

EXCHANGE

JAN 12 1891

ОПРЕДѢЛЕНІЕ ОРБИТЪ МЕТЕОРНЫХЪ ПОТОКОВЪ.

І. А. КЛЕЙБЕРА.

369



ON THE DETERMINATION OF ORBITS
OF METEOR-STREAMS

By J. KLEIBER. F. R. A. S.

(With an Abstract in English).

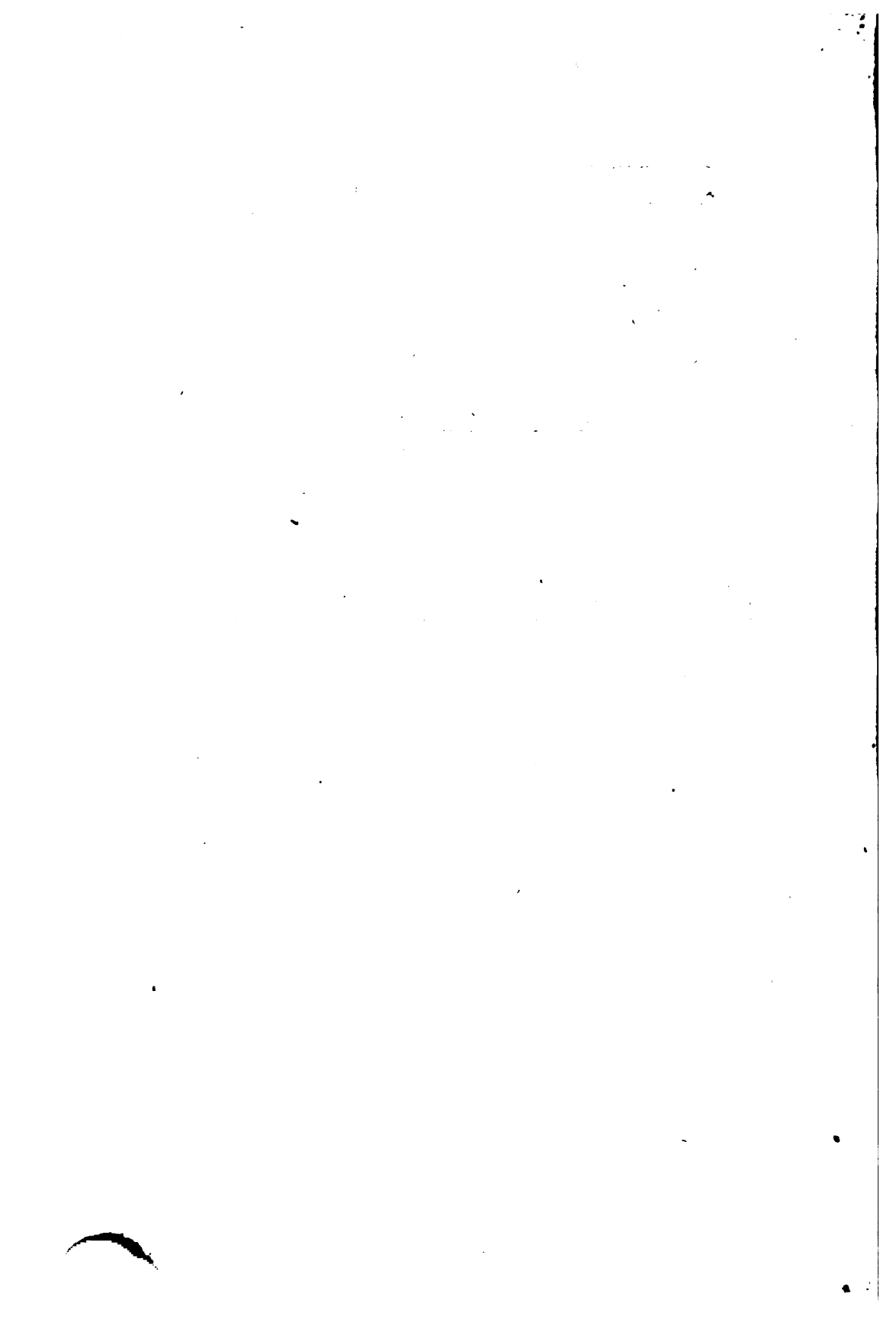
2. 6. 1891



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія П. П. Соѣкина, Вознесенскій пр., № 47.

1891



ОПРЕДѢЛЕНІЕ ОРБИТЪ МЕТЕОРНЫХЪ ПОТОКОВЪ.

І. А. КЛЕЙБЕРА.



ON THE DETERMINATION OF ORBITS OF METEOR-STREAMS

By J. KLEIBER. F. R. A. S.

(With an Abstract in English).



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія П. П. Соѣкина, Вознесенскій пр., № 47.

1891

S.B. 748

K6

EXCHANGE

St. Petersburg, Gulf. Univ.



I.

ВСТУПЛЕНИЕ.

Цѣль настоящаго сочиненія.—Точность работы.—Превращенія координатъ радіантовъ.—Общая задача о преобразованіи координатъ.—Графическіе методы.—Переименованіе координатъ.—Результаты.—Сравненіе съ кометами. Движеніе потока метеоровъ въ солнечной системѣ.—Перемѣщеніе радіанта изъ дня въ день.

Предметъ настоящей работы—опредѣленіе орбитъ большаго числа метеорныхъ потоковъ, наблюденныхъ въ теченіи болѣе двадцати лѣтъ англійскимъ астрономомъ Denning'омъ, который недавно напечаталъ каталогъ 918 радіантовъ, выведенныхъ изъ совокупности его наблюденій. ¹⁾ Подготовительнымъ изслѣдованіемъ для этой цѣли является выработка простыхъ методовъ для опредѣленія метеорныхъ орбитъ—задача, рѣшеніе которой составляетъ теоретическую часть настоящаго сочиненія.

Въ немногихъ словахъ этотъ вопросъ былъ уже разсмотрѣн мною въ другомъ сочиненіи—въ книгѣ моей „Астрономическая теорія падающихъ звѣздъ“ ²⁾, вышедшей въ 1884 г. Здѣсь мнѣ пришлось между прочимъ разсмотрѣть критически методы предложенные различными астрономами для опредѣленія метеорныхъ орбитъ, причемъ вычисленіемъ нѣсколькихъ таблицъ и

¹⁾ William F. Denning. Catalogue of 918 Radiant Points of Shooting Stars observed at Bristol.

Monthly Notices of the R. A. S. Vol L. № 7. May 1890 pp. 410—467.

²⁾ I. A. Клейберъ. Астрономическая теорія падающихъ звѣздъ. Изданіе Спб. Университета Спб. 1884. 8° 215 стр.

иными способами мнѣ удалось нѣсколько упростить аналитическія выкладки, необходимыя для рѣшенія этой задачи. ¹⁾ Собранный мною тогда-же обширный каталогъ радіантовъ, наблюденныхъ различными астрономами, въ разныхъ мѣстахъ и въ разное время, проведенный сравненіемъ съ источниками проф. Глазенапомъ, послужилъ уже для г. А. А. Тилло матеріаломъ для изученія распредѣленія метеорныхъ потоковъ въ пространствѣ. ²⁾ Однако я не рѣшался тогда-же приступать къ вычисленію орбитъ потоковъ, радіанты которыхъ были собраны, главнымъ образомъ потому, что каталоги наблюдателей не давали возможности получить элементы орбитъ даже въ очень грубо-приблизительной формѣ, какъ это указано въ предисловіи къ моему каталогу радіантовъ. ³⁾ Въ то-же время я высказывалъ однако надежду, что наступитъ время, когда явится возможность изучить метеорныя орбиты на основаніи болѣе совершеннаго матеріала, который можетъ быть доставленъ наблюдателями метеоровъ, если они примутъ во вниманіе и тѣ соображенія, которыя являются при попыткахъ опредѣлить метеорную орбиту по данному времени появленія метеорнаго потока и координатамъ его радіанта. Въ настоящее время опубликованный Denning'омъ каталогъ радіантовъ, хотя и не удовлетворяетъ всѣхъ desiderata вычислителя орбита, но дастъ уже по крайней мѣрѣ возможность вычислить орбиты, соотвѣтствующія радіантамъ каталога. Главное отличіе новаго каталога отъ предыдущихъ состоитъ въ томъ, что въ немъ точно указанъ день появленія радіанта, или эпоха потока, между тѣмъ какъ въ другихъ каталогахъ давались часто неопредѣленные указанія, вроде напр. того,

¹⁾ loc. cit. p. 86—95.

²⁾ A. de Tilló. Recherches sur la répartition des points radiants d'après les mois de l'année et d'après les coordonnées célestes. Paris, Gauthier - Villars 1888. 8° 20, pp.

³⁾ Астр. теорія пад. зв. стр. 133 и сл.

что данный радіантъ наблюдался отъ 1 до 15 Января и т. п. Въ новомъ каталогѣ радіанты выведены для каждого дня отдѣльно, и если одинъ и тотъ же потокъ наблюдался много дней подъ рядъ, то для каждого дня дано положеніе радіанта, выведенное изъ наблюденій для этого дня. причемъ только въ „примѣчаніи“ указано на тождество соотвѣтствующихъ потоковъ. Такимъ образомъ напр. одни Персеиды представлены въ каталогѣ 48 радіантами для времени отъ 8 Іюля до 16 Августа, по наблюденіямъ отъ 1874 г. до 1889 г. Это даетъ возможность найти элементы орбиты соотвѣтствующихъ потоковъ съ точностью, соотвѣтствующею точности опредѣленія положенія радіанта. Можно бы требовать еще большаго. Каталогъ Denning'a, какъ и всѣ предшествующіе ему каталоги радіантовъ, не даютъ никогда часа наблюденій, или вѣрнѣе, — моментовъ наблюденій отдѣльныхъ метеоровъ, изъ которыхъ выведенъ радіантъ. Правда, для опредѣленія эпохи радіанта съ достаточною точностью можно ограничиться указаніемъ дня его появленія. ибо это уже даетъ соотвѣтствующую времени радіанта долготу солнца съ точностью, превышающею точность координатъ самаго радіанта. ¹⁾ Но помимо опредѣленія долготы солнца для точности вычисленія требуется опредѣлить еще суточную абберрацію радіанта, которую почти всѣ изслѣдователи оставляютъ безъ вниманія при выводѣ формулъ для вычисленія метеорныхъ орбитъ. ²⁾

¹⁾ § 89. 90.

²⁾ А. Erman и S. C. Walker указываютъ какъ опредѣлять вліяніе вращенія земли на положеніе Апекса; Lehman — Fildes даетъ способъ вводить поправку на суточную абберрацію въ своей дисс. (но не упоминаетъ объ этой поправкѣ въ позднѣйшемъ трактатѣ объ опредѣленіи орбитъ). Но только одинъ Erman дѣйствительно ввелъ въ вычисленіе величины, зависящія отъ вращенія земли. Ни Klinkerfues, ни Oppolzer, ни Schiaparelli, ни Weyer изъ тѣхъ, которые давали методы опредѣленія орбитъ, и ни одинъ наблюдатель метеоровъ, не упоминаетъ объ этомъ вліяніи. А между тѣмъ оно доходитъ, для наблюдателя на Экваторѣ до $1^{\circ},61$ въ дугѣ большаго круга, и для широты ϕ до $1^{\circ},61 \cos \phi$, напр. для Greenwich $1^{\circ},00$.

Между тѣмъ, какъ мы покажемъ въ соотвѣтствующемъ мѣстѣ, суточная аберація радiанта достигаетъ всегда величины того же порядка, какъ и поправка элементовъ на эксцентриситетъ земной орбиты. или ошибки координатъ радiанта. Въ то же время нельзя было принять для всѣхъ радiантовъ за эпоху ихъ появленiя, при выводѣ суточной абераціи. полночь соотвѣтствующаго дня. какъ это мы дѣлали для нахожденiя долготы солнца эпохи. ибо между тѣмъ какъ долгота солнца измѣняется въ теченiи нѣсколькихъ часовъ на небольшую величину, которая не влiяетъ чувствительнымъ образомъ на результатъ, суточная аберація измѣняется очень быстро, и вводя поправку на нее для эпохи полуночи. мы можемъ быть въ половинѣ случаевъ уменьшили бы точность опредѣленiя орбитъ, вмѣсто того, чтобы увеличить ее.

Но помимо суточной абераціи неточность положенiя радiанта, какъ онъ задается въ каталогахъ, зависитъ еще отъ другихъ причинъ. которыя могли бы быть приняты во вниманiе—и соотвѣтствующія неточности устранены,—если бы публиковались, вмѣсто радiантовъ. сами наблюденiя надъ отдѣльными метеорами, изъ которыхъ радiанты были выведены. Теперь намъ дается только готовый результатъ, выведенный по приближительнымъ способамъ, точность и вѣрность которыхъ мы не можемъ оцѣнить. Если бы были напечатаны наблюденiя надъ каждымъ метеоромъ, мы бы могли. вездѣ гдѣ это намъ казалось бы полезнымъ, ввести поправку не только на суточную аберацію. но и на притяженiе земли, которое имѣетъ также очень чувствительное влiяніе на радiанты близкіе къ Антиапеку земной орбиты ¹⁾. Мы могли бы также можетъ быть вывести болѣе

¹⁾ Притяженiе земли измѣняетъ зенитное разстояніе метеорнаго радiанта. оставляя безъ измѣненiя азимутъ. «Зенитное притяженiе» какъ его называлъ Schiaparelli, можетъ доходить. для радiанта на горизонтѣ и въ Антиапексѣ

точное положеніе радіантовъ и тѣмъ, что примѣняли бы къ выводу ихъ болѣе совершенные графическіе или аналитическіе приемы. Вообще опредѣленіе положенія радіанта изъ даннаго ряда наблюденій есть задача гораздо болѣе трудная и сложная, чѣмъ это повидимому, кажется съ перваго раза и принято думать. Радіантъ опредѣляется обыкновенно изъ наблюденій посредствомъ довольно грубаго графическаго построенія, которое оправдываютъ тѣмъ, что наблюденія, по своей неточности, не заслуживаютъ болѣе точныхъ способовъ обработки. Я думаю, что это вѣрно только отчасти, и въ неточности выводимыхъ радіантовъ виноваты не только наблюденія, но и сами методы обработки ихъ. Въ настоящемъ разсужденіи мы не намѣрены заниматься способами вывода радіанта изъ отдѣльныхъ наблюденій надъ падающими звѣздами, ибо мы ограничиваемся здѣсь только опредѣленіемъ орбитъ по даннымъ радіантамъ. Поэтому мы только указываемъ на вводимыя при обработкѣ наблюденій погрѣшности, вліяющія на точность координатъ результирующихъ радіантовъ, а самая теорія опредѣленія радіантовъ будетъ нами развита въ другомъ мѣстѣ. Упомяну здѣсь, что при выводѣ радіанта приходится, строго говоря, вычислять три существенныя поправки его, каждая изъ которыхъ дѣйствуетъ въ иной системѣ координатъ. Притяженіе земли или зенитное притяженіе въ координатахъ относительно горизонта; суточная абберрація или вліяніе вращенія земли — въ экваторіальныхъ координатахъ, и орбитальное движеніе земли, и происходящее отъ того перемѣщеніе Апекса, а слѣдовательно и видимаго радіанта, — въ эклиптическихъ координатахъ.

до $17^{\circ}35'$. Но даже и въ умѣренныхъ высотахъ радіанта, и при умѣренномъ разстояніи отъ Антиапекса, поправка на притяженіе земли имѣетъ еще большее значеніе. Напр. для высоты 45° и для элонгаціи отъ Апекса и Антиапекса въ 90° поправка зенитнаго разстоянія — $1^{\circ}36'$.

2. Какъ бы то ни было — теперь мы принуждены ограничиться тѣмъ, что намъ даютъ наблюдатели метеоровъ. Изъ собраннаго ими матеріала выбираемъ наилучшій и пользуемся имъ для вычисленія по возможности обширнаго каталога метеорныхъ орбитъ, съ точностью, которая намъ доступна.

Въ этомъ отношеніи — въ точности методовъ вычисленія орбитъ — я можетъ быть былъ слишкомъ требователенъ въ настоящей работѣ. Несмотря на тѣ источники ошибокъ, въ опредѣленіи координатъ радіанта и времени его, которыя были отчасти указаны выше, я считалъ все таки полезнымъ вычислить орбиты, соответствующія даннымъ потокамъ, не пренебрегая эксцентриситетомъ земной орбиты. Отбросивъ поправки на этотъ эксцентриситетъ, я бы имѣлъ возможность достигнуть опредѣленія орбитъ посредствомъ весьма простыхъ аналитическихъ выкладокъ или графическихъ построеній, которыя сократили бы сумму работы въ весьма значительной степени, тѣмъ болѣе, что тогда же смѣло можно было бы ограничиваться вездѣ цѣлыми градусами, безъ долей, и помимо вычисленій, можно было бы найти искомые элементы непосредственно изъ таблицъ Lehman-Filhés. о которыхъ мы скажемъ ниже подробнѣе. Но поправки на эксцентриситетъ земной орбиты нерѣдко достигаютъ цѣлаго градуса (а въ исключительныхъ случаяхъ и нѣсколькихъ градусовъ), ¹⁾ а я не считалъ возможнымъ допускать такіа ошибки въ самомъ методѣ опредѣленія орбитъ. Пусть координаты радіанта опредѣлены только съ точностью до $\pm 1^\circ$. все же нельзя допускать при переходѣ отъ этихъ координатъ къ элементамъ орбиты потока новой ошибки

¹⁾ Изъ формулъ данныхъ въ текстѣ видно, что поправка наклонности орбиты къ эклиптикѣ, отъ эксцентриситета земной орбиты, выражается формулой $\Delta i = - \sin i \tan b \Delta \odot$, и слѣдовательно при b близкомъ къ 90° можетъ достигать сколь угодно большой величины.

такой же величины. Самое вычисленіе никогда не должно вводить въ результатъ ошибки того же порядка, какъ ошибки наблюденія — нигдѣ, при рѣшеніи другихъ задачъ, астрономъ этого не допускаетъ.

Рѣшившись поэтому вести вычисленіе орбитъ метеорныхъ потоковъ безъ отбрасыванія величинъ, зависящихъ отъ эксцентриситета земной орбиты, я долженъ былъ выработать приемы, которые бы давали мнѣ возможность производить опредѣленіе орбитъ въ короткое время, такъ какъ мнѣ предстояло найти 918 орбитъ по радіантамъ Denning'a. Всякое даже ничтожное сокращеніе труда опредѣленія орбитъ имѣло поэтому для меня большое значеніе. ибо это сокращеніе умножалось на 918 въ итогѣ количества труда на всю работу. Здѣсь, во введеніи, я только вкратцѣ укажу на сдѣланные мною въ этомъ направленіи шаги, подробное изложеніе самаго метода вычисленія будетъ дано ниже.

3. Если бы я приступилъ къ опредѣленію метеорныхъ орбитъ пользуясь тѣми методами, которые были предложены до сихъ поръ различными астрономами, то я бы задалъ себѣ задачу, которая бы потребовала многихъ мѣсяцевъ неблагодарнаго труда. Часть этого труда, и притомъ довольно значительная, пошла бы на подготовительныя вычисленія — переводъ координатъ радіантовъ изъ экваторіальныхъ въ эклиптикальныя, затѣмъ предстояло бы вычисленіе элементовъ каждаго потока по формуламъ, которыя хотя и довольно просты и не затруднительны, когда приходится вычислять одинъ или нѣсколько потоковъ, но становятся утомительными, когда имѣешь дѣло не съ единицами, а съ сотнями орбитъ.

Одно изъ пожеланій, которыя всегда будутъ высказываться тѣми, кто опредѣляетъ орбиты метеорныхъ потоковъ, состоитъ въ томъ, чтобы наблюдатели давали координаты радіантовъ не относительно экватора, а относительно эклиптики. Для вычислителя орбиты пере-

водъ координатъ составляетъ излишній трудъ, и притомъ при этомъ переводѣ онъ по необходимости уменьшаетъ точность заданнаго положенія радiанта, между тѣмъ какъ для наблюдателя совершенно безразлично, въ какихъ координатахъ задавать выведенный имъ радiантъ. Почти все опубликованные до настоящаго времени каталоги радiантовъ даютъ прямое восхожденіе и склоненіе этихъ точекъ, вмѣсто долготы и широты ихъ. Только тѣ списки радiантовъ, которые содержатъ въ то же время опредѣленіе орбитъ соответствующихъ потоковъ, даютъ эклиптикальныя координаты радiантовъ на ряду съ экваторіальными, или однѣ эклиптикальныя. Почти всегда при этомъ наблюдатели даютъ только цѣлые градусы прямого восхожденія и склоненія, ибо общепринятые методы наблюденій метеоровъ и въ не меньшей степени и общепринятые способы вывода изъ нихъ радiанта, не даютъ возможности ручаться за доли градусовъ въ выводѣ этихъ точекъ. Для нахождения элементовъ орбиты метеорнаго потока нужно перевести заданныя координаты изъ экваторіальныхъ въ эклиптикальныя—въ долготу и широту. Ошибки опредѣленія начальныхъ координатъ, при такомъ переводѣ, конечно цѣликомъ, перейдутъ въ результатъ перевода координатъ, такъ что каждая новая координата будетъ заключать въ себѣ вообще говоря, ошибку того же порядка, какъ ошибка начальныхъ координатъ. т. е. долгота и широта радiанта будутъ извѣстны, въ среднемъ съ точностью до $\pm 0^\circ.5$. Если теперь мы, въ результатъ преобразованія, позволимъ себѣ отбросить доли градуса и округлимъ полученные числа до цѣлыхъ градусовъ, то при этомъ мы снова введемъ неточность, которая можетъ доходить до $\pm 0^\circ.5$. Такимъ образомъ, если мы даемъ результатъ преобразованія координатъ изъ экваторіальныхъ въ эклиптикальныя въ цѣлыхъ градусахъ, то мы уже допускаемъ въ этихъ координатахъ ошибку

не въ $\pm 0^{\circ}.5$, а въ $\pm 1^{\circ}.0$, т. е. удваиваемъ возможную ошибку положенія заданной точки. На это мы не имѣемъ права, а потому мы по необходимости должны сохранять въ результатѣ перехода отъ однѣхъ координатъ къ другимъ доли градуса. Въ то-же время при тѣхъ сокращенныхъ способахъ опредѣленія метеорныхъ орбитъ, посредствомъ соотвѣтствующихъ таблицъ, напр. таблицъ Lehman-Filhés, или тѣхъ, которыя даны въ настоящемъ сочиненіи, гораздо удобнѣе если координаты радіанта заданы въ цѣлыхъ градусахъ. Между тѣмъ наблюдатель могъ бы задавать радіантъ прямо въ эклиптикальныхъ координатахъ, въ цѣлыхъ градусахъ, и тѣмъ не только сокращалъ бы вычислителью работу перевода координатъ, и опредѣленія орбитъ, но и давалъ бы больше, чѣмъ можетъ вывести изъ задаваемого теперь матеріала вычислитель. А для этого стоило бы только наносить пути наблюдаемыхъ метеоровъ на карты, съ тѣхъ которыхъ составлена изъ эклиптикальныхъ координатъ. Задавая тогда ближайшіе цѣлые градусы долготы и широты радіанта, наблюдатель далъ бы положеніе этого радіанта для вычислителя орбиты съ большею точностью. Чѣмъ то, которое вычислитель находитъ, выписывая десятые доли градусовъ. Мнѣ кажется, что въ виду этого слѣдуетъ при изготовленіи специальныхъ картъ для наблюденій падающихъ звѣздъ наносить на эти карты не круги склоненія и параллели экватору, а круги широты и параллели эклиптикѣ, или если желательны почему либо и тѣ и другія координаты, то можно нанести обѣ сѣти. Чтобы не запутывать чертежа можно нанести одну или обѣ сѣти съ обратной стороны карты, какъ это сдѣлалъ Цераскій, въ напечатанныхъ недавно Московскою Обсерваторіею картахъ для наблюденія Персеидъ. Къ сожалѣнію всѣ изданныя до сихъ поръ спеціальныя карты для нанесенія видимыхъ путей падающихъ звѣздъ напечатаны съ сѣтью экваторіальныхъ координатъ.

Таковы карты Heis'a, Британской Ассоціаціи, только что упомянутыя карты Цераскаго и др. Точно также проэктированныя Backhouse'омъ карты ¹⁾, которыя должны представлять наибольшее удобство для нанесенія наблюдений, тоже предполагаются съ экваторіальною сѣтью.

4. Желая такимъ образомъ, чтобы въ будущемъ времени наблюдатели задавали долготу и широту радіантовъ, вмѣсто ихъ прямого восхожденія и склоненія, я долженъ былъ однако, въ предпринятомъ мною опредѣленіи орбитъ по каталогу радіантовъ Denning'a самъ произвести переводъ координатъ, и одно это преобразование потребовало бы, если бы производить его по одному изъ общепринятыхъ способовъ, громаднаго труда. Правда можно было преобразовать координаты графически, и какъ показано въ главѣ V, графикъ, построенный изъ однихъ прямыхъ линий, даетъ возможность находить новыя координаты съ точностью, въ среднихъ широтахъ, до малой доли градуса. Однако я не рѣшился пользоваться графическимъ построениемъ для перевода координатъ, и ограничился тѣмъ, что пользовался графикомъ для повѣрки результатовъ, полученныхъ инымъ образомъ—посредствомъ соотвѣствующихъ таблицъ. Ниже я указываю, какимъ образомъ, мнѣ удалось свести задачу о нахожденіи долготы и широты по даннымъ: прямому восхожденію и склоненію, къ простому вхожденію въ таблицы, построенныя не для этой только цѣли, а и для нахожденія самихъ элементовъ метеорныхъ орбитъ. Такимъ образомъ оказалось возможнымъ произвести преобразование координатъ, хотя и не графически, но все же безъ логарифическихъ вычисленій. Занявшись изслѣдованіемъ формулъ пре-

¹⁾ T. W. Backhouse Proposed Maps for tracing Meteor-paths. *Astronomische Nachrichten* № 2714. (1886). см. также замѣчанія на эту статью F. Folie *ibid.* № 2725.

образования я нашелъ, что и въ этомъ элементарномъ вопросѣ, рѣшеніе котораго излагается во всѣхъ учебникахъ астрономіи, еще можно ввести нѣкоторыя усовершенствованія, какъ въ основныя формулы перехода отъ однихъ координатъ къ другимъ, такъ и въ дифференціальныя формулы, выражающія вліяніе малыхъ уклоненій въ начальныхъ координатахъ, на измѣненія окончательныхъ. Поэтому вопросу о преобразованіи координатъ я посвятилъ особую главу, объемъ которой въ настоящемъ сочиненіи нѣсколько больше чѣмъ тотъ, которымъ надлежало бы ограничиться, если удѣлить преобразованію координатъ ту часть, которую задача эта занимаетъ при опредѣленіи метеорныхъ орбитъ.

5. Точно также я посвятилъ нѣсколько болѣе страницъ, чѣмъ это требовалось непосредственною цѣлью настоящаго сочиненія, изложенію методовъ графическаго вычисленія. Прилагая графическіе приемы къ нахожденію нѣкоторыхъ поправокъ элементовъ и къ повѣркѣ нѣкоторыхъ другихъ результатовъ вычисленій, я воспользовался этимъ случаемъ, чтобы изложить теорію построенія графиковъ въ нѣсколько общемъ видѣ. При этомъ я настаивалъ на пользѣ такихъ графиковъ, которые состоятъ изъ однихъ прямыхъ линій, и которые поэтому представляютъ двойное удобство точности построенія и легкости исполненія самого графика.

Не рѣшившись воспользоваться графическими приемами для преобразованія координатъ, я еще меньше могъ примѣнить графическіе приемы, предложенные до настоящаго времени, для опредѣленія элементовъ метеорныхъ орбитъ. Графики Schiaparelli и Lehman-Filhés, описанные въ историческомъ очеркѣ, предпосланномъ нашей работѣ, не даютъ возможности при самомъ тщательномъ исполненіи ихъ, въ большомъ масштабѣ, ругаться при среднихъ значеніяхъ величинъ, входящихъ въ преобразованія, даже за цѣлые градусы, а во мно-