

ПЕТРОГРАФИЯ

Л. А. Варданянц

Член-корреспондент АН Арм. ССР

О ложных двойниках андалузита

В основных руководствах и справочниках по минералогии нет никаких указаний на то, что кристаллы андалузита образуют двойники и в достаточной степени укоренилось представление, что этот минерал не дает двойниковых сростков. Тем больший интерес представляет появившаяся в 1940 г. небольшая статья М. И. Ициксона [1], в которой детально описаны сростки кристаллов этого минерала из месторождения Минчи-Цассуат на Северном Кавказе, истолкованные им как двойники по мало вероятному закону $\perp(213)$. В этой статье Ициксона дана также сводка имеющихся в литературе немногочисленных указаний на возможность двойникового у андалузита.

Найденный Ициксоном закон двойникового является для андалузита своего рода парадоксом, так как грани бипирамид представлены у него только тремя формами (111) , (121) и (112) и появляются очень редко [V. Goldschmidt, 3; C. Hintze, 4]. Бипирамида же (213) у андалузита ни разу не наблюдалась. Значительно вероятнее были бы здесь двойники с двойниковой осью, перпендикулярной к часто встречающимся сильным граням призм.

Вывод Ициксона вызывает некоторое сомнение также и в связи с тем, что на приложенной к его статье стереографической диаграмме двойника оптическая ориентировка обоих индивидов не соответствует ромбической сингонии, так как оси индикатрисы Ng и Nm не совпадают с кристаллографическими осями, а составляют с ними угол около 15° .

Для решения данного вопроса нами было выполнено исследование аналогичных образований в андалузитовых сланцах Мало-Мукуланского месторождения в окрестностях Тырнауза на Северном Кавказе. Это исследование показало, что заключение Ициксона является ошибочным, так как описанные им сростки представляют ложные двойники. В связи с этим мы находим целесообразным опубликовать результаты нашего исследования.

Андалузитовые сланцы Мало-Мукуланского месторождения представляют контактово измененные юрские глинистые сланцы и песчаники в кровле интрузии Эльджуртинского гранита. Андалузит в этих

сланцах составляет в среднем около 20—22%. Других новообразований очень мало, и среди них главную роль играет биотит.

Кристаллы андалузита этого месторождения имеют призматическую форму, будучи ограничены гранями призмы (110), и в поперечном сечении почти всегда близки к квадрату. Длина кристаллов обычно 5—10 мм, реже—до 15 мм, а толщина—около 0,5 и не более 1—1,5 мм. При этом поперечный размер сохраняется постоянным по всей длине кристалла. То, что это действительно андалузит, установлено, помимо оптических исследований, также химическим анализом флотационного концентрата, содержащего свыше 96% этого минерала.

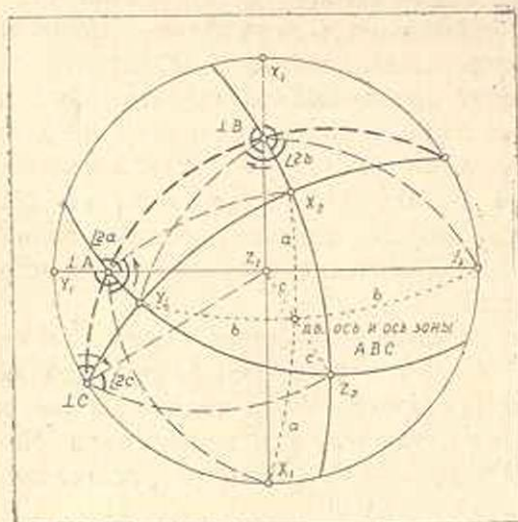
Характерной особенностью внешней формы кристаллов андалузита этого месторождения является входящий угол вдоль ребер призмы, в силу чего поперечные разрезы имеют всегда форму креста.

Оптическая ориентировка, в пределах точности измерений, всегда ромбическая и обычная для андалузита, т. е. с осью призмы (110) совпадает ось N_p , являющаяся острой биссектрисой. Свето- и дву-преломление точно не измерялись, но в общем они вполне соответствуют нормам андалузита, и отклонения, если таковые и имеются, должны быть незначительными. Угол оптических осей равен в сред-

нем $84 \pm 4^\circ$. Плеохроизм наблюдается редко. Спайность по призме (110) всегда очень ясная. Менее ясна спайность по пинакоидам (100) и (010) и еще хуже, в виде неправильных трещин, по (001).

Исследование явлений двойникования, представлявшее главную задачу, было проведено в три этапа, каждый из которых описан ниже в отдельности.

На первом этапе была изучена теоретическая сторона вопроса, а именно—условия возникновения двойникового типа



Фиг. 1. Вывод двойникового сочетания кристаллов в классе ромбической бипирамиды. X_2 , Y_2 и Z_2 —оси симметрии

сростков у кристаллов, принадлежащих, подобно андалузиту, к классу ромбической бипирамиды. Был рассмотрен общий случай, когда двойниковой осью служит произвольный вектор, составляющий с кристаллографическими осями X , Y и Z углы, равные a , b и c (см. фиг. 1). Такой вектор является вместе с тем осью зоны трех

плоскостей А, В и С, первая из которых параллельна оси Х, вторая — оси Y и третья — оси Z.

Нетрудно доказать, что второй индивид двойника может быть выведен из первого путем его поворота вокруг нормали к одной из этих трех плоскостей, притом на угол 2α вокруг нормали к плоскости А, параллельной оси Х, на угол 2β вокруг нормали к плоскости В и на угол 2γ вокруг нормали к плоскости С, параллельной оси Z. Двойниковая ось совпадает при этом с биссектрисами углов таких поворотов.

Таким образом, у андалузита индивиды такого двойникового сочетания кристаллов всегда должны иметь три общих призматических грани (плоскости) А, В и С, соответственно параллельные осям Х, Y и Z и, следовательно, оба индивида имеют три общих вектора, перпендикулярных к двойниковой оси и лежащих в плоскостях симметрии, причем один из векторов перпендикулярен к оси Х, второй — к оси Y и третий к оси Z.

Легко доказать также и то, что если у двух кристаллов класса ромбической бипирамиды (независимо от того, соприкасаются ли они или нет) появляется, в силу тех или иных случайных условий, общая одноименная призматическая плоскость, а вместе с тем и общая к ней нормаль, лежащая в плоскости симметрии, то обязательным следствием этого будет наличие и остальных двух общих призматических плоскостей и перпендикулярных к ним векторов. Следовательно, в классе ромбической бипирамиды случайное совпадение какого-либо одноименного вектора двух индивидов, лежащего в одной из плоскостей симметрии ХУ, ХZ или YZ, будет адекватным двойниковому взаиморасположению этих индивидов.

Вполне понятно, что такое совпадение одноименных векторов двух индивидов может быть как закономерным, т. е. подчиняющимся требованиям теории двойниковых образований, так и совершенно случайным. В обоих случаях геометрическая картина двойника будет безупречной, но первый из них будет действительным двойником, а второй — ложным.

По общепризнанным теориям [В. В. Никитин, 2], наиболее вероятными двойниковыми осями являются векторы, параллельные или перпендикулярные к какому-либо сильному направлению в кристалле. Поскольку выше было выяснено, что в двойниках андалузита три призматических грани должны быть общими для обоих индивидов, постольку мы должны признать, что осью его двойников должна быть, вероятнее всего, ось зоны тех или иных сильных призматических граней. Число таких зон у андалузита очень ограничено, и вероятными законами двойникового образования могли бы быть у него, по видимому, лишь следующие: $[100]$, $[010]$, $[001]$, $[011]$, $[101]$, $[210]$, $[110]$ и $[120]$. Из них первые три закона должны давать полную параллельность и поэтому в обычных условиях могут быть распознаваемы не всегда. Кроме того, у андалузита по теории могут быть, по види-

мому, двойники и по бипирамидам (111) и (121), поскольку в первом случае в зоне двойниковой оси присутствует сильная грань призмы (110), а во втором случае — грани призмы (210) и (011).

Очевидно, что при большом числе кристаллов, расположенных близко друг к другу и частично соприкасающихся, у нескольких из них возможно случайное совпадение одноименных векторов, расположенных в одной из плоскостей симметрии XY, XZ или YZ. Вероятность такого совпадения может быть определена приблизительно следующим образом. Примем, что такой вектор выражен физически в виде конуса, с углом при вершине, равным E , и что совпадение векторов имеет место тогда, когда эти конусы пересекаются или, по крайней мере, касаются друг друга. Это будет соответствовать предельной ошибке совмещения одноименных векторов в $\pm E$.

Общее число таких векторов во всем кристалле равно

$$K = \frac{4 \cdot 4 \cdot \pi}{0,0175^2 \pi \cdot E^2} \cong \frac{50000}{E^2},$$

где 0.0175 линейная мера дуги в 1° , а число их в трех плоскостях симметрии XY, XZ и YZ равно $P = \frac{360 \cdot 3}{E} \cong \frac{1000}{E}$.

Отсюда вероятность совмещения для каждого отдельного вектора, лежащего в плоскости симметрии, с одноименным ему вектором второго кристалла равна $1:K$ или $0.00002 \cdot E^2$, а для всех таких векторов общая вероятность совмещения равна $P:K$ или, приблизительно, $0.02 \cdot E$.

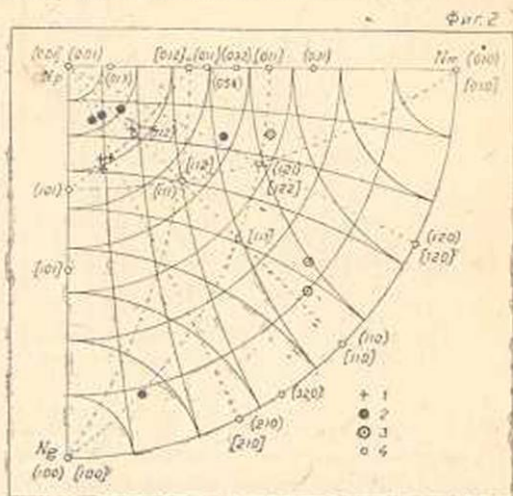
В том случае, когда $E=2^\circ$, геометрическая картина двойника будет очень точной, так как на федоровской диаграмме такого двойника ось его будет определяться треугольником погрешностей со сторонами не более $2-3^\circ$. В этом случае общая вероятность возникновения таких, двойникового типа сочетаний будет равна около 4% . При $E=10^\circ$ общая вероятность совпадения одноименных векторов, лежащих в плоскостях симметрии, будет равна уже около 20% , причем в этом случае картина двойника будет в большинстве мало точной, а на федоровской диаграмме положение двойниковой оси будет определяться треугольником погрешностей со сторонами до $10-25^\circ$, а порой и более.

Таково теоретическое положение вещей, определяющее для андалузита возможность случайного возникновения сочетаний двойникового типа. При этом отнюдь не обязательно, чтобы индивиды в таких сочетаниях всегда соприкасались или прорастали друг друга. Прорастание кристаллов является здесь лишь частностью, зависящей только от расстояния между ними.

На втором этапе исследования нами отыскивались в шлифах сростки того типа, как описанные Ицкисоном, т. е. состоящие из двух удлинненных кристаллов, прорастающих друг друга под косым углом. Оказалось, что такие сростки очень многочисленны и встречаются по несколько раз в каждом шлифе. Федоровские измерения

показали, что далеко не всегда, но все же довольно часто, такие сростки дают геометрическую картину двойника, ось которого определяется треугольником погрешностей со сторонами не более $5-10^\circ$. Цифровые результаты этих измерений даны в таблице 1 (№№ 1—5), а положение двойниковой оси в кристалле показано на диаграмме (фиг. 2). Поверхность соприкосновения индивидов в таких сростках почти всегда неправильная и не совпадает с сильными гранями кристалла, как и в сростках, исследованных Ицкисоном.

Кроме того, в шлифах отыскивались близко друг к другу расположенные, но разобщенные кристаллы, с более или менее параллельным расположением одной из плоскостей спайности по (110). Федоровские измерения показали, что такие сочетания почти всегда дают картину двойниковости, правда не очень точную. В трех случаях (см. табл. 1, №№ 6—8 и фиг. 2) невозможность соприкосновения индивидов была подтверждена специальным графическим построением.



Фиг. 2. Расположение проекций двойниковых осей в отдельных сростках и в парных (двойниковых) сочетаниях разобщенных кристаллов. 1—сростки, исследованные М. И. Ицкисоном; 2—сростки, исследованные автором; 3—оси геометрических двойников разобщенных кристаллов, по материалам автора; 4—проекции граней и осей зон.

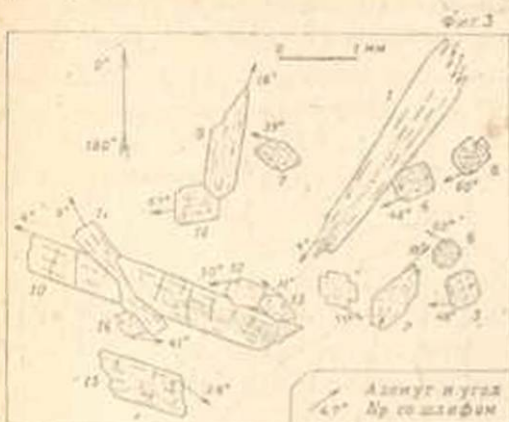
Табл. 1

Координаты двойниковой оси в отдельных сростках и в парных (двойниковых) сочетаниях разобщенных кристаллов. Цифры в градусах, с точностью до $\pm 0,5^\circ$.

	Номер шлифа	Ng	Nm	Np	Примечания
1	11—120	78	75	20	Сросток
2	11—130	74	49	49	"
3	"	76	81	18	"
4	"	15	77	81	"
5	6—000	75	84	18	"
6	11—119	75	37	57	Сочетания раз-
7	"	53	40	76	общенных кри-
8	11—120	48	44	80	сталлов

Для сравнения на фиг. 2 показаны также и данные Ицкисова, которые можно толковать двояко, ибо у него оси индикатрисы Ng

и Nm не совпадают с кристаллографическими осями (см. выше). По первому толкованию, основываясь на взаиморасположении индикатрис,



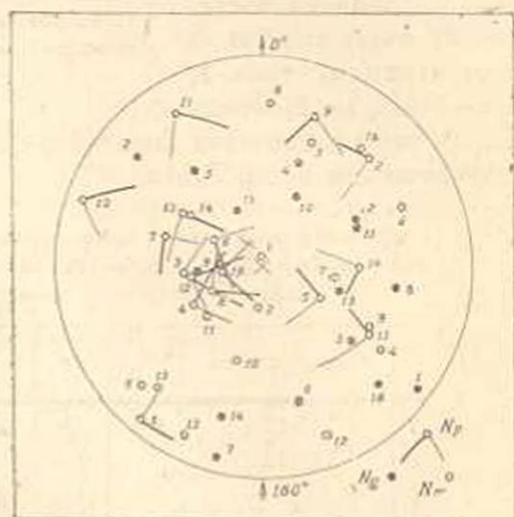
Фиг. 3. Зарисовка группы из 16 кристаллов. Для каждого кристалла показаны: номер в группе, азимут восходящего направления оси Np (стрелка) и угол ее с плоскостью шлифа.

является очень характерным совершенно незакономерное расположение двойниковых осей, в корне противоречащее теориям двойниковых образований (фиг. 2). Основываясь на этом, мы должны были бы сделать вывод, что все эти „двойники“ являются только случайными сростками и сочетаниями кристаллов, т. е. ложными двойниками.

Для подтверждения этого вывода был проведен третий этап исследования. С этой целью был взят случайный шлиф (№ 11—123) и в нем была исследована группа скученно расположенных 16 кристаллов разной величины (фиг. 3). В каждом из кристаллов было определено положение оптической индикатрисы (фиг. 4) и после этого была проверена на двойниковость каждая пара кристаллов.

рис, координаты двойниковых осей будут те же, что и у Ициксона. По второму толкованию, если основываться на взаиморасположении плоскостей спайности по (110) обоих индивидов, координаты будут равны 71° , 71° и 18° . Причина ненормального положения индикатрисы в кристаллах, исследованных Ициксоном, остается для нас неизвестной.

Для всех этих „двойниковых“ сочетаний кристаллов, как соприкасающихся, так и разобщенных, яв-



Фиг. 4. Расположение оптической индикатрисы в группе из 16 кристаллов. Для облегчения чтения диаграммы дуги главных сечений индикатрисы показаны в каждом кристалле только около оси Np , притом жирной линией для дуги, соединяющей ее с осью Ng .

В этой группе каждый отдельный кристалл может дать с другими по 15 парных сочетаний, а общее число таковых равно 120. Проверка показала, что „двойники“ образует каждый из 16 кристаллов, притом в количестве от 2 до 6, т. е. от 13 до 40, а в среднем около 27% от возможного числа сочетаний. В „двойниковом“ расположении находятся следующие кристаллы:

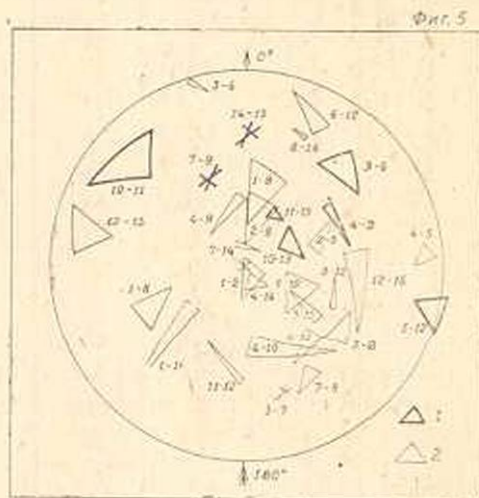
№ 1 с №№ 2, 6, 8, 16	№ 9 с №№ 4, 7
„ 2 „ „ 1, 5, 8	„ 10 „ „ 4, 6, 11, 13
„ 3 „ „ 4, 6, 7, 8, 12	„ 11 „ „ 10, 12, 15
„ 4 „ „ 3, 5, 8, 9, 10, 14	„ 12 „ „ 3, 5, 6, 11, 15, 16
„ 5 „ „ 2, 4, 12, 15	„ 13 „ „ 6, 10
„ 6 „ „ 1, 3, 10, 12, 13	„ 14 „ „ 4, 7, 15
„ 7 „ „ 3, 8, 9, 14	„ 15 „ „ 5, 11, 12, 14
„ 8 „ „ 1, 2, 3, 4, 7, 16	„ 16 „ „ 1, 8, 12

Общее число таких сочетаний во всей группе равно 32, т. е. около 27% от возможного их количества.

В 8 случаях, т. е. в 6,5%, геометрическая двойниковость оказалась очень точной, почти как у свежих плагиоклазов (фиг. 5, сочетания 3—4, 3—7, 3—12, 7—9, 7—14, 8—16, 11—12 и 14—15), причем только в двух из них (7—9 и 14—15) кристаллы соприкасаются, и то лишь вне шлифа, на их продолжении. В остальных же 6 случаях кристаллы совершенно не могут соприкасаться. Затем, в 24 сочетаниях геометрическая двойниковость оказалась, в большинстве, мало точной, причем и здесь лишь в небольшом числе случаев (3—6, 4—8, 5—12, 10—11, 10—13 и 11—15) кристаллы действительно соприкасаются или могут соприкасаться на их продолжении.

Координаты „двойниковых“ осей во всех 32 случаях определялись как половина угла между одноименными осями индикатрисы и даны в таблице 2 с точностью до $\pm 0.5^\circ$. На фиг. 6 „двойниковые“ оси нанесены по этим координатам на проекцию кристалла.

На фиг. 6 ясно видно, что оси двойниковых сочетаний как у действительных сростков, так и у разобщенных кристаллов распо-



Фиг. 5. Треугольники погрешностей „двойниковых“ осей в группе из 16 кристаллов. 1—кристаллы соприкасаются в шлифе или вне шлифа на их продолжении. 2—кристаллы совершенно не соприкасаются.

Таблица 2

Координаты двойниковых осей в группе из 16 кристаллов. Цифры с точностью до 0,5°, в градусах.

№ № кристал- лов	N _g	N _m	N _p	Точность двойника	Наличие сопри- касания кристал- лов
1-2	81,5	14	78,5		
1-6	70	55	40,5		
1-8	72,5	35	61		
1-16	84	56	34,5		
2-5	79	59,5	33		
2-8	65,5	49	50,5		
3-4	46,5	43,5	82		
3-6	74	21	78,5		Соприкасаются
3-7	33	58,5	81,5	Хорошая	
3-8	14,5	80	81,5		
3-12	27	63	88	Хорошая	
4-5	67	42	56,5		
4-8	34	56,5	84		Соприкасаются
4-9	37	85	53,5		
4-10	82	31	60		
4-14	64	57,5	44		
5-12	51	57,5	56		Соприкасаются
5-15	76	87	13,5	Удовлетвор.	
6-10	49	52,5	62		
6-12	47,5	45	78,5		
6-13	25,5	66,5	80		
7-8	46,5	49	73		
7-9	52	76,5	41,5	Хорошая	Соприкасаются
7-14	83,5	40,5	50	Хорошая	
8-16	72	18	84,5	Хорошая	
10-11	74,5	77,5	20		Соприкасаются
10-13	26,5	73	71		Соприкасаются
11-12	88	35	55,5	Хорошая	
11-15	30	72	66,5	Удовлетвор.	Соприкасаются
12-15	61	59,5	43,5		
12-16	34	57,5	82,5		
14-15	41	52	75,5	Хорошая	Соприкасаются

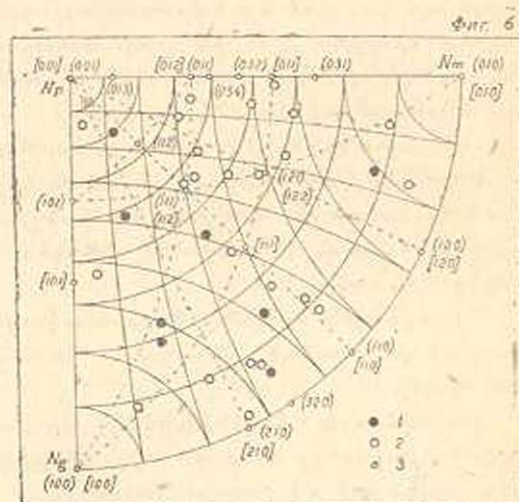
жены по отношению к кристаллу андалузита вполне равномерным и в то же время „диким“ образом, лишь в очень редких случаях (да и то почти всегда у совершенно разобращенных кристаллов) совпадая с проекциями граней или осей зон. Вместе с тем в данной группе из 16 кристаллов количество таких „двойников“, как очень точных, так и мало точных, достаточно хорошо совпадает с найденной нами

выше теоретической вероятностью возникновения ложных двойников. Таковая была определена нами в 20%, в том числе 4% "двойников" высокой точности, реально же мы имеем 27%, в том числе 6—7% случаев высокой точности. При этом 75% "двойников" (как точных, так и мало точных) в исследованной нами группе принадлежат кристаллам, совершенно не соприкасающимся друг с другом.

На основании всего этого можно считать вполне установленным, что двойникового типа сростки, описанные Ицкисоном и наблюдавшиеся нами, представляют ложные двойники, вероятность возникновения которых у андалузита, в силу наличия у него трех плоскостей симметрии, очень высока и определяется, примерно, в 5—20%, в зависимости от желательной точности геометрической картины таких двойников.

Проведенное нами исследование показывает также, что нужна большая осторожность при установлении нового и, тем более, мало вероятного закона двойниковаия у кристаллов, обладающих тремя взаимно перпендикулярными плоскостями симметрии, так как легко ошибиться, приняв ложные двойники за действительные.

На это обстоятельство до сих пор обращалось, повидимому, мало внимания. Показателем этого может служить то, что в течение шести лет, после появления статьи Ицкисона, нам не пришлось встретить ни в печати, ни в устных высказываниях тех или иных возражений против его выводов.



Фиг. 6. Расположение проекций "двойниковых" осей в группе из 16 кристаллов по отношению к кристаллографическим элементам андалузита. 1—кристаллы соприкасаются в шлифе или на их продолжении вне шлифа. 2—кристаллы совершенно не соприкасаются. 3—проекции граней и осей зон

ЛИТЕРАТУРА

1. Ицкисон М. И.—Двойник андалузита из контактово-метасоматических пород ледника Сонгутидон (Северный Кавказ) Изв. АН СССР, серия геологическая, № 2, 1940.
2. Никитин В. В.—Универсальный метод Федорова. Вып. 3, 1915.
3. Goldschmidt V.—Atlas der Krystallformen, Heidelberg, 1913.
4. Hintze C.—Handbuch der Mineralogie. Bd. 2, 1897.

Լ. Ա. Վարդանյան

Հայկական ՍՍՏ ԳԱ ԲՊԲԿԻՅ-անդամ

ԱՆԴԱԼՈՒԶԻՏԻ ԿԵՂՇ ԿՐԿՆԱԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հեղինակը հետազոտել է անդալուզիտի՝ կեղծ կրկնաբյուրեղների առաջացնելու հնարավորությունը հարցը թեորենտիկ ստուգումը ցույց է տալիս, որ անդալուզիտի, ինչպես նաև ռոմբային բիպիրիտի դի կարգի յուրաքանչյուր բյուրեղի մոտ երկու անհատ միշտ պետք է դնելին երկրաչափական կրկնաբյուրեղների դիրքում, եթե նրանց մոտ պատահաբար համընկնում է համաչափության այս կամ այն հարթության վրա ընկած մի որևէ համանուն վեկտոր։ Այդպիսի պատահական զուգակցությունների հավանականությունը, կախված կրկնաբյուրեղային պատկերի երկրաչափական ճշտությունից, որոշվում է $5-20\%$ -ով։ Այդպիսի կրկնաբյուրեղների առանցքը հանդիսանում է երեք պրիզմատիկ հարթությունների զոնայի առանցքը, իսկ հարթությունները հաջորդաբար զուգահեռ են համաչափության X , Y և Z առանցքներին։ Եթե այդ հարթությունները միաժամանակ հանդիսանում են նաև բյուրեղի իսկական կողերը, ապա կրկնաբյուրեղն իսկական է։ հակառակ դեպքում նա հանդիսանում է կեղծ կրկնաբյուրեղ։ Այդպիսին կարող է առաջանալ ինչպես հալմող, այնպես էլ անջատված բյուրեղների մոտ։

Հյուսիսային Կովկասի Փորր Մուկուլանի հանքավայրի նմուշների վրա կատարած փորձնական ստուգումը հաստատեց վերոհիշյալ հետևությունը։

Հետազոտման են ենթարկվել մի քանի աճակցորդներ և զույգ անջատված բյուրեղներ և, բացի այդ, մի շիֆում ուսումնասիրվել է 16 բյուրեղից բաղկացած մի խումբ։ Պարզվեց, որ այդ խմբի 120 հնարավոր զույգ զուգակցություններից 32-ը (27%) զանազան ճշտության երկրաչափական կրկնաբյուրեղներ են։ Ընդ որում այդպիսի կրկնաբյուրեղներից միայն 8-ի մոտ (զրանց թվում նաև երկու ճշգրիտների մոտ) անհատներն իսկապես հավում են կամ կարող են հավել նրանց շարունակության վրա։ Մնացած 24 դեպքերում (զրանց թվում 6 շատ ճիշտ երկրաչափական կրկնաբյուրեղներ) բյուրեղները միանգամայն անջատված են և չեն հավում։

Հեղինակը դալիս է այն եզրակացության, որ անդալուզիտի մոտ աճակցորդների բոլոր դեպքերը երկրաչափական կրկնաբյուրեղների պատկերով և կրկնաբյուրեղներ կազմելու փոքր հավանականությամբ հանդերձ ներկայացնում են կեղծ կրկնաբյուրեղներ։ Նմանների գոյացումը պայմանավորված է համաչափության XY , XZ և YZ հարթություններից մեկի վրա ընկած երկու անհատների համանուն վեկտորների համընկնման մեծ հավանականությամբ։ Հեղինակը կեղծ կրկնաբյուրեղների թվին է վերադրում նաև այն աճակցորդը, որը Մ. Ի. Իցիկսոնը նկարագրել է որպես $\perp(213)$ կանգնի կրկնաբյուրեղ։