

Карты звезд сравнения и вторичные UBVR-стандарты для наблюдений антивспыхивающих звезд

А.Ф.Пугач, Г.У.Ковальчук

Приведены фотоэлектрические UBVR-величины 30 звезд сравнения к 15 антивспыхивающим звездам. Кратко описаны методики учета нелинейности аппаратуры, учета атмосферной экстинкции и перевода инструментальных величин в стандартную систему. Приведены ошибки измерений. К каталогу величин прилагаются карты 15 звездных площадок с измеренными звездами.

Identification Charts and Secondary UBVR-Standards to Observe the Antiflare Stars

by A.F.Pugach, G.U.Kovalchuk

The photoelectric UBVR magnitudes catalogue and charts of 30 check-stars for 15 antiflare stars are given. The magnitudes have been corrected for a non-linearity and atmospheric extinction. A procedure of transformation of instrumental magnitudes to standard one is briefly described.

Настоящая публикация предпринята с целью стимулировать фотоэлектрические наблюдения антивспыхивающих звезд и обеспечить в известных пределах единство фотометрической системы последующих результатов.

Наблюдения вторичных стандартов проводились на 50-см рефлекторе Высокогорной наблюдательной базы ГАО АН УССР на пике Терскол ($h=3100$ м над уровнем моря). В качестве приемника использовался термостабилизированный при $t^{\circ}=+5^{\circ}\text{C}$ ФЭУ-79. Фильтры полос системы UBVR были скомпонованы из следующих цветных стекол:

U – УФС- 6, СЗС- 21; В – СС- 5, ЖС- 10, СЗС- 21;

V – ЖС- 18, СЗС- 21; R – КС- 14.

Величины первичных стандартов были взяты в основном из работы Джонсона и др., [1966]. Измерения проводились в ночи с подходящими астроклиматическими условиями вблизи меридиана.

Повышение точности в случайном отношении достигалось путем увеличения числа независимых измерений (наведений) в разные ночи. Минимизация систематических ошибок осуществлялась путем тщательной редукции наблюдений, включающей три этапа: линейризацию отсчетов, учет атмосферной экстинкции и перевод инструментальных величин в стандартную систему Джонсона.

1. Исправление отсчетов за нелинейность осуществлялось эмпирическим путем. Предварительно путем измерения пар звезд с разностью блеска порядка 3^m – 5^m при искусственном изменении диаметра входного зрачка телескопа определялась их разность блеска. Яркости обеих звезд выбирались такими, чтобы при минимальном входном зрачке отсчеты по обеим звездам не выходили за пределы предполагаемой области линейности, а при максимальном открытии зрачка в область нелинейности попадала бы только яркая звезда. Такие пары отыскиваются методом подбора.

Описанная методика измерений позволила установить верхнюю границу потока, при превышении которой начинаются нелинейные искажения. Из представленного на рис. 1 графика следует, что таким граничным является поток $\sim 1.6 \cdot 10^5 \text{ сек}^{-1}$.

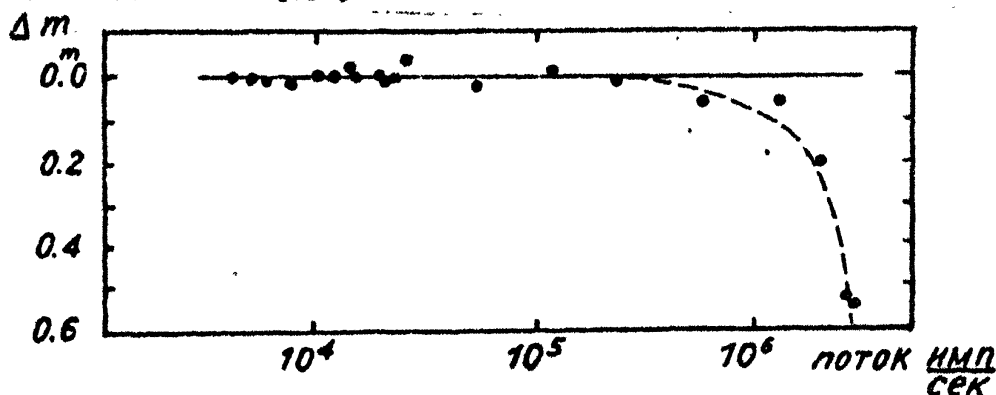


Рис. 1. Результаты определения порога линейности. Против потока отложены вариации разности блеска между слабой и яркой звездами относительно среднего значения, принятого за условный нуль.

При потоках ниже этого разность блеска двух звезд сохраняется постоянной, но как только поток от более яркой звезды превышает критическое значение – разность уменьшается, т.к. отсчеты по одной звезде искажаются ("заваливаются") нелинейностью.

Опыт работы с нашей аппаратурой говорит о том, что поток $\sim 1.6 \cdot 10^5 \text{ сек}^{-1}$ следует ожидать от звезды $5^m.5$ в фильтре V.

В связи с этим величины звезд первичных стандартов выбирались слабее $5^m.5$ (V). При отсутствии таких звезд приходилось работать с более яркими стандартами, но в этом случае зеркало телескопа прикрывалось до необходимого размера и использовались промежуточные (буферные) звезды.

Таким образом, борьба с нелинейностью регистрирующей аппаратуры велась не за счет численного учета этого эффекта (что не всегда гарантирует необходимую точность), а путем выбора режима наблюдений в области линейности.

2. Редукция за атмосферную экстинкцию. Трудность точного учета ослабления света в атмосфере состоит прежде всего в том, что коэффициент экстинкции зависит от распределения энергии в спектре исследуемой звезды, то есть, в первую очередь, от ее спектрального класса и класса светимости.

Сначала численным методом были рассчитаны коэффициенты экстинкции чистой атмосферы $\alpha_i(F_\lambda) \equiv \alpha_i(\text{Sp. L})$ для высоты 3100 м по формуле:

$$\alpha_i(F_\lambda) = -2.5 \lg \frac{\int_0^\infty P_\lambda \cdot F_{\text{Sp}}(\lambda) \cdot T_i(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty F_{\text{Sp}}(\lambda) \cdot T_i(\lambda) d\lambda},$$

где $F_{\text{Sp}}(\lambda)$ — табличные функции распределения энергии в спектрах непокарасневших звезд разных температур и светимостей (Страйжис и Свидерскене, 1972);

$T_i(\lambda)$ — кривые реакции инструментальной фотометрической системы (об этом дальше), где индекс i относится к полосам U, B, V или R (Страйжис, 1977);

P_λ — результирующий коэффициент прозрачности, включающий рэлеевское рассеяние, поглощение озоном, молекулами кислорода и воды (Аллен, 1977).

Затем они были сопоставлены с величинами средних экспериментальных значений коэффициентов экстинкции α_0 , полученных на Терсколе из наблюдений в течение 21 ночи за период 1972–79 гг.

$$\alpha_0(U) = 0.^m451 \pm 0.^m053 \quad \alpha_0(V) = 0.^m157 \pm 0.^m039$$

$$\alpha_0(B) = 0.239 \pm 0.041 \quad \alpha_0(R) = 0.093 \pm 0.031$$

и так же, как и α_i , рассчитанных на 1 воздушную массу. Затем было предположено, что отличие α_i от α_{0i} вызывается присутствием аэрозоля с коэффициентом экстинкции β_i , влияние которого носит неселективный или слабо селективный характер, т.е.

$$\alpha_{0i} = \alpha_i + \beta_i.$$

Определяемые из этого соотношения значения β_i оказались следующими:

$$\beta_U = 0.^m051 \quad \beta_V = 0.^m046$$

$$\beta_B = 0.006 \quad \beta_R = 0.035.$$

Таким образом, при учете атмосферного ослабления мы использовали коэффициент экстинкции с селективной частью, зависящей от распределения энергии в спектре звезды, и предположительно неселективной добавкой β_i .

3. Перевод инструментальных величин в стандартную фотометрическую систему.

Прежде всего, на автоматическом спектрофотометре фирмы "Хита-чи" были определены кривые пропускания комбинаций цветных стекол, формирующих полосы UBVR. Кривые реакции T_i инструментальной фотометрической системы, полученные умножением пропускания стекол на спектральную чувствительность "среднего" ФЭУ-79 (Страйжис, Зданавичюс, 1970) с учетом пропускания кварцевой линзы поля и коэффициента отражения алюминированной поверхности (Аллен, 1977), указаны в табл. 1.

Затем для звезд разных спектральных классов I, III и V классов светимости были вычислены теоретические поправки δ_i , возникающие за счет несовпадения инструментальных T_i и стандартных T_{0i} кривых реакции системы UBV (Страйжис, 1977) и полосы R (Джонсон, Митчелл, 1962).

$$\delta_i(\text{Sp, L}) = -2.5 \lg \frac{\int_0^\infty F_{\text{Sp}}(\lambda) \cdot T_{0i}(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty F_{\text{Sp}}(\lambda) \cdot T_i(\lambda) d\lambda},$$

где $F_{\text{Sp}}(\lambda) \equiv F(\text{Sp, L})$ — табличные функции распределения энергии в спектрах непокрашенных звезд (Страйжис, Свидерскене, 1972). По этим поправкам δ_i к наблюдаемым величинам были определены поправки к цветам, дающие возможность измеренные величины V и цвета U-B, B-V и V-R каждой звезды перевести в стандартную систему UBVR. Рассчитанные поправки для звезд главной последовательности графически представлены на рис. 2 пунктиром.

Практическое использование теоретических поправок осложнилось тем обстоятельством, что в большинстве случаев нам не был известен

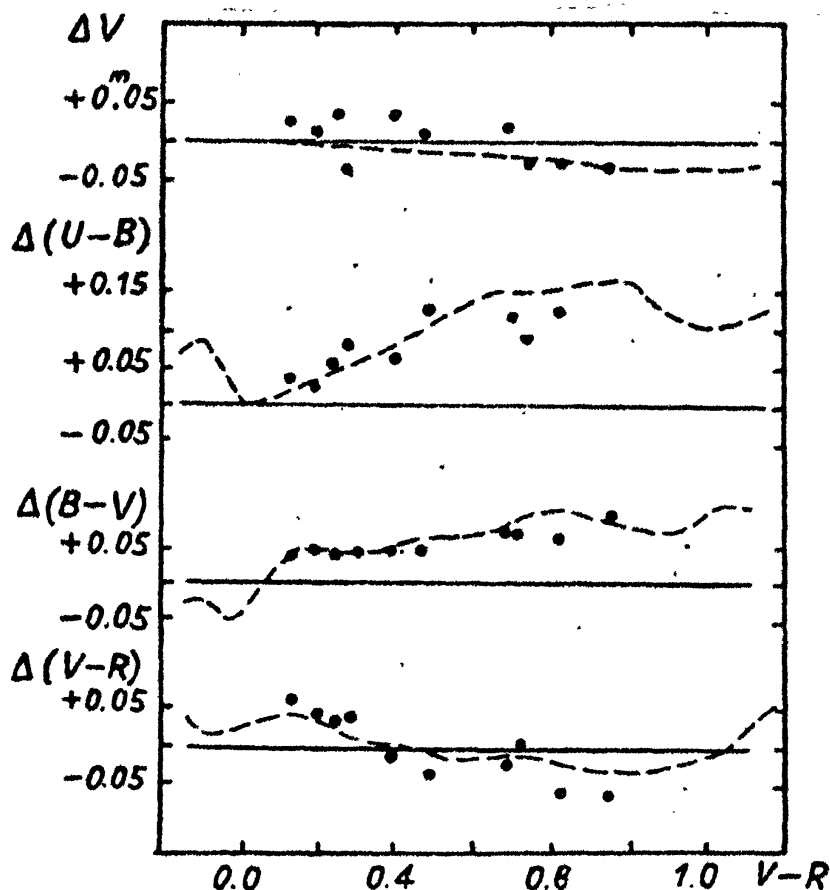


Рис. 2. Зависимость цветовых поправок и поправки к величине V от наблюдаемого показателя цвета V-R, использованная для перевода измеренных значений блеска и цвета в стандартную систему (точки — наблюдаемые значения, пунктир — вычисленные)

спектр и класс светимости вторичных стандартов. Вместо этих отсутствующих данных мы использовали другую характеристику распределения энергии в спектре — показатель $V-R$, причем на графиках рис. 2 сразу отложен не истинный, а наблюдаемый показатель цвета $V-R$.

Трудно оценить, насколько адекватной является такая замена. Но в одном отношении ее преимущества очевидны: если излучение некоторой звезды подвержено межзвездному покраснению, то иногда показатель $V-R$ дает более точное представление о характере распределения энергии по длинам волн, чем спектр и класс светимости.

Для проверки правильности расчетного способа определения поправок для приведения величин и цветов в стандартную систему мы провели серию контрольных наблюдений в скоплении M44 звезд V класса светимости, имеющих разные показатели цвета $V-R$. Из этих наблюдений также были определены поправки к величинам и цветам, зависящие от показателя цвета $V-R$. Результаты обработки наблюдений нанесены на графике рисунка 2 кружками.

Сравнение расчетных и наблюдаемых поправок показывает, в общем, вполне удовлетворительное согласие. В дальнейших цветовых редукциях мы пользовались исключительно расчетными данными, поскольку они, во-первых, учитывают нелинейный характер связи между поправкой и цветом и, во-вторых, охватывают широкий круг звезд разных спектров и светимостей, что получить наблюдательным путем удается не всегда.

Величины вторичных стандартов определялись так. Сначала величина и цвета первичного стандарта переводились, пользуясь графиками, в инструментальную систему. Затем к ним прибавлялись наблюдаемые разности между вторичным стандартом и первичным, и полученный результат снова при помощи графиков рис. 2 переводился в стандартную систему.

Результаты.

Содержание настоящей работы является каталог вторичных стандартов звезд сравнения для 15 антивспыхивающих звезд: SU Aur, VX Cas, SV Cep, BH Cep, BO Cep, V530 Cyg, UX Ori, IU Ori, V346 Ori, V351 Ori, V586 Ori, RZ Psc, XY Per, IP Per и WW Vul. Эти переменные и относящиеся к ним звезды сравнения указаны на прилагаемых картах. Карты перенесены из атласа Пападопулоса и Сковиля (1980), где отражены звезды с предельной звездной величиной $13^m.5$. Сторона квадрата на картах равняется 25 минутам дуги, север — вверх.

Каталог (табл. 2) содержит следующие сведения:

1. Название переменной.
2. Обозначение звезд сравнения.
- 3–6. U , B , V , R величины звезд сравнения.
- 7–10. ϵ_U , ϵ_B , ϵ_V и ϵ_R — ошибка определения среднего значения.
11. Обозначение первичного стандарта.
12. Количество ночей измерений N .
13. Общее количество независимых наведений на звезду n .
14. Примечания.

Таблица 2

Примечание

Звезда

Сравнения

Название
перемен-
ной

Величина

Ошибки

Первичный
стандарт

N

n

Примечание

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

Примечания. 0. Величины перичных стандартов, идущих под индексом BS, взяты из работы Джонсона и др., (1965); 1. В таблице для звезд "b" указана формальная ошибка ϵ . Фактически, привязкой к двум перичным стандартам з полосе V получены неодинаковые значения блеска звезды "b" с отклонениями около $\pm 0^m.03$. В остальных полосах сходимость результатов в пределах ошибок; 2. Величины перичного стандарта взяты из работы Нэнди (1978); 3. Очень красная, переход в стандартную систему неуверенный; 4. Величины звезды сравнения взяты из работы Зайцевой (1973); 5. Величины звезды сравнения взяты из работы Пенстон, (1973); 6. Величины перичного стандарта взяты из работы Мендозы (1967); 7. Величины звезды сравнения взяты из работы Эндрюса (1974); 8. Двойная звезда.

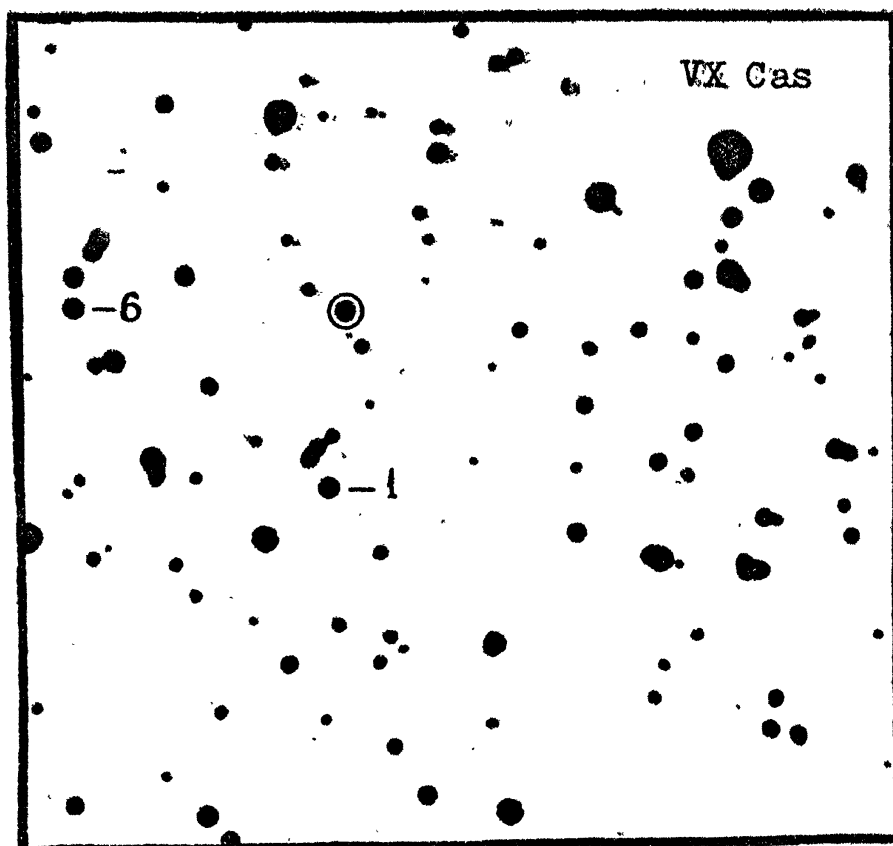
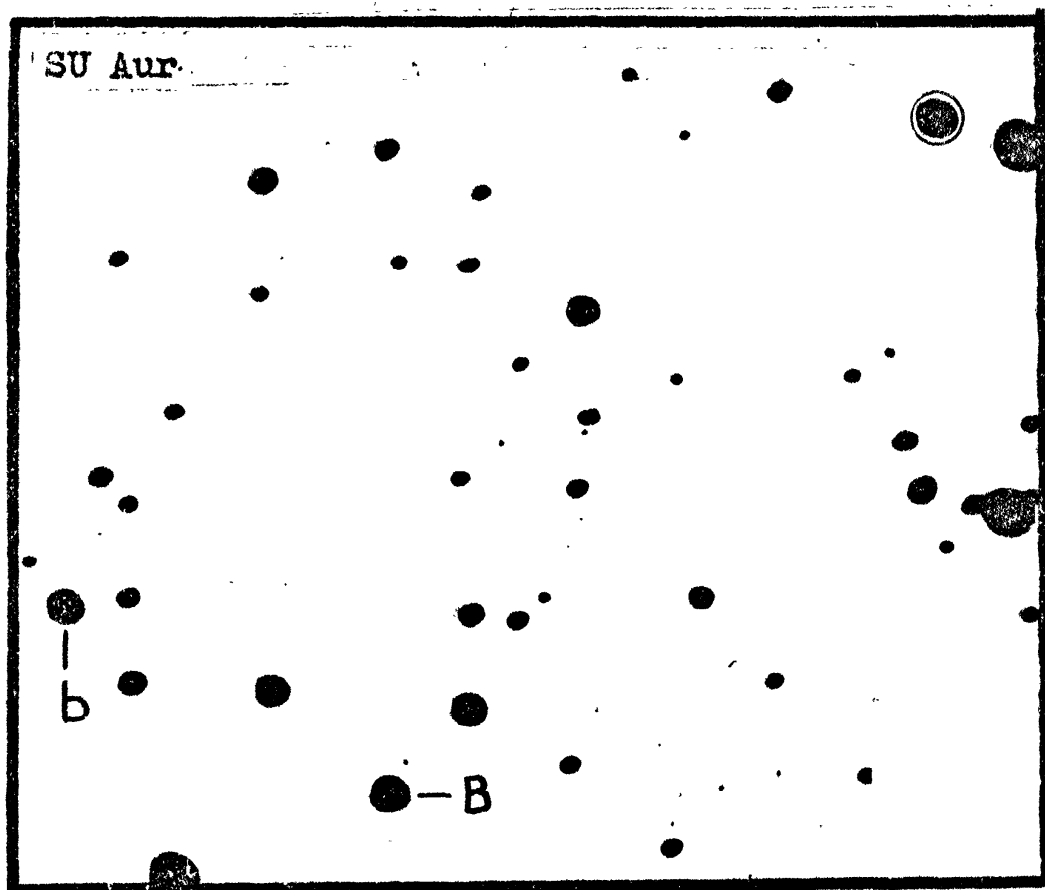
Таблица 1

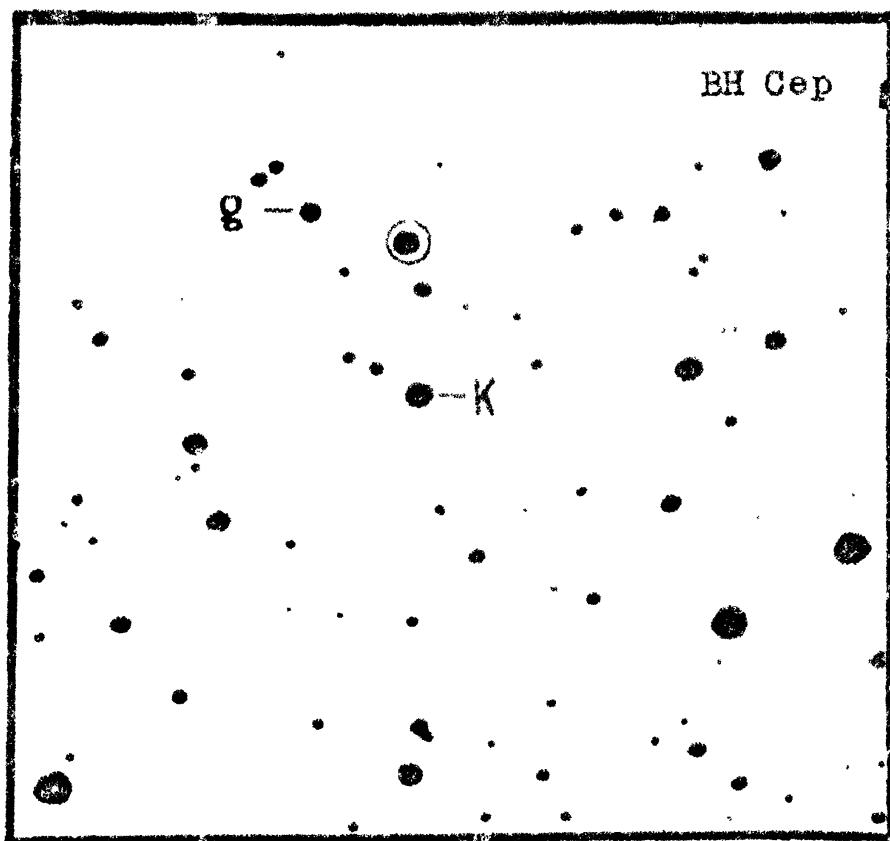
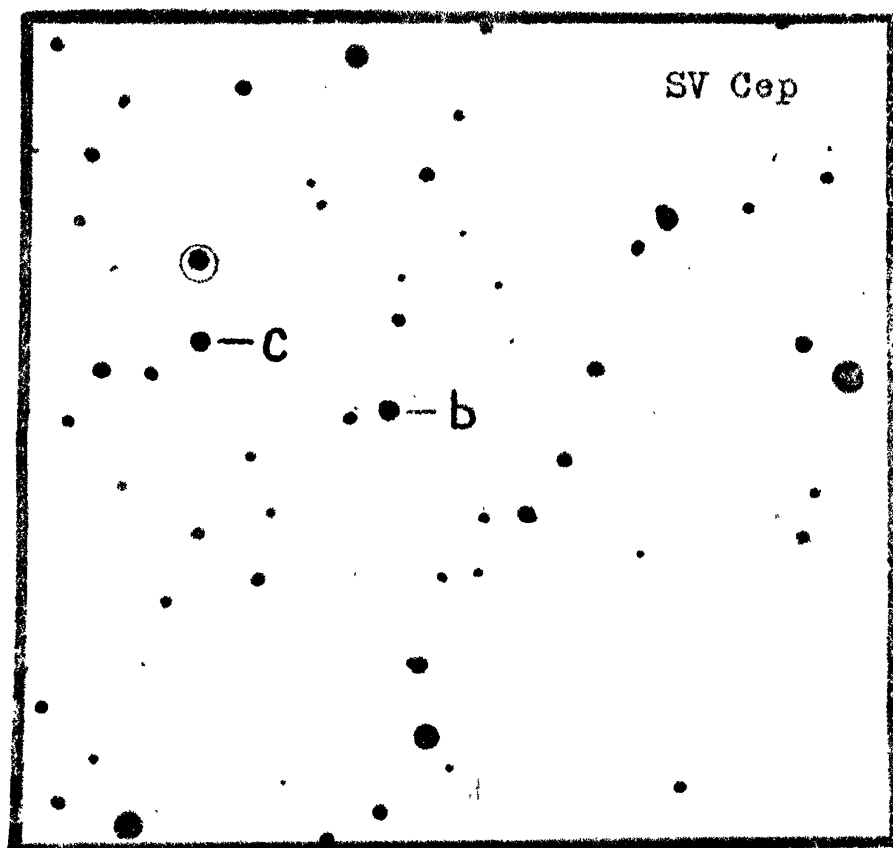
Кривые реакции инструментальной фотометрической системы

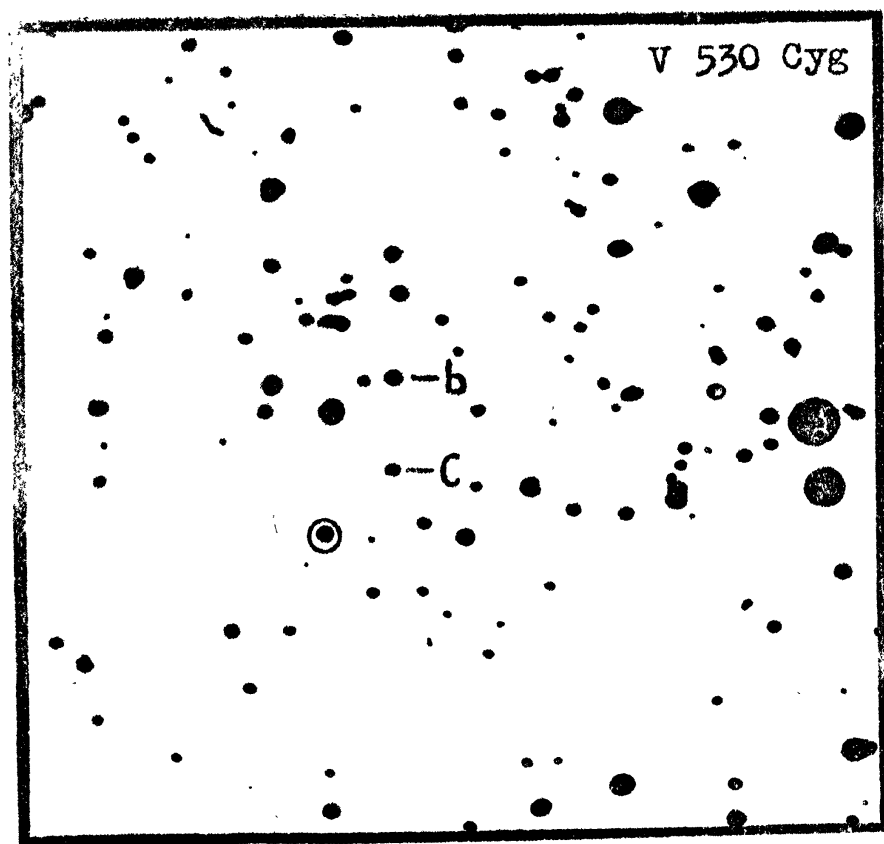
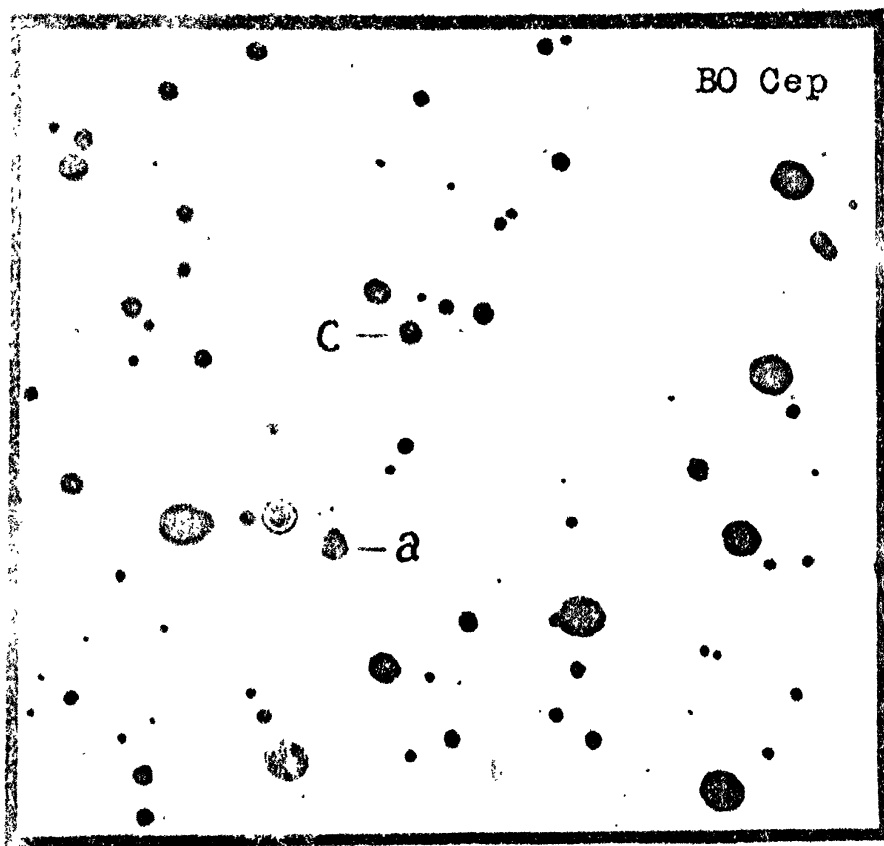
λ	Пропускание			
	T_U	T_B	T_V	T_R
3200	0.000			
300	.025			
400	.258			
500	.637			
600	.933	0.000		
700	.994	.018		
800	.769	.052		
900	.255	.146		
4000	.010	.314		
200	.000	.894		
400		1.000		
600		0.844	0.000	
800		.449	.020	
5000		.095	.362	
200		.008	.964	
400		.000	.941	
600			.730	
800			.501	
6000			.256	0.000
200			.100	0.007
400			.028	.508
600			.000	1.000
7000				0.796
400				.503
800				.238
8200				.066
600				.017
9000				.000

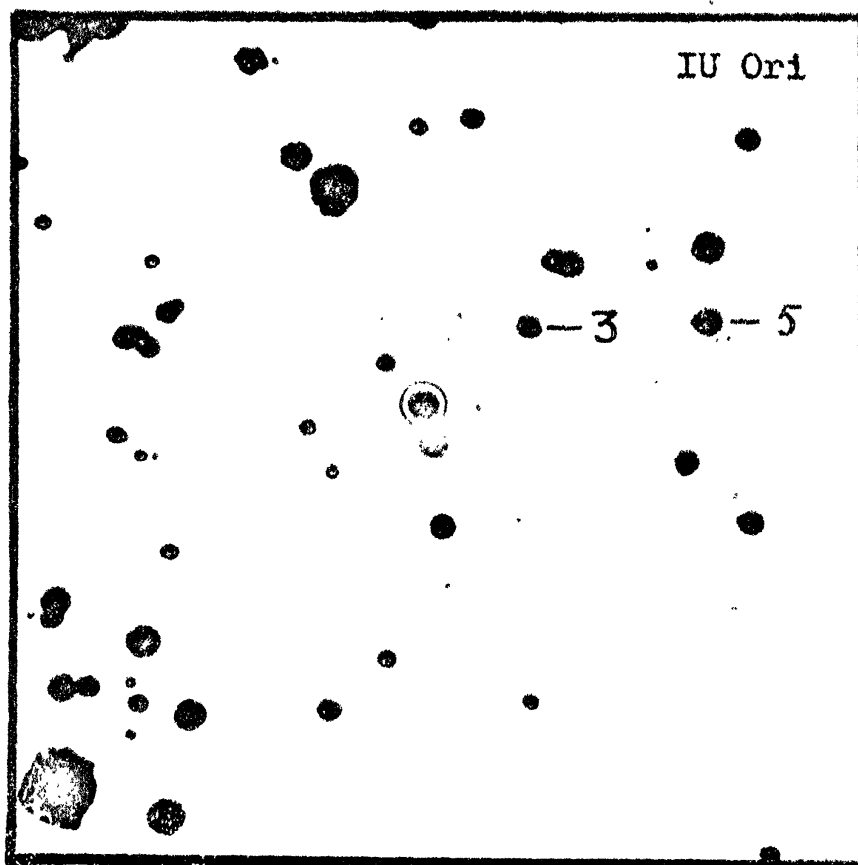
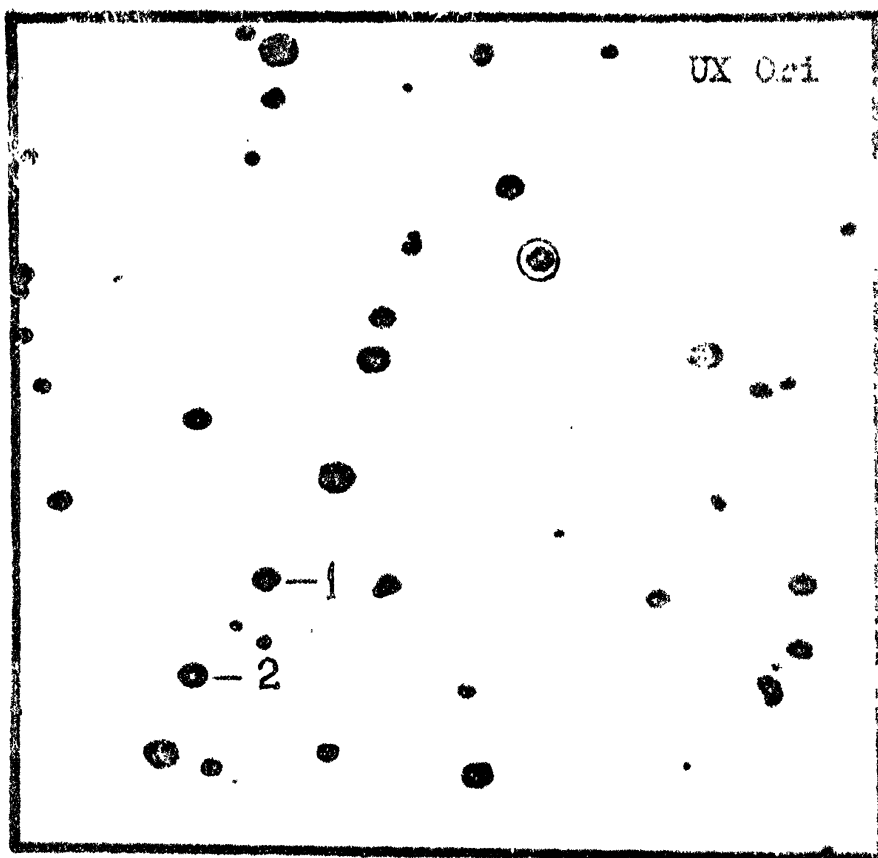
Карты звезд сравнения
для активизирующих звезд

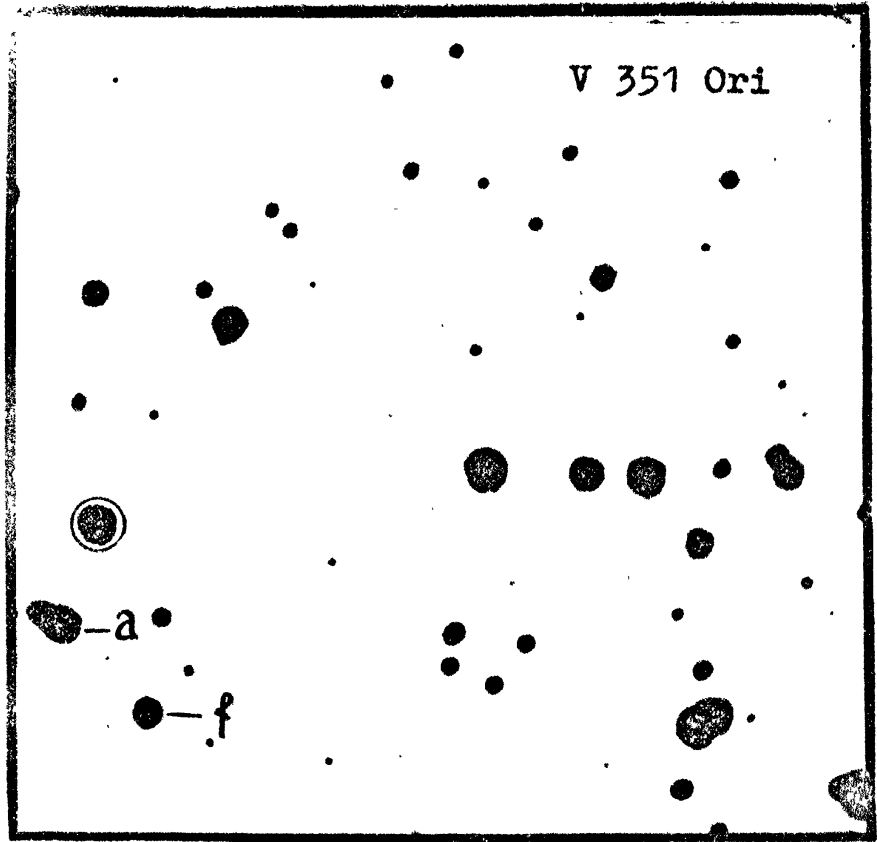
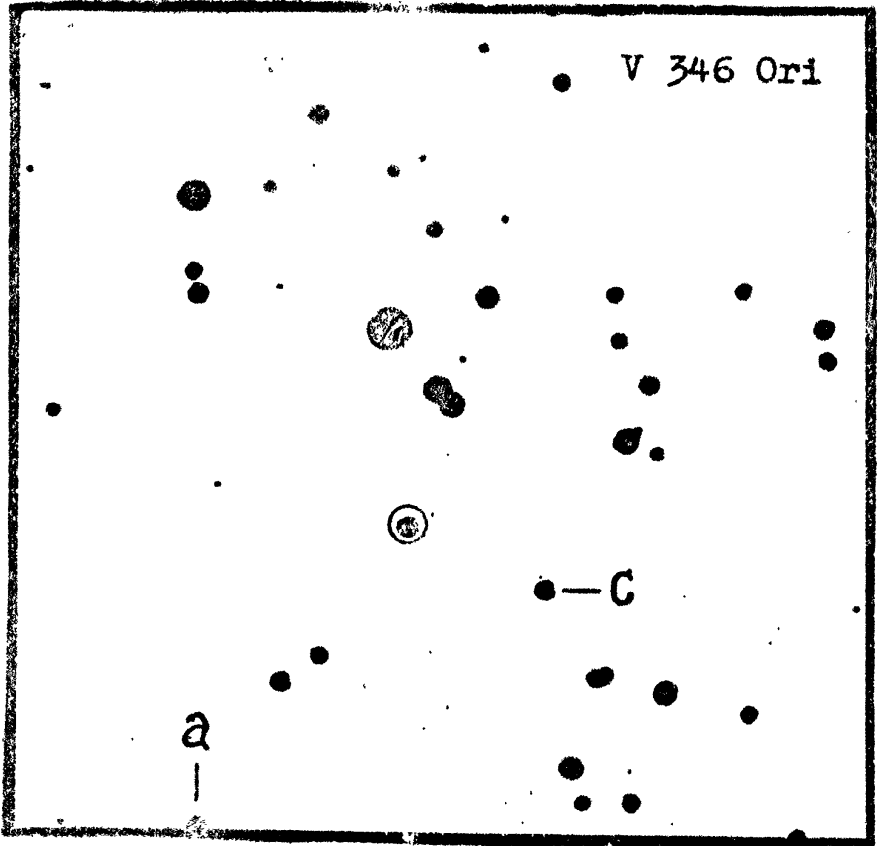


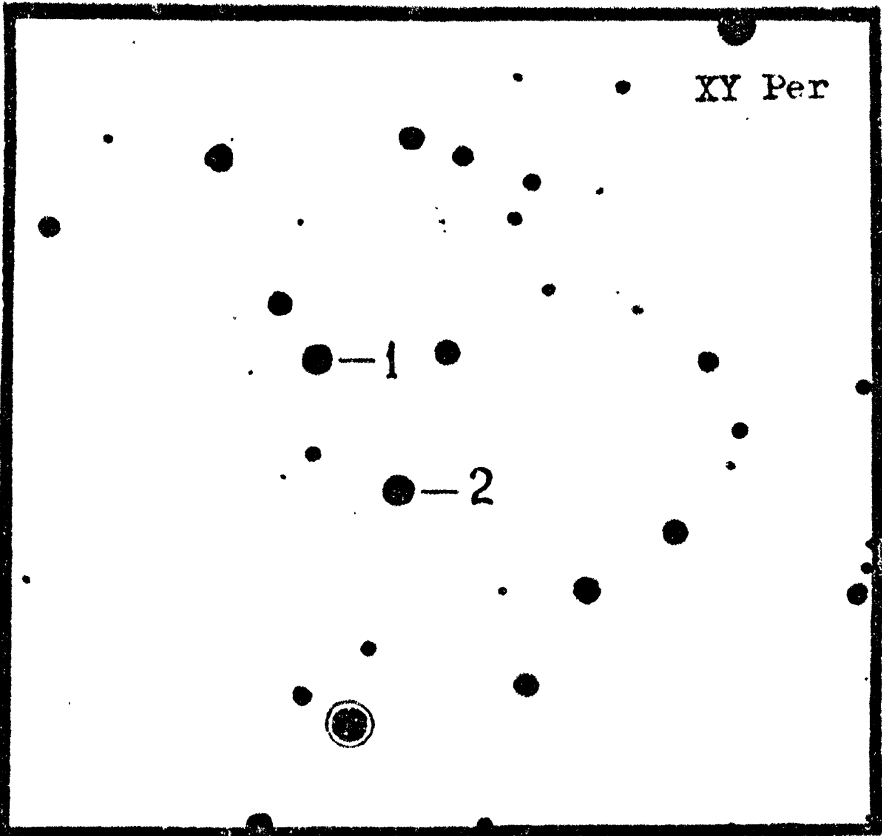
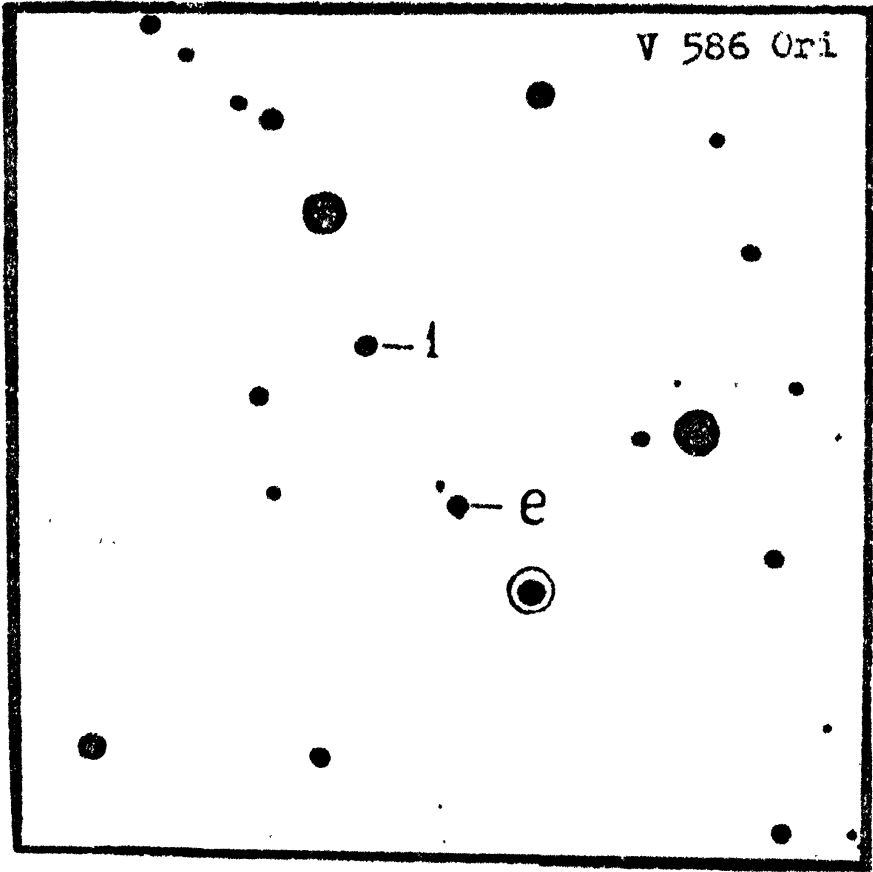


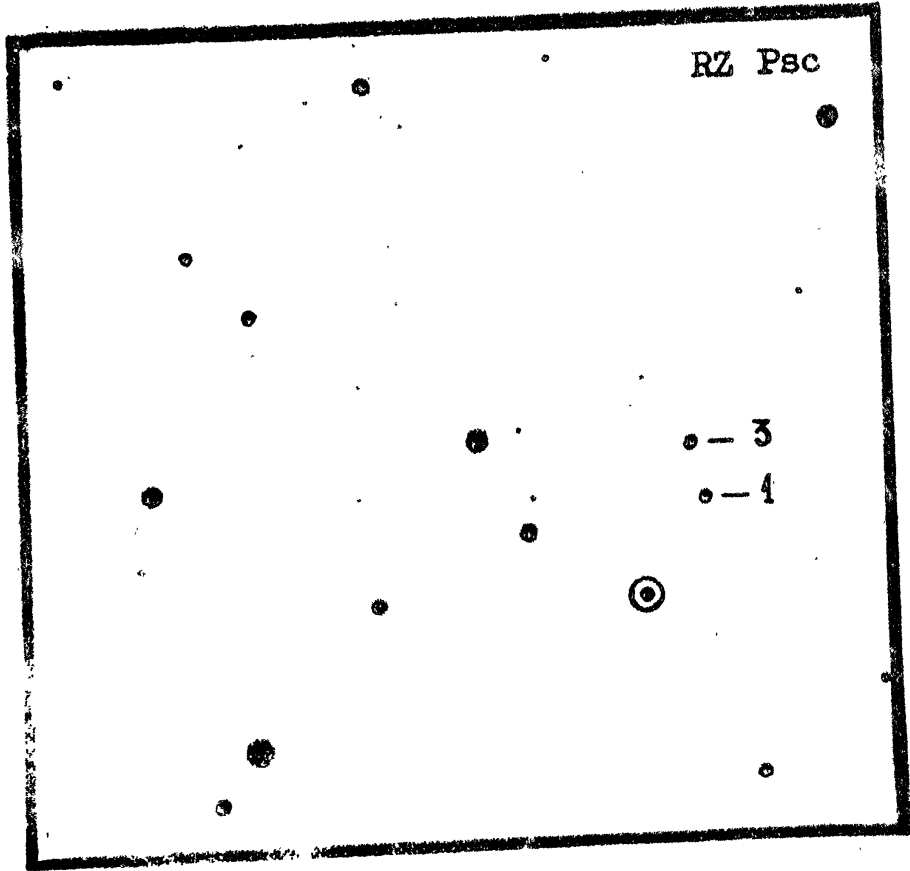
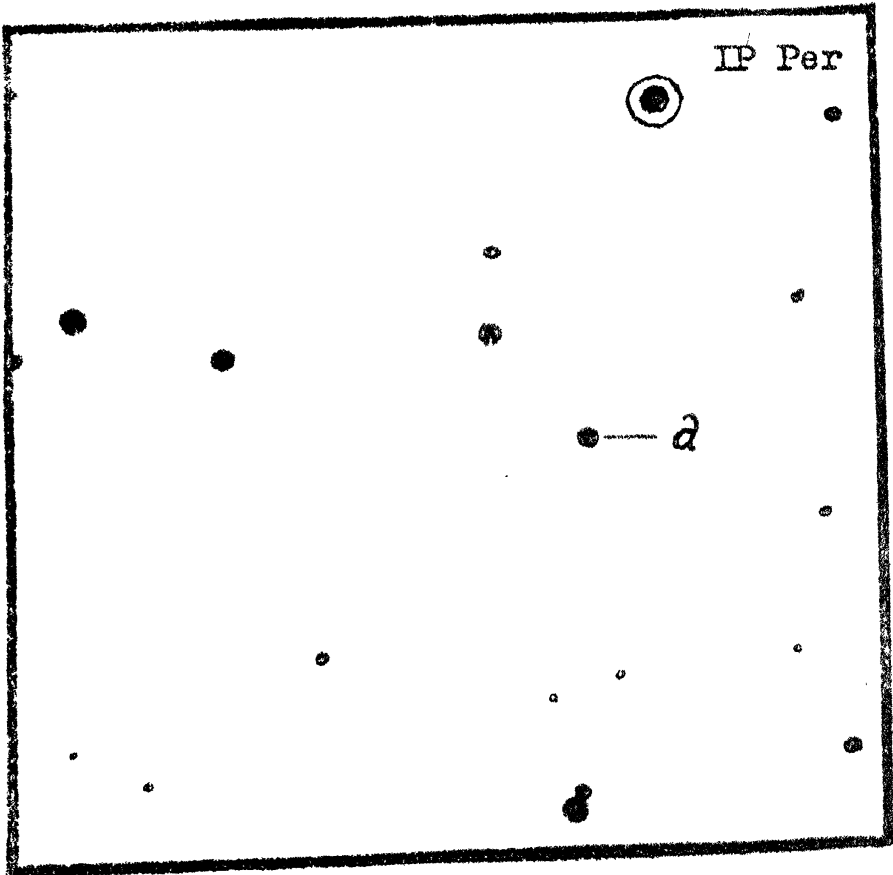


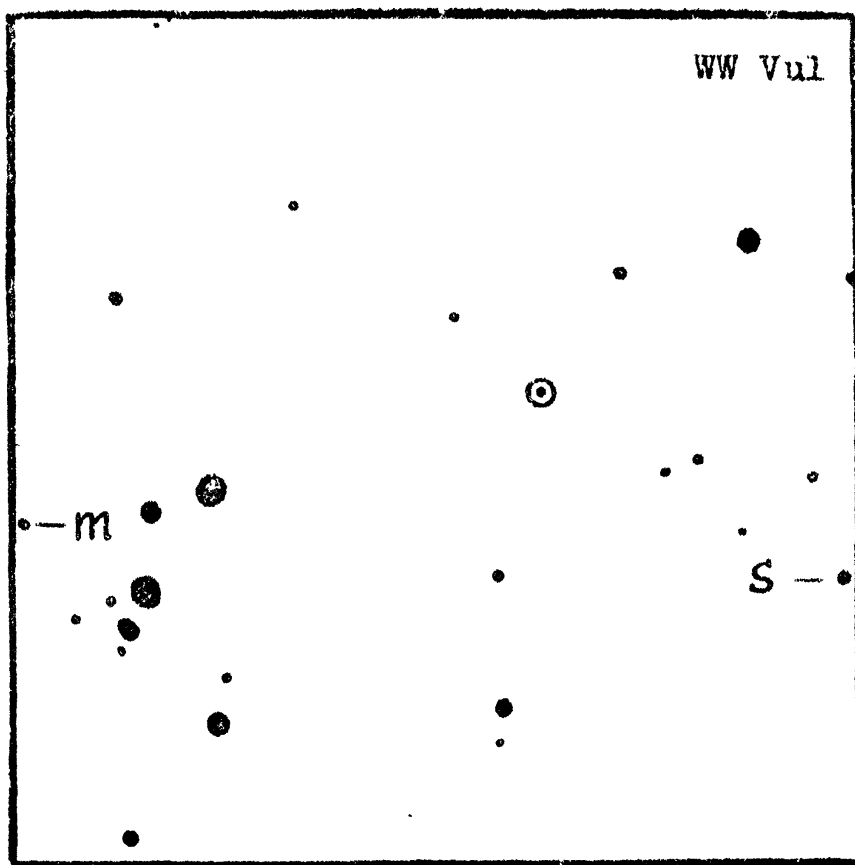












Литература

- Аллен К.У., 1977, Астрофизические величины, "Мир", Москва.
- Джонсон, Митчелл, 1962 — Johnson H.L., Mitchell R.I., Arizona Comm. **1**, 73.
- Джонсон и др., 1966 — Johnson H.L., Mitchell R.I., Iriarte B., Wiśniewski W.Z., Arizona Comm. **4**, 99.
- Зайцева Г.В., 1973, ПЗ **19**, 63.
- Мендоза, 1967 — Mendoza E.E., ТТВ **4**, 149.
- Нэнди и др., 1978 — Nandy K., Smriglio F., Buonanno R., Edinburg Publ. **9**, 125.
- Пападопулос и Сковил, 1980 — Papadopoulos Ch., Scovil Ch., "True visual magnitude photographic star atlas", Pergamon Press, Oxford.
- Пенстон, 1973 — Penston M.V., ApJ **183**, 505.
- Страйжис В., Зданавичюс К., 1970, Вильнюс. Бюлл. № 29, 15.
- Страйжис В., Свидерскене З., 1972, Вильнюс. Бюлл. № 35, 3.
- Страйжис В., 1977, "Многоцветная фотометрия звезд", изд. "Мокслас", Вильнюс.
- Эндрюс, 1974 — Andrews A.P., Bol. Inst. Tonantz. **1**, 101.

Главная астрономическая обсерватория
АН Украинской ССР, г. Киев

Поступила в редакцию
28 декабря 1982 г.

