

HIERONIM HURNIK
HELENA BIENIEWSKA
BOŻENA MAJEWSKA
STANISŁAWA ŚWIERKOWSKA
KRZYSZTOF VORBRICH

778.35:629.785

Badanie materiału negatywowego do obserwacji fotograficznych sztucznych satelitów Ziemi

Badanie błon filmowych przeprowadzono w oparciu o zdjęcia nieba gwiazdzistego. Najbardziej wskazane by było do tego celu zachowanie tego samego środka optycznego $\alpha_0 \delta_0$ dla wszystkich zdjęć. Przy zastosowaniu kamery AFU-75 jest to technicznie niewykonalne z uwagi na małą dokładność szperacza kamery. Dlatego do sfotografowania wybrano pole bogate w gwiazdy, przechodzące przez zenit miejsca obserwacji i wykonano zdjęcia tego samego pola gwiazd, możliwie blisko zenitu. Zdjęcia wykonano w dwóch położeniach kamery: w położeniu nazwijmy je A i w położeniu A + 180, tzn. po obrocie kamery o 180° , na trzech filmach: polskim, radzieckim i na filmie firmy Gaevert.

Serie tych zdjęć były opracowywane laboratoryjnie przy zastosowaniu trzech technik suszenia:

- film przy suszeniu zawieszano wzdłuż klatek,
- film przy suszeniu zawieszano w poprzek klatek,
- film suszono w suszarce elektrycznej.

Na wszystkich zdjęciach, w polu o średnicy około 10 cm, wybrano po 75 tych samych gwiazd, równomiernie rozłożonych, których współrzędne równikowe znajdują się w katalogu SAO.

Pomiary współrzędnych prostokątnych gwiazd na negatywach wykonane były na askorekordzie w IGiK i na koordynatometrze Komes w Obserwatorium UAM w Poznaniu.

Wszystkie zdjęcia mierzone były w dwóch położeniach kliszy w płytomierzu:

położenie 0 — oś x biegnie wzdłuż filmu, oś y w poprzek,

położenie 90 — obrót filmu w płytomierzu o 90° , a tym samym zmiana osi.

Zdjęcia, których pomiary wykonywano w ośrodku warszawskim, mierzone były czterokrotnie w każdym położeniu filmu, po dwa razy w dwu położeniach pryzmatu. Zdjęcia w ośrodku poznańskim mierzone były

sześciokrotnie w każdym położeniu filmu, po trzy razy w dwu położeniach pryzmatu.

Program obliczeniowy

Dane wyjściowe do obliczeń stanowią współrzędne równikowe gwiazd na epokę obserwacji oraz uśrednione współrzędne prostokątne x, y , z pomiarów obrazów gwiazd na negatywach. Dla części zdjęć są to średnie z czterech pomiarów, dla pozostałych zdjęć — średnie z sześciu pomiarów. Obrót kliszy w płytomierzu daje nam podwójne bloki danych.

Jeżeli oznaczymy przez:

x_0, y_0 — pomiary uśrednione, zredukowane na środek kliszy, dla położenia 0 w płytomierzu,

x_{90}, y_{90} — pomiary uśrednione, zredukowane na środek kliszy, dla położenia 90 w płytomierzu,

to chcąc otrzymać wyrównane współrzędne \bar{x}_0, \bar{y}_0 z obydwu położen, doprowadzone do położenia 0 w płytomierzu, musimy wyznaczyć metodą najmniejszych kwadratów współczynniki a_i, b_i z wzorów:

$$\begin{aligned} a_0 + a_1 x_{90} + a_2 y_{90} &= x_0, \\ b_0 + b_1 x_{90} + b_2 y_{90} &= y_0. \end{aligned} \quad (1)$$

Znając wartości a_1, b_1 możemy wyznaczyć współrzędne x'_0, y'_0 , które za pomocą współczynników a_i, b_i sprowadzają nam pomiary z położenia 90 do położenia 0 w płytomierzu:

$$\begin{aligned} a_0 + a_1 x_{90} + a_2 y_{90} &= x'_0, \\ b_0 + b_1 x_{90} + b_2 y_{90} &= y'_0 \end{aligned}$$

i wyliczyć:

$$\begin{aligned} \bar{x}_0 &= \frac{1}{2} (x_0 + x'_0), \\ \bar{y}_0 &= \frac{1}{2} (y_0 + y'_0). \end{aligned} \quad (2)$$

Błędem średnim pomiaru poszczególnych gwiazdy jest zatem

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{k-3}},$$

(gdzie k — liczba gwiazd na kliszy) obliczony dla każdej współrzędnej x oraz y .

Należy zauważyć, że wzory (2) są równoważne wzorom:

$$\bar{x}_0 = x_0 + \frac{1}{2} v_{x'_0},$$

$$\bar{y}_0 = y_0 + \frac{1}{2} v_{y_0}'$$

gdzie

v_{x_0}' — odchyłka w równaniu na współczynniki a_i ,

v_{y_0}' — odchyłka w równaniu na współczynniki b_i układu równań (1).

Do dalszych obliczeń są wzięte współrzędne \bar{x}_0, \bar{y}_0 .

Do obliczenia wartości α_0, δ_0 środka kliszy wybiera się trójkąty, które najlepiej spełniają warunek równoboczności i nie leżą dalej niż 4 cm od środka mierzonego. Współrzędne środka α_0, δ_0 wylicza się metodą dependensów, w której drugie różnice oblicza się za pomocą wzorów Arenda.

Mając α_0, δ_0 możemy przystąpić do wyznaczania wartości ξ i η — współrzędnych idealnych kliszy, według znanych wzorów i wyrównać pomiary współrzędnych prostokątnych ze współrzędnymi idealnymi, posługując się szeregami:

liniowymi

$$a_0 + a_1 \bar{x}_0 + a_2 \bar{y}_0 = \xi,$$

$$b_0 + b_1 \bar{x}_0 + b_2 \bar{y}_0 = \eta,$$

oraz drugiego stopnia

$$a_0 + a_1 \bar{x}_0 + a_2 \bar{y}_0 + a_3 \bar{x}_0^2 + a_4 \bar{x}_0 \bar{y}_0 + a_5 \bar{y}_0^2 = \xi,$$

$$b_0 + b_1 \bar{x}_0 + b_2 \bar{y}_0 + b_3 \bar{x}_0^2 + b_4 \bar{x}_0 \bar{y}_0 + b_5 \bar{y}_0^2 = \eta.$$

Z każdego wyrównania w wyniku otrzymujemy:

- współczynniki a_i, b_i oraz ich błędy,
- odchyłki równań v_ξ, v_η
- błędy średnie dla wyrównań ξ i η :

$$m_\xi = \pm \sqrt{\frac{[v_\xi v_\xi]}{k-i}},$$

$$m_\eta = \pm \sqrt{\frac{[v_\eta v_\eta]}{k-i}},$$

gdzie: k — liczba gwiazd na kliszy, i — liczba współczynników w równaniu.

Redukcja zdjęć

Redukcję zdjęć wykonano w dwóch etapach. W pierwszym etapie wykonano „wyrównanie obrotów” i „wyrównanie liniowe gwiazd” celem wykrycia grubych błędów. Ta wstępna redukcja pozwoliła sprawdzić materiał mierzony i identyfikowany. Po wstępnym opracowaniu trzeba było

usunąć niektóre gwiazdy z dalszych obliczeń. Liczba odrzuconych gwiazd nie przekraczała na żadnym zdjęciu 3.

Z tak sprawdzonym i poprawionym materiałem przystąpiono do ostatecznego opracowania wyników.

Pomiary wykonane w dwóch położeniach filmu w płytomierzu pozwalają na usunięcie ewentualnych podstawowych błędów samego przyrządu pomiarowego, takich jak nierównomierność skal i nieprostokątność osi x , y . Poza tym pozwalają obiektywnie ocenić dokładność pomiarów. Należy pamiętać, że wynik końcowy pomiaru poszczególnej gwiazdy jest średnią arytmetyczną kilku pomiarów (4-ch lub 6-ciu), w każdym położeniu kliszy, więc obliczony błąd średni dotyczy poszczególnej gwiazdy, a nie pojedynczego jej pomiaru.

Wyrównanie liniowe współrzędnych prostokątnych obrazów gwiazd z idealnymi współrzędnymi ξ , η zawierać będzie nie tylko błędy spowodowane zniekształceniem filmu w czasie opracowywania, ale również wszystkie błędy nieliniowe optyki kamery AFU-75 oraz wynikające z nieprostokątności filmu do osi głównej obiektywu podczas wykonywania zdjęcia.

Wyrównanie 2-go stopnia współrzędnych x , y z idealnymi współrzędnymi ξ , η wyrówna nam materiał nie tylko z uwagi na błędy nieprostokątności osi obiektywu do filmu, ale częściowo zniweluje również błąd nierównomiernego naciągania się błony filmowej w czasie wykonywania zdjęcia i podczas obróbki laboratoryjnej.

Badanie tak przeprowadzone powinno dać odpowiedź na pytanie: czy zniekształcenie filmu przekracza dokładność optyki kamery, czy wynikający z tego błąd należy uwzględniać przy dalszej pracy obserwacyjnej? Również powinniśmy uzyskać wskazania, dotyczące takiego opracowania filmu, aby zniekształcenia najmniej wpłynęły na wyniki wyznaczenia pozycji obiektu.

Jak wiemy, pomiary zdjęć wykonywane były w dwóch położeniach filmu w płytomierzu — w położeniu 0 i w położeniu 90. Filmy z AFU-75 należało umieszczać między dwoma płasko-równoległymi płytami szklanymi, a z uwagi na to, że filmy te mają duże wymiary ($13,5 \times 20$ cm), trzeba było je mierzyć w największej ramce płytomierza, która nie ma możliwości obrotu o małe kąty. Nie można więc było spełnić założenia, że oś x biegnie dokładnie wzdłuż filmu, a oś y w poprzek, przy położeniu 0 w płytomierzu. Dla określenia skrzywienia osi xy względem osi ξ , η wyznaczono wartości kątów skrzywienia z zależności:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = -\frac{a_2}{a_1}, \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{b_1}{b_2},$$

gdzie a_1 , a_2 , b_1 , b_2 — współczynniki wyznaczone z wyrównania 2 stopnia.

Wyznaczono również wartość ogniskowej kamery z zależności

$$F = \frac{1}{2} \left(\frac{\cos \varphi_1}{a_1} + \frac{\cos \varphi_2}{b_2} \right).$$

Tablica 1 obejmuje w poszczególnych kolumnach: 1) numer kliszy, 2) kąt zawarty między osią x i ξ , 3) wartość ogniskowej kamery AFU-75, 4) rektascenzję środka kliszy, 5) deklinację środka kliszy.

Wartość środka ciężkości wszystkich 75 obrazów gwiazd na negatywie wynosi:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{75} \sum \alpha_i = 17^{\text{h}} 33^{\text{m}} 05,983^{\text{s}}$$

$$\bar{\delta} = \frac{1}{75} \sum \delta_i = 59^{\circ} 43' 12,68''$$

Tablica 1

1	2	3	4	5
	° ' "	mm	° ' "	° ' "
2	-10 08 24	735,24	17 31 14,36	52 50 26,1
3	- 9 31 28	735,10	17 34 10,46	52 19 36,5
4	- 7 48 24	735,21	17 29 27,92	52 44 23,4
5	- 5 19 35	734,98	17 27 37,91	52 35 56,3
8	- 4 29 56	735,10	17 21 45,77	52 54 50,3
9	- 8 33 56	736,08	17 35 21,67	52 38 25,0
16	- 2 05 37	735,04	17 30 17,84	52 28 12,3
17	+ 8 53 48	735,10	17 37 57,45	52 20 22,7
18	+10 37 02	736,10	17 31 49,50	52 36 16,1
19	+11 05 02	735,31	17 37 51,24	52 26 03,2
20	+12 20 11	736,34	17 30 06,75	52 28 24,6
21	+15 26 24	735,34	17 31 36,19	52 15 21,3
8501	- 2 16 14	735,66	17 32 02,22	52 50 13,7
8502	- 2 44 38	735,32	17 28 36,28	53 17 32,8
8503	- 2 06 37	734,98	17 37 54,55	52 35 24,3
8504	- 4 13 14	735,22	17 30 35,20	52 20 25,8
3.6	- 7 49 26	736,20	17 34 09,84	52 19 36,6
17.6	+ 8 42 09	736,44	17 37 56,78	52 20 21,4

Dwa ostatnie wiersze tablicy 1 (poz. 3.6 i 17.6) zawierają wyniki redukcji negatywów nr 3 i nr 17, pomierzonych powtórnie po 6 miesiącach. Widać z nich, że wartość ogniskowej wyznaczona z powtórnego pomiaru, uległa powiększeniu.

Tablica 2 zawiera w poszczególnych kolumnach: 1 — numer negatywu, 2 i 3 — średnie błędy współrzędnych gwiazd z wyrównania obrotów,

Tablica 2

1	2	3	4	5	6	7
2	$\pm 2,3$	$\pm 2,5$	$\pm 10,93$	$\pm 11,78$	$\pm 10,34$	$\pm 11,52$
3	6,0	4,4	13,65	14,68	11,39	13,50
4	2,4	2,6	10,40	11,75	10,16	11,56
5	5,1	3,3	17,92	18,36	12,08	13,02
8	2,0	2,1	14,22	12,51	10,04	11,85
9	4,7	4,4	13,09	14,90	11,61	12,08
16	1,6	1,9	16,42	13,99	9,02	10,17
17	6,1	6,0	17,33	15,39	13,37	13,56
18	2,0	2,1	13,32	12,04	10,04	10,19
19	3,2	2,6	15,67	13,87	11,65	12,26
20	2,3	2,3	11,82	11,24	10,41	9,84
21	4,3	3,7	13,33	14,73	13,06	14,18
8501	2,2	1,7	12,79	16,85	11,15	11,75
8502	1,9	2,1	12,62	14,14	11,41	12,10
8503	1,9	2,2	16,56	14,36	10,33	10,67
8504	1,8	2,0	14,00	15,26	11,81	12,21
3.6	4,3	4,5	14,68	13,52	11,68	12,23
17.6	4,4	3,9	15,77	13,44	12,17	11,62

4 i 5 — średnie błędy poszczególnej gwiazdy z wyrównania liniowego x, y z ξ, η , 6 i 7 — średnie błędy poszczególnej gwiazdy z wyrównania 2 stopnia x, y z ξ, η .

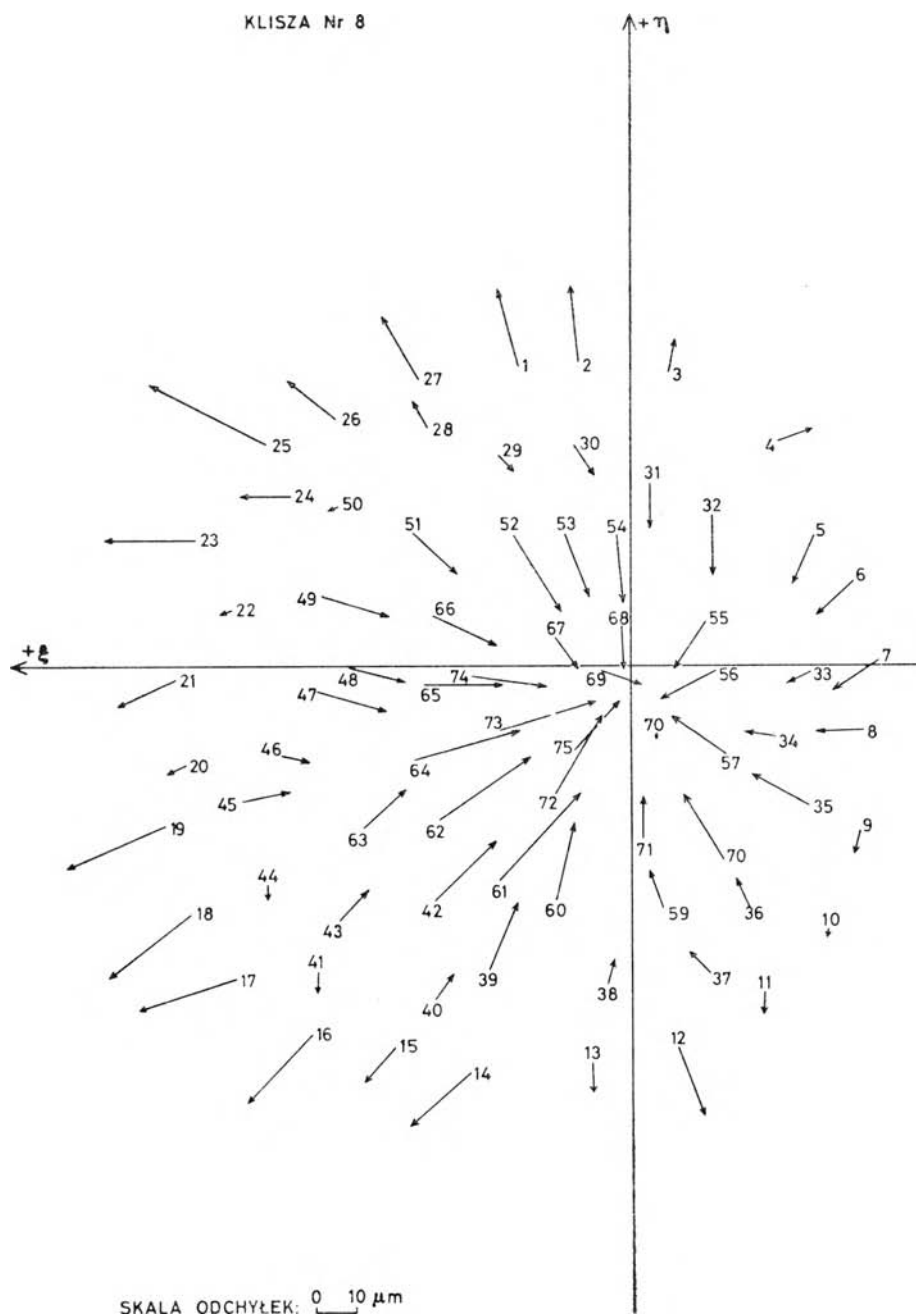
Wszystkie wartości średnich błędów podane są w mikrometrach.

Wnioski

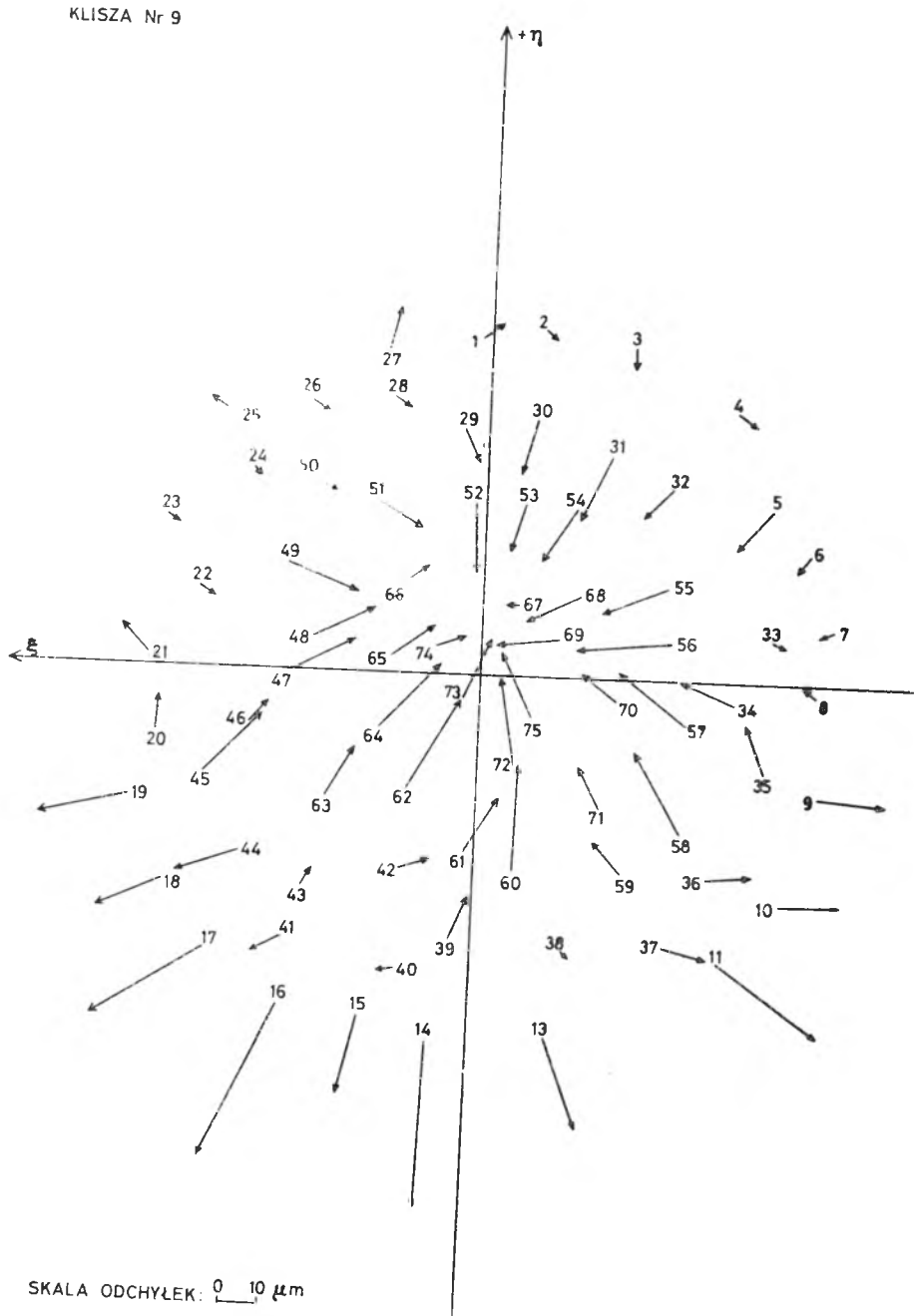
Z przebadanego materiału wynika:

- nie widać zasadniczych różnic zależnych od rodzaju filmu,
- nie ma istotnych różnic, spowodowanych różnymi metodami suszenia,
- dostrzegalne jest wydłużenie ogniskowej kamery, wyznaczonej z pomiarów zdjęć, po powtórny zmierzeniu tych samych zdjęć po kilku miesiącach,
- istnieją lokalne błędy emulsji o wyraźnie nieregularnym charakterze,
- wszystkie nieregularności są zdecydowanie mniejsze niż błędy optyki, czego wyraźnym obrazem są załączone rysunki nry 1 i 2 naniesionych odchyłek z wyrównania liniowego gwiazd,
- konieczne jest wprowadzanie poprawek, wynikających z błędów optyki, przy wyznaczaniu pozycji fotografowanych obiektów.

Recenzował doc. dr hab. inż. Janusz Sledziński



Rys. 1



Rys. 2

ХЕРОНИМ ХУРНИК
ХЕЛЕНА БЕНЕВСКА
БОЖЕНА МАЕВСКА
СТАНИСЛАВА СВЕРКОВСКА
КШЫШТОФ ФОРБРИХ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕГАТИВНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ДЕФОРМАТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

Резюме

Исследование фотопленок произведено на основе снимков звездного неба, выполненных камерой AFU-75 на трех разных типах пленок. Снимки сушились тремя методами, вешая пленку вдоль, поперек и используя электрическую сушилку. Измерения снимков произведено в двух положениях пленки в плитомере, разных на 90° , и в двух положениях призмы. Редукцию снимков проведено рядами линейными и второй степени, коэффициенты которых разрешили определить угол поворота измерений x и y пленки по отношению к оси идеальных ξ и η , а величину фокусной камеры (таблица 1). В этой таблице выражены также величины α_0 и δ_0 для отдельных снимков. Таблица 2 содержит средние ошибки координат каждой звезды линейного уравнивания оборотов пленки в плитомере и средние ошибки линейного уравнивания и второй степени координат x , y с координатами идеальными ξ и η .

HIERONIM HURNIK
HELENA BIENIEWSKA
BOŻENA MAJEWSKA
STANISŁAWA ŚWIERKOWSKA
KRZYSZTOF VORBRICH

ANALYSIS OF THE NEGATIV MATERIAL FOR PHOTOGRAPHIC
OBSERVATIONS OF THE ARTIFICIAL EARTH SATELLITES

S u m m a r y

The analysis of films were performed on the basis of star sky photographes made with AFU-75 camera on three types of films. The photographes were dried with three methodshanging a film longwise and crosswise and using and electrical drying machine. Measurements of the photographes were done in two positions of a film in a plate-measuring unit, with the difference of 90° and in two positions of a prism. Photographes reduction was performed by the linear and the second degree series which coordinates enabled to determine the angle of twist of x and y measurements of the film in relation to the ideal axis ξ and η and to the focal value of the camera (table 1). Values α_0 and δ_0 for particular photographes are included. Table No. 2 comprises the mean square errors of coordinates of each star resulting from linear adjustment of linear revolutions of the film in the plate-measuring unit and the mean square errors of the linear and the second degree adjustment of x, y coordinates with ξ and η ideal coordinates.