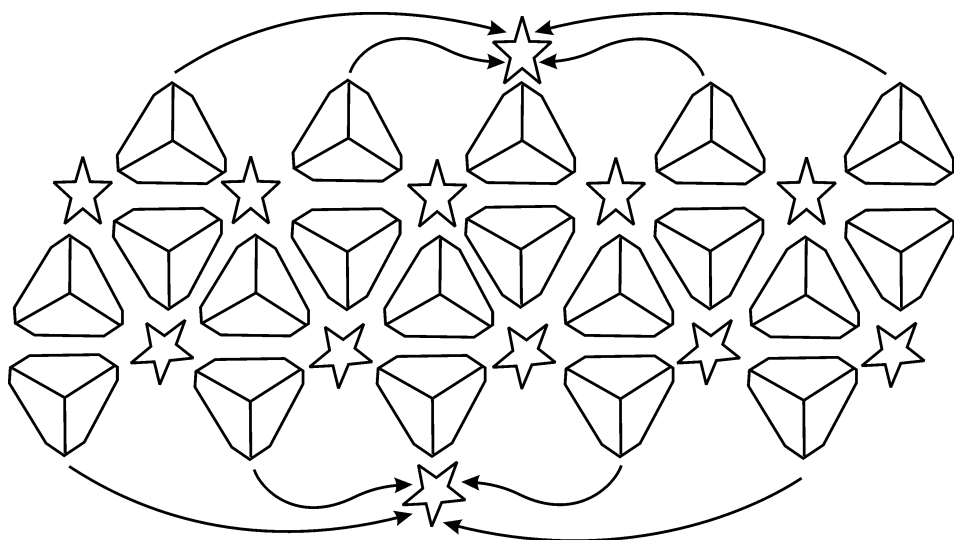
Деталь 2
в собранном виде

Деталь 2
20 деталей

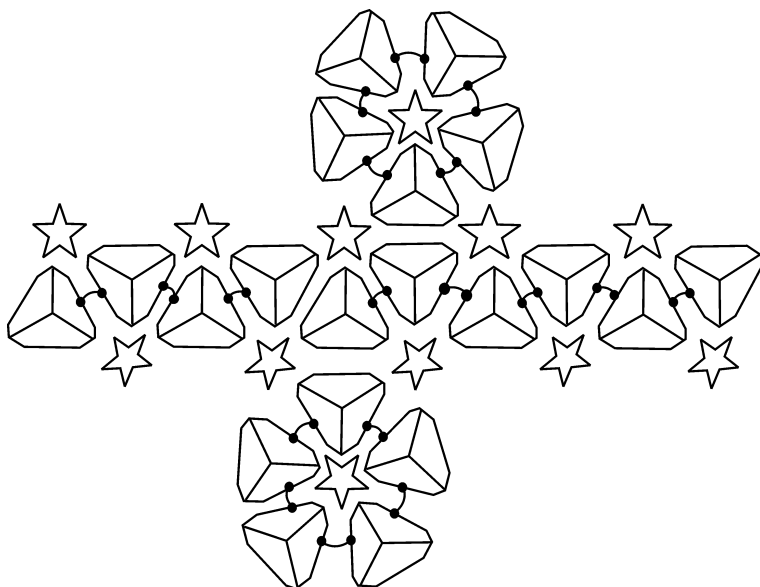
Общая схема сборки моделей из 32 деталей



А можно сделать ещё некоторые перемещения:

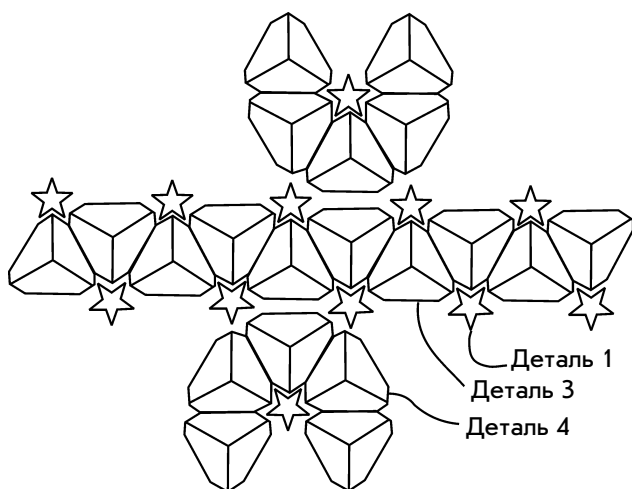


И тогда схема сборки модели будет такая:

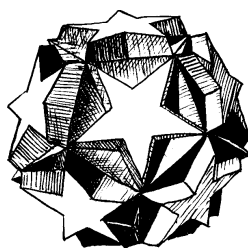


Если объединить в группы детали 2, то окончательная схема сборки модели будет состоять из 15 деталей:

- 1 деталь 3 центрального пояса из 10 деталей 2;
- 2 детали — колечко № 4 из 5 деталей 2;
- 1 деталь 1 — звездочка.

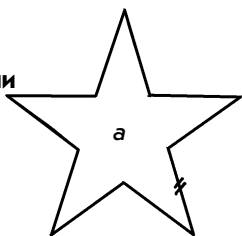


Усечённый большой икосаэдр



192 детали

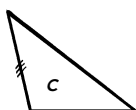
Состав модели



12 деталей

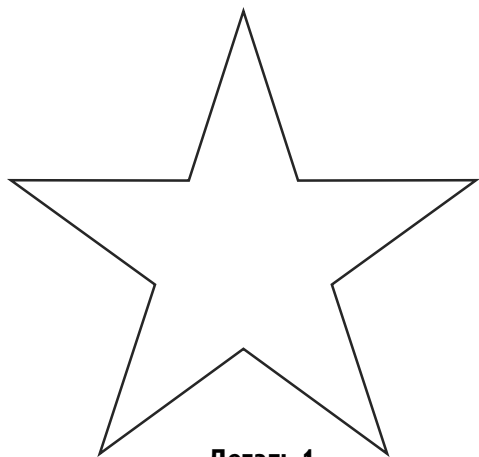


120 деталей

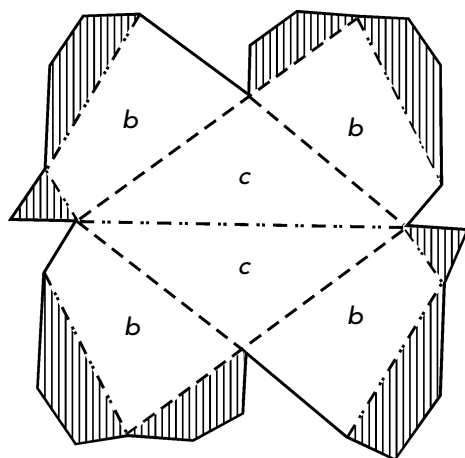


60 деталей

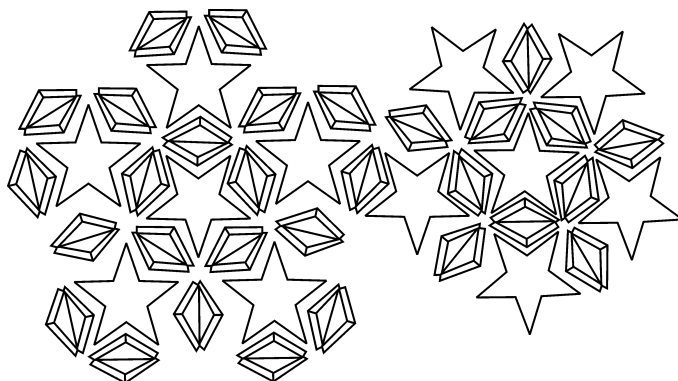
Пусть звёздочка будет деталью 1. Объединим 2 детали «с» и 4 детали «b» в одну укрупнённую деталь 2.



Деталь 1
12 деталей

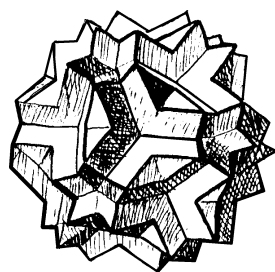


Деталь 2
30 деталей



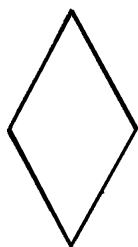
Общая схема сборки
модели из 42 деталей

Большой додекоикосододекаэдр

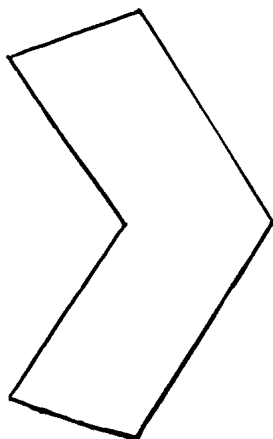


180 деталей

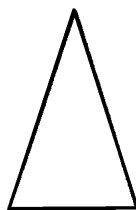
Состав модели



60 деталей

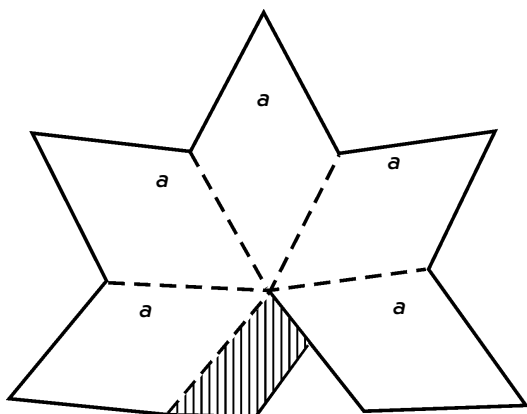


60 деталей

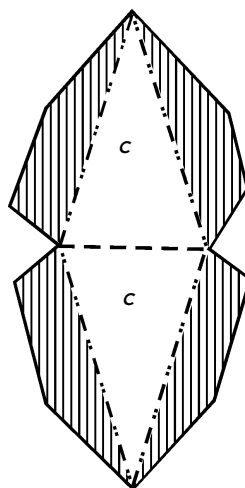


60 деталей

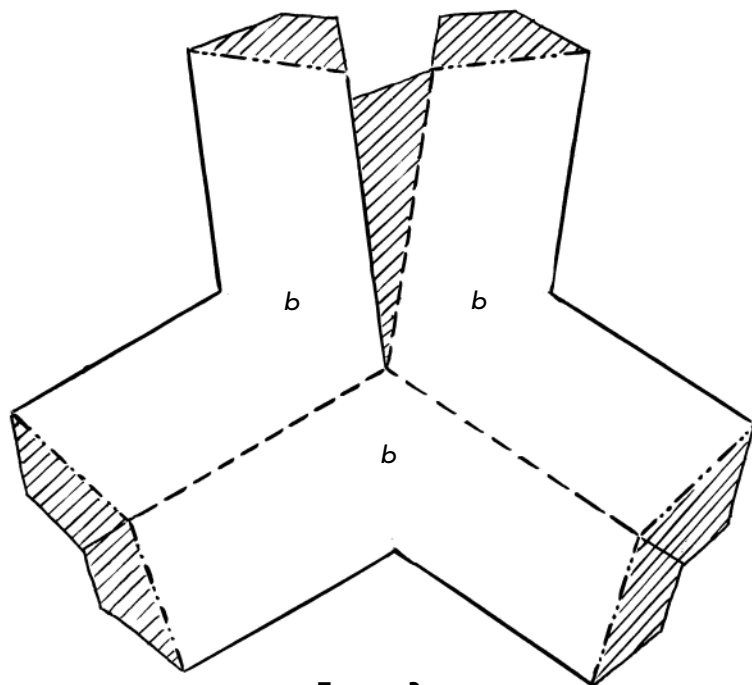
Объединим 5 деталей «а» в одну укрупнённую деталь 1. 2 детали «с» — в деталь 2 и 3 детали «в» — в деталь 3.



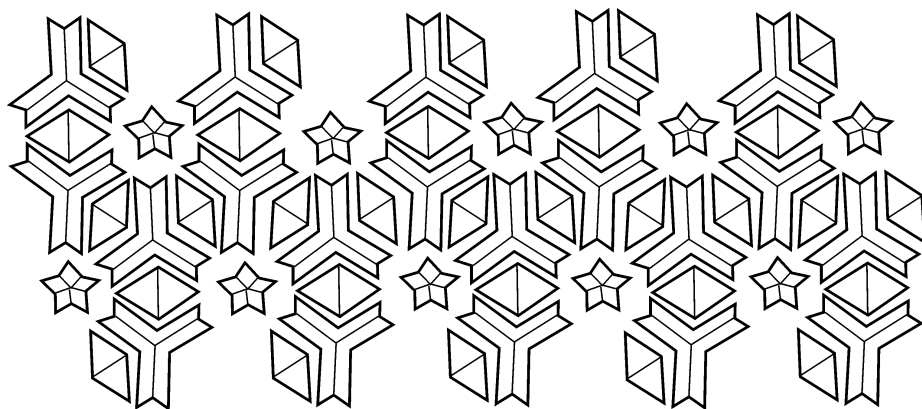
Деталь 1
12 деталей



Деталь 2
30 деталей

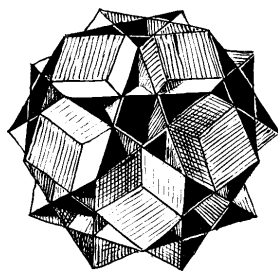


Деталь 3
20 деталей



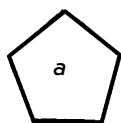
Общая схема сборки моделей из 62 деталей

Большой додекогеммикосаэдр

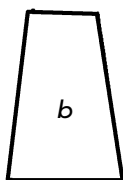


312 деталей

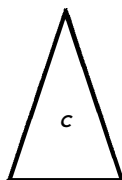
Состав модели



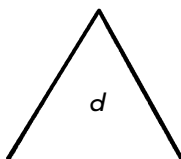
12 деталей



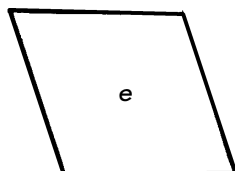
60 деталей



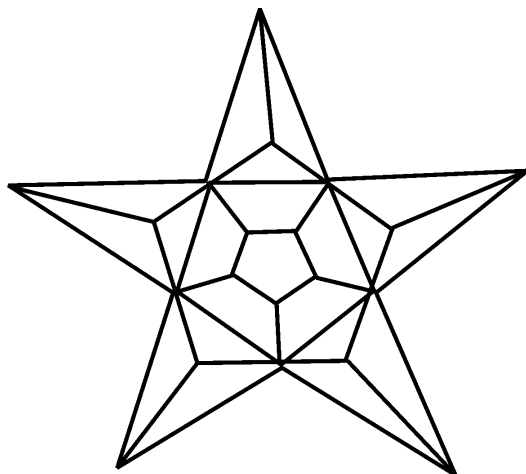
60 деталей



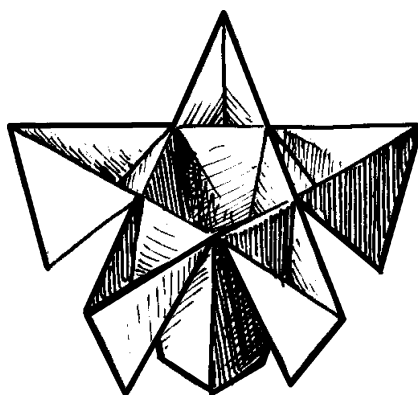
120 деталей



60 деталей

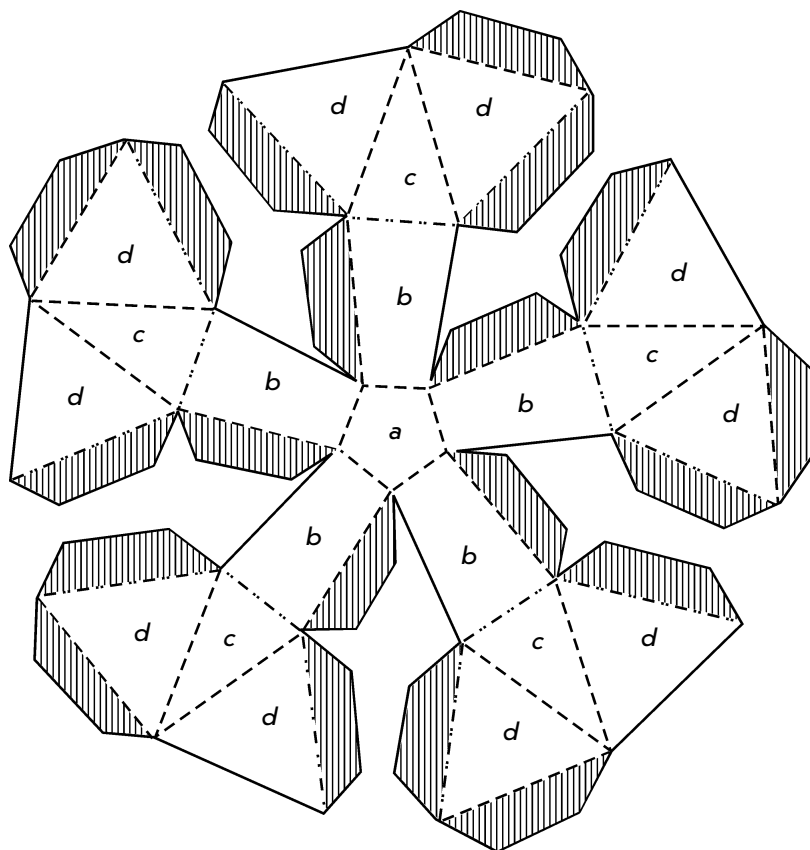


Деталь 1
в собранном виде
12 деталей

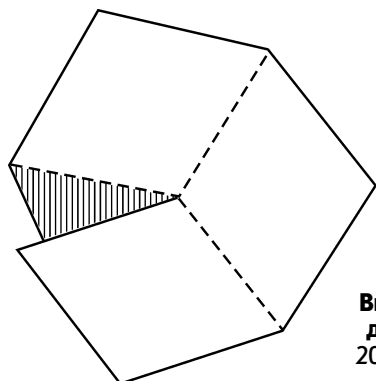


Общий вид детали 1

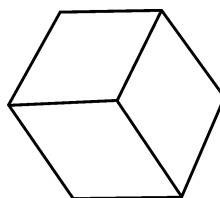
Объединим 5 деталей «а», по 5 деталей «б» и «с» и 10 деталей «d» в одну укрупнённую деталь 1.



Объединим 3 детали «е» в одну укрупнённую деталь 2.

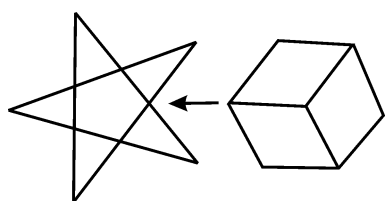


**Выкройка
детали 2**
20 деталей

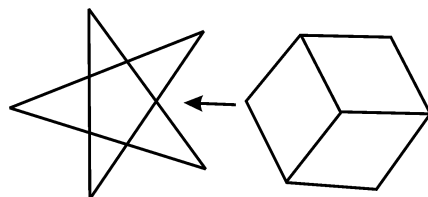


Деталь 2
в собранном виде

Обратите внимание на то, как деталь № 2 соединяется со звёздочкой:

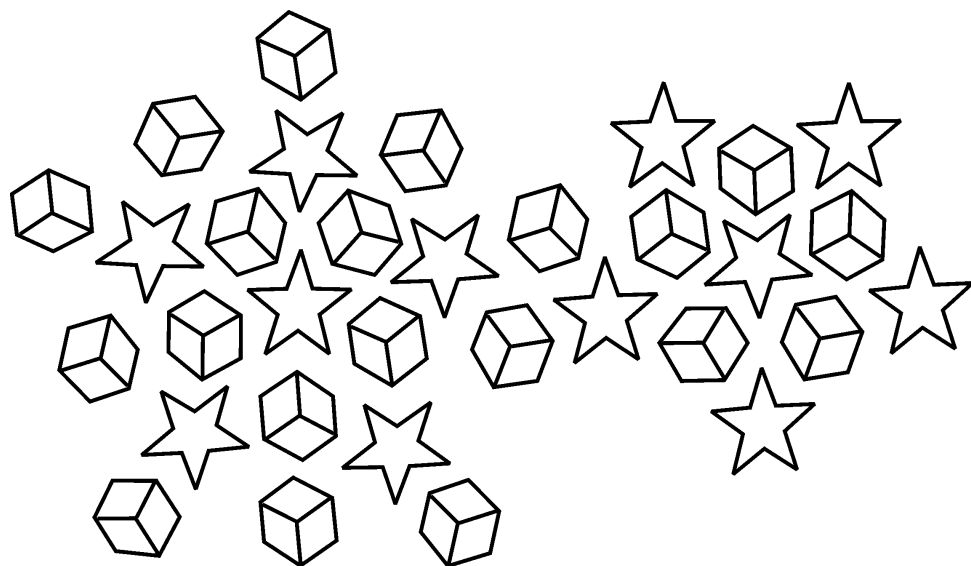


Так!

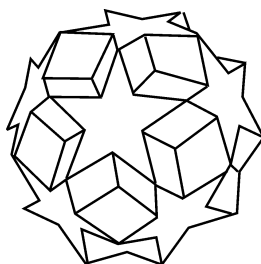


Не так!

Общая схема сборки моделей из 32 деталей:



Додекододекаэдр

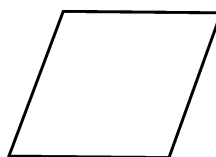


72 детали

Состав модели

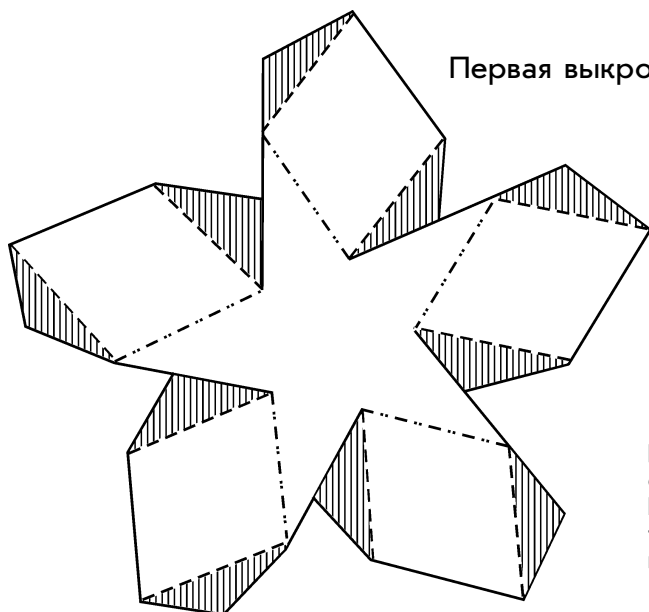


12 деталей



60 деталей

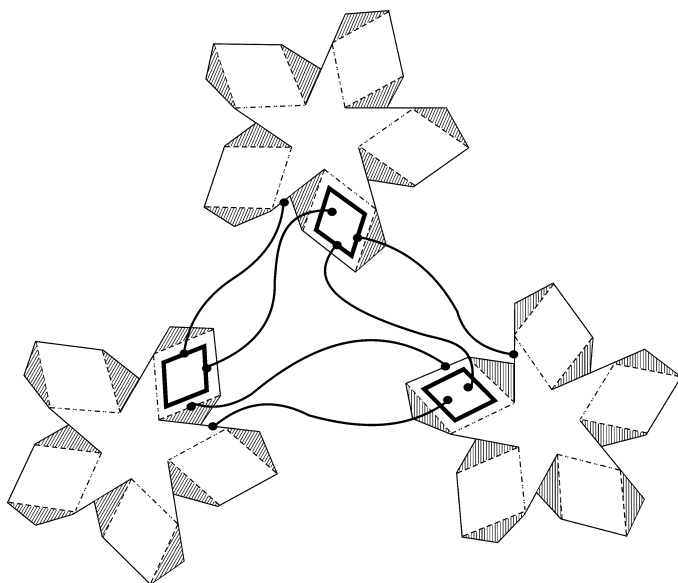
Давайте к каждой звёздочке прикрепим по 5 ромбиков.



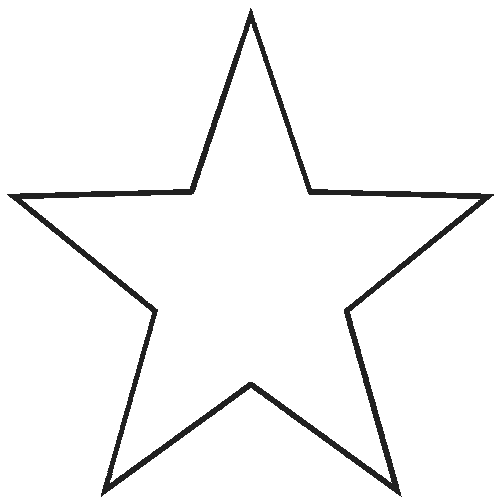
Первая выкройка додекододекаэдра

Из 12 таких деталей собирается модель. Начните со сборки трёхгранной чаши из ромбиков.

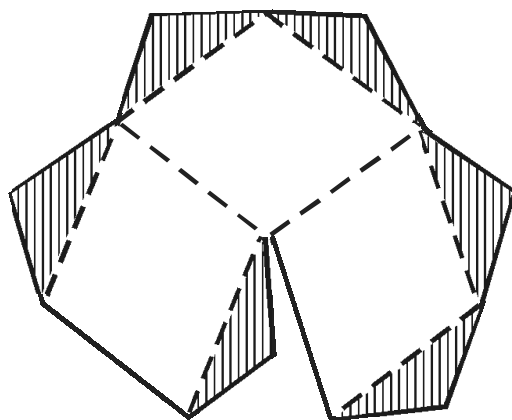
Формирование одной трёхгранной чаши



Вторая выкройка додекодекаэдра



Деталь 1
12 деталей



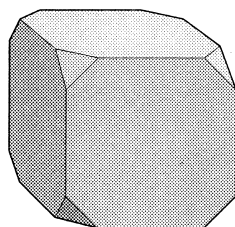
Деталь 2
20 деталей

Общая схема сборки модели такая же, как на стр. 116.

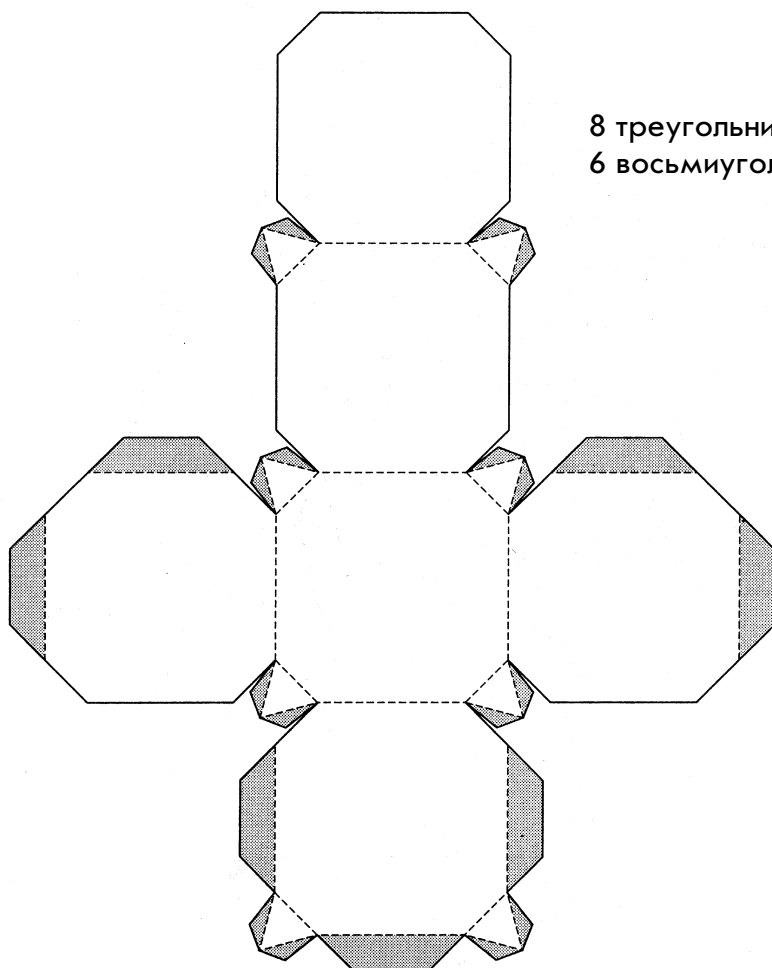
ПРИРОДНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Кристалл флюорита

Не напоминает ли вам кристалл флюорита одно из архимедовых тел — усечённый гексаэдр?

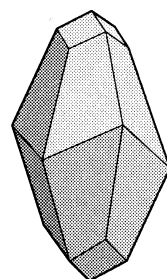


Выкройка кристалла флюорита



8 треугольников
6 восьмиугольников

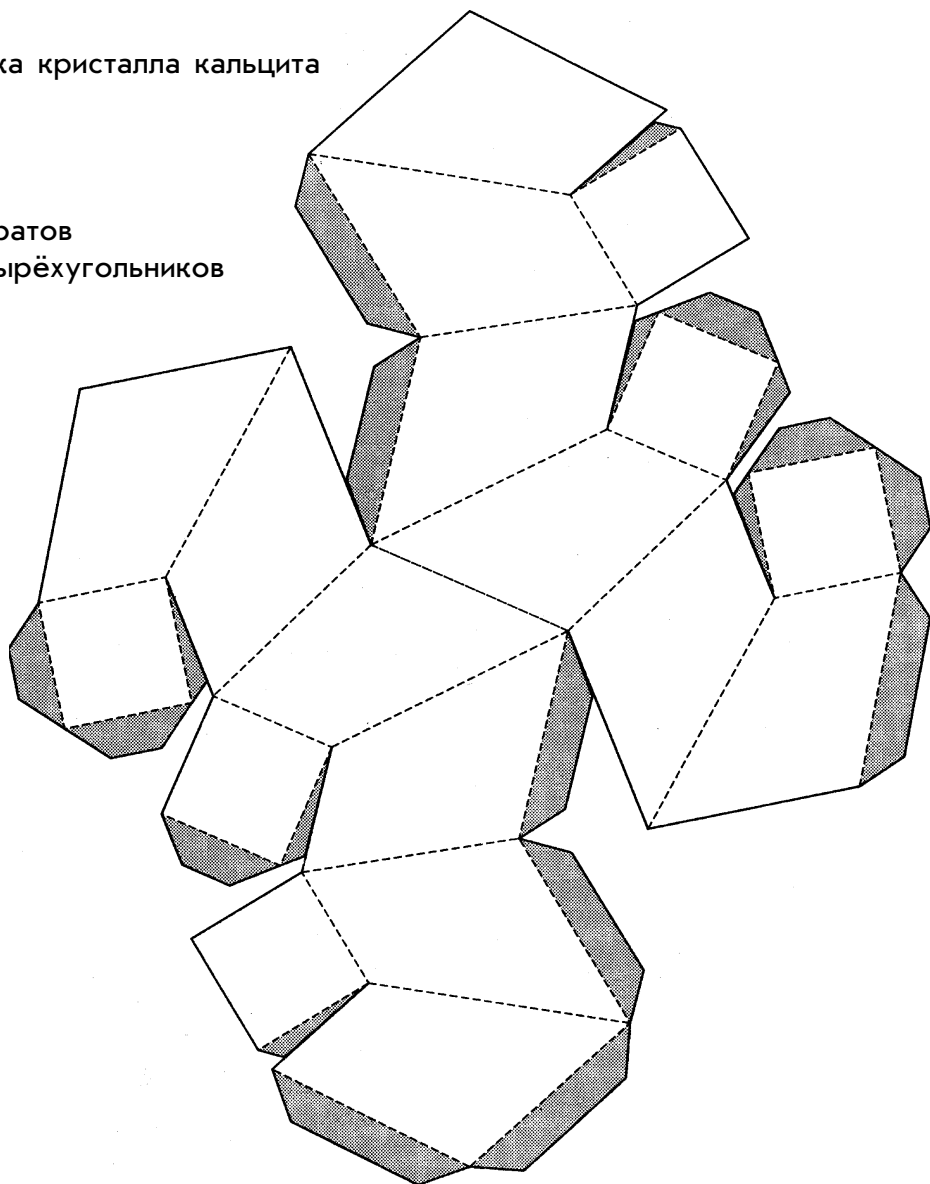
Кристалл кальцита



Вершинами гексаэдра — соединением трёх квадратов — заканчивается с двух сторон кристалл кальцита, встречающийся в природе.

Выкройка кристалла кальцита

6 квадратов
12 четырёхугольников



Выкройка кристалла кальцита

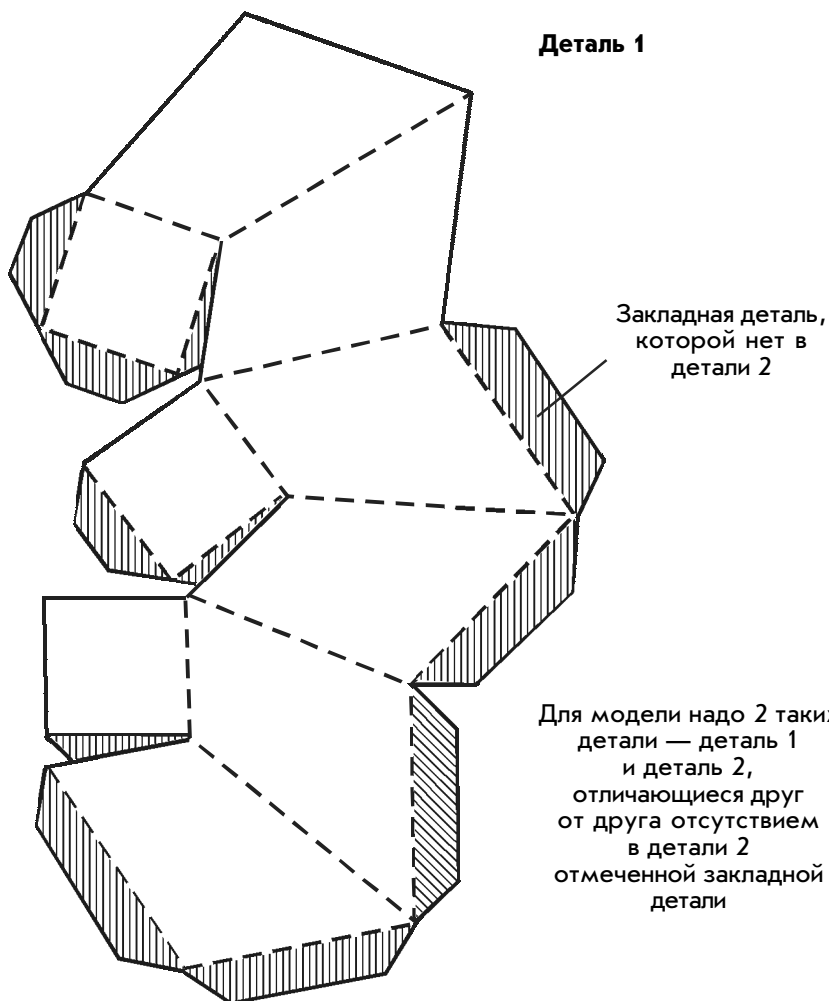
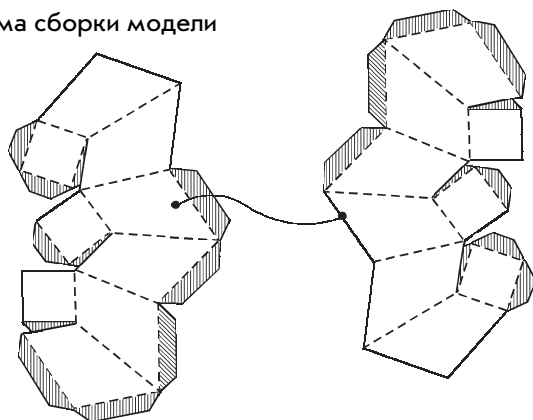


Схема сборки модели



Кристалл граната

Кристалл граната напоминает усечённую октаэдральную форму.

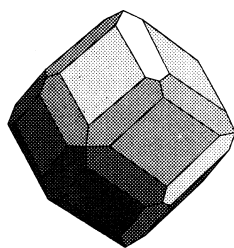
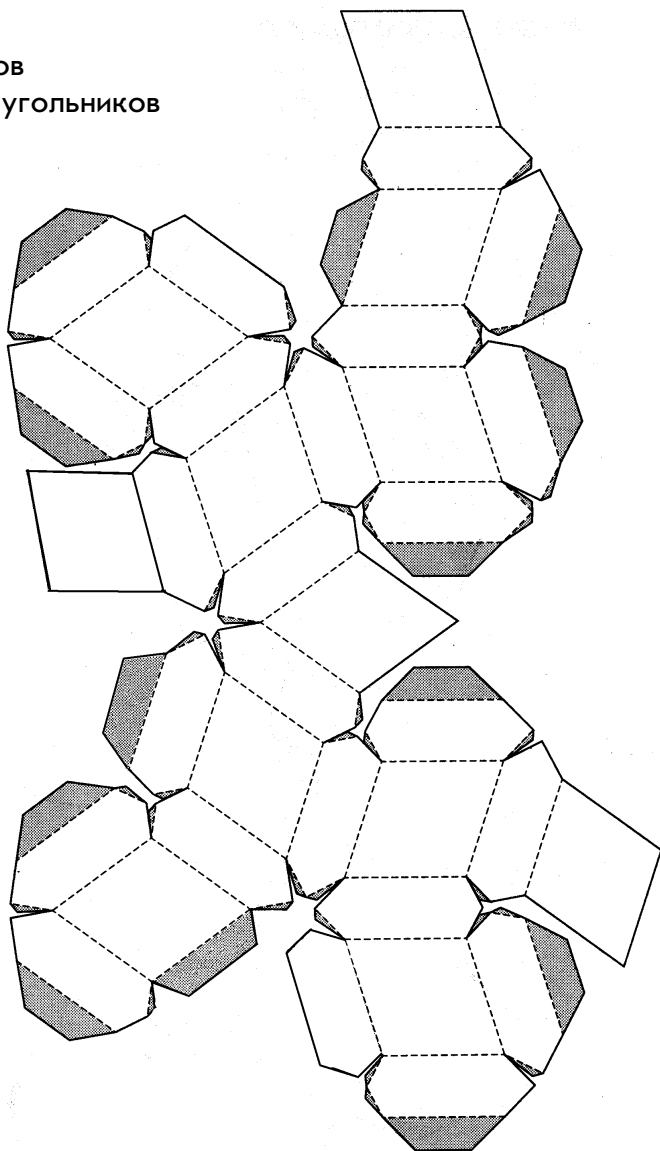


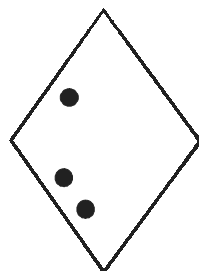
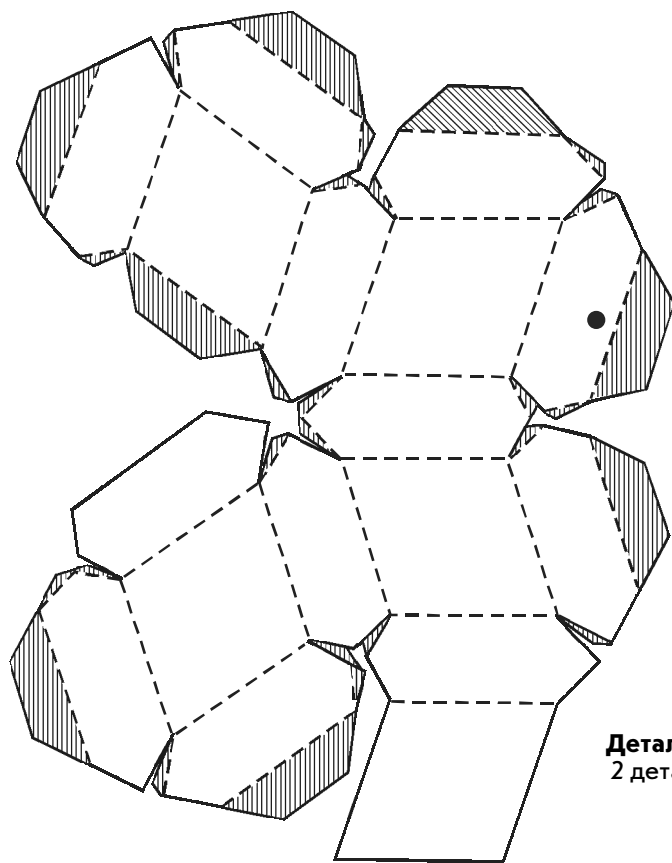
Схема кристалла граната

12 ромбов

26 шестиугольников



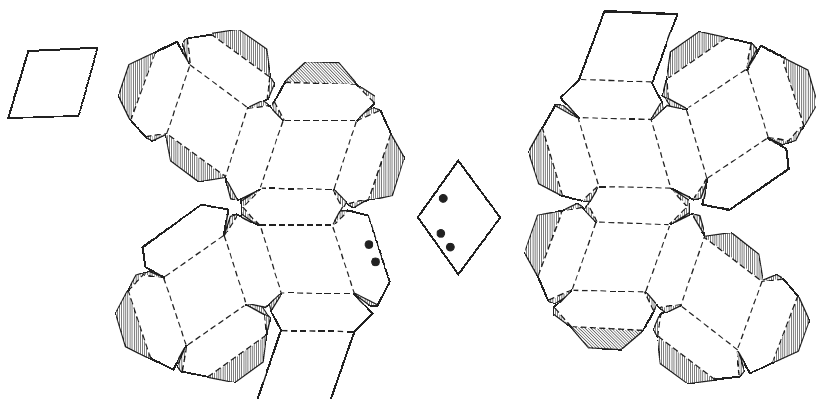
Выкройка кристалла граната



Деталь 2
2 детали

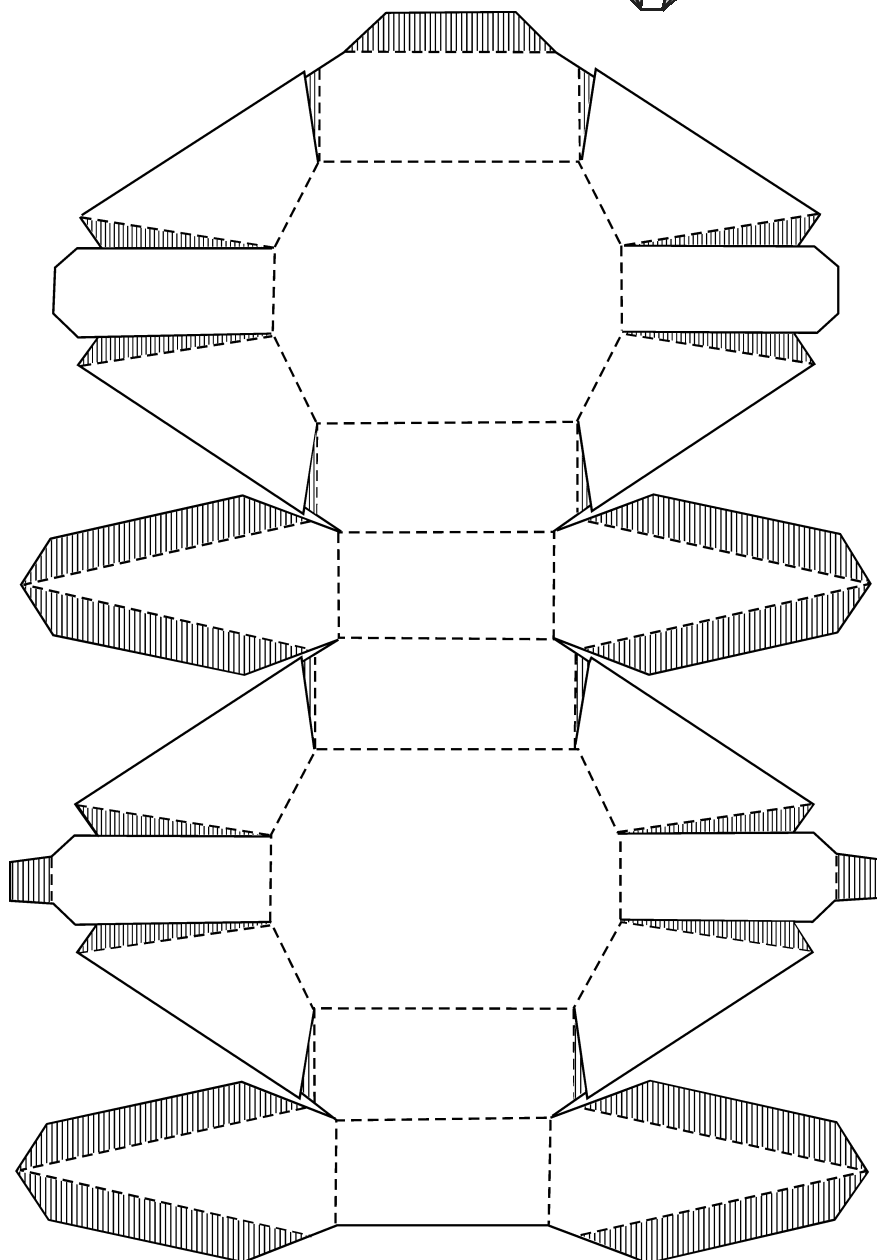
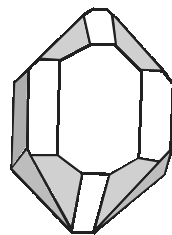
Деталь 1
2 детали

Схема сборки модели

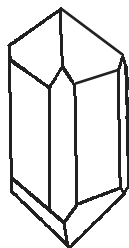


Кристалл оливина

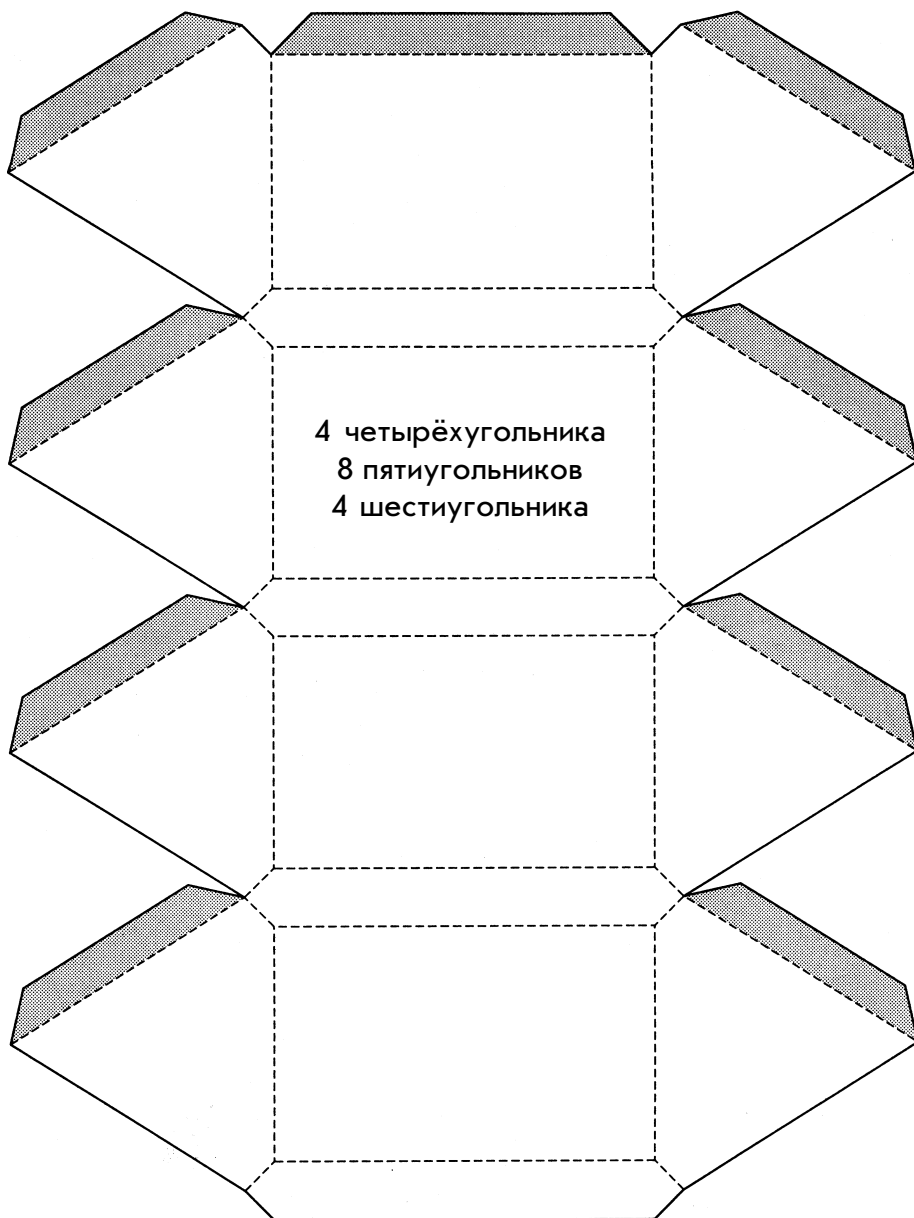
Схема кристалла оливина



Кристалл рутила



Выкройка кристалла рутила



Кристалл алмаза

Ярко выраженный октаэдральный вид имеет одна из редких разновидностей алмаза.

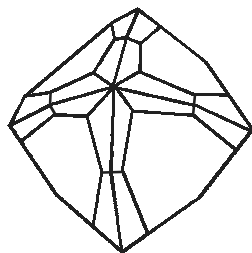
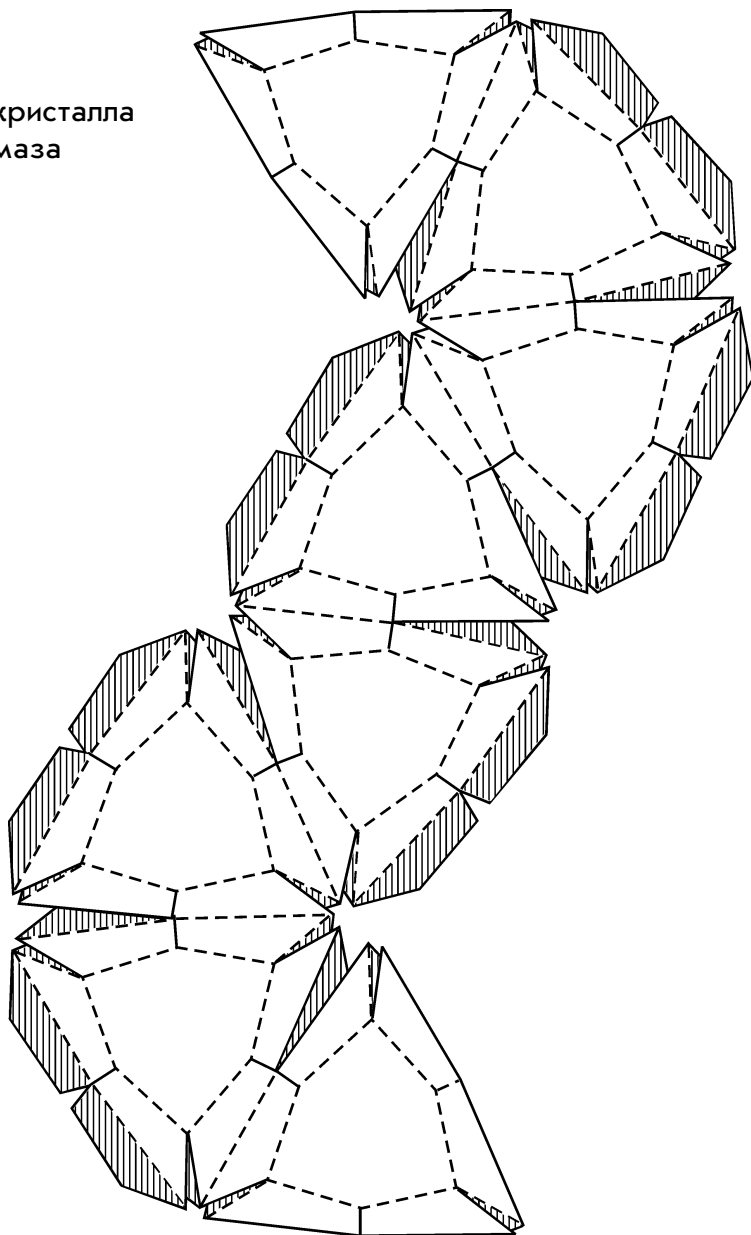
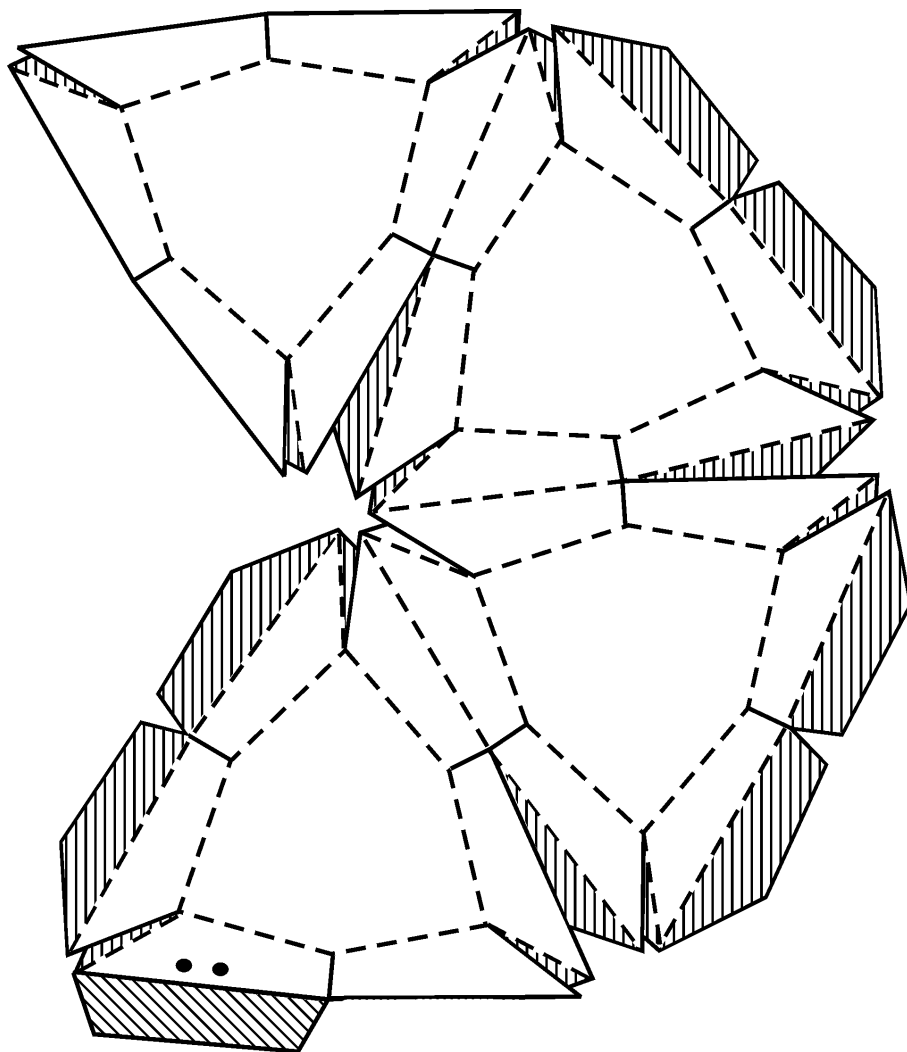


Схема кристалла алмаза



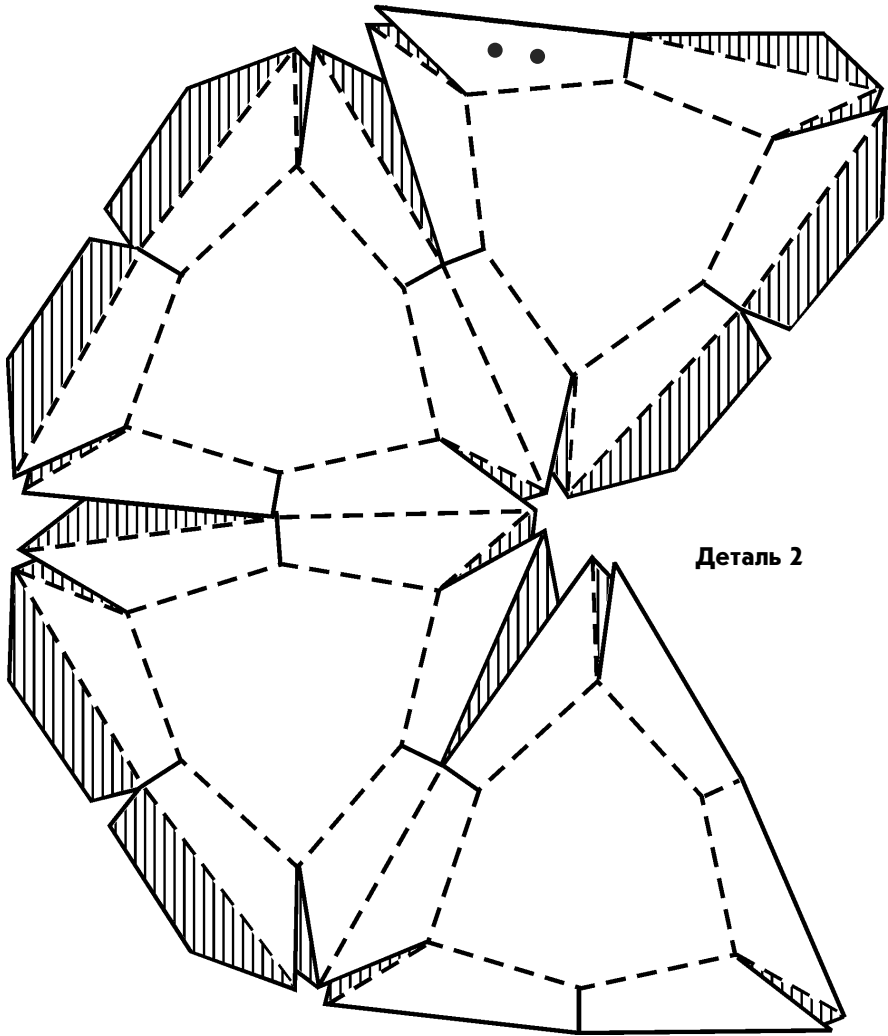
Выкройка кристалла алмаза



Деталь 1

● ● Место склеивания деталей 1 и 2

Выкройка кристалла алмаза



Деталь 2

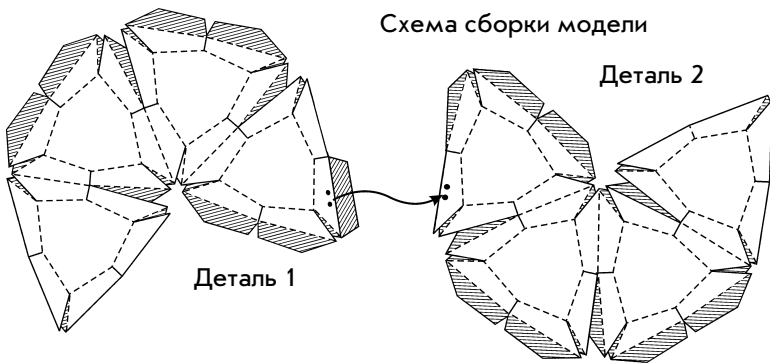


Схема сборки модели

Деталь 1

Деталь 2

Кристалл кварца

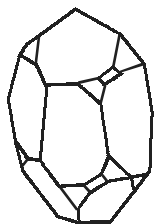
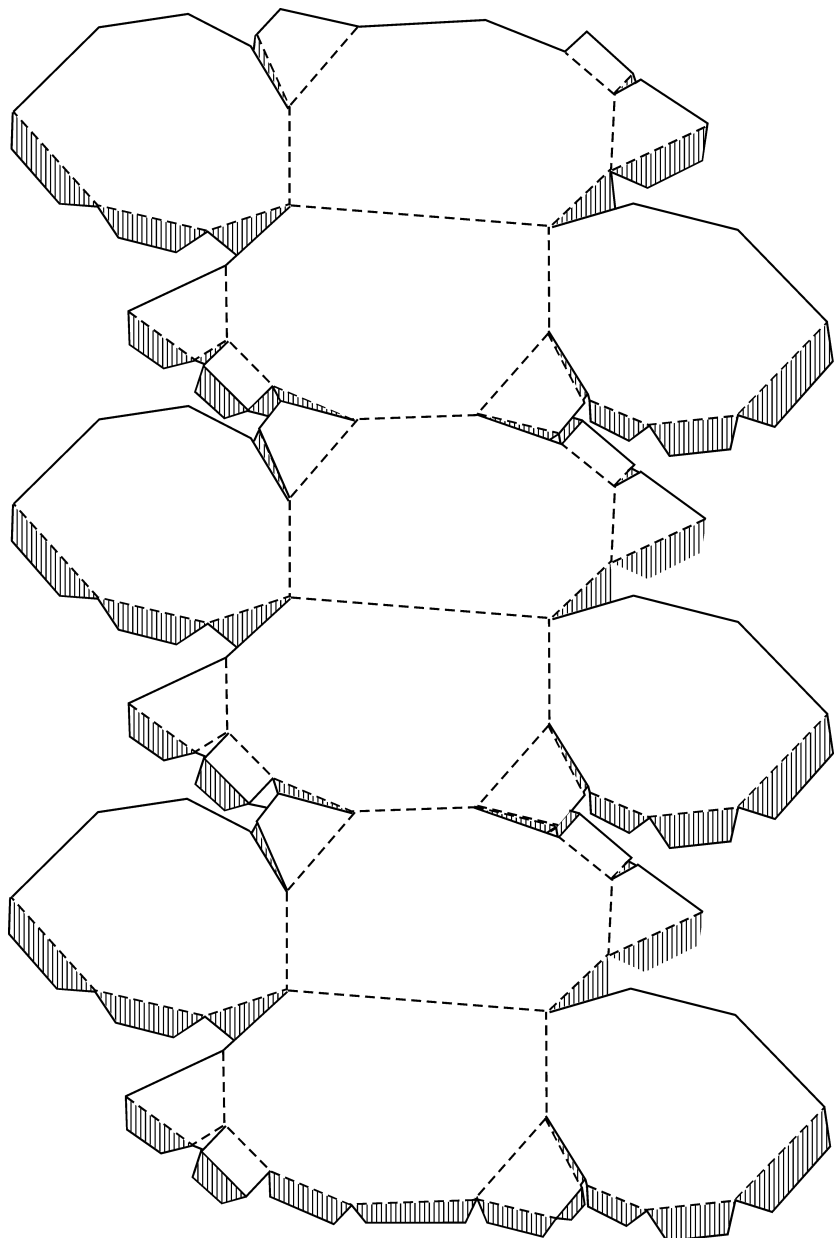
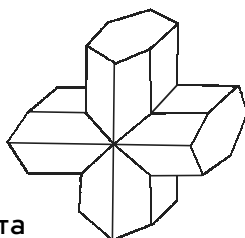


Схема кристалла кварца

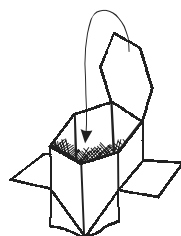
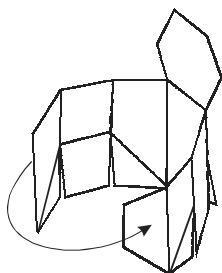
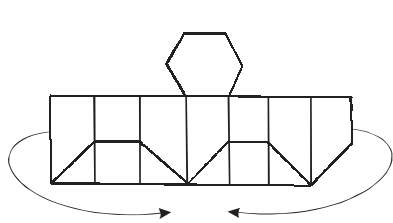
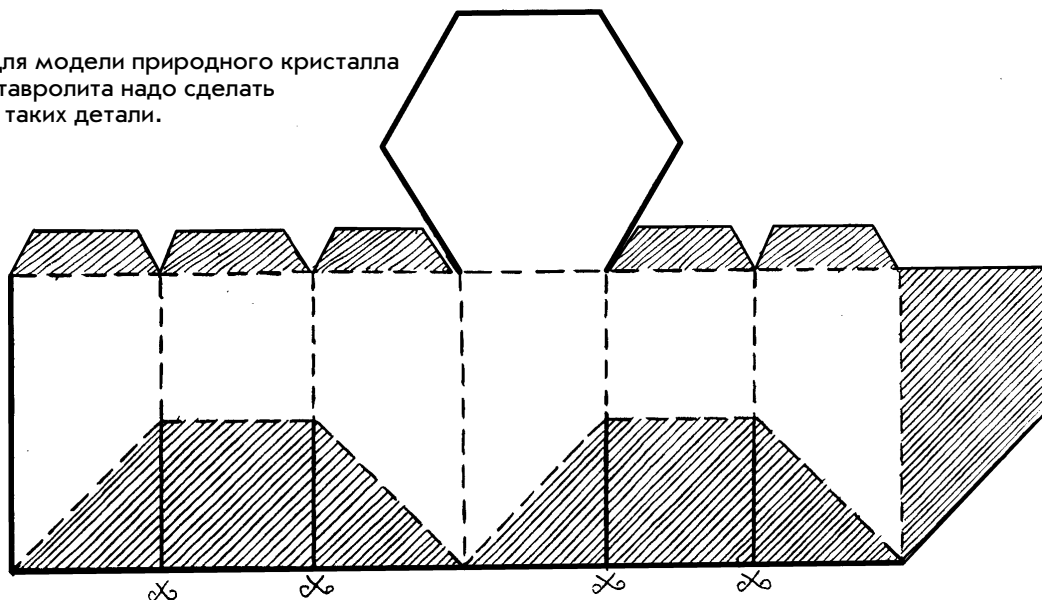


Кристалл ставролита

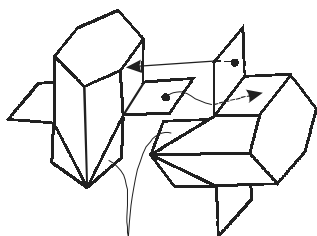


Выкройка одной детали кристалла ставролита

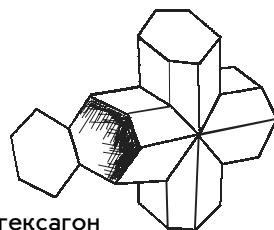
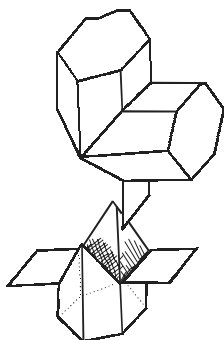
Для модели природного кристалла ставролита надо сделать 4 таких детали.



Надо собрать 3 таких детали. В 4-й детали гексагон не подклеивать!



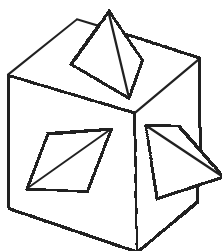
Уголки склейте друг с другом внутри модели.



4-й гексагон подклеивается последним после склеивания внутренних уголков.

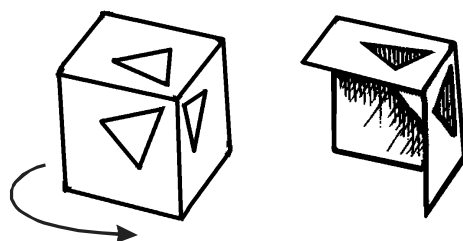
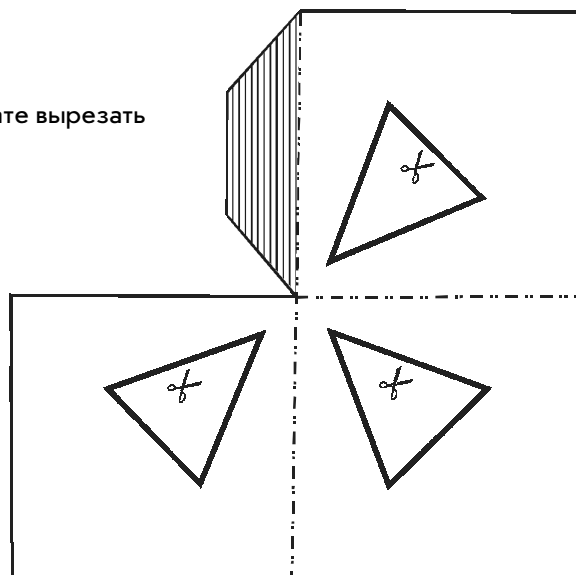
Кристалл лопарита

Лопарит — это гексаэдр с усложнённым пространственным рисунком граней.



Выкройка кристалла лопарита

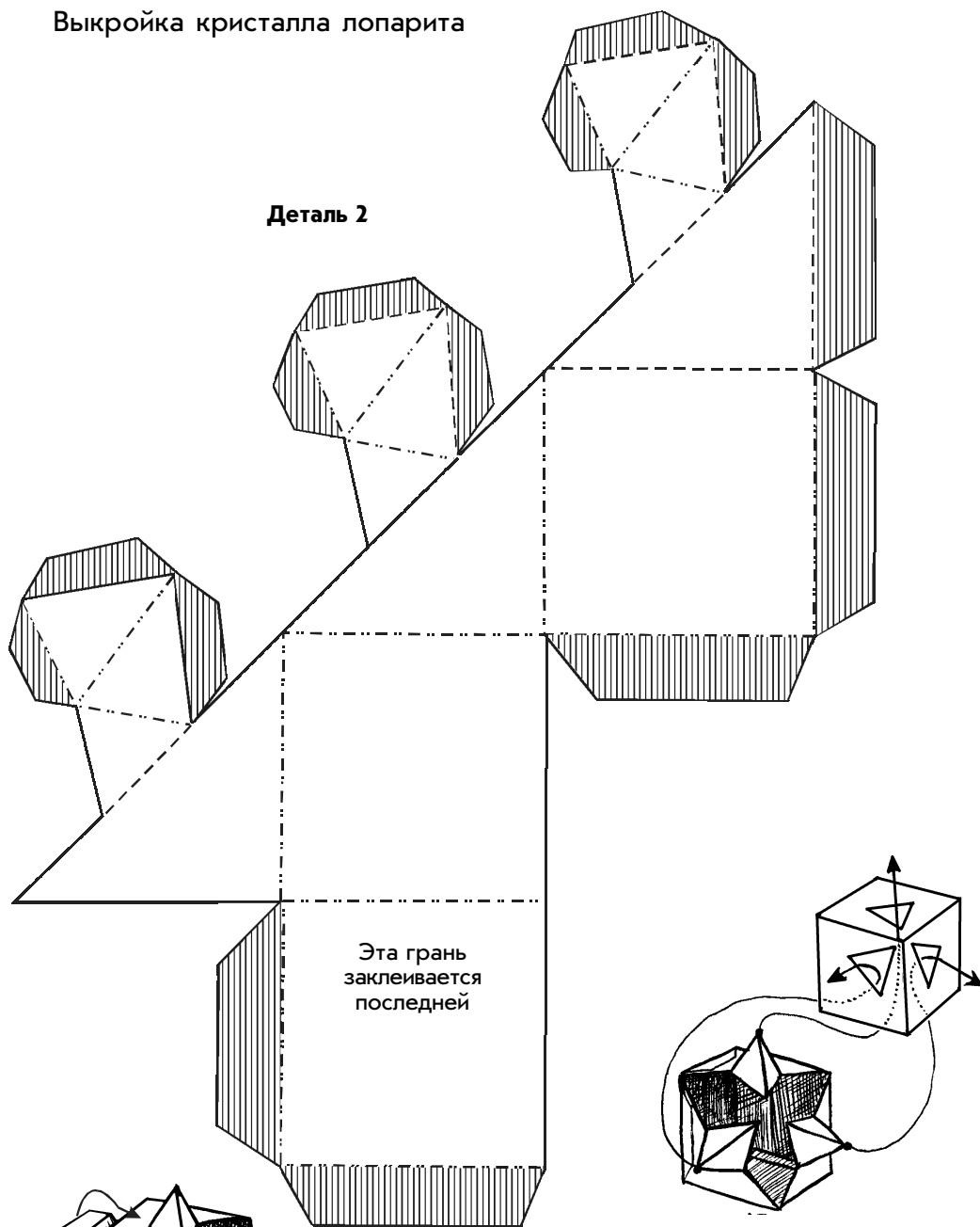
В каждом квадрате вырезать треугольники.



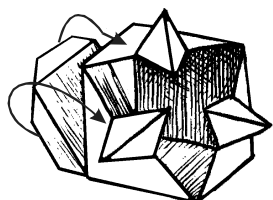
Деталь 1 в собранном виде

Выкройка кристалла лопарита

Деталь 2



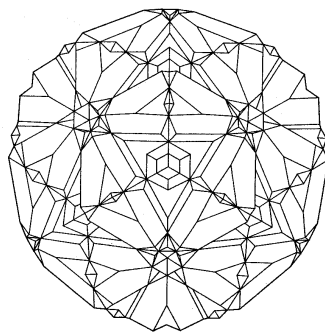
Эта грань
заклеивается
последней



Деталь 2 в собранном виде

Деталь 1 опустить
на деталь 2.
При этом пирамиды детали 2
продеваются через отверстия
детали 1.

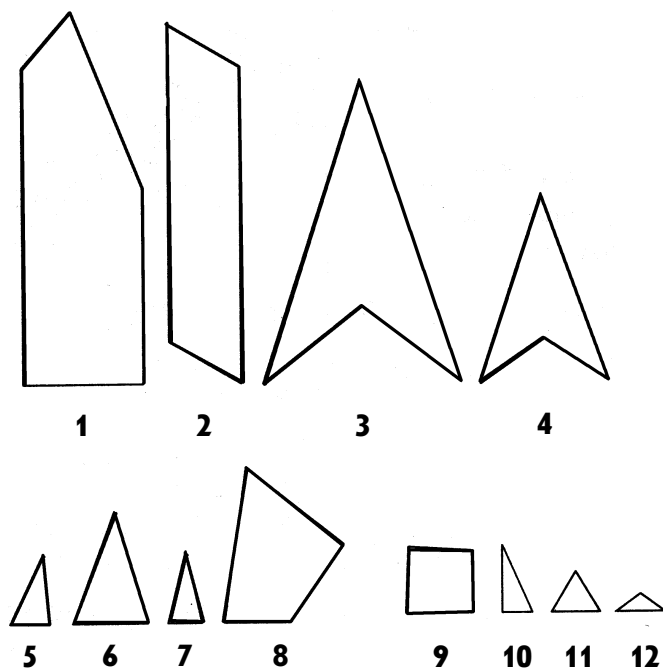
Большой квазиусечённый икосододекаэдр

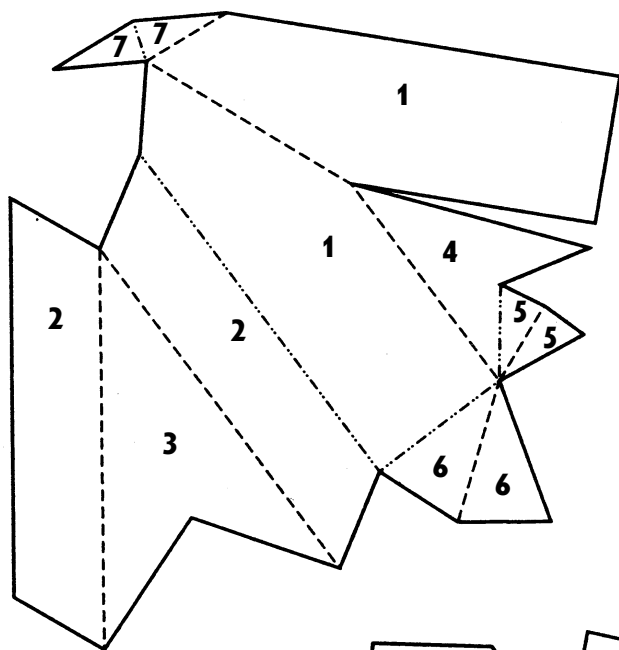


А теперь задание для самых храбрых — делаем «большой квазиусечённый икосододекаэдр»! Он состоит из 1140 деталей!

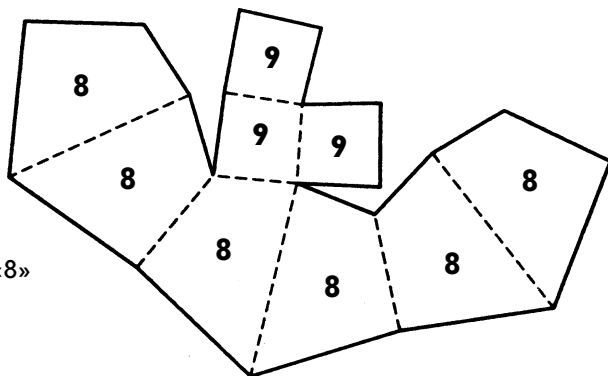
Он похож на додекаэдр, но в вершинах размещены 20 девятигранных «чаш», а каждый пентагон — не плоский, как в простом додекаэдре, а имеет усложнённый пространственный рисунок, состоящий из 80 деталей. В основе многогранника лежат 12 деталей. Для того чтобы не производить огромного количества склеек, некоторые детали собраны в три основные группы и представлены на листе выкроек (стр. 134 и 135) как детали 1, 2, 3 и 4.

Состав деталей

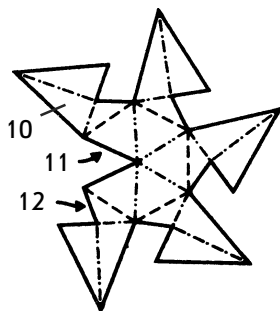




Деталь 1
 состоит из 2 деталей «1»,
 2 деталей «2»,
 1 детали «3»,
 1 детали «4»,
 2 деталей «5»,
 2 деталей «6»
 и 2 деталей «7»,
 всего 12 деталей.

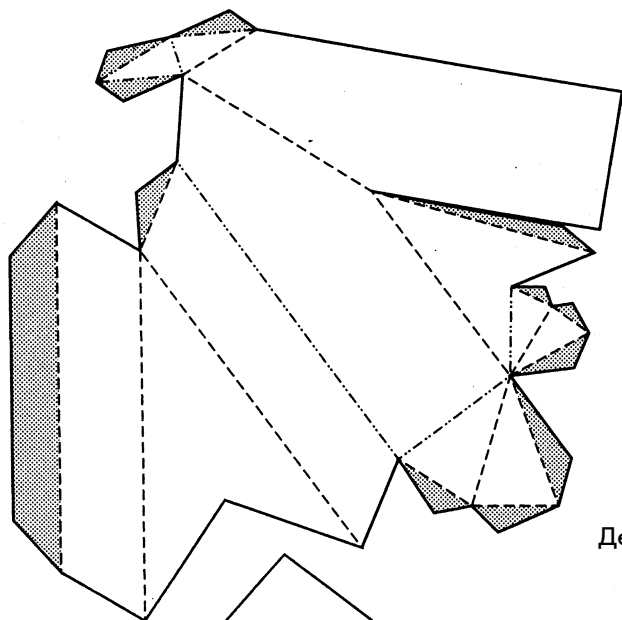


Деталь 2
 состоит из 6 деталей «8»
 и 3 деталей «9»,
 всего 9 деталей.

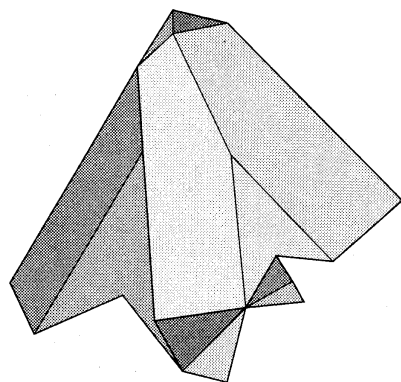


Деталь 3
 состоит из
 10 деталей «10»,
 5 деталей «11»,
 5 деталей «12»,
 всего 20 деталей.

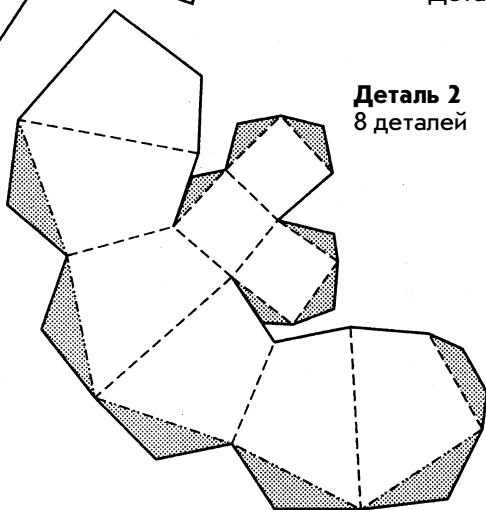
Выкройка большого
квазиусечённого икосододекаэдра



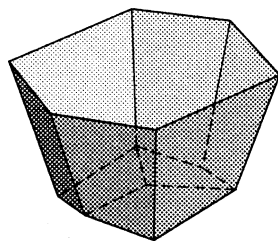
Деталь 1
12 деталей



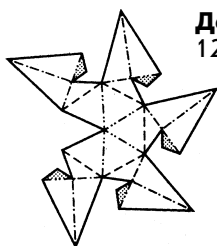
Деталь 1 в собранном виде



Деталь 2
8 деталей

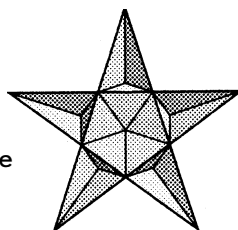


Деталь 2
в собранном виде



Деталь 3
12 деталей

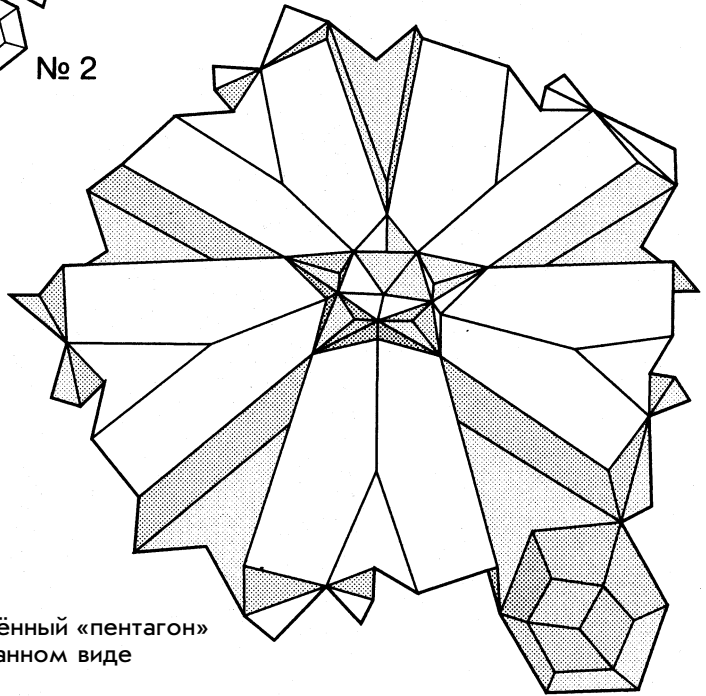
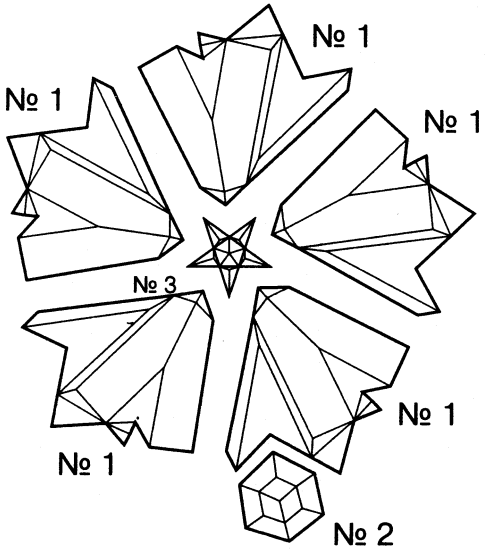
Деталь 3 в собранном виде



Здесь указано количество деталей 1, 2 и 3 с учётом 12 деталей 4.

Если делать многогранник только из деталей 1, 2 и 3, то всего понадобится 60 деталей 1, 20 деталей 2 и 12 деталей 3.

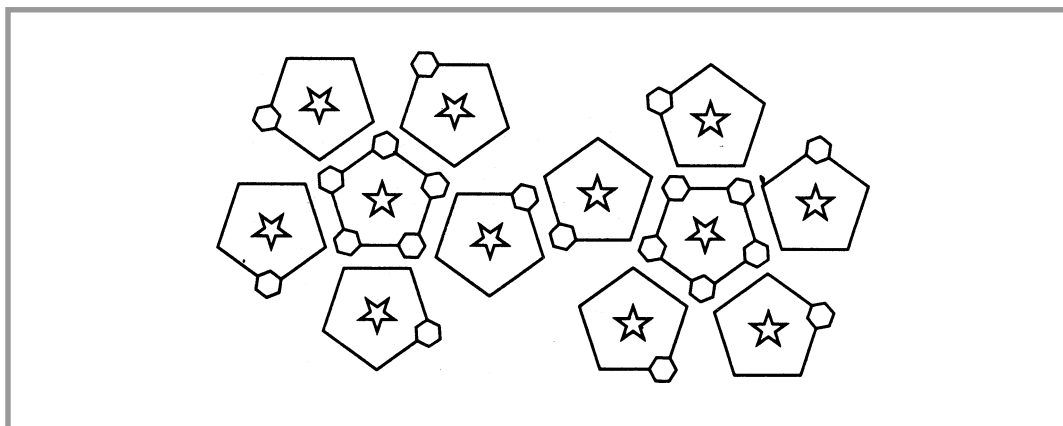
Один усложнённый пентагон состоит из 5 деталей 1, склеенных по кольцу друг с другом с деталью 3 в центре этого кольца и деталями 2 в вершинах этого «пентагона».



Один усложнённый «пентагон»
в собранном виде

Таких усложнённых пентагонов в нашем многограннике, как и в додекаэдре, 12.

Общая схема сборки этого многогранника напоминает общую схему сборки додекаэдра.



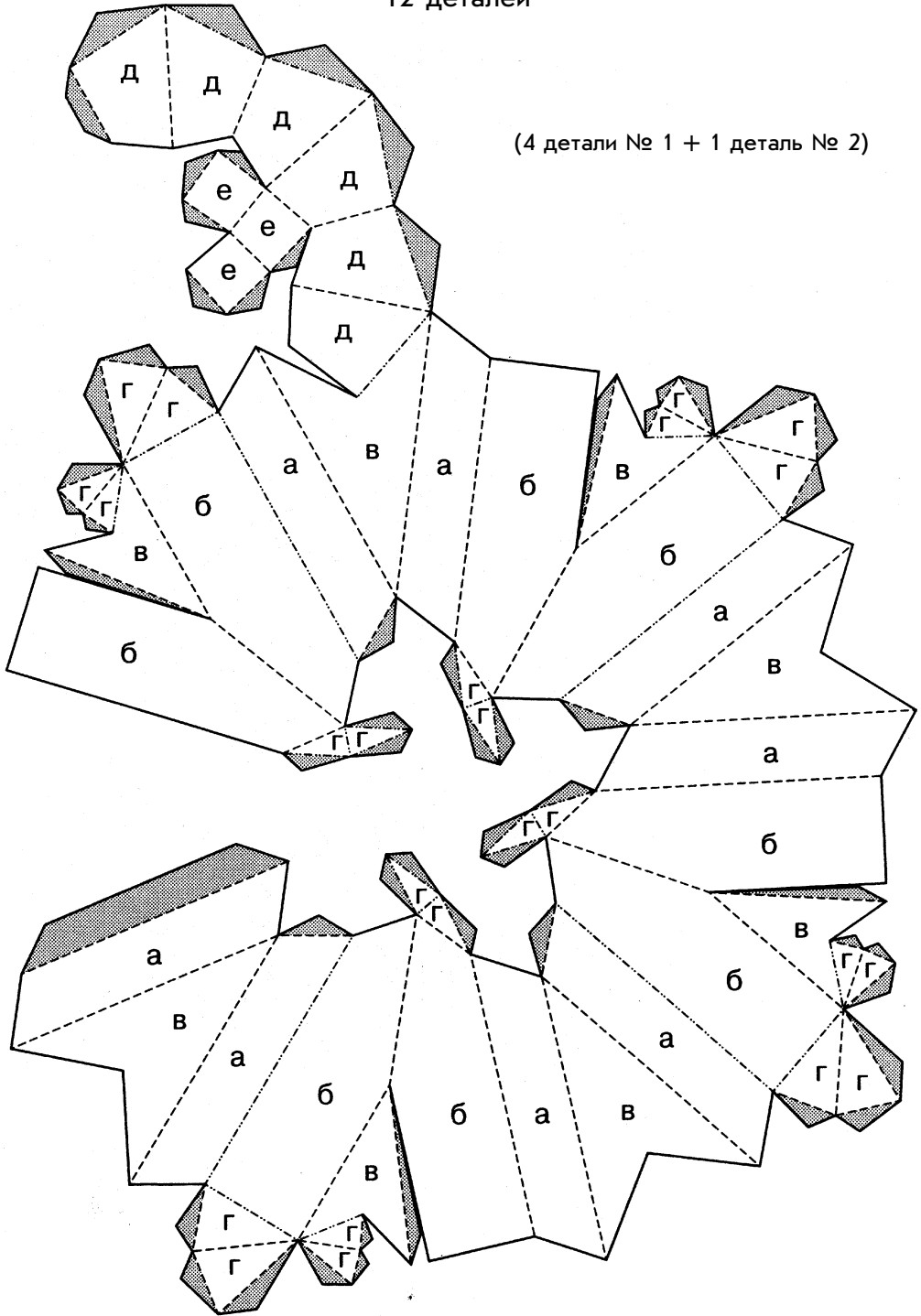
Из общей схемы сборки мы видим, что усложнённых пентагонов с 5-ю деталями 2 надо всего 2, остальные 10 усложнённых пентагонов имеют по 1 детали 2 каждый. Представляется возможным объединить 4 детали 1 на одной плоскости в единую выкройку с деталью 2. Назовём эту деталь 4 (стр. 138). Теперь, если произвести необходимое прочерчивание (тупым ножом и т.д. — помните?), указанные сгибы («долиной» или «горой») и склейку одной детали № 1, одной детали 3 и одной детали 4 и склеить эти детали вместе, мы и получим один усложнённый пентагон.

Таких пентагонов надо 12. К вершинам 2-х из них подклеим по 4 детали 2. Значит, окончательно нам для работы надо: 12 деталей 1, 12 деталей 4, 12 деталей 3 и 8 деталей 2.

На изготовление этого многогранника необходимо около 3 листов ватмана размером 60×80 см.

Деталь 4
12 деталей

(4 детали № 1 + 1 деталь № 2)



На выкройке разные плоскости деталей обозначены разными буквами, которые соответствуют какому-то цвету. После сборки многогранника его можно раскрасить.

Один из примеров раскраски такой:

а — красный, розовый, малиновый;

б — жёлтый, лимонный;

в — синий;

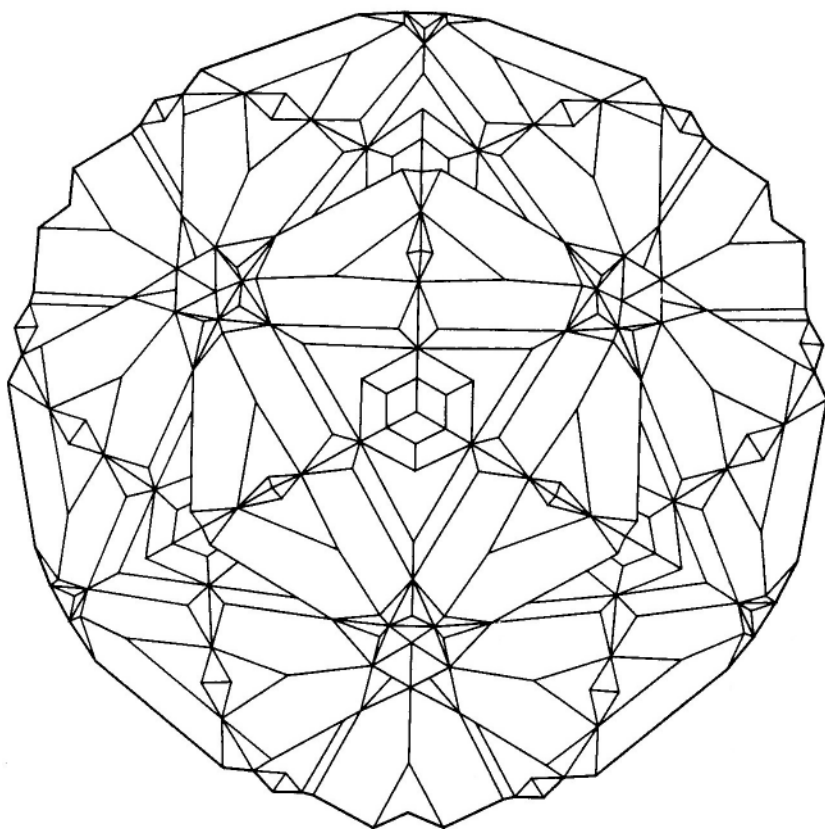
г — голубой;

д — светло-зелёный;

е — тёмно-зелёный;

ж — оранжевый.

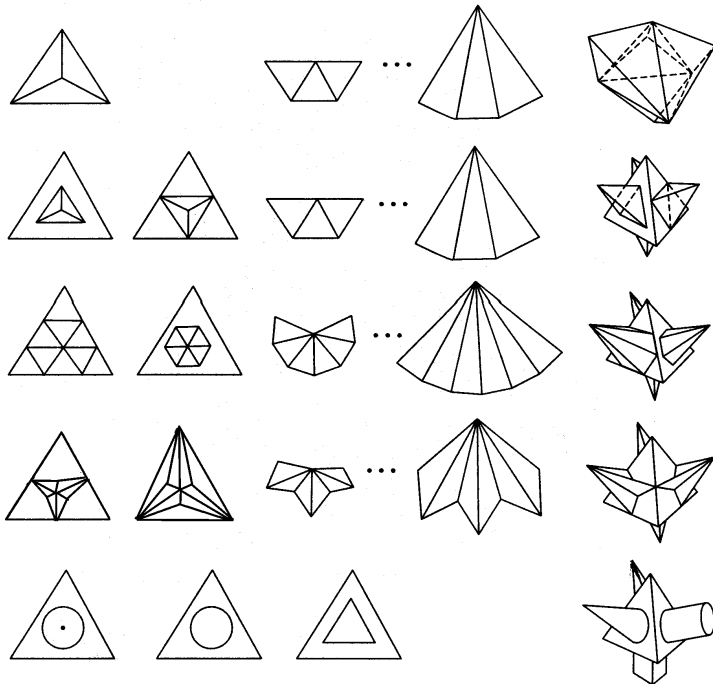
Ваше терпение и труд будут вознаграждены красивейшим многогранником!



САМИ!

А теперь попробуйте сами придумать свою звёздчатую форму — начните с тетраэдра. Проще всего попробовать плоские равносторонние треугольники — грани тетраэдра превратить в трёхгранные пирамиды. Эти пирамиды могут быть разной высоты. А основания пирамид могут быть равны грани тетраэдра, а могут быть и меньше. Пирамиды могут быть не только трёхгранными, но и шестигранными, как выпуклыми, так и вогнутыми, основания пирамид могут быть параллельны стороне грани тетраэдра, а могут быть и с поворотом. А грани тетраэдра можно превратить из плоских в выпуклые или вогнутые.

Сначала сделайте отдельно тетраэдр и 4 пирамиды. Пирамиды приклейте к граням тетраэдра. Рассмотрите хорошенько своё произведение и попробуйте начертить выкройку, только теперь уже без внутренних перегородок, которые получились при наклеивании пирамид на грани тетраэдра.



и т.д. А ведь есть ещё и икосаэдр, и куб и т.д... И вместо пирамид могут быть призмы, конусы...

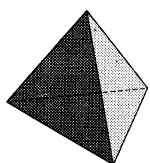
СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

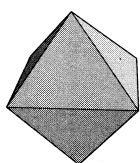
Введение 6

Правильные многогранники 9

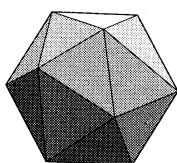
Платоновы тела



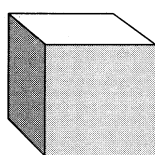
Тетраэдр
с. 11



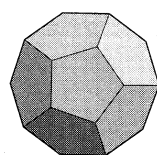
Октаэдр
с. 17



Икосаэдр
с. 20

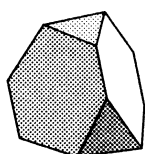


**Гексаэдр
или куб**
с. 29

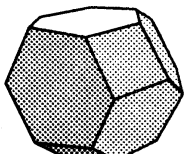


Додекаэдр
с. 31

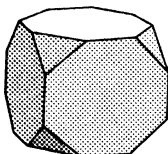
Архимедовы тела



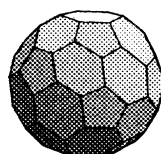
**Усечённый
тетраэдр**
с. 50



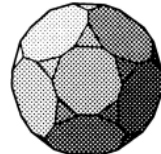
**Усечённый
октаэдр**
с. 53



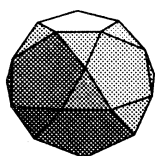
**Усечённый
куб**
с. 56



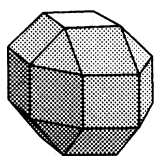
**Усечённый
икосаэдр**
с. 57



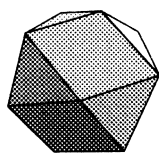
**Усечённый
додекаэдр**
с. 60



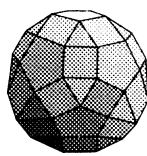
**Икосо-
додекаэдр**
с. 64



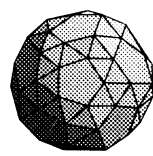
**Ромбокубо-
октаэдр**
с. 67



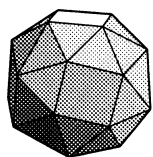
Кубооктаэдр
с. 68



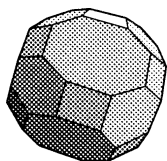
**Ромбоикосо-
додекаэдр**
с. 70



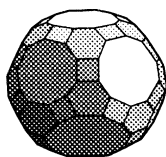
**«Курносый»
додекаэдр**
с. 73



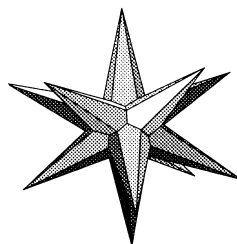
**«Курносый»
куб**
с. 76



**Усечённый
кубооктаэдр**
с. 78

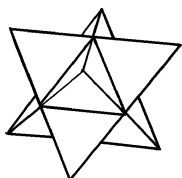


**Усечённый
икосододекаэдр**
с. 80

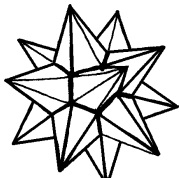


**Девятая
звёздчатая форма
икосаэдра**
с. 90

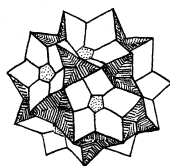
Звёздчатые многогранники



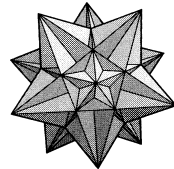
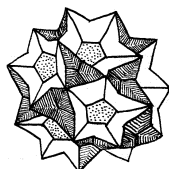
**Звёздчатый
октаэдр
(звезда
Кеплера)**
с. 91



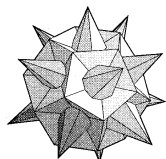
**Малый
звёздчатый
додекаэдр**
с. 93



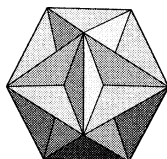
**Большой икосододекаэдр
и большой додекогемидодекаэдр**
с. 94



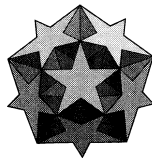
**Большой
икосаэдр**
с. 98



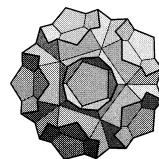
**Шестая
звёздчатая форма
икосаэдра**
с. 99



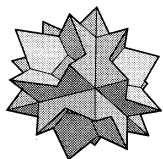
**Большой
додекаэдр**
с. 100



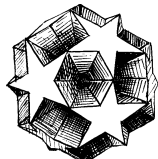
**Битригональный
додекаэдр**
с. 103



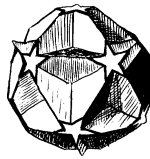
**Квазиусечённый
звёздчатый
додекаэдр**
с. 104



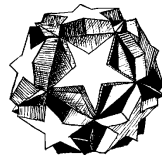
**Квазиусечённый
гексаэдр**
с. 105



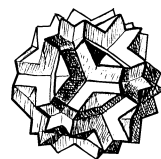
**Малый додеко-
гемидодекаэдр**
с. 107



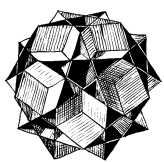
**Усечённый
большой
додекаэдр**
с. 108



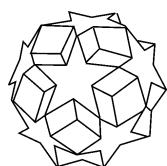
**Усечённый
большой
икосаэдр**
с. 111



**Большой
додекоикосо-
додекаэдр**
с. 112

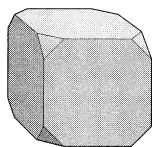


**Большой
додекогемии-
косаэдр**
с. 114

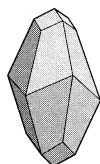


**Додеко-
додекаэдр**
с. 117

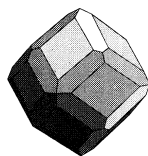
Природные кристаллы



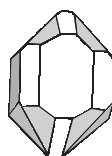
**Кристалл
флюорита**
с. 119



**Кристалл
кальцита**
с. 120



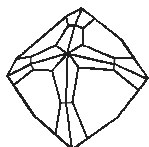
**Кристалл
граната**
с. 122



**Кристалл
оливина**
с. 124



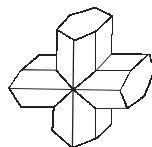
**Кристалл
рутила**
с. 125



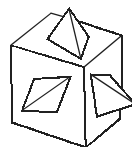
**Кристалл
алмаза**
с. 126



**Кристалл
кварца**
с. 129

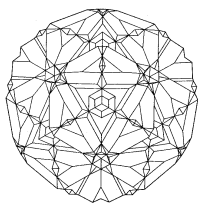


**Кристалл
ставролита**
с. 130



**Кристалл
лопарита**
с. 131

Большой квазиусечённый икосододекаэдр



с. 133

Сами! 140

Гончар Валентина Васильевна,
Гончар Дмитрий Русланович

МОДЕЛИ МНОГОГРАННИКОВ

Вёрстка: Чудин А., Горбунов С.
Ответственный редактор: Чернавина А.
Обложка: Ладанюк А.

Подписано в печать 07.10.2014 г.
Формат 60x90 $\frac{1}{16}$ Бумага офсетная. Гарнитура Journal.
Тираж 2000 экз. Заказ № 4А10.

Отзывы и предложения по изданию присылайте
на электронный адрес редакции narob@yandex.ru

ООО «НИИ школьных технологий»
109341, Москва, ул. Люблинская, д. 157, корп. 2
Тел.: (495) 345-52-00, 345-59-00, 345-59-01