

*Микосяно А.И. Старикову
Богумявеному
14/IX 1907.*

Н. А. Рынинъ.

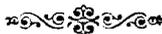
ДНЕВНОЙ СВѢТЪ

И

РАЗЧЕТЫ ОСВѢЩЕННОСТИ ПОМѢЩЕНІЙ.

РУКОВОДСТВО

къ рациональному проектированію свѣтовыхъ
отверстій въ различныхъ сооруженіяхъ и къ
опредѣленію степени освѣщенія (силы тѣни)
поверхностей различныхъ тѣлъ.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая. № 9.

1908.

З. Владимъ

О Г Л А В Л Е Н И Е.

	Стр.
Введение	1
Глава I. Общее понятие о дневномъ свѣтѣ, какъ о физическомъ явленіи .	3
Глава II. Потери силы свѣта	20
а) Потери силы свѣта при отраженіи	21
б) Потери силы свѣта при прохожденіи его въ различныхъ средахъ .	26
Глава III. Данныя для опредѣленія степени освѣщенія	33
а) Интегральный коэффициентъ разсѣянія	33
б) Опредѣленіе и построеніе кривыхъ освѣщенности для данного источника свѣта	35
с) Необходимая степень освѣщенія для разныхъ помѣщеній	38
Глава IV. Существующіе способы опредѣленія степени освѣщенія дневнымъ свѣтомъ	50
а) Способъ Морманна	50
б) Способъ Вебера	73
с) Способъ Ментца	76
Глава V. Опредѣленіе степени освѣщенія	87
Глава VI. Сорта и нѣкоторыя свойства стеколъ	106
Приложеніе: Примѣры и задачи на опредѣленіе степени освѣщенія	127

П р и м ѣ р ы.

	№№ при- мѣровъ.	Стран.
I. Комната съ боковымъ окномъ.		
A. Передъ окномъ нѣтъ стѣны.		
1. <i>Опредѣленіе средней степени освѣщенія:</i>		
а) Окно съ обыкновенными стеклами	1	127
б) Окно съ матовыми стеклами	2	128
2. <i>Опредѣленіе освѣщенности въ данномъ мѣстѣ помѣщенія (построеніе кривыхъ освѣщенности):</i>		
а) Окно съ обыкновенными стеклами:		
а) Способъ графической	3	123
β) Способъ аналитической	4	132
б) Окно съ матовыми стеклами	5	134
B. Передъ окномъ находится стѣна.		
1. <i>Опредѣленіе средней степени освѣщенія:</i>		
а) Окно съ обыкновенными стеклами	6	134
б) Окно съ матовыми стеклами	7	135

2. <i>Определение освещенности в данном месте помещения (построение кривых освещенности):</i>		
а) Окно с обыкновенными стеклами	8	136
б) Окно с матовыми стеклами	9	137
С. Окно выходит в световой дворикъ.		
1. <i>Определение средней степени освещенія:</i>		
а) Окно с обыкновенными стеклами	10	138
б) Окно с матовыми стеклами	11	140
с) Окно с устройством отражателей и рассеивателей	12	140
2. <i>Определение освещенности в данном месте помещения (построение кривых освещенности):</i>		
а) Окно с обыкновенными стеклами	13	142
б) Окно с матовыми стеклами	14	143
с) Окно с устройством отражателей и рассеивателей	15	143
II. Помещение с верхнимъ прямымъ свѣтомъ.		
1. <i>Определение средней степени освещенія:</i>		
а) Стекла обыкновенныя	16	143
б) Стекла матовыя	17	144
2. <i>Определение освещенности в данном месте помещения (построение кривых освещенности):</i>		
а) Стекла обыкновенныя	18	145
б) Стекла матовыя	19	146
III. Помещение с верхнимъ непрямымъ свѣтомъ.		
1. <i>Определение средней степени освещенія</i>	20	146
2. <i>Определение освещенности в данном месте помещения (построение кривых освещенности)</i>	21	146
IV. Определение освещенности стѣнъ домовъ и мостовой улицы . .	22	146
V. Определение силы собственныхъ и падающихъ тѣней геометрическихъ тѣлъ	23	147
Задачи		151

В В Е Д Е Н І Е.

Значеніе дневного свѣта для жизни очень велико.

Всѣмъ извѣстно, насколько важенъ хорошій свѣтъ для зрѣнія чело-вѣка и для организма послѣдняго вообще, а также и для животныхъ и растений. Свѣтъ врагъ многихъ бактерій, вредныхъ для здоровья чело-вѣка.

Чѣмъ больше свѣта въ помѣщеніи, гдѣ занимается чело-вѣкъ, тѣмъ лучше.

Недостаточность дневного свѣта въ школахъ, чертежныхъ, конторахъ, присутственныхъ мѣстахъ и, вообще, тамъ, гдѣ приходится читать и пи-сать или совершать мелкія работы, заставляетъ чело-вѣка напрягать свои глаза, вызываетъ неправильное кровообращеніе и, наконецъ, разстраи-ваетъ не только зрѣніе, но и вообще здоровье.

Искусственное освѣщеніе по своей силѣ лишь стремится приблизиться къ естественному; равномерности же въ распредѣленіи свѣта оно не мо-жетъ дать такой, какую даетъ дневной свѣтъ въ правильно спроектирован-номъ помѣщеніи.

Между тѣмъ для глазъ весьма важенъ достаточно сильный и при томъ равномерный свѣтъ.

Вышесказанное относится лишь къ сравненію силы свѣта есте-ственного и искусственнаго; что же касается до физиологическаго значе-нія солнечнаго свѣта и искусственнаго, то, конечно, все преимущество на сторонѣ перваго.

Правда, въ пѣкоторыхъ мѣстностяхъ Россіи, напримѣръ, въ Петер-бургѣ, солнце является рѣдкимъ гостемъ, въ особенности зимою, и небо постоянно закрыто облаками, однако и здѣсь можно достигнуть благо-приятныхъ результатовъ въ смыслѣ освѣщенія помѣщеній дневнымъ свѣтомъ.

Въ особенности вредны разныя нецѣлесообразно устроенныя занавѣси и гардины для квартиръ, гдѣ вообще замѣчается недостатокъ свѣта, и которыя выходятъ окнами въ маленькій дворъ, упираются въ высокую стѣну или находятся въ нижнихъ этажахъ.

И вообще всякое загороживаніе въ такихъ помѣщеніяхъ оконъ чѣмъ бы то не было, даже цвѣтами, должно вредно отразиться на здоровьѣ.

Что же говорить еще о магазинахъ, въ которыхъ намѣренно заграждаютъ окна выставками и довольствуются едва освѣщеннымъ помещеніемъ.

Въ особенности необходимо достаточное дневное освѣщеніе въ школахъ и фабрикахъ; въ первыхъ потому, что легче всего испортить глаза дѣтей благодаря неокрѣпшему ихъ организму вообще, а въ фабрикахъ потому, что тамъ рабочіе проводятъ почти весь день, т. е. восемь, а въ Россіи во многихъ мѣстахъ, 9, 10 и 11 часовъ.

Предлагаемый трудъ имѣетъ своею цѣлью дать краткій обзоръ того, что имѣется въ литературѣ и съ чѣмъ намъ удалось познакомиться по вопросу о рациональномъ устройствѣ помѣщеній въ смыслѣ достиженія достаточно сильнаго дневного освѣщенія и затѣмъ изложить нѣкоторые приемы, предлагаемые нами для болѣе быстрого и достаточно точнаго расчета силы свѣта въ любомъ мѣстѣ помѣщенія.

Различные способы расчета степени дневного освѣщенія появились сравнительно недавно, лѣтъ двадцать тому назадъ.

До этого времени пользовались разными эмпирическими данными, опытомъ существовавшихъ уже сооруженийъ, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ строили даже модели зданій въ натуральную величину, чтобы убѣдиться въ достаточности освѣщенія. Подобная модель была, на примѣръ, сдѣлана при постройкѣ зданія рейхстага въ Берлинѣ для одного изъ залъ.

Помимо вышеизложеннаго настоящее сочиненіе имѣетъ своею цѣлью по возможности освѣтить съ физической точки зрѣнія вопросъ о построеніи тѣней, каковой затрагивается въ Начертательной Геометріи пока главнымъ образомъ съ геометрической точки зрѣнія.



Г Л А В А I.

Общее понятие о дневномъ свѣтѣ, какъ о физическомъ явленіи.

Явленіе свѣта, согласно гипотезѣ о распространеніи и видахъ лучистой энергіи, происходитъ благодаря образованію въ эфирѣ волнъ, обладающихъ нѣкоторыми свойствами.

Направленіе распространенія этихъ волнъ называется направлениемъ луча свѣта. Свѣтовые волны эфира являются слѣдствіемъ гармоническаго колебательнаго движенія его частицъ, перпендикулярнаго къ направленію луча. Это колебательное движеніе характеризуется числомъ колебаній въ единицу времени и амплитудой или величиною размаха колебанія.

Скорость распространенія свѣта около 300.000 километровъ въ секунду.

Характеристичнымъ признакомъ свѣтовыхъ явленій служитъ величина длины волны, при чемъ, ввиду незначительности этой величины за единицу длины при ея измѣреніяхъ принимаютъ одну тысячную часть миллиметра ($\mu = 0,001$ мм.). Для видимыхъ свѣтовыхъ лучей длина волны $\lambda = 0,4 - 0,76 \mu$.

Свѣтовой лучъ, попадая въ глазъ человѣка, вызываетъ раздраженіе зрительныхъ нервовъ и производитъ впечатлѣнія свѣта.

Такъ какъ для нашихъ цѣлей важно знать лишь силу свѣта и освѣщенія постолько, поскольку это намъ необходимо для того, чтобы болѣе или менѣе ясно видѣть окружающіе насъ предметы, а физическая сущность свѣтовыхъ явленій безразлична, то поэтому намъ важно установить нѣкоторую величину свѣтового эффекта, которую мы могли бы принять за единицу и относительно которой сравнивать всѣ остальные источники свѣта.

Въ дальнѣйшемъ будетъ указана такая единица. Теперь же скажемъ нѣсколько словъ о физиологической сторонѣ явленія свѣта.

Устройство глаза человѣка съ указаніемъ наименованія его различныхъ частей показано на черт. 1.

Лучи свѣта, идущіе отъ какого-нибудь предмета и попадающіе на сѣтчатую оболочку глаза, производятъ раздраженіе зрительнаго нерва и тѣмъ самымъ вызываютъ ощущеніе свѣта.

Сѣтчатая оболочка глаза болѣе чувствительна къ лучамъ средней

части видимого солнечного спектра, чѣмъ къ крайнимъ, такъ что, при малой напряженности свѣта, мы ранѣе увидимъ желтые и зеленые лучи, нежели красные.



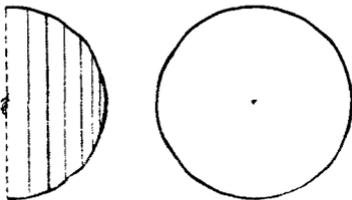
Черт. 1.—Схема устройства глаза человека.

не свѣточувствительны. Какъ будетъ видно изъ дальнѣйшаго впечатлѣннѣе цвѣта опредѣляется числомъ колебаній, а свѣта—амплитудю свѣтовыхъ волнь. Слабый свѣтъ отмѣчается палочками ранѣе, нежели колбочками, но представляется сѣрымъ.

Такъ какъ въ желтомъ пятнѣ нѣтъ палочекъ, то ясно, что мы замѣтимъ весьма слабый свѣтъ прежде всего при не прямомъ зрѣннн и, что этотъ свѣтъ долженъ исчезнуть, если мы постараемся его разсмотрѣть.

Условіе, чтобы разсматриваемый предметъ былъ виденъ отчетливо, состоитъ въ томъ, чтобы его изображеніе располагалось на средней части желтаго пятна.

Не ярко освѣщенный предметъ виденъ, если уголъ между лучами, идущими отъ его противоположныхъ крайнихъ точекъ къ глазу не менѣе 30".



Черт. 2.—Къ опредѣленію степени видимости глазомъ по различнымъ направленіямъ.

Глазъ видитъ не одинаково по различнымъ направленіямъ.

Представимъ себѣ поверхность полушара, въ центрѣ котораго находится глазъ (черт. 2). Если нанести на поверхности полушара круги широтъ и меридіановъ то по изслѣдованію сѣтчатки глаза можно начертить на поверхности полушара топографическую картину зрительной способности нормального глаза.

На черт. 3 показаны такія линіи: непрерывная линія соотвѣтствуетъ предѣлу для ощущенія бѣлаго цвѣта, линія изъ черточекъ—границѣ голубого цвѣта, линія изъ точекъ и черточекъ—краснаго [т—слѣбое пятно] *). Въ таблицѣ 1 показаны въ градусахъ для нормального глаза граница для цвѣтоощущеній.

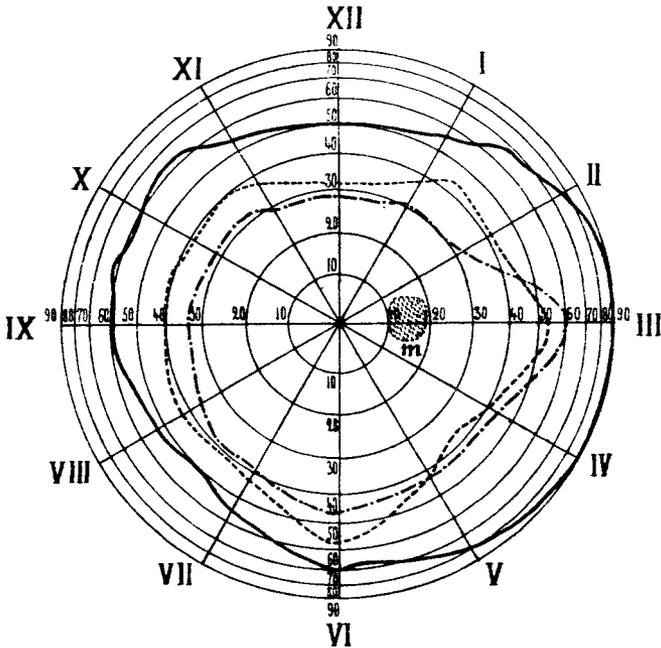
*) L. Landois «Учебникъ физиологіи человѣка». 1894.

ТАБЛИЦА 1.

Границы видимости глазомъ свѣта разныхъ цвѣтовъ.

	Для бѣлаго.	Для голубого.	Для зеленого.	Для краснаго.
Кнаружи	70°—88°	65°	60°	40°
Кнутри	50°—60°	60°	50°	40°
Кверху	45°—55°	45°	40°	30°—35°
Книзу	65°—70°	60°	50°	35°

Для того, чтобы получалось отчетливое впечатлѣніе отъ близкихъ и далекихъ предметовъ необходимо, чтобы глазъ приспособлялся, иными



Черт. 3.— Границы видимости глазомъ свѣта разныхъ цвѣтовъ.

словами, чтобы измѣнялась оптическая система глаза. Это приспособленіе (аккомодация) заключается въ слѣдующемъ:

- а) уменьшается радиусъ зрачка (радиусъ зрачка можетъ измѣниться отъ 2,5 до 10 милл.);
- б) внутренній край радужной оболочки и передняя поверхность хрусталика передвигаются впередъ,

- с) передняя поверхность хрусталика дѣлается болѣе выпуклою,
 д) задняя поверхность хрусталика, не мѣняя своего мѣста, дѣлается
 немного выпуклѣе.

Для каждаго глаза существуетъ разстояніе, на которомъ съ наимень-
 шимъ напряженіемъ можно ясно различить детали предмета. Это раз-
 стояніе называется разстояніемъ наилучшаго зрѣнія. Для нормальнаго
 глаза оно равно около 25 сант.

Для того, чтобы изображеніе предмета, появившееся на сѣтчатой
 оболочкѣ, успѣло произвести раздраженіе зрительнаго нерва, необходимо,
 чтобы оно имѣло нѣкоторую продолжительность, именно, не менѣе 0,1 се-
 кунды.

Способность глаза различать цвѣта объясняется тѣмъ, что лучи съ
 опредѣленной длиной волны производятъ опредѣленное дѣйствіе на глазъ,
 хотя при этомъ слѣдуетъ замѣтить, что глазъ, благодаря своей относи-
 тельно слабой чувствительности, способенъ реагировать на волны не вся-
 кой длины. Поэтому группа лучей разной длины волны можетъ произво-
 дить одинаковое впечатлѣніе на глазъ. Такіе лучи свѣта, соединенные
 въ группы и даютъ впечатлѣніе цвѣта.

Въ таблицѣ 2-й показаны длины волны, соотвѣтствующихъ различ-
 нымъ цвѣтамъ.

Человѣчскій глазъ не обладаетъ постоянствомъ свѣтовыхъ впечатлѣ-
 ній, т. е. человѣкъ можетъ лишь съ довольно грубымъ приближеніемъ
 сравнивать силу свѣта разныхъ источниковъ, испускающихъ свѣтъ одно-
 временно. Но еще труднѣе для человѣка сравнивать силу источниковъ
 свѣта, свѣтившихъ въ разное время.

Въ виду этихъ соображеній пришлось отказаться отъ выбора за еди-
 ницу для сравненія силъ свѣта впечатлѣніе, получаемое глазомъ.

ТАБЛИЦА 2 *).

Длины волнь, соотвѣтствующихъ различнымъ цвѣтамъ.

Ц в ѣ т ь .	Длина волнь въ м .	Ц в ѣ т ь .	Длина волнь въ м .
Красный	0,7000	Голубовато-зеленый . .	0,5082
Оранжево-красный	0,6208	Голубой	0,4960
Оранжевый	0,5972	Синій	0,4732
Оранжево-желтый	0,5879	Синевато-фіолетовый . .	0,4383
Желтый	0,5808	Фіолетовый	0,4059
Зеленый	0,5271		

*) А. Кузнецовъ. «Электрические источники свѣта», стр. 48.

Сравненіе силъ свѣта различныхъ источниковъ производится при помощи приборовъ, называемыхъ фотометрами.

На конгрессѣ электриковъ въ Женевѣ въ 1896 г. была установлена слѣдующая номенклатура основныхъ фотометрическихъ величинъ:

1. Сила свѣта.
2. Свѣтовой потокъ.
3. Освѣщенность.
4. Яркость.
5. Количество свѣта.

За единицу силы свѣта принимается одобренная упомянутымъ конгрессомъ сила свѣта «децимальной свѣчи».

Эта величина равняется одной двадцатой силы свѣта нормального образца или эталона Violle'a. Послѣдній предложилъ для измѣренія силы свѣта тотъ свѣтъ, который испускается однимъ квадратнымъ сантиметромъ поверхности расплавленной платины при температурѣ ея затвердѣванія, т. е. 1775° С., при чемъ свѣтъ испускается по направленію нормали къ поверхности платины.

Въ Германіи при нѣкоторыхъ изслѣдоваціяхъ силы свѣта дневного освѣщенія, на которыя намъ въ дальнѣйшемъ придется сослаться, за единицу силы свѣта принимается *нѣмецкая нормальная параффиновая свѣча*, равная 1,06 децимальной свѣчи.

При этомъ слѣдуетъ сказать, что сила свѣта опредѣляется этими эталонами въ разстояніи одного метра отъ источника свѣта. Такимъ образомъ германская параффиновая свѣча даетъ единицу для измѣренія силы свѣта. Эта единица равна тому свѣту, который получается на единицѣ поверхности сферы радіуса, равнаго одному метру, отъ пламени свѣчи, помѣщеннаго въ центрѣ сферы, т. е. лучи свѣта нормальны къ освѣщаемой поверхности.

Параффиновая свѣча принимается толщиною 2 сант.; высота ея пламени—5 сант., сгораніе параффины въ часъ 7,7 грамма. Свѣтильня ея состоитъ изъ шнурка скрученнаго изъ 25 бумажныхъ нитокъ: одинъ метръ свѣтильни долженъ вѣсить 0,668 грамма.

Длина свѣчи 314 мм. и вѣсъ ея 83,6 гр. Температура плавленія параффина должна быть 55° С.

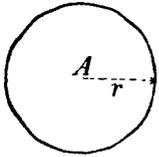
Условимся въ дальнѣйшемъ величину силы свѣта обозначаетъ буквою *J*.

Въ основу всѣхъ измѣреній силы свѣта положенъ важный законъ *разстояній*.

Предположимъ, что источникъ свѣта въ видѣ свѣтящейся точки *A* расположенъ въ центрѣ шара радіуса *r* (черт. 4).

Пусть отъ точки *A* во всѣ стороны равномерно распространяется

свѣтовой потокъ Φ . Тогда на единицу поверхности шара придется свѣтовой потокъ



$$f' = \frac{\Phi}{4\pi r^2} \dots \dots \dots (1)$$

Полагая $r = 1$, получимъ

$$f = \frac{\Phi}{4\pi} = J \dots \dots \dots (2)$$

Черт. 4. — Къ опредѣленію закона разстояній.

Эта величина свѣтовой (лучистой) энергій, приходящаяся на единицу поверхности шара радіуса равнаго единицѣ длины, при условіи нахождения источника свѣта въ его центрѣ, и называется *силою свѣта*.

Для шара радіуса r_1 подобнымъ же образомъ найдемъ

$$f_1 = \frac{\Phi}{4\pi r_1^2} \dots \dots \dots (3)$$

Изъ равенствъ (1) и (3) вытекаетъ «законъ разстояній»

$$\frac{f'}{f_1} = \frac{r_1^2}{r^2},$$

т. е. «свѣтовые потоки, падающія на единицу поверхности двухъ концентрическихъ шаровъ радіусовъ r и r_1 , обратно пропорціональны квадратамъ этихъ радіусовъ, или сокращенно: «сила свѣта обратно пропорціональна квадратамъ разстояній освѣщаемой поверхности отъ источника свѣта» (лучи нормальны къ поверхности).

Въ предыдущемъ говорилось о *свѣтовомъ потоку*, подъ каковымъ подразумѣвалась лучистая энергія, которая испускается свѣтящимся тѣломъ. За единицу величины свѣтового потока, согласно постановленіе упомянутаго конгресса, принимается такой свѣтовой потокъ, который исходитъ отъ источника свѣта силы равной единицѣ и который заключенъ въ тѣлесномъ углѣ равномъ единицѣ *). Величину свѣтового потока будемъ обозначать буквою Φ .

Очевидно, что

$$\Phi = J \cdot \omega$$

гдѣ ω величина тѣлеснаго угла, заключающаго лучи, испускаемые источникомъ свѣта силою J .

Яркостью или напряженностью свѣта называется отношеніе величины

*) За единицу тѣлеснаго угла принимается такой уголъ, которому соответствуетъ площадь поверхности шара равная единицѣ при радіусѣ шара = 1 длины и при вершинѣ тѣлеснаго угла въ центрѣ шара.

силы его въ направлениі нормали къ лучеиспускающей поверхности къ величинѣ самой поверхности.

Величину яркости будемъ обозначать буквою i .

Очевидно,

$$i = \frac{J}{S} \text{ или } J = Si$$

гдѣ S — площадь лучеиспускания въ кв. сантиметрахъ.

«Яркость свѣтящейся поверхности пропорціональна косинусу угла ея наклона къ положенію нормальному къ лучу зрѣнія».

Этотъ законъ, былъ открытъ опытнымъ путемъ Lambert'омъ и доказывается слѣдующимъ образомъ.

Пусть AB — свѣтящаяся плоскость (черт. 5) и CD — отверстіе экрана, черезъ который проходитъ свѣтовой потокъ силою iS , гдѣ S — площадь свѣтящейся плоскости, соотвѣтствующая отверстію экрана, а i — яркость свѣта плоскости AB .

Повернемъ плоскость AB въ положеніе A_1B_1 , вращая ея около оси O , перпендикулярной къ плоскости чертежа; пусть площадь $A_1C_1 = S_1$.

Согласно опытовъ Lambert'a, сила свѣта въ отверстіи CD экрана не измѣняется. Площадь же свѣтящейся плоскости, соотвѣтствующая CB будетъ теперь

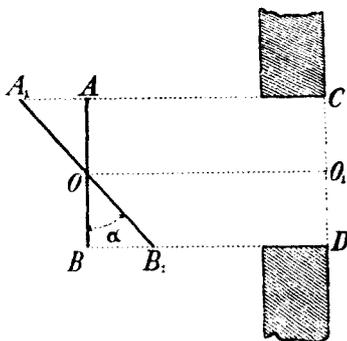
$$S_1 = \frac{S}{\cos \alpha}.$$

Слѣдовательно, теперь

$$J = i_1 S_1 = i_1 \frac{S}{\cos \alpha} = iS,$$

откуда

$$i_1 = i \cos \alpha.$$



Черт. 5. — Къ опредѣленію закона Lambert'a.

Этимъ закономъ объясняется, почему свѣтящійся шаръ кажется намъ плоскимъ свѣтящимся дискомъ: это происходитъ потому, что каждой кв. единицы плоскости, перпендикулярной лучу зрѣнія, соотвѣтствуютъ разныя по величинѣ площади поверхности шара, причемъ тѣмъ больше видимая поверхность шара, тѣмъ меньше яркость квадратный единицы ея и, слѣдовательно, глазъ получаетъ отъ шара впечатлѣніе однообразной яркости для всѣхъ его частей.

В. А. Ульянинъ доказалъ, что для тѣхъ съ абсолютно матовой поверхностью, т. е. не отражающей свѣтъ по законамъ отраженія, потоки энергіи, исходящіе изъ элемента поверхности тѣла по всевозможнымъ на-

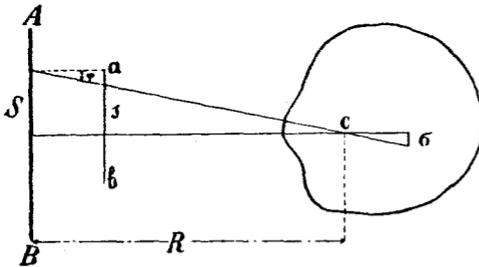
правленіямъ, обладаютъ одинаковою напряженностью *), т. е. яркость та-кого гѣла независитъ отъ угла лучеиспусканія.

Напряженіе лучистой энергіи испускаемой солнцемъ быстро уменьшается, въ направленіи отъ центра солнечнаго диска къ его краямъ. Если обозначить яркость въ центрѣ диска черезъ 100, то для видимыхъ лучей на краю она равна только 37.

Видимая яркость источника свѣта зависитъ отъ качества свѣта, падающаго въ единицу времени на единицу поверхности сѣтчатой оболочки глаза.

Слѣдуетъ различать два случая.

1. Источникъ свѣта представляется въ видѣ точки, (напримѣръ, неподвижная звѣзда). Изображенія на сѣтчатой оболочкѣ образуется тѣмъ количествомъ свѣта, которое проникаетъ въ глазъ черезъ зрачокъ. Ясно, что видимая яркость свѣтящейся точки обратно пропорціональна квадрату разстоянія ея отъ наблюдателя и прямо пропорціональна площади зрачка. При этомъ предполагается, что кружокъ, представляющій изображение этой точки на сѣтчатой оболочкѣ, настолько малъ, что наблюдатель видитъ точку безъ замѣтной для него протяженности.



Черт. 6.—Къ опредѣленію яркости свѣта.

2. Источникъ свѣта—равно-мѣрно свѣтящаяся поверхность. Видимая яркость ея не зависитъ отъ разстоянія ея отъ глаза наблюдателя (о вліяніи атмосферы (см. стр. 29). Дѣйствительно, пусть S —свѣтящаяся части плоскости AB , σ —соотвѣтствующая ей площадь сѣтчатой оболоч-ки глаза, R —разстояніе AB отъ C —оптического центра глаза.

Яркость S зависитъ отъ количества свѣта q исходящаго изъ S и попадающаго въ σ

$$q = C \cdot \frac{S \cos \varphi}{R^2} \quad \text{гдѣ} \quad \dots \quad (a)$$

C —коэффициентъ пропорціональности.

φ —уголь между нормалью къ AB и лучами.

Если перемѣстить AB въ положеніе ab , то количество свѣта въ σ будетъ

$$q' = C \frac{s \cos \varphi}{r^2} \quad \text{гдѣ} \quad r \text{—разстояніе } ab \text{ отъ } C;$$

*) Хвольсонъ. Курсъ Физ. Т. 2, стр. 153 и 185.

но:

$$\frac{S}{s} = \frac{R^2}{r^2}$$

слѣдовательно,

$$q = C \cdot \frac{s \cos \varphi R^2}{R^2 \cdot r^2} = \frac{C s \cos \varphi}{r^2} = q',$$

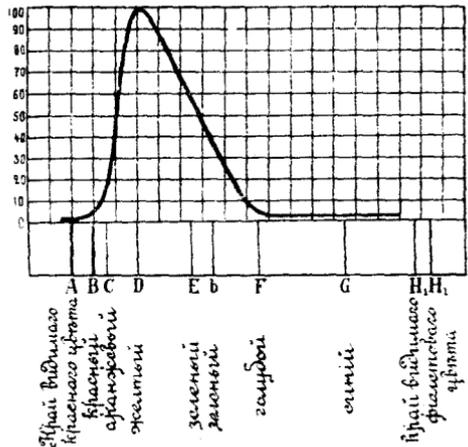
что и требовалось доказать.

Впечатлѣніе о яркости какого-нибудь источника свѣта получается нами по тому свѣтовому ощущенію, которое испытываетъ нашъ глазъ. Обозначая это ощущеніе буквою P , получимъ

$$P = k \cdot \frac{J}{r^2}$$

Величина коэффициента яркости (k) различна для разныхъ лицъ и мѣняется даже для одного и того же лица.

При разложеніи бѣлаго луча на составные, получаемъ лучи цвѣтовъ спектра разной яркости. На чертежѣ 7 показана кривая яркости разныхъ цвѣтовъ спектра, полученная Абуеу'емъ. Яркость бѣлаго свѣта принята за 100¹⁾.



Черт. 7. — Кривая яркости разныхъ цвѣтовъ спектра.

Въ процентахъ яркость этихъ цвѣтовъ выражена въ таблицѣ 3-й.

Сила свѣтового ощущенія человѣкомъ измѣняется въ зависимости отъ измѣненія силы свѣта. Зависимость эта найдена С. Ехнегомъ и заключается въ томъ, что «разность свѣтовыхъ ощущеній измѣняется пропорціонально логарифму отношенія соответствующихъ свѣтовыхъ возбужденій²⁾».

Опытами установлено, что человѣкъ средней силы зрѣнія можетъ различать колебанія въ силѣ свѣта въ 0,01. Поэтому, если силу свѣта выразить въ децимальныхъ свѣчахъ, то получимъ слѣдующія данныя для опредѣленія наименьшей

ТАБЛИЦА 3.

Яркость цвѣтовъ спектра.

Линія спектра.	B	C	D	E	b	F	G
Яркость въ %.	3	20	98,5	50	35	7	0,6

¹⁾ Кузнецовъ. «Электр. источн. свѣта», стр. 49.

²⁾ L. Landois «Учебникъ физиологій человѣка», стр. 1062.

наблюдаемой разности въ силѣ свѣта (таб. 4). Цифры эти, полученныя для бѣлаго цвѣта, не относятся къ свѣту другого цвѣта, такъ какъ чувстви-

ТАБЛИЦА 4.

Зависимость между ощущеніемъ свѣта и силою свѣта.

Сила свѣта.	Наименьшая наблюдаемая разность.
1	0,01
10	0,10
100	1,00
1000	10,00

тельность глаза мѣняется съ измѣненіемъ цвѣта свѣтового источника.

По изслѣдованіямъ Ebert'a ¹⁾ наибольшая чувствительность глаза къ свѣтовымъ возбужденіямъ для лучей зеленыхъ и наименьшая — для красныхъ.

Въ таблицѣ 5-й показаны относительныя величины энергій, необходимыя для полученія наименьшаго предѣльнаго возбужденія отъ различныхъ цвѣтовъ солнечнаго спектра, т. е. для такого, при которомъ еще получается ощущеніе свѣта.

Въ таблицѣ 6 показано число колебаній необходимыхъ для полученія впечатлѣнія извѣстнаго цвѣта. Одно-родный или сложный свѣтъ производитъ различное цвѣтовое ощущеніе, смотря по его интенсивности. Такъ, напримѣръ, слабыя фіолетовыя лучи кажутся красноватыми, а сильныя лучи того же цвѣта — сѣроватыми.

ТАБЛИЦА 5.

Относительныя величины энергій для полученія наименьшихъ предѣльныхъ возбужденій отъ различныхъ цвѣтовъ солнечнаго спектра.

Ц в ѣ т ь.	Наименьшее предѣльное возбужденіе, приведенное къ одной и той же величинѣ энергій.
Красный	29,5
Желтый	16,0
Зеленый	1,0
Синеваго-зеленый	1,65
Синій	3,5

ТАБЛИЦА 6.

Ц в ѣ т ь.	Число колебаній въ билліоннахъ въ секунду.
Красный	481
Оранжевый	532
Желтый	563
Зеленый	607
Голубой	653
Синій	676
Фіолетовый	764

При весьма малой интенсивности свѣта всѣ тѣла кажутся безцвѣтными ²⁾. Наоборотъ, при большой интенсивности всѣ цвѣта, кромѣ крас-

¹⁾ Lumière Electr. Vol. XXVII.

²⁾ Безцвѣтными принято называть такія вещества, присутствіе вторыхъ на пути лучей, доходящихъ до глаза, не вліяетъ на цвѣтовое ощущеніе, вызываемое этими лучами.

наго, переходять въ бѣлый; красный же цвѣтъ, даже и при наибольшей силѣ, кажется желтымъ.

Если цвѣта зеленый, синій, желтый и красный сдѣлать одинаково яркими, а затѣмъ ослаблять въ одинаковой степени, то зеленый и синій покажутся болѣе яркими.

Изъ этого слѣдуетъ, что чувствительность глаза является наибольшей для лучей зеленыхъ и наименьшей для красныхъ. При этомъ слѣдуетъ еще имѣть въ виду, что свѣтовые ощущенія отъ лучей различныхъ цвѣтовъ зависятъ и отъ силы ихъ свѣта.

Вообще при сильномъ освѣщеніи красныя, оранжевыя и желтыя поверхности производять впечатлѣніе болѣе ярко освѣщенныхъ, чѣмъ синія и фіолетовыя, тогда какъ при слабомъ свѣтѣ получается обратное явленіе. Это отчасти объясняется тѣмъ, что зрачекъ человѣка можетъ измѣнять свою площадь въ 16 разъ (отъ 2.5 до 10 мм. въ діаметрѣ), отчего измѣняется и нарушается яркость источника.

Говоря о яркости свѣта, приходится иногда сталкиваться съ вопросомъ объ опредѣленіи отношенія величины свѣтовой энергіи источника свѣта къ величинѣ полной энергіи, идущей на полученіе первой. Это отношеніе называется «свѣтовою отдачей» источника свѣта. Для солнца оно приблизительно равно 34¹⁾.

Синій цвѣтъ неба по теоріи лорда Rayleigh'a объясняется слѣдующимъ образомъ.

Если въ нѣкоторой средѣ находится весьма большое числомъ малыхъ непрозрачныхъ частицъ, то лучи тѣмъ свободнѣе проходятъ чрезъ среду, чѣмъ больше длина волны λ . Наоборотъ, чѣмъ меньше длина волны λ , тѣмъ сильнѣе лучи разсѣиваются во всѣ стороны. Для синяго же цвѣта длина волны сравнительно съ другими цвѣтами—незначительна. Поэтому синій свѣта и разсѣивается по небу. По изслѣдованіямъ Rayleigh'a дифракція обратно пропорціональна квадрату длины волны (λ^2). Поэтому дифракція фіолетовыхъ и синихъ лучей гораздо болѣе дифракціи красныхъ.

Синій цвѣтъ неба можетъ быть также объясненъ дѣйствіемъ молекулъ тѣхъ газовъ, изъ которыхъ состоитъ воздухъ.

Слѣдуетъ замѣтить, что къ окраскѣ всѣхъ тѣлъ при удаленіи ихъ отъ наблюдателя примѣшивается голубой цвѣтъ атмосферы.

По изслѣдованіямъ американскаго профессора Лонгъ'a средняя сила свѣта солнца съ поправкой на поглощеніе части ея атмосферою — $1,575 \cdot 10^{24}$ децимальныхъ свѣчей.

По изслѣдованіямъ Вонгнеръ'a сила свѣта солнца въ 300.000 разъ

¹⁾ Кузнецовъ. «Эл. источ. свѣта», стр. 144.

больше силы свѣта луны. Вондъ даетъ для этого отношенія цифру 478.890. На основаніи этихъ данныхъ можно предположить, что сила свѣта луны около $3345 \cdot 10^{18}$ — $5250 \cdot 10^{18}$ децимальныхъ свѣчей.

При разложеніи основного бѣлаго свѣта на составные получаются цвѣтвые лучи не одинаковой силы. По опытамъ Абреу'а вытекаетъ слѣдующее соотношеніе для лучей разныхъ цвѣтовъ, полученныхъ отъ разложенія лучей отъ солнца и отъ небеснаго свода (разсѣянныхъ); при этомъ сила свѣта красныхъ лучей принята за единицу (табл. 7).

ТАБЛИЦА 7.

Сравненіе силы свѣта разныхъ цвѣтовъ.

Ц в ѣ т ь .	Солнце.	Небесный сводъ.
Красный	1	1
Зеленый	1,93	2,56
Фиолетовый	2,28	7,60

По изслѣдованіямъ L. Weber'а сила свѣта красныхъ лучей солнца $1110 \cdot 10^{24}$ раза больше силы свѣта соответствующихъ лучей свѣчи,

а сила свѣта зеленыхъ лучей въ $2294 \cdot 10^{24}$ раза больше силы свѣта зеленыхъ лучей свѣчи.

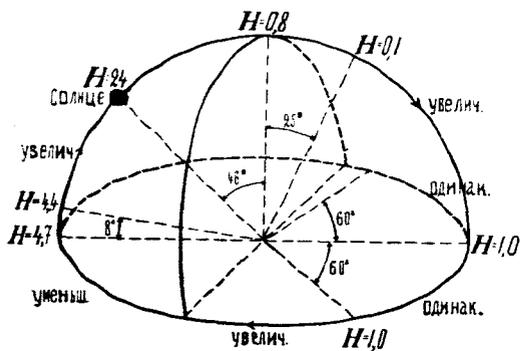
Яркость различныхъ частей небеснаго свода въ безоблачный день по изслѣдованіямъ Chr. Wiener'а въ 1901 г. можетъ быть представлена слѣдующимъ чертежомъ (черт. 8).

Пусть $H = 1$ — яркость небеснаго свода около горизонта съ противоположной стороны отъ солнца. A — мѣсто наблюдателя. Зенитное разстояніе солнца $z = 46^\circ$.

Тогда разные части небеснаго свода будутъ имѣть яркость, какая указана на чертежѣ.

По изслѣдованіямъ Воицгеръ яркость атмосферы сильнѣе всего вблизи солнца и въ особенности въ 3° — 4° отъ него.

При свѣтломъ небѣ и при высотѣ солнца около 25° яркость атмосферы въ разстояніи 8° — 9° къ зениту будетъ въ 4 раза больше, нежели при разстояніи 31 — 32° . Яркость уменьшается по направленію отъ солнца къ зениту и достигаетъ minimum'а при разстояніи отъ солнца въ 110 — 120° . Далѣе яркость увеличивается и достигаетъ maximum'а при разстояніи 130° . Вообще же, какъ видно изъ чертежа 8 наиболѣе яркой частью небеснаго свода является та, на которой расположено солнце.



Черт. 8.—Яркость различныхъ частей небеснаго свода.

При свѣтломъ небѣ и при высотѣ солнца около 25° яркость атмосферы въ разстояніи 8° — 9° къ зениту будетъ въ 4 раза больше, нежели при разстояніи 31 — 32° . Яркость уменьшается по направленію отъ солнца къ зениту и достигаетъ minimum'а при разстояніи отъ солнца въ 110 — 120° . Далѣе яркость увеличивается и достигаетъ maximum'а при разстояніи 130° . Вообще же, какъ видно изъ чертежа 8 наиболѣе яркой частью небеснаго свода является та, на которой расположено солнце.

Вліянієм атмосфери можно объяснить, что свѣтлыя поверхности кажутся намъ при удаленіи отъ насъ темнѣе, а темныя—свѣтлѣе.

Въ таблицѣ 8 приведены для сравненія величины яркости свѣта для различныхъ источниковъ.

ТАБЛИЦА 8.
Яркость свѣта разныхъ источниковъ.

Источники свѣта.	Яркость въ децимальныхъ свѣчахъ (на 1 кв. сант.).	Примѣчаніе.
Солнце въ зенитѣ.	160000	Для солнца яркость измѣняется съ измѣненіемъ свойствъ атмосферы.
Платиновый эталонъ Violle'a	20	
Стеариновая свѣча	0,5—0,6	

Цвѣтъ естественныхъ источниковъ свѣта (прямыхъ и косвенныхъ) является слѣдующимъ:

- для солнца (выше 30° надъ горизонтомъ)—бѣлымъ
- » » (у горизонта) — оранжево-краснымъ
- » безоблачнаго неба — голубовато-бѣлымъ.

Для сравненія замѣтимъ, что обыкновенная стеариновая свѣча даетъ оранжево-желтый свѣтъ.

Кромѣ солнечнаго свѣта еще слѣдующіе источники свѣта (прямые и косвенные) испускаютъ свѣтъ на землю: луна, планеты, кометы, звѣзды, сѣверное сіяніе, зодіакальный свѣтъ, молнія и т. п. Однако, свѣтъ этихъ источниковъ настолько слабъ и непостояненъ, что пользоваться имъ для разныхъ техническихъ цѣлей не представляется возможнымъ.

Освѣщенностью поверхности въ данной ея точкѣ называется отношеніе величины свѣтового потока, падающаго на элементъ поверхности въ этой точкѣ, къ площади этого элемента (нормальнаго къ лучу свѣта).

Съ физиологической точки зрѣнія нѣтъ существенной разницы между яркостью и освѣщенностью, такъ какъ для глаза безразлично, свѣтится ли предметъ собственнымъ свѣтомъ (яркость) или отраженнымъ (освѣщенность).

Согласно постановленію упомянутаго конгресса въ Женевѣ единица освѣщенности опредѣлена какъ свѣтовой потокъ (равный единицѣ) на 1 кв. метръ. Единица эта названа «люксомъ».

Выведемъ зависимость между а) освѣщенностью ¹⁾ площадки, наклоненной къ лучу свѣта подъ нѣкоторымъ угломъ б) силою свѣта источника и с) разстояніемъ источника отъ разсматриваемой точки площадки.

¹⁾ Въ дальѣйшемъ мы будемъ подъ «освѣщенностью» и «степенью освѣщенія» понимать одно и то же.

Пусть (черт. 9) A —источникъ свѣта въ видѣ свѣтящейся точки, dS —элементъ освѣщаемой поверхности, опредѣляющій величину тѣлеснаго угла, въ которомъ заключается свѣтовой потокъ.

Опишемъ изъ A , какъ изъ центра, двѣ шаровыя поверхности—одну радиусомъ равнымъ единицѣ длины, другую радиусомъ равнымъ R .

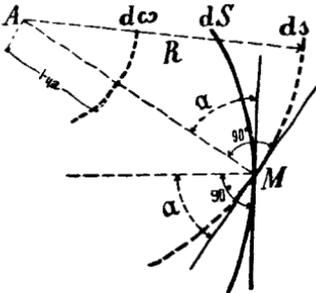
Пусть величина поверхности шара радиуса равнаго единицѣ внутри тѣлеснаго угла будетъ $d\omega$, а величина поверхности шара радиуса R внутри того же угла— dS . Обозначимъ уголь между касательной къ освѣщаемой поверхности въ точкѣ M и лучемъ черезъ α . Тогда

$$dS = dS \sin \alpha \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{d\omega}{dS} = \frac{1}{R^2} \dots \dots \dots (2)$$

изъ (1) и (2) слѣдуетъ, что

$$d\omega = \frac{dS \sin \alpha}{R^2}.$$



Черт. 9. — Освѣщенность въ данной точкѣ.

Пусть сила свѣта источника A равна J .

Свѣтовой потокъ внутри тѣлеснаго угла $d\omega$ будетъ равенъ

$$df = J \cdot d\omega = \frac{J \cdot dS \sin \alpha}{R^2}.$$

Степень освѣщенія или освѣщенность поверхности dS въ *направленіи луча свѣта* въ точкѣ M будетъ

$$e = \frac{df}{dS} = \frac{J \cdot dS \cdot \sin \alpha}{R^2 \cdot dS} = \frac{J}{R^2} \sin \alpha,$$

т. е. освѣщенность есть сила свѣта даннаго источника на разстояніи R уменьшенная соотвѣтственно углу α , или же, освѣщенность есть та сила свѣта, которая получается на освѣщаемой поверхности, когда источникъ свѣта силы $\frac{J}{R^2}$ помѣщенъ въ разстояніи одного метра отъ освѣщаемой поверхности, при этомъ силу свѣта слѣдуетъ уменьшить соотвѣтственно углу α .

Въ этомъ последнемъ смыслѣ мы и будемъ въ дальнѣйшемъ понимать степень освѣщенія или освѣщенность данной поверхности, выражая ее въ люксахъ.

При этомъ будемъ считать 1 люксъ равнымъ 0,94 параффиновой свѣчи.

Степень дневнаго освѣщенія мѣняется въ зависимости отъ времени года, высота солнца надъ горизонтомъ, т. е. отъ времени дня, отъ широты мѣста, отъ мѣста неба, освѣщающаго данную поверхность, отъ облачности, отъ чистоты атмосферы.

Свѣтъ солнца сильнѣе всего, когда оно въ зенитѣ.

По изслѣдованіямъ Солпа южное и юго-восточное небо даютъ болѣе сильный свѣтовой эффектъ.

Въ нашихъ широтахъ по фотометрическимъ изслѣдованіямъ при равномерномъ облачномъ небѣ зимой или за часъ до захода солнца лѣтомъ степень освѣщенія, которая получается черезъ 1 кв. сантиметръ отверстія на разстояніи 1 метра отъ него по нормали равна $\frac{1}{4}$ нормальной нѣмецкой свѣчи.

Въ таблицѣ 9 показана освѣщенность, получаемого отъ разныхъ источниковъ свѣта для улицъ.

Т А Б Л И Ц А 9¹⁾.

Освѣщенность, получаемая отъ разныхъ источниковъ свѣта¹⁾.

Источники свѣта.	Средняя освѣщенность въ люксахъ.
Освѣщеніе луною (полнолуніе)	0,1—0,16
Обыкновенные газовые рожки	0,12
Ренегеративная газовая горѣлка	1,29
Дуговая лампы	2,0—3,5
Разсѣянный дневной свѣтъ	50 ²⁾
Солнечное освѣщеніе по L. Weber'у (лучи нормальны къ освѣщаемой поверхности)	70—100 ²⁾
Солнечное освѣщеніе прямымъ свѣтомъ:	
Среднее	73600 ²⁾
Наибольшее (въ зенитѣ)	160000
30° надъ горизонтомъ	93000

Проф. Н. А. Гезехусъ производилъ измѣренія степенн солнечнаго освѣщенія въ 1888 г. въ іюлѣ мѣсяцѣ.

Опыты производились въ комнатѣ нижняго этажа дома.

Единственное окно ея было обращено на сѣверъ и выходило въ садъ. Измѣрялась освѣщенность бѣлаго листа бумаги положеннаго горизонтально на столъ въ разстояніи 2 метровъ отъ окна.

Результаты опытовъ показаны въ таблицѣ 10.

Въ среднемъ выводѣ за вторую половину іюня въ полдень освѣщеніе соотвѣтствовало 190 свѣчамъ, а вечеромъ—36 свѣчамъ.

¹⁾ Кузнецовъ: «Электрическіе источники свѣта».

²⁾ Prof. Joung даетъ слѣдующее $x = \frac{1575 \cdot 10^{24}}{14,63 \cdot 10^{10}} = 73600$ (здѣсь $1575 \cdot 10^{24}$ —средняя сила свѣта солнца, а $14,63 \cdot 10^{10}$ —среднее разстояніе земли отъ солнца).

³⁾ Данныя сомнительныя.

ТАБЛИЦА 10.

Результаты опытовъ профессора Н. Гезехуса для опредѣленія степени дневного освѣщенія.

Мѣсяцъ.	День наблюденія.	Время наблюденія.	Состояніе неба.	Освѣщенность въ стеариновыхъ свѣчкахъ.	Примѣчаніе.
Июль 1888 г. о. д. а.	15 (27)	Полдень (12—2 часа).	Неопредѣленно.	200	Стеариновая свѣча въ $\frac{1}{4}$ фунта по силѣ свѣта соответствуетъ приблизительно $\frac{1}{2}$ парафиновой свѣчѣ.
	16	Вечеръ 7 часе.	Пасмурно. Дождь.	14,4	
	17	12—2 ч. дня.	Ясно.	50	
	—	7 ч. вечера.	Ясно.	39	
	18	12—2 ч. дня.	Бѣлыя облака.	478	
	—	7 ч. вечера.	Бѣлыя облака.	51	
	19	12—2 ч. дня.	Облака сѣрыя. Довольно пасмурно.	156	
	—	7 ч. вечера.	Небольшія свѣтлыя облака.	48	
	21	7 ч. вечера.	Пасмурно. Дождливый день.	25	
	22	12—2 ч. дня.	Пасмурно. Сплошныя сѣрыя облака.	89	
	23	12—2 ч. дня.	Ясно. Солнце. Легкія свѣтлыя облака.	138	
	25	12—2 ч. дня.	Бѣловато-сѣрыя не сплошныя облака.	206	
26	12—2 ч. дня.	Довольно ясно. Мѣстами бѣлыя и сѣрыя облака.	205		

На основаніи закона Ехнера можно заключить, что нормальный глазъ человѣка можетъ различать въ освѣщенности одну сотую долю сплы свѣта.

Поэтому въ дальнѣйшихъ вычисленіяхъ мы будемъ придерживаться точности до 0.01:

На конгрессѣ электриковъ въ Женевѣ 1896 г. было дано еще опредѣленіе термина «количество свѣта».

Такъ называется количество свѣтовой энергіи, которое за извѣстное время испущено источникомъ свѣта или получено освѣщенной поверхностью.

Если обозначимъ черезъ Q — количество свѣта, t — время лученпусканія и Φ — величину свѣтового потока, въ единицу времени то

$$Q = \Phi \cdot t.$$

Для единицы количества свѣта дано названіе: «Радъ».

На фотографическомъ конгрессѣ въ Брюсселѣ былъ установленъ еще терминъ: «Время освѣщенія».

Это-то время, которое необходимо, чтобы глазъ получилъ ощущеніе освѣщенности.

За единицу времени освѣщенія принято «фотъ», соотвѣтствующій времени освѣщенія однимъ люксомъ въ теченіе 1 секунды. Вообще время для полученія впечатлѣнія отъ освѣщенности, для разныхъ глазъ различно и равно около 10^{-8} фота. Обозначая время освѣщенія черезъ j , освѣщенность черезъ e и черезъ t — время освѣщенія для одного люкса — секунды, получимъ

$$j = e \cdot t.$$

Всякое раздраженіе сѣтчатой оболочки, какъ бы оно не было кратковременно, продолжается въ теченіе приблизительно 0,1 секунды. Глазъ воспринимаетъ электрическую искру, продолжительность которой равна около 0,000000868». Сильнѣе всего ощущается прерывистое свѣтовое раздраженіе, повторяющееся 17 — 18 разъ въ секунду. Между двумя мгновенными свѣтовыми раздраженіями должно пройти 0,027 секунды, для того, чтобы ощущать ихъ порознь. Для воспріятія желтаго цвѣта требуется меньше времени, нежели для воспріятія фіолетоваго и краснаго. Чтобы видѣть при прямомъ зрѣніи предметы движущимися они должны имѣть угловую скорость отъ 1 до 2 минутъ въ секунду¹⁾.

¹⁾ L. Landois. «Учебникъ физиологіи человѣка», стр. 106.

Г Л А В А П.

Потери силы свѣта.

На стр. 16 была выведена формула

$$e = \frac{J}{R^2} \sin \alpha (1)$$

опредѣляющая освѣщенность (e) данной поверхности при силѣ свѣта J — источника, разстояніи R освѣщаемой поверхности отъ источника и α — углѣ наклонно освѣщаемой площадки къ направленію луча.

Изъ этой формулы видно, что сила свѣта измѣняется обратно пропорціонально квадрату разстоянія разсматриваемой точки отъ источника свѣта и прямо пропорціонально синусу угла наклона разсматриваемой поверхности къ направленію луча свѣта.

Однако, если бы мы, зная силу свѣта солнца начали пользоваться формулой (1) для опредѣленія освѣщенности въ какомъ-нибудь помѣщеніи, куда дневной свѣтъ попадаетъ черезъ окна, то полученная величина не соответствовала бы дѣйствительной, такъ какъ лучи свѣта проходя черезъ атмосферу и окно теряютъ часть своей силы.

Въ настоящей главѣ разсматриваются потери силы дневного свѣта при слѣдующихъ явленіяхъ:

- а) отраженіи отъ различныхъ поверхностей
- б) прохожденіе черезъ различныя среды.

Въ послѣднемъ случаѣ, свѣтъ можетъ частью поглощаться и частью пропускаться въ зависимости отъ прозрачности среды.

Если лучъ свѣта, силу котораго примемъ равной 1, падаетъ на какую-нибудь поверхность, то часть свѣта r —отражается отъ поверхности тѣла

- » » a —поглощается тѣломъ
- » » b —пропускается.

Эти величины связаны между собою уравненіемъ

$$r + a + b = 1$$

и зависятъ между прочимъ отъ вещества, отъ физическаго состоянія тѣла и отъ рода лучистой энергіи, т. е. отъ длины волны λ .

а) Потери силы свѣта при отраженіи.

Въ естественномъ (не поляризованномъ) лучѣ траекторіи частицъ эфира расположены такъ, что ни одно изъ направленій, перпендикулярныхъ къ лучу не обладаетъ преимуществомъ. Если предположить, что частицы совершаютъ прямолинейныя гармоническія колебательныя движенія, то въ естественномъ лучѣ эти колебанія имѣютъ всевозможныя направленія, перпендикулярныя къ направленно луча, или же направленія колебаній быстро мѣняются въ теченіе весьма малаго промежутка времени. Если же вдоль всего луча частицы совершаютъ прямолинейныя колебанія, параллельныя другъ другу и, слѣдовательно, расположенныя въ одной плоскости, проходящей черезъ направленіе самого луча, то такой лучъ называется *поляризованнымъ* или, точнѣе «прямолинейно поляризованнымъ».

Условимся понимать выраженія: «лучъ поляризованный въ плоскости *P*» такъ, что колебанія совершаются перпендикулярно къ этой плоскости. Плоскость поляризаціи *P* всегда проходитъ черезъ лучъ и опредѣляется каждый разъ особо.

Когда естественный лучъ падаетъ на поверхность изотропнаго тѣла, не обладающаго исключительными оптическими свойствами, то отраженный лучъ, оказывается отчасти поляризованнымъ въ плоскости наденія.

Поляризованный лучъ производитъ непосредственно на глазъ совершенно такое же впечатлѣніе, какъ и лучъ естественный.

Непосредственныя лучи солнца не поляризованы; лучи же отраженныя атмосферою и идущіе къ наблюдателю отъ разныхъ точекъ небснаго свода отчасти поляризованы, какъ это показалъ Агаго въ 1809 г. Согласно различнымъ изслѣдованіямъ плоскости поляризаціи такихъ лучей близко приближается къ плоскости, проходящей черезъ солнце, наблюдателя и разсматриваемую точку небснаго свода.

Когда высота солнца не болѣе 30° надъ горизонтомъ, то на противоположной сторонѣ неба на высотѣ $12-25^\circ$ наблюдается нейтральная точка (точка Агаго), испускающая не поляризованный свѣтъ. Подъ этой точкой плоскость поляризаціи параллельна горизонту. Вавинет нашель вторую нейтральную точку на вертикали, проходящей черезъ солнце, выше послѣдняго, Brewster—нашель на той же вертикали, но ниже солнца, еще одну нейтральную точку. Когда солнце у горизонта, то поляризація у горизонта на разстояніи 90° отъ солнца слабѣе, нежели въ вертикальной плоскости, проходящей черезъ солнце и наблюдателя и въ томъ же разстояніи отъ солнца (90°).

Поляризація растеть съ уменьшеніемъ высоты солнца. Лѣтомъ поляризація мѣняется сильнѣе въ теченіе дня нежели зимою.

Вообще явленіе поляризаці солнечныхъ лучей, по изслѣдоваціямъ Регнѣга, тождественно съ явленіемъ поляризаці при внутренней дифракціи свѣта, которое наблюдается въ мутныхъ срединахъ.

Въ физики доказывается слѣдующій законъ для отраженныхъ лучей.

«Лучъ падающій на плоскость въ данной точкѣ и лучъ отраженный отъ нея составляютъ равные углы съ нормалью къ плоскости въ этой точкѣ и лежатъ съ этой нормалью въ одной плоскости».

Чѣмъ лучше отполирована поверхность, тѣмъ менѣе она будетъ она будетъ видна. Напримѣръ, при хорошо отполированныхъ зеркалахъ глазъ, помѣщенный въ направленіи отраженнаго луча, увидитъ въ зеркалѣ лишь источникъ свѣта, само же зеркало останется почти невидимымъ.

Такое отраженіе называется правильнымъ и отраженный свѣтъ подчиняется вышеприведенному закону.

Отношеніе силы свѣта J_0 отраженнаго отъ нѣкоторой несвѣтящейся поверхности къ силѣ свѣта J —падающаго на эту поверхность, т. е.

$$k_0 = \frac{J_0}{J}$$

называется «коэффициентомъ отраженія».

Поверхности тѣлъ, встрѣчающихся въ природѣ, почти всегда часть падающаго на нихъ лучей отражаютъ правильно и часть разсѣиваютъ.

Условимся называть *совершенно матовой поверхностью* такую, которая вовсе не обладаетъ правильнымъ отраженіемъ и которая разсѣиваетъ лучи во всѣ стороны *равномѣрно*. Въ природѣ нѣтъ совершенно матовыхъ поверхностей. Если же разсѣиваніе происходитъ не равномѣрно, то поверхность называется просто матовою. Для совершенно матовой поверхности коэффициентъ отраженія не зависитъ отъ угла паденія, для поверхностей же хотя бы отчасти правильно отражающихъ свѣтъ, отраженный свѣтъ зависитъ отъ угла паденія.

Условимся далѣе называть *вполнѣ полированными* такія тѣла, отъ которыхъ лучи отраженные идутъ по одному направленію а не разсѣиваются въ разныя стороны (т. е. уголъ паденія равенъ углу отраженія и лежитъ съ нимъ въ одной плоскости).

Во всѣхъ, однако, случаяхъ сила отраженнаго свѣта зависитъ отъ длины волны λ .

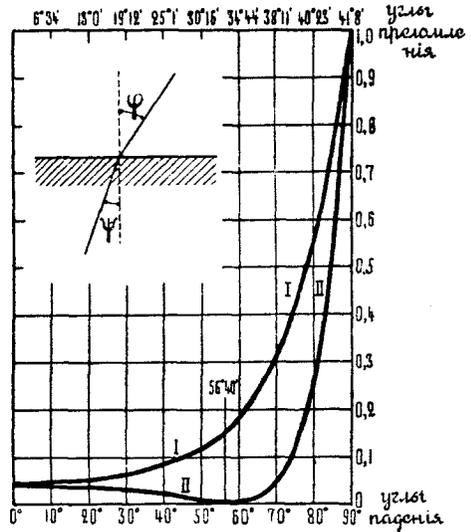
На черт. 10 показаны кривыя проф. А Гершуна, выражающія измѣненіе силы свѣта поляризованныхъ лучей при отраженіи ихъ отъ стекла при разныхъ углахъ паденія φ .

По оси абсциссъ отложены углы паденія, а по оси ординатъ—сила отраженнаго свѣта. Показатель преломленія стекла $n = 1,52$. Сила свѣта падающаго принята равнойъ единицѣ. Кривая I относится къ лучамъ, по-

ляризованнымъ въ плоскости паденія, напримѣръ, къ солнечнымъ лучамъ. Кривая II—для лучей, поляризованныхъ въ плоскости, перпендикулярной къ плоскости паденія, (напримѣръ для лучей ниже точки Агаго на небесномъ сводѣ).

Когда естественный лучъ падаетъ на металлическую поверхность, то отраженный лучъ вообще оказывается отчасти поляризованнымъ. При многократномъ отраженіи получаютъ лучи вполне поляризованные къ плоскости паденія. Когда падающій лучъ поляризованъ въ плоскости паданія или перпендикулярно къ ней, то отраженный лучъ поляризованъ въ той же плоскости. Сила свѣта такихъ лучей зависитъ отъ угла паденія. Если естественный лучъ падаетъ на стеклянную пластинку, то отраженный лучъ ни при какомъ углѣ паденія не будетъ вполне поляризованъ при условіи, что поверхность пластинки, отъ пребыванія на воздухѣ могла подвергнуться какимъ либо измѣненіямъ.

Въ таблицѣ 11-й даны коэффициенты отраженія для различныхъ гладкихъ поверхностей.



Черт. 10. — Измѣненіе силы свѣта поляризованныхъ лучей при ихъ отраженіи.

Въ таблицѣ 11-й даны коэффициенты отраженія для различныхъ гладкихъ поверхностей.

Т А Б Л И Ц А 11.

Коэффициенты отраженія¹⁾.

МАТЕРИАЛЫ.	Коэффициенты отраженія k_0 .
Сильно полированное серебро	0,92
Стеклянное зеркало серебряное въ поверхности	0,85 — 0,70
Сильно полированная латунь	0,75 — 0,70
Сильно полированная мѣдь	0,70 — 0,60
Сплавъ для приготовленія зеркалъ (амальгама сплава).	0,80 — 0,60
Хорошо полированная сталь	0,60
Сильно полированное золото	0,55 — 0,50
Вороненая мѣдь полированная	0,50 — 0,40

¹⁾ Кузнецовъ. «Электрическіе источники свѣта», стр. 158.

Коэффициенты эти сильно уменьшаются при углѣ паденія большемъ 85° и вообще измѣняются съ измѣненіемъ угла паденія.

Если поверхность на которую падаетъ лучъ свѣта, шероховата, то свѣтъ отражается по разнымъ направленіямъ.

Это явленіе называется *разсѣяніемъ свѣта*.

Разсѣяніе бываетъ полнымъ и неполнымъ. Если лучи падаютъ на шероховатую поверхность и отражаются равномерно во всѣ стороны, то разсѣяніе называется полнымъ и такая поверхность уподобляется сама источнику свѣта. Если же разсѣяніе производится не равномерно, то оно называется неполнымъ. Чтобы разсѣянія не происходило, надо, чтобы глубина шероховатостей (h) была очень мала сравнительно съ длиною волны (гораздо меньше 0,002 мм.).

Лучи составляющія уголъ φ съ нормалью, могутъ правильно отражаться, когда $h \cos \varphi$ весьма мало сравнительно съ длиною волны λ . Этимъ объясняется, почему, напримѣръ, гладкая бумага можетъ дать почти зеркальные изображенія, когда лучи падаютъ весьма наклонно къ ея поверхности. Эти изображенія имѣютъ красноватый оттѣнокъ, такъ какъ наиболѣе правильно отражаются лучи съ большимъ λ , т. е. лучи красные. Отношенія силы J_p разсѣяннаго свѣта къ силѣ J падающаго—называется коэффициентомъ разсѣянія

$$k_p = \frac{J_p}{J} .$$

Въ таблицѣ 12 даны коэффициенты разсѣянія для нѣкоторыхъ матеріаловъ.

Иногда отъ свойства поверхности тѣла разсѣянный свѣтъ приобретаетъ иную окраску, напримѣръ, бѣлый свѣтъ, отражаясь отъ полированной мѣди, приобретаетъ красноватый оттѣнокъ, а отъ золота—желтый. Это объясняется тѣмъ, что каждый непрозрачный предметъ имѣетъ цвѣтъ тѣхъ лучей спектра, которые онъ разсѣиваетъ, при чемъ разсѣянные лучи для одного и того же спектра имѣютъ не одинаковую силу.

На чертежѣ 11 *) показана въ ‰ сила разсѣяннаго цвѣтными поверхностями свѣта при чемъ поверхности были освѣщены бѣлымъ свѣтомъ. Кривая I даетъ силу свѣта разсѣяннаго поверхностью, окрашенною желтою кадміевою краскою; кривая II—поверхностью окрашенною изумрудно-зеленою краскою. Сила свѣта бѣлаго цвѣта принята равною 100.

По изслѣдованіямъ Wright'a коэффициенты разсѣянія для постоянного угла паденія не зависятъ отъ длины волны падающаго луча, т. е. отъ цвѣта луча.

Зная силу J свѣта падающихъ лучей и коэффициентъ разсѣянія, можно

*) El. World. Vol. 35.

ТАБЛИЦА 12.

Коэффициенты разсвѣнія ²⁾.

МАТЕРИАЛЫ.	Коэффициенты разсвѣнія k_p .	МАТЕРИАЛЫ.	Коэффициенты разсвѣнія k_p .
Гладкія бѣлыя стѣны	0,85	Бѣлый песчанникъ	0,27
Бѣлая проточная бумага	70—0,82	Чертежная бумага	0,22
Бѣлая гильзовая бумага	0,80	Свѣтло-коричневый картонъ	0,20
Свѣже-выпавшій снѣгъ	0,78	Темныя деревянныя панели	0,20
Известковая клеевая краска съ прибавленіемъ къ ней порошкообразной магнези	0,75	Плоская словая обшивка (грязная)	0,20
Бѣлый литой гипсъ	0,72	Стѣна, окрашенная въ желтый цвѣтъ (грязная)	0,20
Обыкновенная писчая бумага	0,70	Уличные дома при не широкихъ улицахъ	0,20—0,02
Обыкновенная газетная бумага	0,70—0,50	Изумрудно-зеленая бумага	0,18
Бумага окрашенная въ хромо-вый цвѣтъ	0,62	Глинистый мергель	0,16
Известковая клеевая краска безъ магнези	0,60—0,50	Темно-коричневая бумага п обои	0,13
Оранжевая бумага	0,50	Ярко-красная (киноварь) бумага	0,12
Деревянная бѣлая панель	0,50	Голубовато-зеленая бумага	0,12
Плоская словая чистая обшивка	0,50—0,40	Синяя (кабальтъ) бумага	0,12
Желтые обои	0,40	Кварцъ и порфиръ	0,11
Стѣна окрашенная въ чистый желтый цвѣтъ	0,40	Сырая яхатная земля	0,08
Свѣтло-розовая бумага	0,36	Темно-сѣрый сѣнптъ	0,08
Гладкая сторона чертежной кальки	0,35	Черная бумага и обои	0,05—0,02
Желтый картонъ	0,30	Бумага темно-шоколаднаго цвѣта	0,04
Бѣлые обои	0,28	Французская ультрамаринавога цвѣта бумага	0,035
Свѣтло-голубой картонъ или бумага	0,25	Черное сукно	0,012
		Черный бархатъ	0,004

опредѣлить и яркость i разсвѣянныхъ лучей (при помощи, напримѣръ, таблицъ 9 и 12) по формулѣ

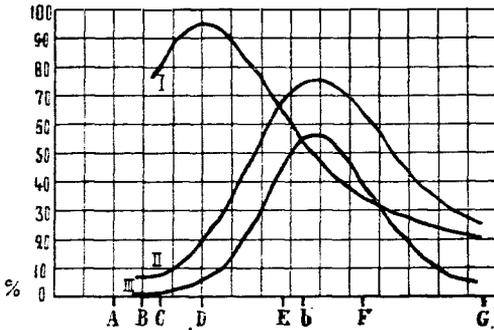
$$i = k_p \cdot J.$$

Если свѣтъ, отраженный или разсвѣянный одною цвѣтною похвер-постью, падаетъ на другую такую же, то наиболѣе полное отраженіе или

²⁾ Составлена по даннымъ: 1) «Handbuch der Architektur» 3 Th. 3 Bd. 1 Heft 2) W. E. Sumrner «Phylos. Magazine». 1893. 3) Кузнецовъ «Электр. источн. свѣта» 4) М. А. Шателенъ «Руководство къ составленію проектовъ электрическаго освѣщенія». СПб. 1901 г. 5) по опытамъ Lambert'a, Wiener'a, Zöllner'a.

разсѣяніе претерпѣвають лучи, соотвѣтствующіе цвѣту поверхности; всѣ же остальные лучи сильно поглощаются.

На черт. 11 кривая III показываетъ измѣненіе силы свѣта составныхъ лучей бѣлага цвѣта при вторичномъ отраженіи отъ изумрудно-зеленой поверхности. Для первичнаго отраженія отъ поверхности такого же цвѣта измѣненіе силы свѣта, какъ было уже ранѣе сказано, выражается кривою II. Изъ этого чертежа



Черт. 11. — Измѣненіе силы свѣта при разсѣяніи его цвѣтными поверхностями.

видно, что наиболѣе полно отражаются зеленые лучи. Вообще влияние разсѣяннаго свѣта на увеличеніе освѣщенности можетъ быть довольно велико. Напримѣръ Lambert на основаніи собственныхъ опытовъ и опытовъ Bouguer нашель что освѣщенность горизонтальной плоскости всею ясною атмосферою составляетъ въ среднемъ 0,17 той, которая бываетъ отъ солнца когда

да послѣднее находится въ зенитѣ. Если же кругомъ находится снѣгъ, то освѣщенность отъ него возрастаетъ на 0,78. Если бы кругомъ былъ бѣлый песчанникъ, то освѣщенность возрасла бы лишь на 0,25, а если бы кругомъ была пахатная земля то на 0,09. Бѣлыя облака увеличиваютъ освѣщенность почти также какъ и выпавшій снѣгъ.

Въ примѣненіи къ построенію собственныхъ и падающихъ тѣней отъ тѣлъ замѣтимъ здѣсь слѣдующее: Если падаетъ тѣнь отъ *A* на *B* и если коэффициентъ отраженія *B* больше коэффициента отраженія *A*, то тѣнь падающая отъ *A* на *B* сильнѣе собственной тѣни *A*. Если же коэффициентъ отраженія *A* и *B* равны, то падающая тѣнь свѣтлѣе собственной, такъ какъ противъ нея небо болѣе свѣтлое.

б) Потери силы свѣта при прохожденіи его въ различныхъ средахъ.

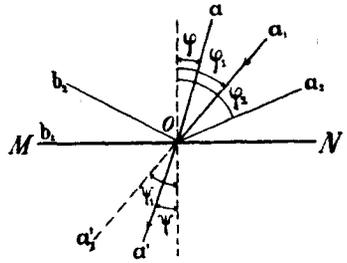
Если лучъ свѣта проходитъ изъ одной среды въ другую, то онъ измѣняетъ свое направленіе (черт. 12). Пусть уголъ паденія луча на поверхность раздѣла *MN* будетъ φ , а уголъ преломленія, т. е. уголъ составляемый лучемъ въ новой средѣ съ продолженіемъ нормали къ поверхности раздѣла въ точкѣ паденія будетъ ψ . Отношеніе синуса угла паденія къ синусу угла преломленія называется *показателемъ преломленія*

$$n = \frac{\sin \varphi}{\sin \psi}.$$

Если свѣтъ проходить изъ среды болѣе плотной въ менѣе плотную, то лучи въ этой послѣдней отклоняются отъ нормали.

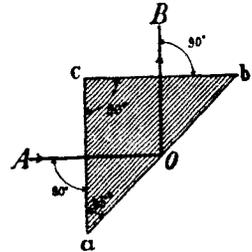
При возрастаніи угла паденія φ возрастаетъ и уголъ преломленія ψ . На черт. 10, показаны для стекла различные углы преломленія для различныхъ угловъ паденія.

Предположимъ (черт. 12), что лучъ ao проходитъ изъ среды болѣе плотной, на примѣръ, стекла, въ среду менѣе плотную, на примѣръ, воздухъ. При возрастаніи угла паденія φ , уголъ ψ возрастаетъ и можетъ, наконецъ, сдѣлаться равнымъ 90° . Значеніе φ — соответствующее $\psi = 90^\circ$, называется критическимъ угломъ (Φ) для данного матеріала. Для стекла и воздуха этотъ уголъ не превышаетъ 45° и для кронгласа равенъ $40^\circ 30'$, а для флинтгласа 35° . Когда φ будетъ болѣе критическаго угла, то лучи не будутъ проходить во вторую, среду, а отразятся отъ поверхности MN согласно законамъ отраженія. Это явленіе называется полнымъ внутреннимъ отраженіемъ. На примѣръ, если лучъ падаетъ на призму какъ показано на черт. 13, то онъ отражается отъ ея грани ab и выходитъ по направленію перпендикулярномукъ cb не проходя черезъ грань ab . Замѣтимъ, что если уголъ $cab > 2\Phi$, то лучъ черезъ призму не пройдетъ.



Черт. 12. — Преломленіе свѣта.

Абсолютнымъ коэффициентомъ преломленія называется отношеніе $\frac{\sin \varphi}{\sin \psi}$, когда первой средой служитъ свободный эфиръ. Для видимыхъ лучей спектра и для эфира и воздуха при температурѣ 0° и давленіи 760 мм.



Черт. 13. — Прохождение луча черезъ призму.

Показатель преломленія зависимости физическаго состоянія вещества и отъ длины волны λ .

$$n = \frac{\sin \varphi}{\sin \psi} = 1,000293^1).$$

Въ таблицѣ 13 приведены показатели преломленія желтыхъ лучей (D) для разныхъ стеколъ ²⁾.

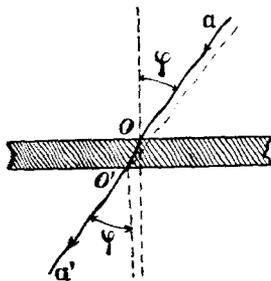
¹⁾ Хвольсонъ. Курсъ физики. Т. 2-й, стр. 234.
²⁾ Хвольсонъ. Курсъ физики. Т. 2, стр. 319.

ТАБЛИЦА 13.

Показатели преломления для стеколъ разныхъ сортовъ ¹⁾.

Название стекла.	Фабричный знакъ.	Показатель преломлен.
Легкій фосфатъ-кромъ	O. 255	1,5159
Средній фосфатъ-кромъ	S. 40	1,5590
Легкій боратъ-кромъ	S. 52	1,5047
Боратъ-флинтъ	S. 35	1,5503
Боросиликатъ-флинтъ	S. 164	1,5503
Легкій силикатъ-флинтъ	O. 154	1,5710
Тяжелый боратъ-флинтъ	S. 10	1,6797
Тяжелѣйшій силикатъ-флинтъ	S. 57	1,9626

Если прозрачное тѣло ограничено параллельными плоскостями, то лучъ свѣта, пройдя черезъ него и преломившись два раза (черт. 14) пойдетъ по направленію $o'a'$ параллельному прежнему oa . Если же плоскости ограничивающее тѣло, не параллельны, то направленіе выходящаго луча будетъ не параллельно направленію входящаго луча.



Черт. 14. — Прохождение луча черезъ стекло.

При прохожденіи луча черезъ тѣла, ограниченные многими поверхностями, или шероховатыя или составленныя изъ разныхъ тѣлъ, напримѣръ черезъ прессованное стекло, матовое стекло, бумагу, граненое стекло и т. п., свѣтъ разсѣивается въ разные стороны. Этимъ свойствомъ пользуются для полученія равномернаго освѣщенія въ помѣщеніяхъ, которыя прямымъ свѣтомъ освѣщались бы весьма неравномѣрно.

Когда свѣтъ проходитъ черезъ какое-нибудь прозрачное тѣло или падаетъ на непрозрачное, го, какъ было уже упомянуто раньше, часть свѣта *поглощается* этимъ тѣломъ. Отношеніе силы J_n свѣта поглощеннаго средой къ полной силѣ свѣта J падающаго въ нее называется *коэффициентомъ поглощенія*

$$k_n = \frac{J_n}{J} .$$

Въ таблицѣ 14 приведены значевія коэффициентовъ поглощенія для разныхъ магеріаловъ и срединъ.

¹⁾ Хвольсонъ «Курсъ физики». Т. 2-й.

Т А Б Л И Ц А 14.
Коэффициенты поглощенія свѣта ¹⁾.

С Р Е Д И Н Ы.	Коэффициенты поглощенія.	Экспериментаторъ.
Прозрачное стекло	0,10	J. W. Smith.
Алебастровое	0,15	
Опалинное	20—0,40	
Матовое	25—0,30	
Опаловое	25—0,60	K. Angstrom.
Молочное	30—0,60	
Атмосфера на 1 километръ	0,1—0,10	
Сажа	0,97,6	

Поглощеніе свѣта прозрачными средами, ограниченными неглянцева-
тыми поверхностями, значительно больше, чѣмъ ограниченными глянце-
витыми. При очень прозрачныхъ средахъ на степень поглощаемости свѣта
сильно вліяетъ степень полировки ограничивающихъ ихъ поверхностей: чѣмъ
лучше полировка, тѣмъ менѣе лучей поглощается средою. Съ увеличе-
ніемъ толщины среды въ ариеметической прогрессіи, сила пропущеннаго
ею свѣта убываетъ въ геометрической прогрессіи. Напримѣръ, если кака-
нибудь среда толщиной въ 1, изъ 100 частей падающаго свѣта пропу-
стить 90, (т. е. поглощеніе будетъ $\frac{1}{10}$) то вторая единица поглотить
 $\frac{1}{10} \cdot 90 = 9$, слѣдовательно пройдетъ $90 - 9 = 81$, третья единица поглотить
 $\frac{1}{10}$ отъ 81 и т. д. и вообще при толщинѣ среды въ (n) единицѣ, сила
пропущеннаго свѣта будетъ

$$100 \cdot \left(\frac{9}{10}\right)^n.$$

Изъ предыдущаго слѣдуетъ, что въ очень толстыхъ прозрачныхъ сре-
дахъ наибольшее поглощеніе происходитъ въ первыхъ слояхъ.

Въ таблицѣ 15 показано вліяніе атмосферы, поглощающей солнеч-
ные лучи при различной высотѣ солнца при прозрачномъ воздухѣ. Сила
свѣта солнца при абсолютно прозрачномъ воздухѣ обозначена черезъ
10.000.

Относительно вліянія атмосферы на ослабленіе силы свѣта можно
привести еще слѣдующія данныя. Wiener ²⁾ говоритъ, что при разстояніи

¹⁾ Кузнецовъ „Эл. вѣст. свѣта“.

²⁾ C. Wiener «Darstellende Geometrie» Leipzig. 1884.

Т А Б Л И Ц А 15.

Поглощеніе солнечнаго свѣта атмосферой ¹⁾.

Высота солнца надъ горизонтомъ.	Поглощеніе силы свѣта.	Высота солнца надъ горизонтомъ.	Поглощеніе силы свѣта.	Высота солнца надъ горизонтомъ.	Поглощеніе силы свѣта.
0°	9994	5°	8799	30°	3387
1°	9993	10°	6851	40°	2763
2°	9808	15°	5465	50°	2366
3°	9546	20°	4526	70°	1984
4°	9198	25°	3864	90°	1877

не большемъ 500 метровъ вліяніемъ атмосферы можно пренебречь для практическихъ цѣлей, хотя конечно это ослабленіе силы свѣта конечно имѣть мѣсто. Bouguer ²⁾ говорить что при слоѣ атмосферы въ 385 метровъ сила свѣта уменьшается на 1⁰/₀. Lambert ³⁾ же нашель для такого

Т А Б Л И Ц А 16.

Сравненіе силъ свѣта, проходящаго черезъ стекла разныхъ цвѣтовъ.

Ц В Ъ Т Ъ С Т Е К О Л Ъ .	Сила свѣта ⁴⁾ .	Сила свѣта ⁵⁾ .	Сила свѣта ⁶⁾ .
Безцвѣтное	100	—	—
Желтое	82,0	—	—
Оранжевое	—	66,0	—
Ярко-зеленое (сигнальное)	19,4	—	—
Красное	13,1	20—10	13,8—12,6
Свѣтло-зеленое	10,6		11,8—10,9
Синевато-зеленое (сигнальное)	6,9	—	—
Синее	3,75	—	—

¹⁾ Составлено Bouguer (см. И. Карповъ: «Руководство къ изученію фотографіи»)

²⁾ Bouguer «Traité d'optique» 1760, стр. 332.

³⁾ Lambert «Photometria» 1760. § 886.

⁴⁾ El. World a. Engineer. V. 35.

⁵⁾ Deutsches Bauhandbuch Bd. 11, I (Berlin, 1880, s. 357) u. Handbuch des Architectur. 3 Th. 3, B. H. 1.

⁶⁾ Н. А. Гезехусъ «Фотометръ съ наклоннымъ или повернутымъ бунзеновскимъ экраномъ съ тремя пятнами».

Т А Б Л И Ц А 17.

Потери силы свѣта (въ %) при прохожденіи черезъ стекла разныхъ сортовъ, окна разныхъ устройствъ и черезъ другія прозрачныя тѣла.

№ по порядку.	Материалъ или конструкція, пропускающая свѣтъ.	Потери силы свѣта ¹⁾	Потери силы свѣта ²⁾	Потери силы свѣта ³⁾
1	Простое оконное стекло	—	—	4%
2	Желѣзные оконные переплеты	5—10%	—	—
3	Зеркальное стекло толщиной 8 мм.	—	—	6—10%
4	Двойное оконное стекло	—	—	9—13%
5	Простое бѣлое рейнское двойное стекло	—	10%	—
6	Простое тонкое зеркальное стекло	—	10%	—
7	Чистое стекло съ жылками	10—20%	—	—
8	Свинцовые оконные переплеты	10—25%	—	—
9	Стекло очень слабо шлифованное и частью разсѣивающее	12%	—	—
10	Простое церковное стекло съ небольшимъ зеленоватымъ отбѣлкомъ	—	12%	—
11	Простое церковное стекло бѣлое	—	12%	—
12	Чистая масляная бумага (разсѣиваетъ свѣтъ)	15—30%	—	—
13	Тюлевая легкія занавѣси (отчасти разсѣиваютъ свѣтъ)	15—30%	—	—
14	Стекло посредственно отшлифованное и почти вполне разсѣивающее	20%	—	—
15	Стекла №№ 5 и 6 заключен. въ рамы и находящіяся въ разстояніи 6 сант. другъ отъ друга	—	21%	—
16	Стекла №№ 5 и 11 въ рамахъ на разстояніи 6 сант. другъ отъ друга	—	23%	—
17	Стекло средне отшлифованное и совершенно разсѣивающее	25—30%	—	—
18	Обыкновенные деревянные оконные переплеты въ домахъ	25—35%	—	—
19	Простое матовое стекло, сквозь которое нельзя видѣть	—	27%	—
20	Матовое стекло	—	—	30—66%
21	Стекло очень грубо отшлифованное, на вид бѣлое	30—50%	—	—
22	Новое не запыленное матовое оконное стекло и въ разстояніи отъ него на 1,6 метра запыленное бѣлое стекло	—	40%	—
23	Тонкая разсѣивающая свѣтъ почтовая бумага	50—70%	—	—
24	Старое пестрое среднежѣвое стекло	50—80%	—	—
25	Молочное стекло толщиной 2—3 мм.	50—80%	—	—
26	Плотное тканое полотно (разсѣиваетъ свѣтъ)	50—90%	—	—
27	Матовое оконное стекло съ раскрашенными рисунками (звѣздами) и въ разстояніи отъ него на 1,6 метра запыленное бѣлое окно въ крышѣ	—	60%	—
28	Обыкновенная писчая бумага (разсѣиваетъ свѣтъ)	75—90%	—	—

¹⁾ Karl Mahrman «Über die Tagesbeleuchtung innerer Räume» Berlin, 1885.

²⁾ A. Herzberg «Versuche über den Verlust, welchen Licht beim Durchgang durch Fensterglas erleidet». Gesundheits-Ingenieur 1889, s. 281 u. Journal für Gasbeleuchtung 1889, s. 502. (Результаты опытовъ съ искусственнымъ свѣтомъ).

же ослабленія разстояніе въ 154 метра. Различія данныхъ этихъ можно объяснить повидимому неодинаковымъ состояніемъ атмосферы при опытахъ того и другого.

При прохожденіи бѣлаго свѣта черезъ опаловое стекло, онъ приобретаетъ желтоватый или оранжевый цвѣтъ. Это объясняется тѣмъ, что въ такомъ стеклѣ находятся во взвѣшенномъ состояніи непрозрачныя частицы, длина которыхъ сравнима съ длиною волнъ синяго и фіолетоваго цвѣтовъ, отчего эти лучи задерживаются и проходятъ желтовато-оранжевые.

Стекла различнаго цвѣта поглощаютъ неодинаковыя доли силы свѣта. Принимая силу бѣлаго свѣта, прошедшаго черезъ безцвѣтное стекло одинаковой толщины съ цвѣтными равную 100, получаемъ слѣдующія данныя: (таблица 16).

На основаніи этой таблицы *сигнальные огни рациональнѣе было бы выбирать желтаго или ярко-зеленаго цвѣта.*

Въ таблицѣ 17 приведены потери въ % силы свѣта прошедшаго черезъ стекла разныхъ сортовъ, черезъ окна разныхъ устройствъ и черезъ другія прозрачныя тѣла.

На основаніи этой таблицы можно опредѣлить потерю силы свѣта въ разныхъ помѣщеніяхъ при прохожденіи его черезъ окна. Напримѣръ, для обыкновенныхъ квартиръ при одиночныхъ оконныхъ деревянныхъ рамахъ и тюлевыхъ занавѣсахъ въ комнату будетъ падать (считая потери свѣта 5% на стекла, 30% на рамы, 25% на занавѣси)

$$100 \cdot 0,95 \cdot 0,70 \cdot 0,75 = 49,9 = \approx 50\%,$$

т. е. свѣтъ въ комнатѣ будетъ вдвое слабѣе того, который снаружи у окна.

Слѣдуетъ имѣть въ виду, что чѣмъ болѣе наклонены лучи къ пропускающей свѣтъ поверхности, тѣмъ болѣе происходитъ потери силы свѣта. Это объясняется тѣмъ, что часть свѣта отражается отъ поверхности.

При разныхъ источникахъ свѣта происходитъ различныя потери силы свѣта при прохожденіи его черезъ однѣ и тѣ же тѣла. Напримѣръ, голубое стекло менѣе поглощаетъ лучей отъ электрическаго освѣщенія, и болѣе—отъ газоваго. Для матоваго стекла окраска его безразлична, такъ какъ оно разсѣиваетъ лучи одинаково при разныхъ окраскахъ.

Г Л А В А Ш.

Данные для определения степени освещенія.

а) Интегральный коэффициент разсвѣянія.

Выяснив значеніе разныхъ терминовъ, и имѣя уже опредѣленія основныхъ понятій и нѣкоторыя цифры, перейдемъ теперь къ опредѣленію другихъ данныхъ, необходимыхъ для рѣшенія поставленной нами задачи.

Освѣщенность въ данной точкѣ поверхности предмета зависитъ не только отъ лучей падающихъ прямо на нее отъ источника свѣта, но и отъ лучей разсвѣяннаго свѣта.

Напримѣръ, если на точку P (черт. 15) падаютъ лучи отъ источниковъ J_1, J_2, \dots, J_n подъ углами $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ къ освѣщаемой поверхности ab , то освѣщенность прямымъ свѣтомъ въ точкѣ P будетъ

$$e = \frac{J_1}{r_1^2} \sin \alpha_1 + \frac{J_2}{r_2^2} \sin \alpha_2 \dots + \frac{J_n}{r_n^2} \sin \alpha_n.$$

гдѣ $r_1, r_2, r_3 \dots r_n$ — разстоянія источниковъ свѣта отъ точки P .

Однако, полученное такимъ образомъ e для обыкновенныхъ помѣщеній меньше истиннаго, такъ какъ не принято во вниманіе вліяніе разсвѣяннаго свѣта. Если послѣдній попадаетъ въ точку P отъ предметовъ, коэффициенты разсвѣянія которыхъ одинаковы равны k , и если при прямомъ дѣйствіи свѣта свѣтовой потокъ въ P будетъ Φ , то

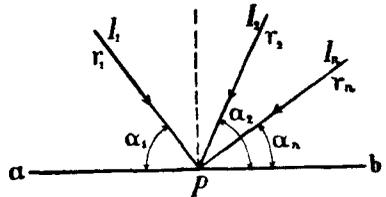
при первомъ отраженіи онъ будетъ $k \cdot \Phi$

при вторичномъ $k \cdot k \cdot \Phi$ и т. д.

Окончательно получимъ свѣтовой потокъ въ P :

$$\Phi_p = \Phi + k\Phi + k^2\Phi + \dots + k^n\Phi = \frac{1}{1-k} \Phi = k_i \Phi$$

гдѣ $k_i > 1$.

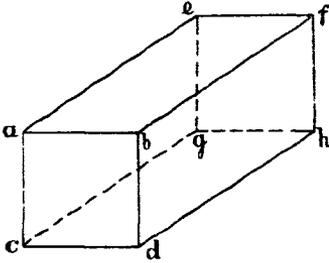


Черт. 15. — Опредѣленіе освѣщенности при нѣсколькихъ источникахъ свѣта.

*) См. М. Шателенъ. «Руководство къ составленію проектовъ электрическаго освѣщенія». С.-Петербургъ, 1901 г. и Кузнецовъ. «Электрическіе источники свѣта».

Условимся называть величину $k_i = \frac{1}{1-k}$ интегральнымъ коэффициентомъ разсѣянія.

Суммируя свѣтовые потоки для разныхъ источниковъ, получимъ окончательно свѣтовой потокъ въ данномъ мѣстѣ.



Черт. 16.—Къ опредѣленію средняго коэффициента разсѣянія.

Если разные части помѣщенія имѣютъ разные коэффициенты разсѣянія, то можно опредѣлить съ достаточною точностью средній коэффициентъ разсѣянія. Напримѣръ, для комнаты (черт. 16), имѣющей форму параллелепипеда, при площадяхъ стѣнъ:

$abcd = efgh = \omega_1$ съ коэффициентомъ разсѣянія k_1 ,
 $acge = bdhf = \omega_2$ съ коэффициентомъ разсѣянія k_2 , и потолка

$abfe = \omega_3$ съ коэффициентомъ разсѣянія k_3 , средній коэффициентъ разсѣянія будетъ равенъ

$$k = \frac{2\omega_1 k_1 + 2\omega_2 k_2 + \omega_3 \cdot k_3}{2\omega_1 + 2\omega_2 + \omega_3}.$$

Въ таблицѣ 18-й даны величины интегральнаго коэффициента разсѣянія $k_i = \frac{1}{1-k}$ для разныхъ коэффициентовъ разсѣянія. Болѣе подробно о примѣненіи коэффициента k , будетъ сказано впоследствии.

ТАБЛИЦА 18.

Интегральные коэффициенты разсѣянія.

Коэффициенты разсѣянія k .	Интегральные коэффициенты разсѣянія $k_i = \frac{1}{1-k}$	Коэффициенты разсѣянія k .	Интегральные коэффициенты разсѣянія $k_i = \frac{1}{1-k}$	Коэффициенты разсѣянія k .	Интегральные коэффициенты разсѣянія $k_i = \frac{1}{1-k}$
0,95	20,00	0,60	2,50	0,30	1,42
0,90	10,60	0,55	2,22	0,25	1,33
0,85	6,66	0,50	2,00	0,20	1,25
0,80	5,00	0,45	1,81	0,15	1,17
0,75	4,00	0,40	1,66	0,10	1,11
0,70	3,33	0,35	1,53	0,5	1,05
0,65	2,85				

С. Винер въ сочиненіи своемъ «Darstellende Geometrie» даетъ иной способъ опредѣленія освѣщенности разсѣяннымъ свѣтамъ, который точнѣе вышеизложеннаго, но требуетъ много вычислений и геометрическихъ по-

строений. Поэтому мы остановимся на вышеизложенномъ способѣ, какъ дающемъ достаточную для практики точность и не отличающимся сложностью.

в) Опредѣленіе и построение кривыхъ освѣщенности для даннаго источника свѣта.

Пусть источникъ свѣта силы J находится въ точкѣ A (черт. 17). Степень освѣщенія (освѣщенность) точки B пола, находящейся въ разстояніи r отъ A будетъ по направленію BA

$$e_n = \frac{J}{r^2} \dots \dots \dots (1)$$

Эта величина называется *нормальной освѣщенностью* точки B и соответствуетъ освѣщенности плоскости, проходящей черезъ точку B и нормальной къ лучу AB .

Освѣщенность по направленію перпендикулярному къ полу будетъ согласно форм. (1), стр. 20:

$$e_h = \frac{J}{r^2} \sin \alpha \dots \dots (2)$$

Это будетъ освѣщенность горизонтальной плоскости и она называется «*горизонтальной освѣщенностью*» (освѣщенность мостовой, пола, платформы, стола и т. п.).

Освѣщенность, по направленію совпадающему съ плоскостью пола будетъ:

$$e_o = \frac{J}{r^2} \cos \alpha \dots \dots \dots (3)$$

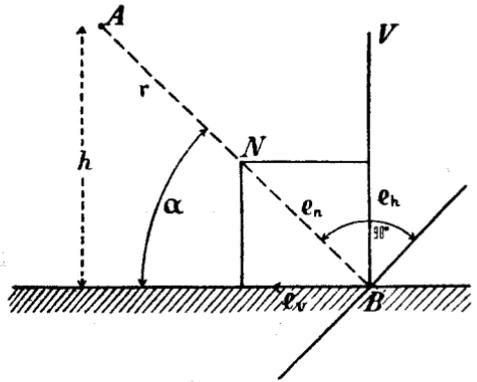
Это будетъ освѣщенность вертикальной плоскости, и она называется «*вертикальной освѣщенностью*» (освѣщенность стѣнъ, вывѣсокъ и т. п.)

Если высота h источника свѣта надъ разсматриваемой плоскостью известна, то можно выразить e_n , e_h и e_o въ формулахъ (1), (2) и (3) въ функціи отъ h , а именно, такъ какъ $r = \frac{h}{\sin \alpha}$, то

$$e_n = \frac{J}{h^2} \sin^2 \alpha$$

$$e_h = \frac{J}{h^2} \sin^3 \alpha$$

$$e_o = \frac{J}{h^2} \sin^2 \alpha \cos \alpha.$$

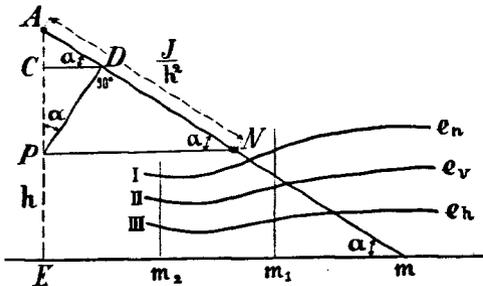


Черт. 17.— Къ опредѣленію освѣщенности въ данной точкѣ поверхности.

Blondel даетъ графическій способъ построения величинъ e_n , e_h и e_v ¹⁾. Пусть въ A источникъ свѣта, причеъ высота A надъ поломъ равна h (черт. 18).

Опредѣлимъ графически освѣщенность въ точкѣ m .

Отложимъ величину $\frac{J}{h^2}$ въ какомъ-нибудь масштабѣ отъ A вдоль линіи Am до точки N . Опустимъ изъ N перпендикуляръ на AE до пересѣченія съ AE въ точкѣ P . Изъ P проведемъ $PD \perp$ къ AN и изъ D — линію $DC \perp$ къ AE . Тогда



$$AP = AN \sin \alpha = \frac{J}{h^2} \sin \alpha$$

$$AD = AP \sin \alpha = \frac{J}{h^2} \sin^2 \alpha = e_n$$

$$AC = AD \sin \alpha = \frac{J}{h^2} \sin^3 \alpha = e_h$$

$$CD = AD \cos \alpha = \frac{J}{h^2} \sin^2 \alpha \cos \alpha = e_v$$

Черт. 18. — Построение кривыхъ освѣщенности.

Откладывая для разныхъ точекъ m , m_1 и m_2 величины e_n , e_v и e_h по ординатамъ, принимая линію Em за ось абсциссъ, соединимъ концы соответственныхъ ординатъ кривою линіей. Полученныя три кривыя носятъ названія

- I — кривая нормальной освѣщенности (e_n)
- II — » вертикальной освѣщенности (e_v)
- III — » горизонтальной освѣщенности (e_h).

Если принять $h = 1$ метру и предположить источникъ свѣта въ видѣ свѣтящейся точки, то, зная силу свѣта источника по разнымъ направленіямъ, можно построить такія кривыя только для $h = 1$ метру.

Для другого же h можно воспользоваться построенными кривыми, уменьшена въ h разъ масштабъ абсциссъ и увеличивая въ h^2 разъ масштабъ ординатъ.

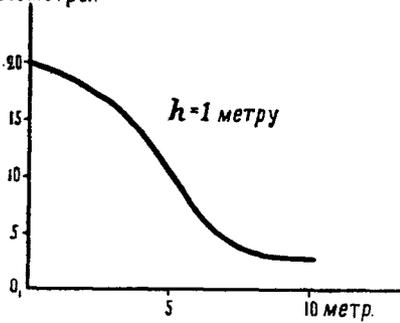
На черт. 19 и 20 показаны двѣ такихъ кривыхъ для $h = 1$ и для $h = 2$; форма и величина кривой остались на черт. 20 тѣми же, что и на черт. 19. Измѣнились лишь масштабы для абсциссъ и ординатъ.

Напримѣръ, для точки O (черт. 19), освѣщенность при $h = 2$ будетъ въ 4 раза меньше, нежели для точки O_1 (черт. 19).

¹⁾ Кузнецовъ стр. 444 и Génie Civil 1895, p. 214. Построение это нами нѣсколько видоизмѣнено въ зависимости отъ того, что за уголъ α принять нами уголъ между лучемъ AB и поломъ, а не между лучемъ AB и нормалью къ плоскости пола.

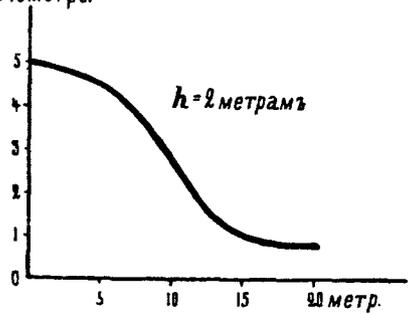
На основаніи формулъ выведенныхъ для e_n , e_o и e_a при усло-
віи, что источникъ свѣта даетъ равномерную силу свѣта по всѣмъ
направленіямъ можно рѣшать слѣдующіе вопросы:

свѣчметры.



Черт. 19.— Кривая освѣщенности
для $h=1$ метру.

свѣчметры

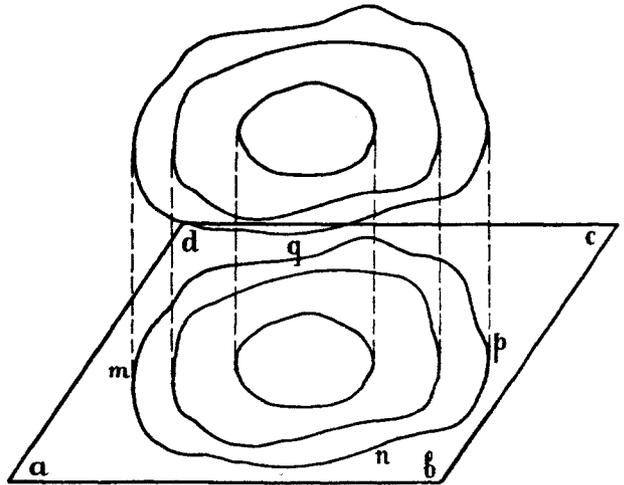


Черт. 20.— Кривая освѣщенности
для $h=2$ метрамъ.

а) опредѣлить высоту h при условіи тахіметріа горизонтальной освѣ-
щенности въ данной точкѣ пола;

б) при данномъ h опредѣлить положеніе наиболѣе освѣщенной
точки пола и т. д.

Если откладывать по нормали къ освѣ-
щенной поверхности степень освѣщенно-
сти, (напр., горизон-
тальной) въ извѣст-
номъ масштабѣ, и за-
тѣмъ соединить не-
прерывной кривой
концы ординатъ оди-
наковой высоты, то
полученныя кривыя
называются *кривыми
равной освѣщенности*
(черт. 21).



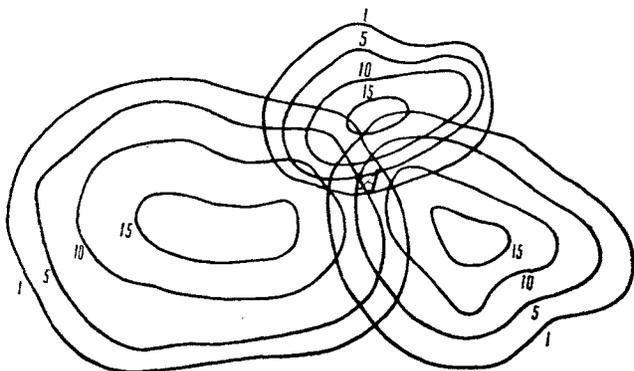
Черт. 21.— Кривыя равной освѣщенности.

Для опредѣленія
средней освѣщенности площади $mnqp$, для которой построены кривыя
равной освѣщенности, вводится поясненіе объ *объемѣ освѣщенности*, т. е.
объ объемѣ V пространства между поверхностью $(mnqp)$, кривою поверх-
ностью проходящею черезъ концы всѣхъ ординатъ и наружную цилин-
дрическую поверхность охватывающею ординаты.

Если площадь основанія $mnpq = S$, то средняя освѣщенность будетъ

$$e = \frac{V}{S}.$$

Если имѣется рядъ источниковъ свѣта и для каждого изъ нихъ построена поверхность освѣщенія (по черт. 22) съ кривыми равной освѣ-



Черт. 22. — Опредѣленіе освѣщенности при нѣсколькихъ источникахъ свѣта.

щенности, мы можемъ опредѣлить полную степень освѣщенія для данной точки пола. Напримѣръ, для точки *A* полная степень освѣщенія равна $5 + 5 + 5 = 15$ свѣче-метрамъ.

с) Необходимая степень освѣщенія для разныхъ помѣщеній.

Такъ какъ въ дальнѣйшемъ намъ придется опредѣлять степень освѣщенія при различныхъ условіяхъ устройства освѣщенія помѣщеній, то надо отдать себѣ отчетъ, какая же степень освѣщенія можетъ считаться достаточной для даннаго помѣщенія. Очевидно, она должна находиться въ зависимости отъ назначенія помѣщенія. Въ чертежныхъ она должна быть иной, нежели въ корридорахъ и т. д.

Въ Германіи, во Франціи, въ Америкѣ и въ другихъ странахъ въ разное время имѣли мѣсто слѣдующія правила относительно устройства оконъ и вообще отверстій для пропуска дневного свѣта.

1. Площадь отверстій пропускающихъ свѣтъ (будемъ ихъ дальнѣйшемъ называть окнами) должна составлять около $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{7}$ и даже $\frac{1}{12}$ площади пола. Однако это условіе не достаточно обосновано, такъ какъ здѣсь не приняты во вниманіе ни форма оконъ, ни ихъ положеніе относительно пола.

2. По Baumeister'у ¹⁾ на каждыя 30 куб. метровъ помѣщенія долженъ

¹⁾ «Normale Bauordnung nebst Erläuterungen» Wiesbaden, 1880. § 38.

быть 1 кв. метръ площади оконъ. Эта цифра была получена, исходя изъ соображенія относительно достаточнаго и постояннаго притока воздуха черезъ окна. Недостатки этихъ данныхъ тѣ же, что и для случая 1-го.

3. По Böckmann'у ¹⁾ комнату можно считать хорошо освѣщенной, если отъ стѣны, противоположащей окну, видно небо. Однако, это правило не рѣшаетъ вопроса, такъ какъ неизвѣстно насколько должно быть видно небо.

4. Förster полагаетъ (1884 г.), что освѣщеніе будетъ достаточнымъ, если изъ даннаго мѣста уголъ зрѣнія свободнаго неба не менѣе 5°, и уголъ паденія лучей свѣта въ данномъ мѣстѣ не менѣе 25°. Однако это правило не является удовлетворительнымъ, такъ какъ можно представить себѣ узкую щель въ стѣнѣ, сквозь которую свободное небо будетъ видно подъ угломъ въ 5° и лучи свѣта будутъ падать подъ угломъ 25°, и все таки комната будетъ темною.

5. Pfeiffer ²⁾ приводитъ мнѣніе miss Nightingal, именно, что окна должны составлять $\frac{1}{3}$ площади стѣны, причемъ верхъ окна долженъ быть отъ потолка на разстояніи не менѣе 1 фута, а низъ окна отъ пола—не менѣе 2 футовъ. Это предложеніе также недостаточно обоснована, такъ какъ не принято во вниманіе на площади пола, ни высоты, ни формы оконъ.

6. По требованіямъ ниже-австрійскаго школьнаго правленія отъ 3 января 1874 г. и королевскаго саксонскаго отъ 3 апрѣля 1873 ⁴⁾ въ школьныхъ помѣщеніяхъ отношеніе площади оконъ ω къ площади пола ω' должно быть

$$\frac{\omega}{\omega'} = \frac{1}{6} \text{ — если передъ окнами нѣтъ зданій,}$$

$$\frac{\omega}{\omega'} = \frac{1}{4} \text{ — если передъ окнами находятся зданія.}$$

7. Для прусскихъ школъ это отношеніе принимается въ $\frac{1}{5}$ (по Sohn'у).

8. По требованію берлинскаго строительнаго устава ³⁾ для квартиръ это отношеніе должно быть не менѣе $\frac{1}{7}$, а для казармъ не менѣе $\frac{1}{8}$ (Grnber).

9. Для нормальной комнаты французскихъ школъ ⁴⁾ установлено отношеніе площади оконъ къ площади пола

$$\frac{\omega}{\omega'} = \frac{1}{3,29} .$$

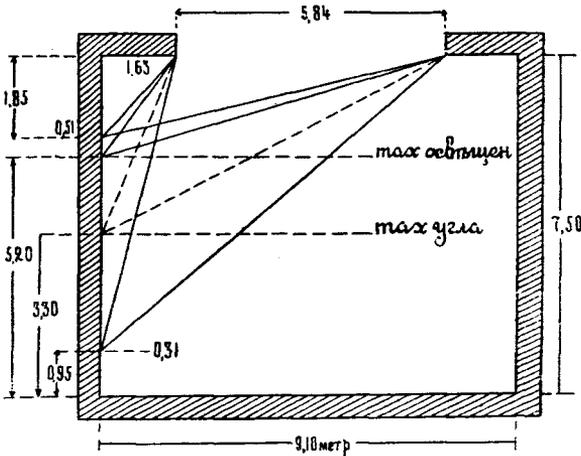
¹⁾ Deutsches Bauhandbuch. Bd. II. Th. 2. Berlin, 1884. § 79.

²⁾ Bilder Bd. 35. S. 739. «Light. Its sanitary influence and importance in building».

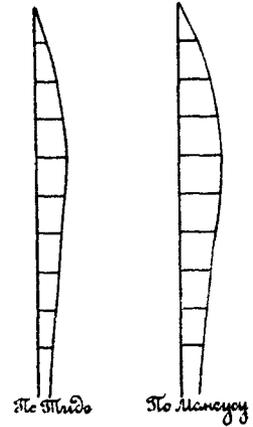
³⁾ Wochenschrift des Öster. Ing. und Arch. Ver. 1888, № 31.

⁴⁾ Deutsche Bauzeitung, 1884. № 82. Статя К. Mentz'a.

какъ это видно изъ діаграммъ (черт. 25 и 26), гдѣ вертикальная линия стѣны принята за ось ордината, а по абсциссамъ отложены степени освѣщенія.



Черт. 24. — Вертикальный разръзъ картинной залы съ расположеніемъ окна по Tiede.

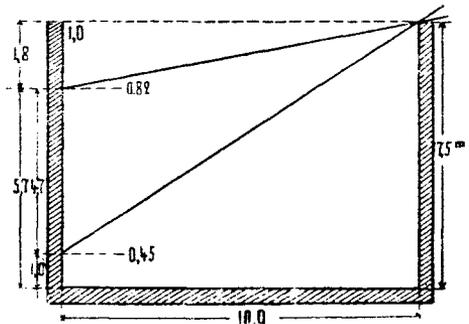


Черт. 25 и 26. — Распределение силы освѣщенія по стѣнѣ.

Изъ сравненія черт. 23 и 24 видно, что съ увеличеніемъ размѣровъ окна, нѣмнѣйшій освѣщенности стѣны приближается къ потолку и распределение силы свѣта дѣлается менѣе равномернымъ.

13. Менцъ ¹⁾, согласно своей теоріи, изложенной ниже, опредѣляетъ распределение силы свѣта при окнѣ во всю площадь потолка (черт. 27).

Однако такое большое окно даетъ часть бесполезнаго свѣта, и можно дѣлать его меньшихъ размѣровъ, такъ какъ наибольшій освѣщенія у потолка (1) не попадаетъ на картину, верхній край которой находится на разстояніи около 1,80 метра отъ потолка, а нижній въ разстояніи 1,00 метра отъ пола. Далѣе, пропадаетъ часть свѣта, который могъ бы быть отраженъ отъ стѣны, находящейся сзади картинъ, которыя обыкновенно вѣшаютъ наклонно. Менцъ предлагаетъ большія картины вѣшать выше—ближе къ наибольшу освѣ-

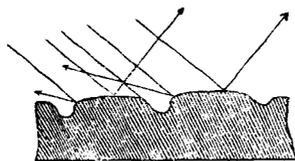
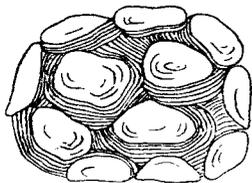


Черт. 27. — Распределение силы свѣта по Менцъ'у.

¹⁾ Deutsche Bauzeitung, 1884, № 82.

ценности, маленькія же картины слѣдуетъ вѣшать ниже, потому что, хотя онѣ и слабѣ освѣщены, но за то находятся ближе къ зрителю. При наклонѣ картинъ попадаетъ къ зрителю болѣе свѣта отраженнаго отъ картины.

Махімум удаленія зрителя отъ картины по Mentz'у—6,6 метра. Лучше всего устраивать освѣщеніе такъ, чтобы махімум свѣта былъ на высотѣ 5,65 метра надъ поломъ.



Черт. 28.— Часть картины, писанной масляными красками, подъ микроскопомъ.

Картина, писанная масляными красками, является поверхностью хорошо разсѣивающей свѣтъ благодаря своей шероховатости. На черт. 28 показана часть такой картины въ увеличенномъ видѣ.

14. На чертежахъ 29—37 показаны схемы расположенія домовъ, дворовъ и улицъ въ зависимости отъ достиженія достаточнаго освѣщенія согласно законоположеніямъ разныхъ государствъ ¹⁾.

15. Ниже приводятся выдержки изъ «обязательнаго постановленія по строительной части въ г. С.-Петербургѣ» (Изв. Гор. Думы 1881 г. № 34, 1882 г. №№ 25 и 32), изъ которыхъ видно, насколько вопросъ о рациональномъ проектированіи отверстій для пропуска дневнаго свѣта мало разработанъ.

Размѣръ дворовъ.

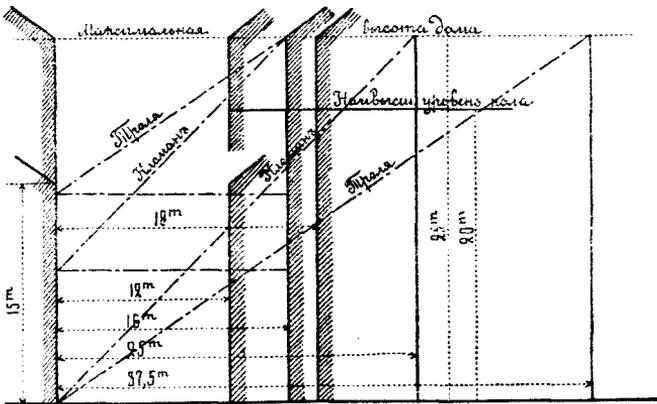
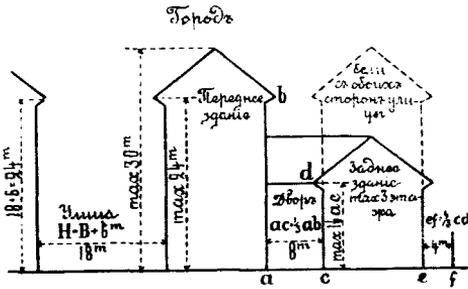
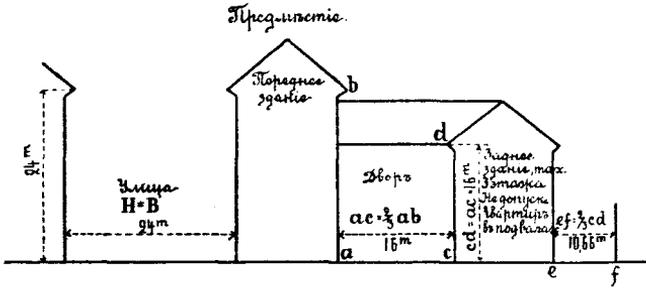
«§ 7. Во всякомъ отдѣльномъ участкѣ долженъ быть по крайней мѣрѣ одинъ дворъ, пространствомъ не менѣе 30 кв. саж., причѣмъ наименьшая ширина его не должна быть менѣе 3 саж., остальные же дворы могутъ быть и менѣе 30 кв. саж., но должны сообщаться проѣздами, шириною не менѣе 4¹/₂ арш., съ улицею или другими дворами.

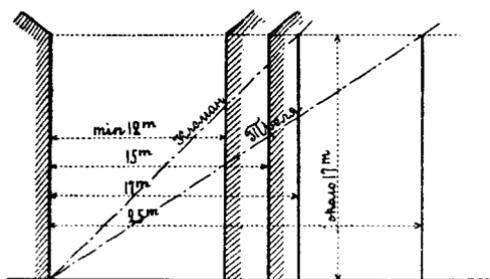
Кромѣ обыкновенныхъ дворовъ, дозволяется устраивать, исключительно для освѣщенія лѣстницъ, коридоровъ, отхожихъ мѣстъ, кладовыхъ, чулановъ и т. п. помѣщеній, свѣтовые дворики.

Наименьшій размѣръ свѣтовыхъ дворишковъ, какой бы формы они проектированы не были, долженъ быть таковъ, чтобы въ площади его можно было вписать квадрагъ въ сажень.

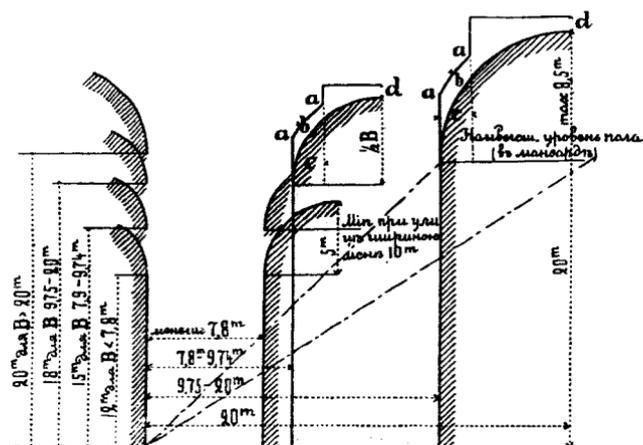
Со свѣтовыхъ дворишковъ должны быть устроены открытые проходы

¹⁾ Wochenschrift der Österreichischen Ing. u. Arch. Vereins. 1888. S. 277. „Die Versorgung der Gebäude mit Sonnenwärme und Sonnenlicht“.

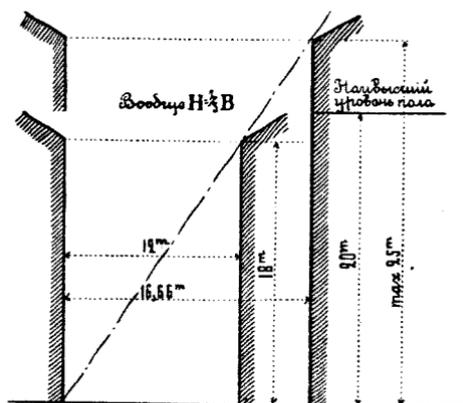




Черт. 32. — Нижне-австрійські города. Постановленіе
отъ 17 января 1883 г.



Черт. 33. — Франція. Постановленіе отъ 30 іюля 1884 г.



Черт. 34. — Прага Постановленіе
отъ 10 апрѣля 1886 года.

на другіе дворы, для возможности очистки могущихъ попасть на нихъ нечистотъ, грязи, снѣга и т. п.

Высота надворныхъ строеній.

§ 8. Высота надворныхъ строеній не должна превышать 11 саж., изнѣряя всю высоту отъ поверхности двора до начала крыши; кромѣ того, если дворъ имѣетъ форму правильнаго прямоугольника, они не должны превышать болѣе какъ въ $1\frac{1}{2}$ разъ линейной мѣры разстоянія отъ наружной стѣны этого строенія до ближайшаго противоположнаго строенія или сосѣдней межи; если же дворъ имѣетъ неправильную форму, то для опредѣленія предѣльной высоты надворнаго строенія берется $1\frac{1}{2}$ средняя ширина всего двора; впрочемъ, если домовладѣлецъ пожелаетъ возвести надворныя строенія различной высоты, то для опредѣленія предѣльной высоты каждаго изъ этихъ строеній берется не вышеупомянутая $1\frac{1}{2}$ средняя ширина всего двора, а только той его части, противъ которой предполагается возвести строенія.

Строенія, выходящія болѣе чѣмъ на одинъ дворъ, относительно высоты, подчиняются размѣру наибольшаго изъ этихъ дворовъ.

О жилыхъ подвалахъ.

§ 14. Устройство жилыхъ помѣщеній въ подвальныхъ этажахъ допускается съ соблюденіемъ слѣдующихъ условий:

в) помѣщенія эти должны имѣть *достаточное освѣщеніе* окнами и возможность естественнаго провѣтриванія.

О мѣрахъ предосторожности противъ пожаровъ въ деревянныхъ строеніяхъ.

(Изв. Гор. Думы 1890 г. №№ 19 и 31).

§ 5. Лѣстницы должны быть *светлыми*, съ окнами, выходящими на улицу, или на дворъ и крышу».

16) Въ таблицѣ 19 приведены данныя, показывающія отношеніе площади остекленія крыши къ площади пола дебаркадера для нѣкоторыхъ германскихъ и русскихъ желѣзнодорожныхъ вокзаловъ.

17) При опредѣленіи сравнительной степени освѣщенія дневнымъ свѣтомъ различныхъ желѣзнодорожныхъ помѣщеній можно пользоваться слѣдующими данными (таблица 20), относящимися къ источникамъ искусственнаго свѣта.

Слѣдуетъ замѣтить, что вопросъ, относительно зависимости высоты зданій отъ ширины улицы, обуславливается разными соображеніями, на-

Т А Б Л И Ц А 19¹⁾.

Отношеніе площади верхняго остекленія къ площади пола въ дебаркадерахъ различныхъ вокзаловъ.

В О К З А Л Ы.		В О К З А Л Ы.	
Берлинъ:		Вокзалъ южныхъ ж. д.	0,38
Александрплацъ	0,27	Мюнхенъ (главный вокзалъ)	0,33
Фридрихштрассе	0,15	С.-Петербургъ:	
Ангальтеръ	0,05	Виндавскій вокзалъ	0,71 ²⁾
Временъ	0,38	Николаевскій вокз. (старый)	0,21 ³⁾
Будапештъ (восточный вокз.)	0,33	» » вновь проектируемый	0,46 ⁴⁾
Франкфуртъ на Майнѣ	0,57	Москва:	
Ганноверъ	0,28	Николаевскій вокз. старый	0,42 ⁵⁾
Вѣна:		» » новый	0,46 ⁶⁾
(Вокзалъ казенн. ж. д.)	0,40		

Т А Б Л И Ц А 20¹⁾.

Сравнительная освѣщенность искусственнымъ свѣтомъ желѣзнодорожныхъ помѣщеній.

НАЗВАНІЕ ЧАСТЕЙ СТАНЦІИ.	Освѣщенность.
Пути	0,1—0,25
Платформы вообще	0,3—0,7
Навѣсы съ низкими покрытиями	0,75—1,5 (1—2,5 ²⁾)
Пакгаузы	1—2 (до 4,5 ³⁾)
Навѣсы надъ платформами	1,2—2 (1,6—6 ⁴⁾)
Залы III и IV классовъ	1,5—3
Отправленіе багажа	2—3
Залы I и II классовъ	2,5—4,5
Вестибюли	2,5—6

¹⁾ Сооруженіе желѣзныхъ дорогъ: Блюмъ, Борриесъ и Варнгаузенъ. С.-Петербургъ. 1904 г. стр. 546.

²⁾ Отношеніе же площади горизонтальной проекціи остекленія къ площади дебаркадера 0,45.

³⁾ Отношеніе площади гориз. пр. остекленія къ площади декаркадера 0,04.

⁴⁾ Отношеніе площади гориз. пр. остекленія къ площади дебаркадера 0,31.

⁵⁾ Отношеніе площади гориз. пр. остекленія къ площади дебаркадера 0,04.

⁶⁾ Отношеніе площади гориз. пр. остекленія къ площади дебаркадера 0,08.

⁷⁾ Для мѣстностей, гдѣ бываетъ настые туманы.

примѣръ, назначеніемъ зданій, расположеніемъ ихъ относительно странъ свѣта и т. п.

Если обозначимъ черезъ H —высоту зданія а черезъ W —ширину улицы, то, исходя изъ соображеній достаточной освѣщенности дневнымъ свѣтомъ помѣщеній въ зданіяхъ, различными учеными были получены слѣдующія цифры:

$$\text{Trélat } ^1) \text{ предлагаетъ брать } \frac{H}{W} = \frac{2}{3},$$

$$\text{Clément } ^2) \frac{H}{W} = \frac{1}{1},$$

$$\text{Javal } ^2) \frac{H}{W} = \frac{1}{2}.$$

Въ таблицѣ 21 приведены величины горизонтальныхъ освѣщенностей, необходимыхъ для разныхъ помѣщеній.

Cohn показываетъ, что при хорошемъ зрѣніи и при хорошемъ дневномъ свѣтѣ можно читать въ разстояніи 1 метра отъ окна 16 строкъ въ минуту шрифта подобнаго ниже приведенному:

Cohn fand aber auch, dass das gesunde Auge bei gutem Tageslichte am Fenster von der Schrift Snellen 1·0, von der ich ihnen durch die Gefälligkeit des Herrn Prof. Dr. v. Reuss ein Muster zu zeigen in der Lage hin, auf 1 m Entfernung 16 Zeilen in einer Minute laut vorlesen kann und ebensoviel, wenn das Blatt durch künstliches Licht eine Helligkeit von 50 M. K. erhält.

Съ такою же быстротою и такой же шрифтъ можно читать и при искусствснномъ освѣщеніи приблизительно въ 50 свѣче-метровъ. При освѣщеніи въ 2 свѣче-метра въ минуту можно прочесть 6 строкъ, а при 10 свѣче-метрахъ—12 строкъ.

Прежде нежели перейти къ разсмотрѣнію способовъ опредѣленія степени освѣщенія во вновь проектируемыхъ зданіяхъ, разсмотримъ, какимъ образомъ и гдѣ устраиваются окна вообще.

Окна могутъ устраиваться: 1) въ стѣнахъ 2) въ потолкахъ и въ крышахъ и 3) въ полу.

Въ первомъ случаѣ (обыкновенныя помѣщенія) и во второмъ (мастерскія, рынки, вестибюли вокзаловъ, выставки картинныхъ галлерей и т. п.) освѣщеніе происходитъ главнымъ образомъ прямымъ свѣтомъ отъ отверстия пропускающаго дневной свѣтъ. Въ третьемъ же случаѣ помѣщеніе (подвалы, туннели подъ платформами дебаркадеровъ, и т. п.) освѣщаются главнымъ образомъ непрямымъ разсѣяннымъ свѣтомъ.

¹⁾ „La fenêtre source de lumière dans la maison“ par Emile Trélat.

²⁾ Wochenschrift der Österr. Ing. u. Arch. Vereins 1888 S. 277.

Т А Б Л И Ц А 21¹⁾.

Освѣщенность, необходимая въ разныхъ помѣщеніяхъ.

НАЗВАНІЕ ОСВѢЩАЕМАГО ПРОСТРАНСТВА.	Освѣщенность въ децимальныхъ свѣче-метрахъ (люксахъ).
Помѣщенія, гдѣ едва можно читать средній шрифтъ	1
Площадки лѣстницы	5— 6
Помѣщенія, гдѣ можно читать и писать безъ значительнаго утомленія ²⁾	10— 12
Прядильни	10— 15
Рабочія помѣщенія, гдѣ производится несложная работа, пакагузы, кухни	20
Механическія и слесарныя мастерскія	20— 30
Ткацкія, гдѣ вырабатываются свѣтлыя матеріи	25— 30
Торговья конторы и магазины	25— 35
Аудиторіи	25— 45
Мастерскія, гдѣ изготовляются мелкіе предметы	30— 40
Ткацкія, гдѣ вырабатываются темныя ткани	30— 40
Выставки, картинныя галереи	40
Типографія, чертежныя и мѣста, гдѣ можно читать и писать безъ утомленія	40—100
Мѣста для очень тонкихъ работъ	200

Боковое прямое освѣщеніе передъ верхнимъ свѣтомъ имѣеть слѣдующія преимущества:

- a) Степень освѣщенія менѣе зависитъ отъ положенія солнца.
- b) Разстояніе отъ столовъ менѣе до окна нежели до потолка, а потому и освѣщаются они лучше.
- c) Устройство верхняго свѣта обходится дороже, благодаря болѣе сложной конструкціи рамъ и болѣе тяжелой нагрузки на нихъ.
- d) Снѣгъ и пыль могутъ закрывать стекла верхняго свѣта, и тѣмъ уменьшать ихъ свѣтопропускаемость.

1) Составлена по даннымъ: a) Handbuch der Architectur 3 Th., 3 B. Heft. 1; b) Mohrman „Über die Tagesbeleuchtung innerer Räume“ и др.

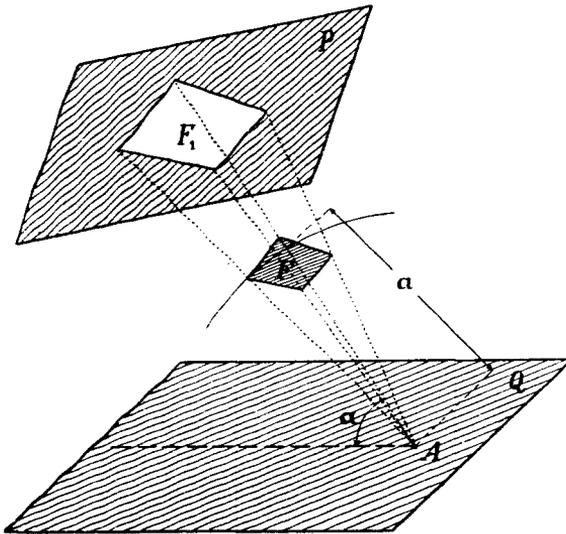
2) По изслѣдованіямъ Weber'a быстрота чтенія прямо пропорціональна величинѣ освѣщенности на поверхности книги.

ГЛАВА IV.

Существующіе способы опредѣленія степени освѣщенія дневнымъ свѣтомъ.

а. Способъ Карла Морманна ¹⁾.

Переходя теперь къ изложенію способа опредѣленія освѣщенности дневнымъ свѣтомъ по способу Морманна, приведемъ сначала нѣкоторыя его опредѣленія.



Черт. 38. — Къ способу Mohrmann'a.

Полезною площадью отверстия, пропускающаго свѣтъ къ данной точкѣ *A* (черт. 38), называется площадь *F* поверхности шара произвольнаго радиуса, заключенная внутри тѣлеснаго угла, вершина котораго въ точкѣ *A*, а грани проходятъ черезъ стороны отверстия *F*₁ (въ крышѣ или въ стѣнѣ *P*), пропускающаго дневной свѣтъ и не затемненаго стѣною сосѣдняго зданія.

Степень освѣщенія горизонтальной плоскости

(горизонтальная освѣщенность) опредѣляется по формулѣ.

$$B = k \cdot \frac{F}{a^2} \sin \alpha \cdot L \dots \dots \dots (1)$$

гдѣ *B*—число нормальныхъ нѣмецкихъ свѣче-метровъ.

F—полезная площадь отверстия,

a—расстояніе ея отъ разсматриваемой точки,

¹⁾ Karl Mohrmann «Über die Tagesbeleuchtung innerer Räume».

α —уголь между осевымъ лучемъ свѣта и рассматриваемою плоскостью,
 k —коэффициентъ ослабленія силы свѣта отъ разныхъ причинъ (отъ
 рамъ, отъ поглощенія свѣта стеклами и т. п.).

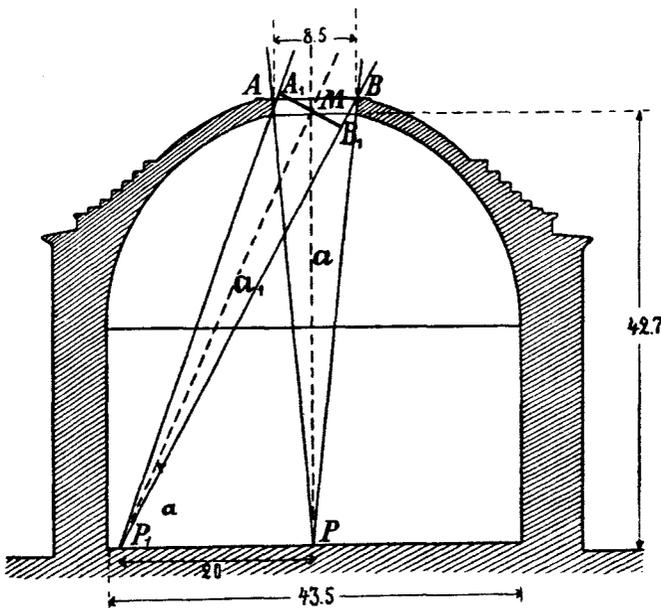
L —степень освѣщенія (въ свѣче-метрахъ) получаемая на разстоянїи
 1 метра отъ отверстія въ 1 кв. метръ нормально къ освѣщаемой
 дневнымъ свѣтомъ поверхности; $L = 2500$ свѣче-метрамъ (см.
 стр. 17).

Для практическихъ цѣлей Морманнъ полагаетъ, что можно съ доста-
 точной точностью замѣнять площадь F поверхности шара площадью
 плоскости нормальной къ осевому лучу въ разстоянїи a отъ точки A .
 При большихъ же площадяхъ онъ рекомендуетъ дѣлить ихъ на менынія.
 Болѣе точно можно было бы получить степень освѣщенія по формулѣ

$$B = Lk \int \frac{dF}{a^2} \sin \alpha.$$

Разсмотримъ примѣры приводимые Морманномъ въ его сочиненїи
 «Über die Tagesbeleuchtung innerer Räume».

Примѣръ 1-й. Опредѣлить степень освѣщенія въ точкахъ P и P_1 ,



Черт. 39.—Къ опредѣленію степени освѣщенія Пантеона въ Римѣ.

пола пантеона въ Римѣ. Дневной свѣтъ поступаетъ черезъ круглое неза-
 крытое стеклами отверстіе въ потолокъ. Размѣры помѣщенія показаны
 на черт. 39.

Степень освѣщенія въ точкѣ P .

$$B_p = \frac{F}{a^2} \cdot L = \frac{\pi R^2}{a^2} \cdot L = \frac{56,7}{42,7^2} \cdot L = 2500 \cdot \frac{56,7}{42,7^2} = 78$$

нѣмецкихъ парафинowychъ свѣче-метровъ.

Степень освѣщенія въ точкѣ P_1 .

$$B_{p_1} = \frac{F_1}{a_1^2} \cdot L \sin \alpha,$$

но

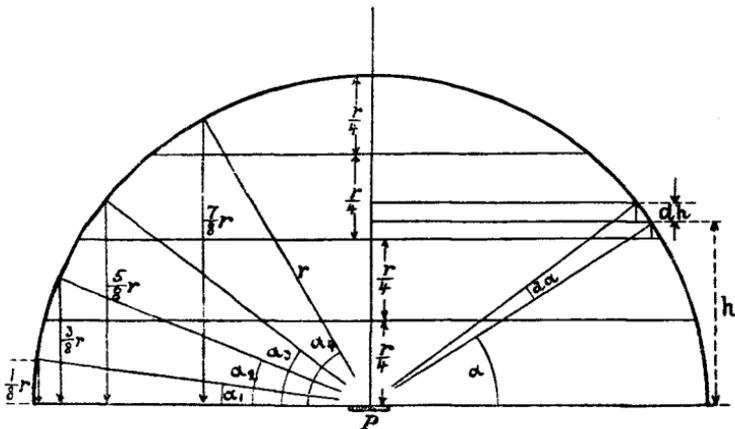
$$a_1 = \sqrt{42,7^2 + 20^2} = 47,2 \text{ метр.}$$

$$\sin \alpha = \frac{42,7}{47,2} = 0,905; A_1B_1 = AB \sin \alpha = 56,7 \cdot 0,905 = 51,3.$$

Подставляя полученныя величины въ выраженіе для B_{p_1} , получимъ

$$B_{p_1} = \frac{51,3}{47,2^2} \cdot 2500 \cdot \sin \alpha = 51 \text{ свѣче-метра } ^1).$$

Примѣръ 2-й. Опредѣлить освѣщеніе въ точкѣ P горизонтальной плоскости отъ всего небснаго свода (черт. 40). Опишемъ изъ точки P



Черт. 40. — Опредѣленіе освѣщенности открытой горизонтальной плоскости.

произвольнымъ радіусомъ r поверхность полушара, которая будетъ соответствовать поверхности неба, освѣщающей точку P . Предположимъ, что яркость свѣта всѣхъ лучей одинакова.

Раздѣлимъ поверхность полушара на нѣсколько, напримѣръ на 4, равныхъ по высотѣ кольцевыхъ частей. Освѣщеніе точки P отъ нижняго

¹⁾ Критику этого примѣра см. на стр. 60.

кольца будетъ

$$B_1 = \frac{F_1}{r^2} \cdot \sin \alpha_1 \cdot L,$$

гдѣ F_1 —площадь поверхности 1-го кольца,

α_1 —уголъ наклона среднего луча къ горизонту.

Для другихъ колець получимъ:

$$B_2 = \frac{F_2}{r^2} \sin \alpha_2 \cdot L,$$

$$B_3 = \frac{F_3}{r^2} \sin \alpha_3 \cdot L,$$

$$B_4 = \frac{F_4}{r^2} \sin \alpha_4 \cdot L.$$

Полное освѣщеніе точки P будетъ (горизонт. освѣщенность)

$$B_p = B_1 + B_2 + B_3 + B_4.$$

Но

$$F_1 = 2\pi r \cdot \frac{r}{4} = F_2 = F_3 = F_4.$$

а

$$\sin \alpha_1 = \frac{r}{8} r = \frac{r^2}{8},$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{3r^2}{8},$$

$$\sin \alpha_3 = \frac{5r^2}{8},$$

$$\sin \alpha_4 = \frac{7r^2}{8}.$$

Такимъ образомъ

$$B_p = \frac{L}{r^2} 2\pi r \cdot \frac{r}{4} \left(\frac{1}{8} + \frac{3}{8} + \frac{5}{8} + \frac{7}{8} \right) = L\pi = 3,14 L.$$

Примѣръ 3-й. Опредѣленіе ширины окна для школьной комнаты (черт. 41).

Для точки P стола освѣщенность опредѣлится по формулѣ

$$B_p = L \frac{F}{a^2} \sin \alpha.$$

B_p —допускаемая освѣщенность = 50 свѣче-метровъ.

L —2500 свѣче-метровъ.

$$F = x \cdot m = 1,70 \cdot x$$

гдѣ x — полезная ширина окна для точки P , а m — полезная высота его (CD) для той же точки P ,

a — расстояние полезной площади отверстия от точки $P = 5,90$ м.,

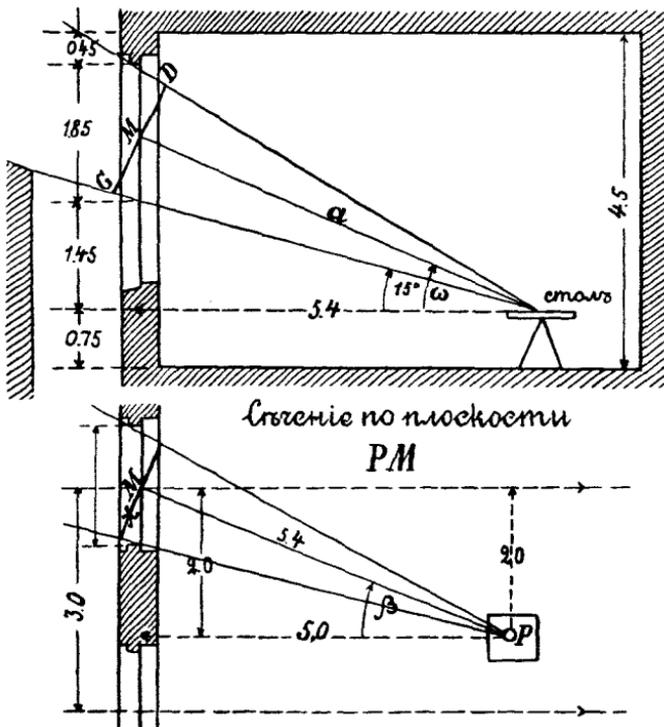
α — угол между средним лучемъ и плоскостью стола равный 24° .

Подставляемъ всё эти величины въ формулу

$$50 = 2500 \cdot \frac{x \cdot 1,70}{5,90^2} \cdot 0,407,$$

гдѣ 50 — необходимая освѣщенность въ школьной комнатѣ.

Отсюда $x = 1,01$ метр. = полезной ширины окна въ планѣ по на-



Черт. 41.— Къ опредѣленію освѣщенности въ комнатѣ.

правленію нормальному къ среднему лучу. Въ направленіи же стѣны ширина окна будетъ

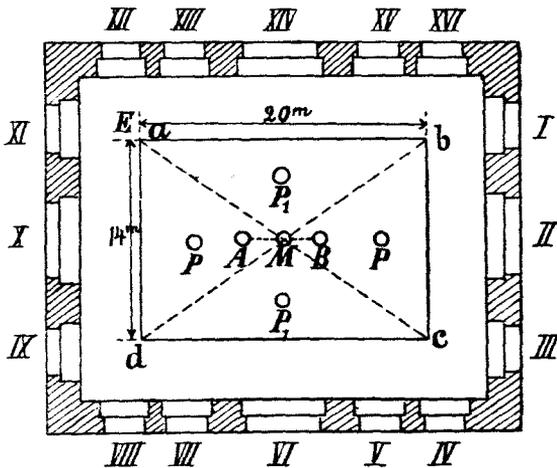
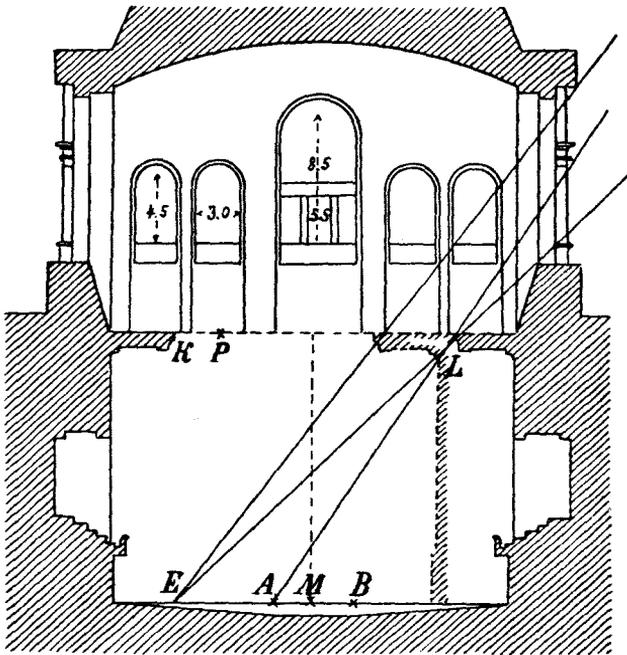
$$b = \frac{x}{\cos \beta} = \frac{x}{\cos 22^\circ} = 1,09 \text{ метр.};$$

эту величину увеличиваемъ въ зависимости ослабленія силы свѣта окнами (съ коэфф. поглощенія въ 0,32) и получаемъ $\frac{1,09}{0,68} = 1,6$ метра.

Примѣръ 4-й. Расчетъ степени дневного освѣщенія въ залѣ застѣданій въ зданіи Рейхстага въ Берлинѣ (черт. 42).

1-е предположеніе. Окна купола I, II ... XVI не имѣютъ

стекль и рамъ; въ потолокъ KL залы помѣнены прозрачныя не разбивающія свѣтъ стекла въ видѣ четырехугольника $abcd$.



Черт. 42. — Къ опредѣленію освѣщенности непрямьмъ свѣтомъ.

Въ наиболѣе плохихъ условіяхъ въ смыслѣ освѣщенія находятся точки A и B .

Въ точку A попадаютъ лучи только отъ окна II и освѣщеніе въ ней

будеть:

$$B_A = k \cdot \frac{F}{a^2} \cdot \sin \alpha L, \text{ гдѣ } k = 0,80\%_0, \alpha = 60^\circ.$$

$$F = 13,2; a = 37; L = 2500,$$

$$B_A = 0,80 \cdot \frac{13,2}{37^2} \sin 60^\circ \cdot 2500 = 16,88 \text{ свѣче-метровъ},$$

необходимо же имѣть 50 свѣче-метровъ.

Лучше освѣщена точка *E* (проекція точки *a* на полъ залы); для разныхъ оконъ коэффициентъ $2500 \frac{F}{a^2}$ для точки *E* будетъ равенъ I—16; II—46; III—9; IV—3; V—5; VI—34; VII—17; VIII—19; итого 149.

Степень освѣщенія

$$B_K = 149 \cdot 0,80 \cdot \sin 50^\circ = 92.$$

2-е предположеніе. Въ мѣстѣ *abcd* потолка *KL* устроено стекло, разбивающее свѣтъ.

Раздѣлимъ *abcd* на четыре треугольника двумя діагоналями. Пусть средняя освѣщенность треугольниковъ *aMd* и *bMc* соответствуетъ освѣщенности центровъ тяжести *P* этихъ треугольниковъ, а для Δ -ковъ *aMb* и *cMd*—центомъ ихъ тяжести *P*₁. Способомъ, подобнымъ указанному въ 1-мъ предположеніи, можно вычислить, что отъ всѣхъ оконъ въ точкѣ *P* будетъ освѣщенность *B*_р = 676 свѣче-метровъ, а въ точкѣ *P*₁ — *B*_{р1} = 925.

Средняя освѣщенность всего прямоугольника *abcd* будетъ:

$$B = \frac{676 + 925}{2} = 801 \text{ свѣче-метровъ}.$$

Если бы стѣнъ купола не было, то освѣщенность прямоугольника была бы (см. примѣръ 2-й).

$$B_0 = 2500 \cdot \pi.$$

Можно предположить что надъ *KL* находится небесный сводъ, но съ силою свѣта

$$\frac{B}{B_0} = \frac{801}{2500 \pi} = 0,102$$

отъ его обыкновенной силы.

Задаемся коэффициентомъ потери силы свѣта для матоваго стекла въ 0,35. Тогда для любой точки пола нижней залы:

$$B = 0,102 \cdot 0,65 \cdot 2500 \cdot \frac{F}{a^2} \sin \alpha.$$

Для бѣльшей точности опредѣленія искомымъ величинъ слѣдуетъ площадь пола залы раздѣлить на мелкія части и опредѣлить освѣщенность каждой изъ нихъ отдѣльно. Раздѣливъ ее, на примѣръ, на 4 треугольника,

являющіеся проекціями треугольниковъ aMb , bMc , cMd и dMa , получимъ освѣщенности для двухъ изъ нихъ въ серединѣ пола залы $2B_1 = 2.24 = 48$ и для двухъ другихъ

$$2B_2 = 2.26,5 = 53,0.$$

Окончательно освѣщенность въ серединѣ залы будетъ

$$B = 48 + 53 = 101 \text{ свѣче-метр.}$$

Если окна купола предположить остекленными, съ коэффициентомъ ослабленія силы свѣтъ 30—50%, то и тогда освѣщеніе пола залы будетъ достаточнымъ, именно

$$B = (0,70 - 0,50) 101.$$

Для отверстія, пропускающаго свѣтъ, можно по любому направленію построить графически ординаты соотвѣтственно одинаковой освѣщенности концовъ ихъ. Соединяя ихъ, получимъ поверхность равной освѣщенности.

Для источника свѣта равномерной яркости по всѣмъ направленіямъ таковой поверхностью будетъ шаръ. На черт. 43 показана кривая равной освѣщенности для свѣтового отверстія въ стѣнѣ F .

Если для P освѣщенность:

$$\frac{F}{a^2},$$

для P_1

$$\frac{F'}{\rho_1^2},$$

то для одинаковой освѣщенности

$$\frac{F}{a^2} = \frac{F'}{\rho_1^2}.$$

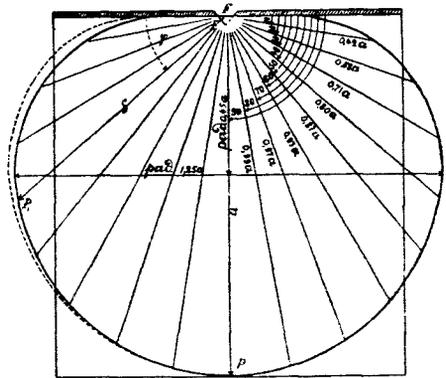
Съ нѣкоторымъ приближеніемъ можно положить $F' = F \sin \varphi$, тогда

$$\frac{F}{a^2} = \frac{F \sin \varphi}{\rho^2}.$$

отсюда

$$\rho = a \sqrt{\sin \varphi}.$$

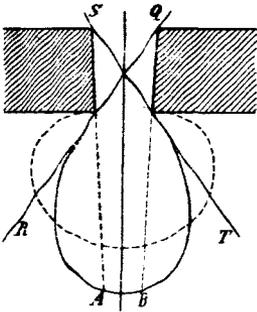
Это есть уравненіе кривой въ полярныхъ координатахъ. Давая φ разныя значенія, получимъ разныя значенія ρ и можемъ построить нашу кривую. Предполагая отверстія круглыми, мы можемъ, вращая кривую около оси FP , получить поверхность равного освѣщенія. Это справедливо



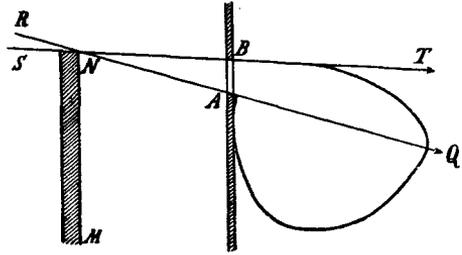
Черт. 43. — Кривая равной освѣщенности для узгаго отверстія.

для небольшихъ отверстій. При уширеніи отверстія кривая равнаго освѣщенія унитарится (предполагая $F = const.$). При этомъ предполагалось, что свѣтъ исходить во всѣ стороны равномерно (случай разсматривающаго стекла, напримѣръ, матоваго или многослойнаго прессованнаго).

При длинномъ отверстіи, пропускающемъ свѣтъ, кривая равной освѣщенности заключается между асимптотами QR и ST (черт. 44). На черт. 45 показана



Черт. 44. — Кривая равной освѣщенности для широкаго отверстія. Пунтиръ для матоваго стекла.



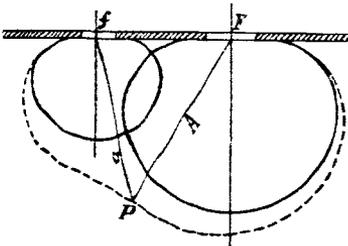
Черт. 45. — Кривая равнаго освѣщенія для овна, передъ которымъ находится стѣна.

кривая равной освѣщенности для отверстія, передъ которымъ находится стѣна.

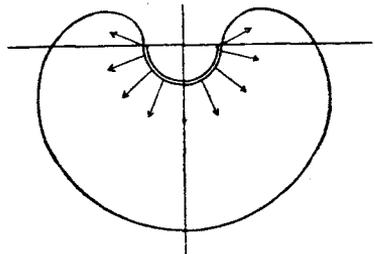
При нѣсколькихъ отверстіяхъ получимъ кривую, для всѣхъ точекъ которой сумма

$$\frac{F}{A^2} + \frac{f}{a^2} = const. \text{ (черт. 46).}$$

Если поверхность, испускающая свѣтъ, вдается въ помѣщеніе, то кривая равнаго освѣщенія принимаетъ форму, показанную на черт. 47.



Черт. 46. — Кривая равной освѣщенности при двухъ отверстіяхъ.



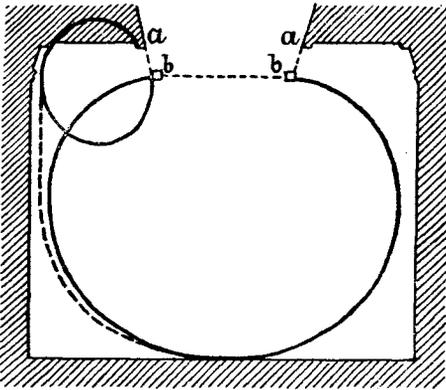
Черт. 47. — Кривая равной освѣщенности при разсѣивающемъ остекленіи.

Морманнъ даетъ слѣдующіе практическіе совѣты для увеличенія освѣщенности помѣщеній.

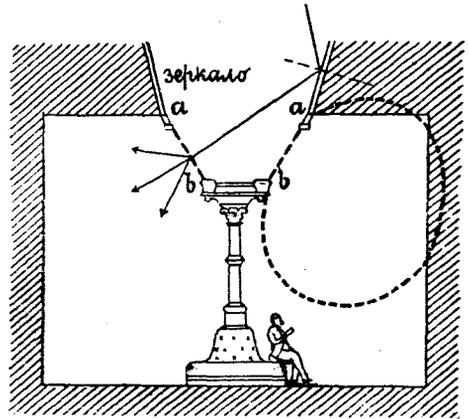
Въ погребахъ и въ другихъ помѣщеніяхъ, куда затрудненъ доступъ

свѣта, слѣдуетъ окрашивать стѣны и оконные переплеты въ бѣлый цвѣтъ, и въ особенности стѣны, находящіяся противъ оконъ.

Въ комнатахъ, гдѣ требуется равномерное освѣщеніе, можно достигъ

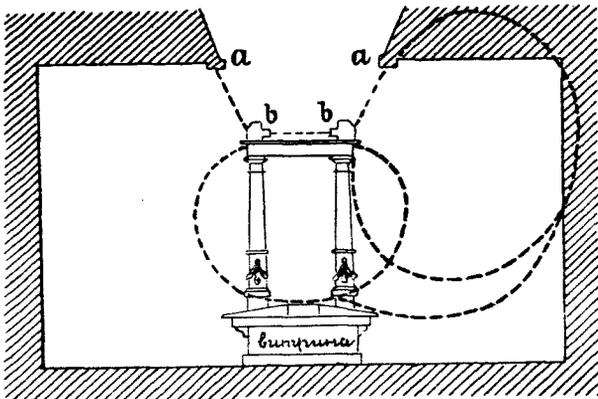


Черт. 48.



Черт. 49.

такового, устраивая матовыя, разсѣивающія свѣтъ стекла, какъ напримѣръ это показано на черт. 48—50, въ примѣненіи къ помѣщенію, гдѣ



Черт. 50. — Примѣры устройства освѣщенія разсѣяннымъ свѣтомъ.

требуется равномерное освѣщеніе стѣнъ (напр., въ картинныхъ галереяхъ ¹⁾ (*ab* — матовыя стекла).

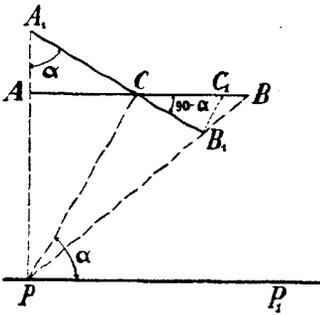
Въ заключеніе Морманнъ совѣтуетъ устраивать въ помѣщеніяхъ, гдѣ

¹⁾ Можно пожалѣть, что въ нѣкоторыхъ русскихъ картинныхъ галереяхъ нерационально устроено освѣщеніе дневнымъ свѣтомъ, напримѣръ, въ музей Императора Александра III въ С.-Петербургѣ; во многихъ комнатахъ даже въ ясные дни невозможно разглядѣть нѣкоторыхъ картинъ.

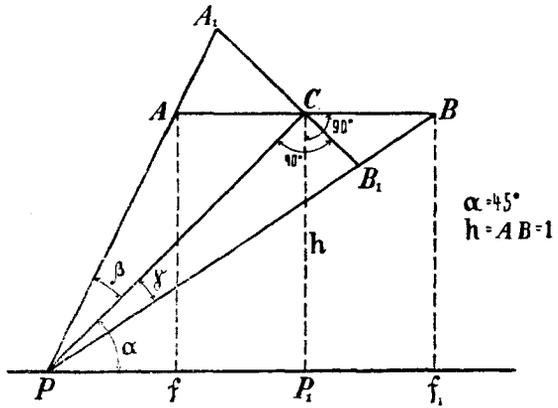
необходимо имѣть равномерное освѣщеніе, особая стекла: 1) рифленая или 2) съ поверхностью, обдѣланной въ видѣ мелкихъ призмъ (одна большая призма разлагаетъ бѣлый лучъ на цвѣтные лучи).

Изложивъ теорію и примѣры расчета степени дневного освѣщенія, предложенныя Морманномъ, обратимъ вниманіе на слѣдующія неточности и недостатки этого способа.

Прежде всего слѣдуетъ замѣтить, что Морманнъ совершенно не принимаетъ во вниманіе свѣта, разсѣиваемаго стѣнами, потолкомъ и поломъ; свѣта, который значительно можетъ усилить освѣщеніе въ данномъ мѣстѣ въ зависимости отъ окраски и поверхности стѣнъ, потолка и пола. Какъ видно



Черт. 51. — Къ опредѣленію величины полезнаго отверстия.



Черт. 52. — Къ опредѣленію величины полезнаго отверстия при $\alpha = 45^\circ$.

изъ таблицы 18, величина освѣщенія можетъ быть въ зависимости отъ указанныхъ обстоятельствъ больше въ 1,5 и болѣе раза, нежели при томъ расчетѣ, который приводитъ Морманнъ.

Разсматривая расчетъ, который приводитъ Морманнъ въ 1-омъ примѣрѣ, можно указать на слѣдующія его неточности.

Величина оконнаго отверстия (8,5 метр.) довольно велика. Ее слѣдовало бы раздѣлить на нѣсколько частей и опредѣлить степень освѣщенія для каждой части.

Кромѣ того A_1B_1 не равно $AB \sin \alpha$ (черт. 39 и 51). Чтобы показать невѣрность этого, возьмемъ частный примѣръ (черт. 51) и рассмотримъ освѣщеніе точки P , при отверстіи AB . Пусть $A_1AP \perp$ къ PP_1 , — лишіи пола.

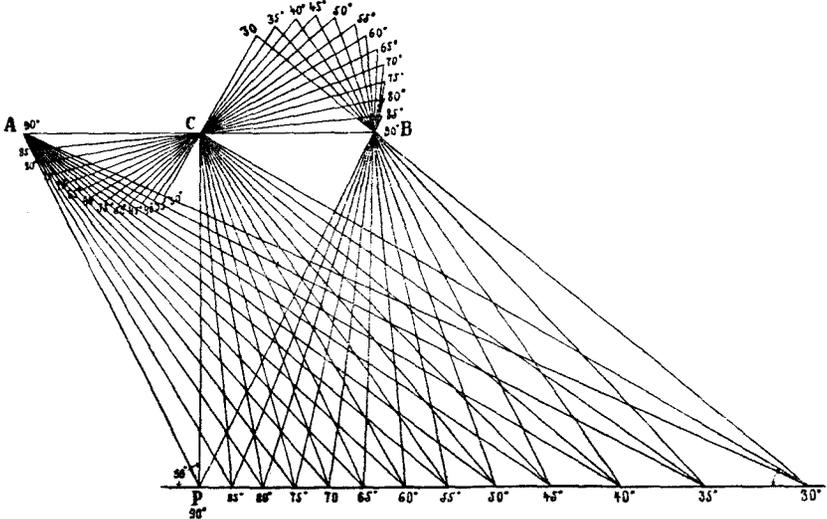
По Морманну:

$$A_1B_1 = AB \sin \alpha.$$

Въ дѣйствительности же, проведя $C_1B_1 \parallel PC$, получимъ:

$$\left. \begin{aligned} B_1C &= CC_1 \sin \alpha; \\ A_1C &= \frac{AC}{\sin \alpha}; \end{aligned} \right\} A_1B_1 = CC_1 \sin \alpha + \frac{AC}{\sin \alpha}.$$

На черт. 52 и въ таблицѣ 22 нами показаны ошибки, происходящія при подсчетѣ, какимъ пользуется Морманъ (по формулѣ $A_1B_1 =$



Черт. 53.—Опредѣленіе полезной величины отверстія, пропускающаго свѣтъ при разныхъ углахъ α .

$= AB \sin \alpha$), при чемъ выводы наши сдѣланы на основаніи графическихъ построений (черт. 53), провѣрены для угла α въ 45° аналитически (черт. 52):

$$\left. \begin{aligned} PP_1 &= h \cot \alpha = 1 \\ Pf &= 0,5 \end{aligned} \right\} Pf_1 = 1,5$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + \beta) = \frac{1}{0,5} = \operatorname{tg}(45^\circ + \beta) = 2,$$

$$\beta = 63^\circ 26' - 45^\circ = 18^\circ 26',$$

$$\operatorname{tg}(\alpha - \gamma) = \frac{1}{1,5} = 0,666; \alpha - \gamma = 33^\circ 30',$$

$$\gamma = 45^\circ - 33^\circ 30' = 11^\circ 30',$$

$$PC = \sqrt{h^2 + h^2} = h\sqrt{2} = 1,4142,$$

$$A_1B_1 = 1,4142 (\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg} \beta) = 1,4142 (0,20345 + 0,3333) = 0,759.$$

По Мормашу же:

$$A_1B_1 = 1 \cdot \sin 45^\circ = 0,709,$$

т. е. ошибка въ 7,1%.

ТАБЛИЦА 22.

Сравненіе величинъ полезнаго отверстія по Морманну и на основаніи черт. 53.

Углы α	A_1B_1 вычисленное по формулѣ $A_1B_1 = AB \sin \alpha =$ $= 100 \sin \alpha.$	A_1B_1 взятое по чертежу 53	Ошибка въ %	Углы α	A_1B_1 вычисленное по формулѣ $A_1B_1 = AB \sin \alpha =$ $= 100 \sin \alpha.$	A_1B_1 взятое по чертежу 53	Ошибка въ %
90°	100	100	0	55°	81,9	86	4,8
85°	99,6	99,5	0,1	50°	76,6	81,5	6,0
80°	98,5	99	0,5	45°	70,7	76	7,0
75°	96,6	98	1,4	40°	64,3	68,5	6,1
70°	94,0	96,5	2,6	35°	57,4	60,5	5,1
65°	90,6	94	3,6	30°	50,0	52,5	4,7
60°	86,6	90,5	4,3				

Изъ таблицы 22 видно, что ошибка, которая происходитъ при при-
мѣненіи формулы Морманна: $A_1B_1 = AB \sin \alpha$, можетъ доходить до 7%
во взятомъ нами частномъ случаѣ ($AB = 100 = h$).

То, что Морманнъ принимаетъ за мѣру площади полезнаго отверстія,
т. е. величину $AB \sin \alpha$ и за разстояніе ея отъ точки P — a , не соотвѣт-
ствуетъ дѣйствительности. Пусть AB — оконное отверстіе (черт. 54). Раз-
смотримъ напримѣръ степень освѣщенія точки P ; сила освѣщенности ея по
Морманну пропорциональна величинѣ $\frac{A_1B_1}{a^2}$, гдѣ A_1B_1 проходитъ черезъ се-
редину C линіи AB и (a) есть разстояніе точки C отъ P , причеь
 $A_1B_1 \perp$ къ PC . Однако эта величина $\left(\frac{A_1B_1}{a^2}\right)$ не можетъ выражать отноше-
ніе полезной площади окна къ квадрату разстоянія ея отъ точки P . Дѣй-
ствительно, засѣчемъ линію PB дугою AG радиуса AP изъ точки P , какъ
изъ центра, и проведемъ $PD \perp$ къ хордѣ AG . Проведемъ линію $KZ \parallel AG$
такъ, чтобы она отстояла отъ P на разстояніи $EP = a$. При такихъ усло-
віяхъ мѣрою степени освѣщенія точки P будетъ величина $\frac{KZ}{a^2} = \frac{AG}{(DP)^2}$.
Сравнивая величины $\frac{KZ}{a^2}$ съ $\frac{A_1B_1}{a^2}$ видимъ, что онѣ могутъ быть равны, если
 $KZ = A_1B_1$, но KZ въ общемъ случаѣ не равно A_1B_1 , что видно изъ
чертежа. Однако это не трудно доказать и аналитически. Пусть уголь
 $APB = \alpha$, а уголь $CPB = \beta$, тогда углы

$$APE = EPB = \frac{\alpha}{2} \text{ и } A_1PC = \alpha - \beta.$$

Если бы существовало равенство

$$KZ (= KE + EZ) = A_1B_1 = (A_1C + CB_1),$$

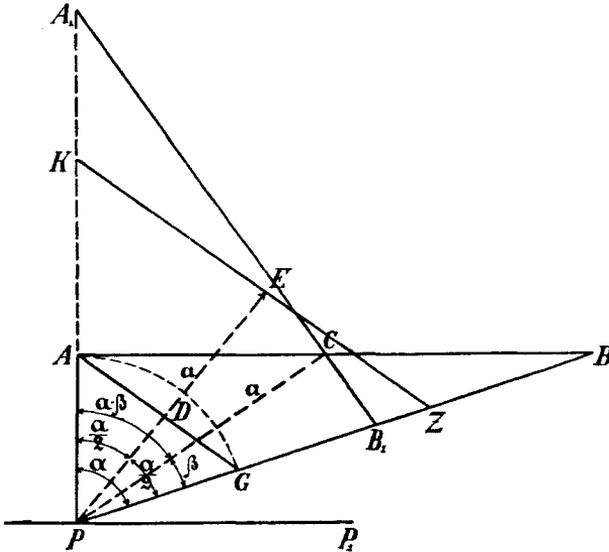
то должно было бы быть (изъ \triangle -ковъ KEP , PEZ , A_1CP и PCB_1)

$$a \operatorname{tg}(\alpha - \beta) + a \operatorname{tg} \beta = a \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + a \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

или

$$\operatorname{tg}(\alpha - \beta) + \operatorname{tg} \beta = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}. \quad \dots \dots \dots (a)$$

Найдемъ, когда это равенство возможно, т. е. опредѣлимъ, чему тогда



Черт. 54.

долженъ равняться уголь β . Преобразуемъ уравнение (a):

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta} + \operatorname{tg} \beta = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

дальѣ

$$\operatorname{tg}^2 \beta - 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \beta - \left(2 \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\operatorname{tg} \alpha} - 1 \right) = 0,$$

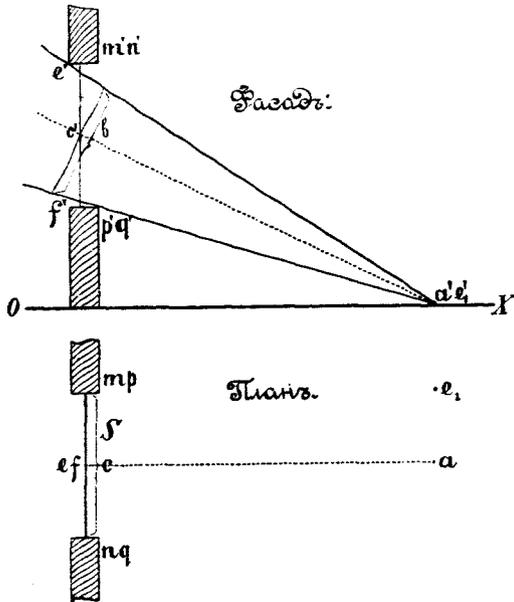
отсюда

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \pm \sqrt{\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\operatorname{tg} \alpha} - 1} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

т. е. равенство $KZ = A_1B_1$, возможно только тогда, когда линия PC дѣлитъ уголь α пополамъ, между тѣмъ, по Морманну, она удовлетворяетъ лишь условію, что проходитъ черезъ середину C линия AB , но

при этомъ она въ общемъ случаѣ не раздѣлитъ уголъ α пополамъ. Обращаясь къ примѣру 4-му (случай 1-й стр. 54), замѣтимъ, что формула $B = 149.0,80 \cdot \sin 50^\circ$ невѣрна, т. е. уголъ въ 50° , взятый въ качествѣ средняго угла паденія для лучей падающихъ въ точку E (черт. 42) не отвѣчаетъ дѣйствительности, и слѣдовало бы для каждого окна опредѣлить свой уголъ α , подобно тому, какъ Морманнъ для каждого окна опредѣляетъ величину $2500 \frac{F}{\alpha^2}$.

Далѣе обратимъ вниманіе, что Морманнъ, какъ это видно изъ приводимаго имъ примѣра расчета освѣщенія въ залѣ Рейхстага (Mormann: «Über die Tagesbeleuchtung innerer Räume, стр. 25 и 26), при своихъ подсчетахъ полезной площади прямоугольника отверстія, пропускающаго свѣтъ, поступаетъ слѣдующимъ образомъ (черт. 55).



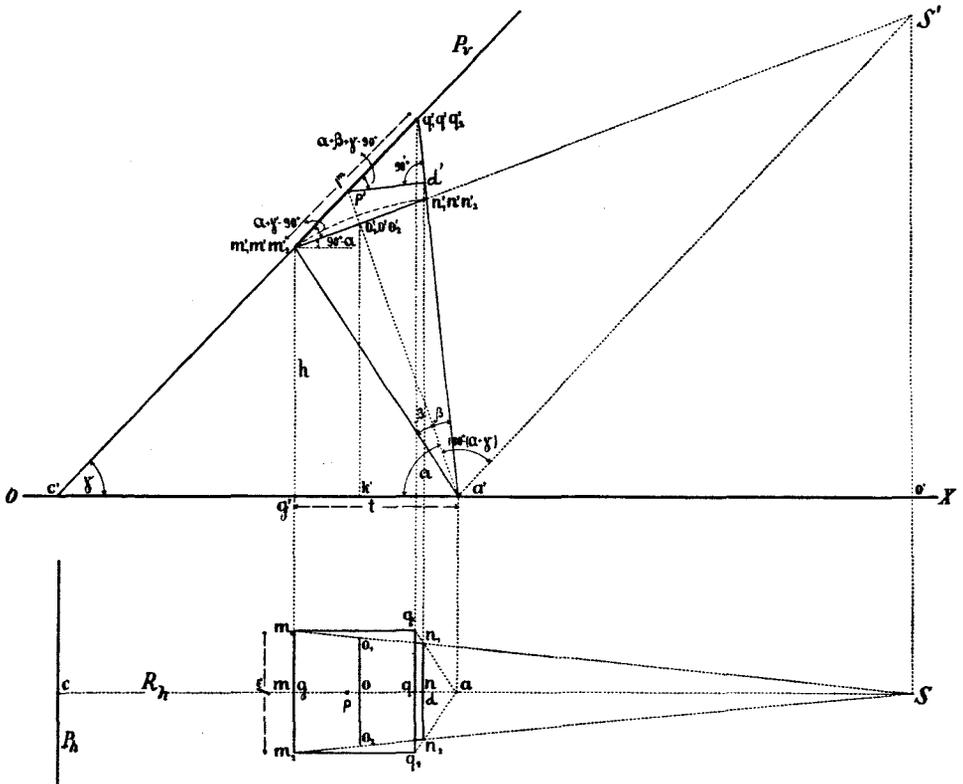
Черт. 55. — Къ исследованію примѣра 4-го (стр. 54).

Для точки A , лежащей въ вертикальной плоскости, перпендикулярной къ плоскости окна, онъ принимаетъ полезную ширину окна (въ примѣрѣ Mormann'a точка A и окно II), ширину окна въ планѣ $= s$, а полезной высотой окна—величину b длины линіи перпендикулярной къ осевому лучи AC и заключенной между крайними лучами AE и AF . Причемъ ту же ширину s онъ принимаетъ

за полезную ширину окна и для другой точки E_1 , лежащей въ той же горизонтальной плоскости, что и точка A , но въ сторонѣ отъ нея.

Между тѣмъ ошибки, которыя отъ этого происходятъ въ результатахъ, могутъ достигать значительной величины, какъ это видно изъ таблицы 23, гдѣ показаны значенія площадей (f) полезнаго отверстія при разныхъ высотахъ (h) нижняго края его надъ поломъ (черт. 56), при разныхъ углахъ γ наклона плоскости его къ плоскости пола, и при разныхъ углахъ α наклона средняго свѣтового луча къ полу. Дѣйствительная ширина окна для всѣхъ случаевъ взята равной одному метру, и высота его (дѣйствительная) также равна 1 метру. Отверстіе является квадратнымъ.

Из этой таблицы видно, что ошибки при взятых нами случаях въ опредѣленіи полезной площади отверстія по Морманну, могут колебаться въ предѣлахъ отъ 0 до 75,7 процентовъ отъ истинной полезной площади отверстія, при чемъ наибольшая ошибка является въ случаѣ, который находитъ себѣ широкое примѣненіе, именно, когда нижній край окна возвы-



Черт. 56.—Къ опредѣленію полезной площади отверстія.

шается надъ поломъ на 1 метръ ($h = 1$ метру), плоскость окна вертикальна ($\gamma = 90^\circ$) и средній лучъ свѣта падаетъ на полъ подъ угломъ въ 45° .

Ниже приводятся формулы, которыя послужили намъ для опредѣленія площади полезнаго отверстія, когда точка, освѣщеніе которой требуется опредѣлить, лежитъ въ вертикальной плоскости, проходящей черезъ центръ окна и перпендикулярной къ плоскости окна.

На черт. 56 изображено въ ортогональныхъ проекціяхъ оконное квадратное отверстіе (со стороной = 1 метру), проектирующееся на вертикальную плоскость проекцій въ видѣ прямой $m'q'$. Плоскость отверстія P наклонена къ плоскости пола подъ угломъ γ . Разсмотримъ, какова бу-

детъ полезная площадь отверстія для точки A , лежащей въ плоскости пола и въ вертикальной плоскости R , перпендикулярной къ плоскости окна и проходящей черезъ его центръ. Пусть возвышеніе нижняго края окна надъ плоскостью пола будетъ h . Назовемъ разстояніе AG точки A до вертикальной плоскости, проходящей черезъ нижній кантъ окна черезъ t . Опишемъ въ плоскости R изъ точки A какъ изъ центра дугу MN круга радіуса равнаго разстоянію A отъ середины нижняго канта окна, и продолжимъ ее до пересѣченія съ крайними лучами MA и AQ , пропускаемыми окномъ къ точкѣ A . Соединимъ концы MN дуги хордою MON . Середину O хорды соединимъ съ точкою A . Тогда OA будетъ перпендикулярно къ MN . Пусть OA равно a . Площадь полезнаго отверстія выразится площадью трапеціи $M_1M_2N_2N_1$, двѣ непараллельныя стороны которой пересѣкаются въ точкѣ S . Назовемъ длину MN , т. е. высоту трапеціи черезъ b .

Согласно подсчетовъ Морманна слѣдуетъ, что за площадь полезнаго отверстія надо принимать величину

$$b \cdot l = b \text{ кв. метровъ.} \quad (1)$$

Между тѣмъ въ дѣйствительности эта площадь f выразится такимъ образомъ

$$f = (1 + N_1N_2) \frac{b}{2}, \quad (2)$$

но изъ подобія \triangle -овъ M_1SM_2 и N_1SN_2 слѣдуетъ:

$$N_1N_2 = \frac{SO - \frac{b}{2}}{SO + \frac{b}{2}}.$$

Соединимъ точки A и S прямою AS . Эта линія будетъ параллельна линіи MQ , какъ линія сѣченія двухъ плоскостей проходящихъ черезъ боковыя стороны окна M_1Q_1 и M_2Q_2 , параллельныя MQ .

Изъ \triangle -ка OSA получаемъ:

$$SO = a \operatorname{tg} [180^\circ - (\alpha + \gamma)].$$

Такимъ образомъ:

$$\begin{aligned} N_1N_2 &= \frac{a \operatorname{tg} [180^\circ - (\alpha + \gamma)] - \frac{b}{2}}{a \operatorname{tg} [180^\circ - (\alpha + \gamma)] + \frac{b}{2}} = \frac{-a \operatorname{tg} (\alpha + \gamma) - \frac{b}{2}}{-a \operatorname{tg} (\alpha + \gamma) + \frac{b}{2}} = \\ &= \frac{a \operatorname{tg} (\alpha + \gamma) + \frac{b}{2}}{a \operatorname{tg} (\alpha + \gamma) - \frac{b}{2}}. \end{aligned}$$

Подставляя полученное значение для N_1, N_2 в выражение для f , получимъ:

$$f = \frac{a \operatorname{tg}(\alpha + \gamma) - \frac{b}{2} + a \operatorname{tg}(\alpha + \gamma) + \frac{b}{2}}{a \operatorname{tg}(\alpha + \gamma) - \frac{b}{2}} \cdot \frac{b}{2} = \frac{b}{1 - \frac{b \operatorname{cotg}(\alpha + \gamma)}{2a}} \quad (3)$$

Но

$$\frac{b}{2} = a \operatorname{tg} \beta.$$

Пусть средній лучь AO встрѣчаетъ плоскость окна въ точкѣ P . Тогда

$$MP = \frac{b}{2 \cos(\alpha + \gamma - 90^\circ)} = \frac{b}{2 \sin(\alpha + \gamma)},$$

$$PO = \frac{b}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \gamma - 90^\circ) = -\frac{b}{2} \operatorname{cotg}(\alpha + \gamma).$$

Проведемъ $PD \perp$ къ AQ до пересѣченія съ AQ въ точкѣ D . Тогда

$$PD = \left[a - \frac{b}{2} \operatorname{cotg}(\alpha + \gamma) \right] \sin \beta,$$

$$PQ = \frac{PD}{\cos(\alpha + \beta + \gamma - 90^\circ)} = \frac{PD}{\sin(\alpha + \beta + \gamma)}.$$

Обозначимъ $\alpha + \gamma = 90^\circ - \delta$:

$$MP + PQ = 1. \quad \dots \quad (4)$$

Подставляя въ равенство (4) значение MP и PQ , получимъ:

$$\frac{b}{2 \sin(\alpha + \gamma)} + \frac{\left[a - \frac{b}{2} \operatorname{cotg}(\alpha + \gamma) \right] \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta + \gamma)} = 1$$

или

$$\frac{b}{2 \cos \delta} + \frac{\left(a - \frac{b}{2} \operatorname{tg} \delta \right) \sin \beta}{\cos(\delta - \beta)} = 1$$

или

$$\begin{aligned} 2a \sin \beta \cos \delta - b \sin \beta \sin \delta + b \cos \delta \cos \beta + b \sin \beta \sin \delta &= \\ = 2 \cos \delta \cos \delta \cos \beta + 2 \sin \beta \sin \delta \cos \delta, \end{aligned}$$

откуда

$$a = \frac{b \sin \delta}{2(b - \cos \delta)}.$$

или

$$a = \frac{b \cos (\alpha + \gamma)}{2 [b - \sin (\alpha + \gamma)]} \dots \dots \dots (5)$$

Подставляя въ выраженіе для f (3) значеніе (a), получимъ:

$$f = \frac{b}{1 - \frac{b - \sin (\alpha + \gamma)}{\sin (\alpha + \gamma)}} = \frac{b}{2 - \frac{b}{\sin (\alpha + \gamma)}} \dots \dots \dots (6)$$

Но b — является функцией отъ h , γ и α .

Находимъ значеніе b (черт. 56):

$$OC = \frac{b}{2} \cos \alpha,$$

$$OK = h + OC,$$

или

$$\frac{b}{2} \cos \alpha + h = \frac{b \cos (\alpha + \gamma) \sin \alpha}{2 [b - \sin (\alpha + \gamma)]},$$

или

$$b^2 - \frac{[\sin (2\alpha + \gamma) - 2h]}{\cos \alpha} b - \frac{2h \sin (\alpha + \gamma)}{\cos \alpha} = 0,$$

откуда

$$b = \frac{\sin (2\alpha + \gamma) - 2h}{2 \cos \alpha} \pm \sqrt{[\sin (2\alpha + \gamma) - 2h]^2 + 2h \sin (\alpha + \gamma) \cdot 4 \cos \alpha} \dots (7)$$

Такъ какъ для насъ важны лишь положительныя значенія b , то передъ корнемъ принимаемъ лишь знакъ $+$.

Напримѣръ: 1) при $h = 1$; $\alpha = 50^\circ$; $\gamma = 90^\circ$ b должно быть положительнымъ. Дѣйствительно:

$$\begin{aligned} b &= \frac{\sin (180 + 12) - 2 + \sqrt{(-\sin 12^\circ - 2)^2 + 8 \cos^2 51}}{2 \cos 51^\circ} = \\ &= \frac{-2,21 + 2,86}{1,23} = \infty 0,5. \end{aligned}$$

Ошибки въ опредѣленіи площади полезнаго отверстія при b вмѣсто f выражаются въ $\%$ отъ f по формулѣ

$$\frac{b - f}{f} \cdot 100 \dots \dots \dots (8)$$

Морманнъ въ упомянутомъ своемъ сочиненіи рассматриваетъ опредѣленіе степени освѣщенія отъ горизонтальныхъ и вертикальныхъ оконъ, но не касается вопроса о наклонныхъ окнахъ.

ТАБЛИЦА 23.

b — по формулѣ 7. Величины полезной площади оконного отверстия

f — по формулѣ 6.

ошибки по формулѣ 8-й.

h	γ	α	b	f	Ошибка въ %	h	γ	α	b	f	Ошибка въ %
0	90°	0°	1,0	1,0	0%	1	90°	0°	—	—	0%
		15	0,896	0,84	6,7			0°	1	1	0%
		30	0,58	0,44	31,8			15	0,944	0,923	2,3
		45	0	0	0			30	0,793	0,731	8,5
0	75°	0°	0,966	0,966	0%	1	75°	0°	0,966	0,966	0%
		15	1,00	1	0			15	0,167	0,095	75,7
		30	0,816	0,706	15,5			30	0,372	0,296	25,6
		45	0,366	0,232	57,7			45	0,177	0,134	32,1
0	60°	0°	0,866	0,866	0%	1	60°	0°	0,966	0,966	0%
		15	1,0252	1,114	-7,1			15	1	1	0
		30	1	1	0			30	0,923	0,883	5,5
		45	0,707	0,553	27,8			45	0,760	0,677	12,2
		60	0	0	0			60	0,557	0,459	21,3
		75	0,357	0,277	28,8			75	0,357	0,277	28,8
0	45°	0°	0,707	0,707	0%	1	45°	0°	0,172	0,129	33,3
		15	1	1,182	-15,3			90	0,172	0,129	33,3
		30	1,115	1,317	-15,3			105	0	0	0
		45	1	1	0			105	0	0	0
		60	0,518	0,354	46,3			15	0,866	0,866	0%
		75	0,518	0,354	46,3			15	0,988	1,012	2,3
0	30°	0°	0,5	0,5	0%	1	30°	0°	0,866	0,866	0%
		15	0,896	1,222	-27,4			15	0,988	1,012	2,3
		30	1,154	1,727	-33,1			30	1	1	0
		45	1,225	1,673	-26,7			45	0,903	0,847	6,6
		60	1	1	0			60	0,732	0,634	15,4
		75	0	0	0			75	0,537	0,432	24,3
		90	0,348	0,289	20,4			90	0,348	0,289	20,4
		105	0,175	0,132	32,5			105	0,175	0,132	32,5
0	15°	0°	0,259	0,259	0%	1	15°	0°	0,707	0,707	0%
		15	0,732	1,366	-46,4			15	0,907	0,952	4,7
		30	1,115	2,635	-57,6			30	1,012	1,062	4,7
		45	1,366	3,230	-57,7			45	1	1	0
		60	1,414	2,633	-46,2			60	0,885	0,816	8,5
		75	1	1	0			75	1	1	0
		90	0,885	0,816	8,5			90	0,885	0,816	8,5

λ	γ	a	b	f	Ошибка в %	λ	γ	a	b	f	Ошибка в %		
1	45°	75°	0,708	0,598	18,3%	5	90°	0°	1	1	0%		
		90	0,522	0,414	26,1			15	0,960	0,953	0,7		
		105	0,347	0,265	30,9			30	0,845	0,825	2,4		
		120	0,180	0,138	30,4			45	0,674	0,617	9,2		
		135	0	0	0			60	0,475	0,452	5,1		
1	30°	0°	0,5	0,5	0%	5	75°	0°	0,966	0,966	0%		
		15	0,758	0,817	7,2			15	1	1	0		
		30	0,949	1,049	9,5			30	0,954	0,941	1,4		
		45	1,035	1,114	7,1			45	0,835	0,806	3,5		
		60	1	1	0			60	0,667	0,631	5,7		
		75	0,869	0,790	10			75	0,459	0,424	8,2		
		90	0,692	0,532	30,1			90	0,236	0,217	8,7		
		105	0,517	0,407	27			105	0	0	0		
		120	0,354	0,274	29,1			5	60°	0°	0,866	0,866	0%
		135	0,189	0,148	27,7					15	0,972	0,978	0,6
1	15°	0°	0,259	0,259	0%	5	45°	0°	0,707	0,707	0%		
		15	0,547	0,604	9,4			15	0,876	0,885	1		
		30	0,813	0,956	14,9			30	0,977	0,988	1,1		
		45	0,996	1,171	14,9			45	1	1	0		
		60	1,057	1,192	11,3			60	0,945	0,924	2,3		
		75	1	1	0			75	0,826	0,788	4,8		
		90	0,855	0,793	7,8			90	0,660	0,618	6,7		
		105	0,685	0,791	13,4			105	0,457	0,421	8,5		
		120	4,520	0,414	26,3			120	0,237	0,218	8,7		
		135	0,369	0,292	39,8			135	0	0	0		
1	0°	0°	0	0	0%	1	0°	60	1,045	1,316	20,5		
		15	0,291	0,332	12,3			75	1,085	1,237	12,5		
		30	0,603	0,759	20,6			90	1	1	0		
		45	0,874	1,144	23,6								
		60	1,045	1,316	20,5								

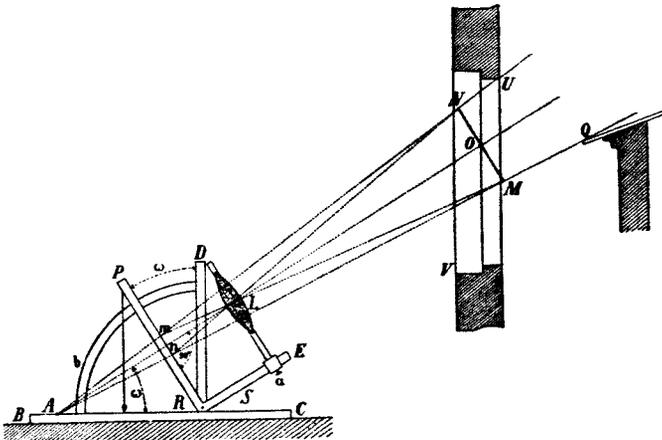
h	γ	a	b	f	Ошибка в %	h	γ	a	b	f	Ошибка в %		
5	30°	0°	0,5	0,5	0%	10	90°	75°	0,247	0,235	5,1%		
		15	0,719	0,730	1,5			90	0	0	0		
		30	0,887	0,908	2,3			10	75°	0°	0,966	0,966	0%
		45	0,983	1	1,7					15	1	1	0
		60	1	1	0					30	0,960	0,953	0,7
		75	0,944	0,922	2,3					45	0,852	0,838	1,6
		90	0,824	0,785	4,9					60	0,686	0,666	3
		105	0,660	0,618	6,7					75	0,480	0,462	3,9
		120	0,464	0,432	7,4					90	0,247	0,235	5,1
		135	0,242	0,227	—					105	0	0	0
150	0	0	0	10	60°	0°	0,866			0,866	0%		
5	15°	0°	0,259			0,259	0%			15	0,968	0,969	0,1
		15	0,512			0,525	6,6	30	1	1	0		
		30	0,731			0,757	3,4	45	0,957	0,947	1		
		45	0,896			0,927	3,3	60	0,848	0,830	2,1		
		60	0,987			1,009	2,2	75	0,683	0,661	3,6		
		75	1			1	0	90	0,479	0,461	3,9		
		90	0,941			0,917	2,6	105	0,247	0,235	5,1		
		105	0,824			0,785	4,9	120	0	0	0		
		120	0,665			0,627	6,1	10	45°	0°	0,707	0,707	0%
		135	0,470	0,443	6,0	15	0,871			0,876	0,6		
150	0,247	0,235	5,1	30	0,972	0,978	0,6						
165	0	0	0	45	1	1	0						
5	0°	0°	0	0	0%	60	0,956			0,945	1,0		
		15	0,260	0,259	0,4	75	0,845			0,825	2,4		
		30	0,522	0,546	4,3	90	0,682			0,658	3,6		
		45	0,742	0,780	4,8	105	0,480			0,462	3,8		
		60	0,904	0,945	4,3	120	0,249			0,239	4,2		
		75	0,971	0,978	0,7	135	0			0	0		
		90	1	1	0	10	30°	0°	0,5	0,5	0%		
		10	90°	0°	1			1	0%	15	0,713	0,718	0,7
				15	0,933			0,902	3,4	30	0,876	0,885	1
				30	0,856			0,845	1,3	45	0,974	0,982	0,8
45	0,690			0,673	1,9			60	1	1	0		
60	0,483			0,467	3,4								

h	γ	α	b	f	Ошибка в %	h	γ	α	b	f	Ошибка в %				
10	30°	75°	0,954	0,941	1,4%	15	75°	45°	0,856	0,846	1,1%				
		90	0,844	0,822	2,7			60	0,693	0,679	2,1				
		105	0,683	0,661	3,3			75	0,486	0,472	2,9				
		120	0,488	0,476	2,5			90	0,250	0,241	3,7				
		135	0,250	0,241	3,7			105	0	0	0				
		150	0	0	0			15	60°	0°	0,866	0,866	0%		
10	15°	0°	0,259	0,259	0%	15	60°	15	0,968	0,969	0,1				
		15	0,505	0,510	1,0			30	1	1	0				
		30	0,719	0,730	1,5			45	0,960	0,953	0,7				
		45	0,881	0,896	1,6			60	0,854	0,842	1,4				
		60	0,976	0,986	1			75	0,691	0,675	2,3				
		75	1	1	0			90	0,486	0,472	2,9				
		90	0,953	0,934	2			105	0,250	0,241	3,7				
		106	0,845	0,824	2,5			120	0	0	0				
		120	0,686	0,666	3			15	45°	0°	0,707	0,707	0%		
		135	0,485	0,470	3,1			15	45°	15	0,869	0,872	0,3		
10	0°	0°	0	0	0%	15	45°	30	0,969	0,972	0,3				
		15	0,262	0,265	1,1			45	1	1	0				
		30	0,510	0,520	1,9			60	0,959	0,952	0,7				
		45	0,724	0,742	2,4			75	0,851	0,835	1,9				
		60	0,885	0,904	2,1			90	0,691	0,675	2,4				
		75	0,978	0,989	1,1			105	0,846	0,472	3,0				
		90	1	1	0			120	0,252	0,245	2,9				
		90	1	1	0			135	0	0	0				
		15	90°	0°	1			1	0%	15	30°	0°	0,5	0,5	0%
		15	90°	15	0,963			0,962	0,1	15	30°	15	0,711	0,715	0,6
30	0,859			0,852	0,8	30	0,872	0,878	0,7						
45	0,696			0,685	1,3	45	0,972	0,978	0,6						
60	0,488			0,476	2,5	60	1	1	0						
75	0,262			0,265	1	75	0,957	0,954	0,3						
90	0			0	0	90	0,852	0,838	1,7						
90	0			0	0	105	0,691	0,675	2,3						
15	75°			0°	0,966	0,966	0%	120	0,488			0,476	2,5		
15	75°	15	1	1	0	15	75°	135	0,253	0,247	2,4				
		30	0,961	0,956	0,5			150	0	0	0				

h	γ	α	b	f	Ошибка въ ‰	h	γ	α	b	f	Ошибка въ ‰		
15	15°	0°	0,259	0,259	0°/о	15	15°	150°	0,255	0,251	1,5°/о		
		15	0,503	0,506	0,6			175	0	0	0		
		30	0,715	0,723	1,1			15	0°	0°	0	0	0°/о
		45	0,876	0,885	1,0					15	0,260	0,259	0,3
		60	0,973	0,979	0,6					30	0,507	0,514	1,3
		75	1	1	0					45	0,718	0,729	1,5
		90	0,957	0,954	0,3					60	0,879	0,892	0,3
		105	0,851	0,836	1,7					75	0,972	0,978	0,6
		120	0,693	0,679	2,1					90	1	1	0
135	0,490	0,480	2,0										

в) Способъ Вебера ¹⁾.

Веберъ предложилъ приборъ, названный имъ «измѣрителемъ тѣлеснаго угла», посредствомъ котораго можно опредѣлить въ каждомъ дан-



Черт. 57.—„Измѣритель тѣлеснаго угла“ Вебера.

номъ мѣстѣ помѣщенія, изъ котораго видно оконное отверстіе, степень освѣщенія дневнымъ свѣтомъ, пропускаемымъ окномъ.

Устройство прибора заключается въ слѣдующемъ (черт. 57). На доскѣ *BC* укрѣпленъ вертикальный квадрантъ *b*, раздѣленный на градусы и ми-

¹⁾ Handbuch der Architektur 3 Th. 3 Bd. Heft I und Zeitschrift f. Instrumentenkunde Jahrg. 4 (1884) „Beschreibung eines Raumwinkelmessers“ Weber. L.

нугу. Въ центрѣ R этого квадранта на шарнирѣ укрѣплена планка P съ прорѣзомъ тамъ, гдѣ дуга квадранта. Такимъ образомъ планка P можетъ вращаться около оси R , не задѣвая сектора. Къ планкѣ, нормально къ ней, прикрѣпленъ стержень RE , вдоль котораго при помощи обѣими a можетъ скользить линза L . Въ приборѣ Вебера линза эта такова, что при постоянномъ фокусномъ разстояніи s , равнымъ разстоянію планки P отъ линзы L , на планкѣ P получается ясное изображеніе предметовъ и, въ частности, полезнаго отверстія MN окна UV .

Фокусное разстояніе принимается равнымъ 0,1146 метр. Если изъ центра линзы описать шаръ такимъ радиусомъ, то онъ отсѣчетъ на планкѣ P площадь въ 4 кв. милл. На планкѣ P укрѣпляется клѣтчатая бумага со стороною клѣтки въ 2 мм. Такимъ образомъ при лучахъ, идущихъ параллельно оптической оси линзы, изображеніе, полученное на бумагѣ, будетъ занимать площадь въ 4 кв. мм. Эту величину Веберъ называетъ «квадратнымъ градусомъ» (Quadratgraden). При иныхъ же лучахъ, какъ это, напримѣръ показано на черт. 57, изображеніе будетъ имѣть иную площадь. Пусть эта площадь равняется z —квадратныхъ градусовъ ($4 \times z$ кв. мм.). При этомъ конечно необходимо повернуть линзу и планку вокругъ оси C такъ, чтобы получилось по возможности ясное и центральное на P изображеніе части окна UV . Тогда по квадранту b можно будетъ прочесть уголъ наклона центрального луча OA къ горизонту.

Выражена

$$Z . \sin . \omega,$$

Веберъ называетъ «приведеннымъ тѣлеснымъ угломъ» (reducirte Raumwinkel). Оно и служитъ мѣрою степени горизонтального освѣщенія.

По изслѣдованіямъ Сohn'a 50 ¹⁾ приведенныхъ тѣлесныхъ угловъ соотвѣтствуютъ освѣщенности въ 10 нормальныхъ нѣмецкихъ свѣчей (10,6 метр. свѣчей), а 500 прив. тѣлес. угловъ — 50 норм. нѣмец. свѣчамъ (53 метр. свѣч.). Зная приведенный пространственный уголъ для даннаго мѣста отъ каждаго изъ оконъ и складывая эти углы, получимъ полный проведенный уголъ и, слѣдовательно, и степень освѣщенія.

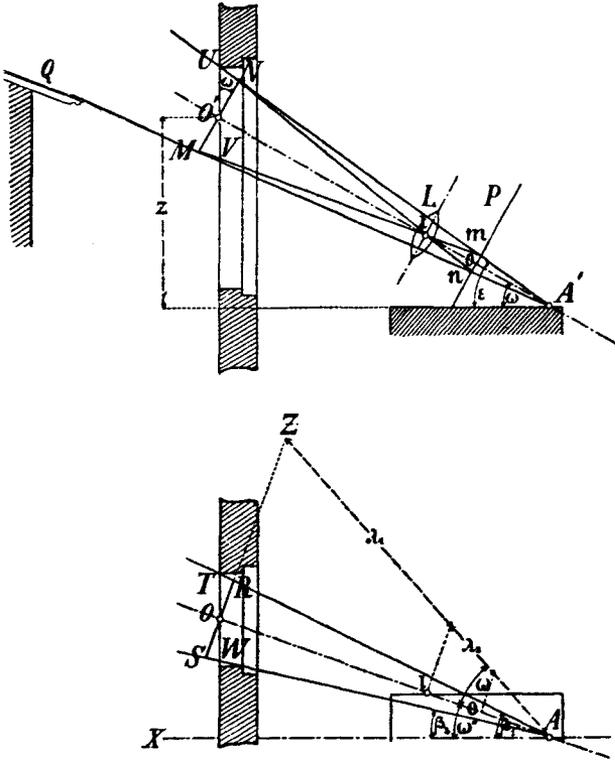
При употребленіи этого прибора допускается, что степень освѣщенія даннаго мѣста пропорціональна видимой поверхности небеснаго свода.

Веберъ приводитъ способъ расчета, при помощи котораго можно опредѣлить степень освѣщенія въ помѣщеніи (проектируемомъ или существующемъ). На черт. 58 изображена въ горизонтальныхъ проекціяхъ (планъ и фасадъ) часть комнаты.

Опредѣлимъ степень освѣщенія точки A стола дневнымъ свѣтомъ предполагая, что передъ окномъ, снаружи комнаты, находится строеніе Q .

¹⁾ Наименьшая допускаемая въ германскихъ школахъ степень освѣщенія.

Установимъ у точки A приборъ Вебера, какъ это указано ранѣе. Пусть L —будетъ линза, P —планка. Зная положеніе точки A , размѣры окна и положеніе стѣны передъ окномъ можно расчетомъ или графическимъ измѣреніемъ опредѣлить слѣдующія величины: NM и RS , а слѣдовательно и площадь полезнаго отверстія F , пропускающаго свѣтъ



Черт. 58.—Опредѣленіе степени освѣщенія въ комнатѣ по способу Вебера.
(Фасадъ и планъ).

($F = NM \times RS$), длина $OL = 0,1146$ метра — извѣстна. Разстояніе λ_1 —между F и L можно опредѣлить, зная длину AO , именно:

$$\lambda_1 = AO - AZ.$$

Величину полезной площади F слѣдуетъ умножить на коэффициентъ (k) потери силы свѣта при прохожденіи черезъ стекла и рамы. Тогда получимъ:

$$F_0 = kF.$$

Приведенный тѣлесный уголъ будетъ

$$f \sin \omega = \frac{(0,1146)^2 \cdot F_0}{\lambda_1^2} = 0,013 \frac{F_0}{\lambda_1^2} \sin \omega$$

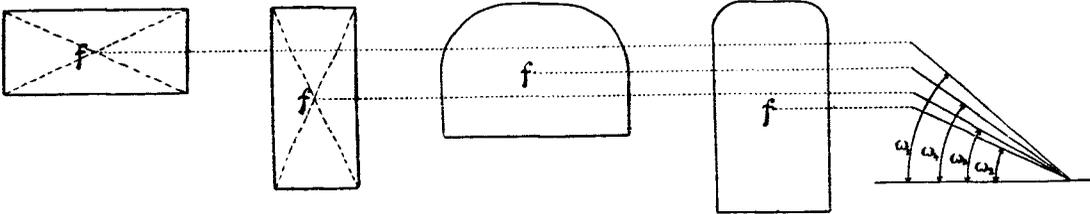
или въ квадратныхъ градусахъ

$$f = \frac{f \sin \omega}{4 \text{ мм.}} = \frac{0,013 \cdot k \cdot F \cdot \sin \omega}{4 \lambda_1^2}.$$

Обратно, если требуется опредѣлить площадь F_0 , по заданной степени освѣщенія, то

$$F_0 = \frac{f \cdot \lambda^2}{0,1146^2} = 76,14 f \cdot \lambda_1^2.$$

На основаніи предыдущаго можно сказать, что при боковомъ освѣщеніи (напр., когда окна въ стѣнахъ) главное вліяніе имѣетъ не ширина окна, а высота его надъ поломъ, такъ какъ съ увеличеніемъ высоты окна увеличивается не только F_1 , но и $\sin \omega$. Поэтому при одинаковыхъ условіяхъ



Черт. 59—62. — Сравненіе между собою очертанія оконъ одинаковой площади въ отношеніи наивыгоднѣйшей степени освѣщенія.

и площадяхъ отверстія освѣщеніе отъ окна, ограниченнаго сверху прямою линіей (черт. 59 и 60), будетъ сильнѣе, нежели отъ окна, ограниченнаго сверху дугою круга (черт. 61 и 62).

Способъ Вебера, позволяющій опредѣлять степень освѣщенія въ готовомъ помѣщеніи, имѣетъ слѣдующіе недостатки:

1) Величина пространственнаго угла, опредѣляемаго при помощи прибора, получается не вполне точною, въ особенности для мѣстъ, находящихся близко отъ оконъ, такъ какъ тогда изображенія на планшетѣ P при постоянномъ фокусномъ разстояніи λ_2 линзы L будутъ не рѣзкими.

2) Точность опредѣленія площади f на планшетѣ зависитъ отъ остроты зрѣнія наблюдателя.

3) Приборъ этотъ не примѣнимъ при длинныхъ и вообще большихъ окнахъ и при свѣтовыхъ фонаряхъ, идущихъ вдоль стѣнъ или крыши.

с) Способъ Ментца ¹⁾.

Ментцъ: ставитъ себѣ задачею 1) опредѣлить степень освѣщенія въ данномъ мѣстѣ при данномъ свѣтовомъ отверстіи и 2) опре-

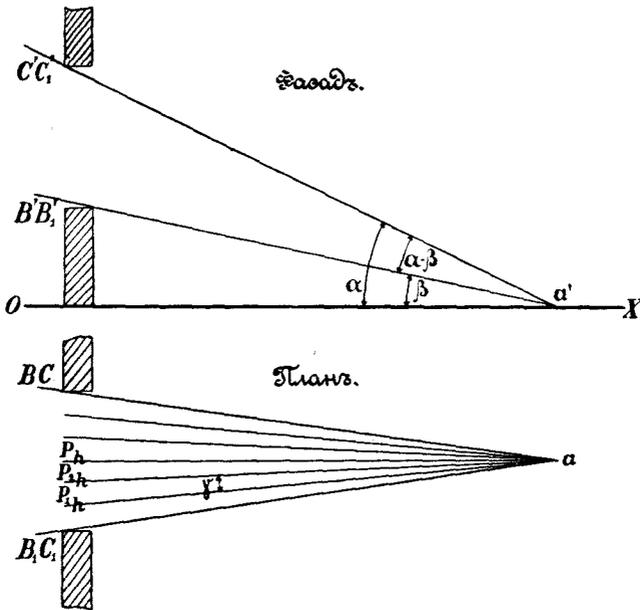
¹⁾ Deutsche Bauzeitung 1887 № 43.

дѣлать размѣры окна, которое давало бы въ данномъ мѣстѣ данное освѣщеніе.

Вопросы эти онъ рѣшаетъ слѣдующимъ образомъ:

1) Пусть требуется опредѣлить освѣщеніе въ точкѣ A пола при заданныхъ размѣрахъ окна (черт. 63). Раздѣлимъ пирамиду CC_1BB_1A вертикальными плоскостями P_1, P_2, \dots , проходящими черезъ точку A на части.

Силу свѣта отъ каждаго вырѣзка окна между двумя смежными плоскостями (P_1, P_2 и т. д.) при бесконечно маломъ углѣ γ между ними,



Черт. 63.—Опредѣленіе освѣщенности по способу Mentz'a.

можно считать пропорціональной углу $\alpha - \beta$, подъ которымъ отрѣзокъ слѣда плоскости P на плоскости окна виденъ изъ точки A .

Опишемъ изъ A какъ изъ центра шаръ радиуса равнаго единицѣ. Тогда дуга круга на поверхности этого шара, соответствующая части слѣда P въ плоскости окна будетъ равна

$$1 \cdot (\alpha - \beta),$$

а дифференціалъ дуги будетъ

$$1 \cdot d(\alpha - \beta) = dx,$$

(α предполагаемъ переменнымъ), гдѣ черезъ x обозначается уголъ, величина котораго заключается между α и β .

Освѣщенность же горизонтальной площадки будетъ

$$B = \frac{J}{r^2} \sin x \, dx.$$

Предполагая J для всей поверхности шара постояннымъ, а радиусъ $r = 1$, видимъ, что освѣщенность пропорциональна выражению $\sin x \, dx$.

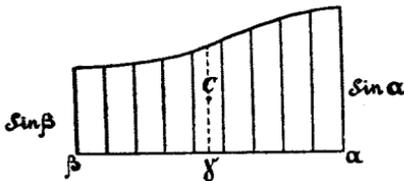
Для угла $\alpha - \beta$ эта величина для одной плоскости P пропорциональна,

$$J_p = \int_{\beta}^{\alpha} \sin x \, dx = \cos \beta - \cos \alpha.$$

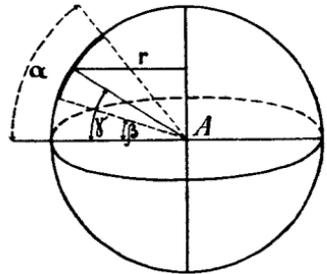
Огложимъ по оси абсциссъ (черт. 64) дугу $\alpha - \beta$ а по, оси ординатъ, соответствующіе разнымъ угламъ значенія ихъ синусовъ.

Тогда площадь полученной фигуры выразитъ величину J_p .

Пусть C — центр тяжести фигуры.



Черт. 64. — Опредѣленіе величины $\cos \beta - \cos \alpha$.



Черт. 65.—Къ опредѣленію средняго угла γ .

Уголъ γ —соответствующій этой точкѣ, найдется изъ уравненія

$$\int_{\beta}^{\gamma} \sin x \, dx = \int_{\gamma}^{\alpha} \sin x \, dx,$$

откуда

$$\frac{\cos \beta + \cos \alpha}{2} = \cos \gamma \dots \dots \dots (1)$$

Примѣчаніе 1-е. При $(\alpha - \beta)$ не болѣе 25° можно принять (съ ошибкою не $> 2,4\%$)

$$\frac{\cos \beta + \cos \alpha}{2} = \cos \left(\frac{\alpha - \beta}{2} + \beta \right) = \cos \frac{\alpha + \beta}{2},$$

т. е.

$$\gamma = \frac{\alpha + \beta}{2}.$$

Опредѣливъ, γ можемъ построить на секторѣ, соответствующемъ плоскости P , уголъ γ и опредѣлить радиусъ r горизонтальнаго круга на шаровой поверхности, соответствующій углу γ т. е.

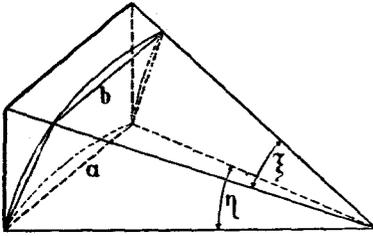
$$r = \cos \gamma \text{ (черт. 65).}$$

Примѣчаніе 2-е. Площадка, вырѣзанная на поверхности шара двумя плоскостями P_1 и P_2 , не равносторонняя (черт. 66).

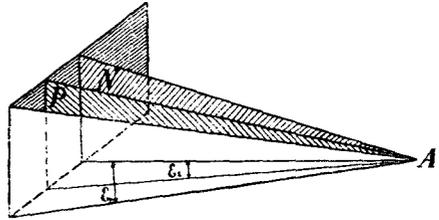
Если $\eta > \zeta$ то и $a > b$.

Каждой плоскости P соответствует свой средний угол γ , который будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ меньше $\alpha - \beta$.

Если предположить $\beta = 0$, то при данной высотѣ окна, чѣмъ больше будетъ уголъ ϵ между вертикальными плоскостями (напр. между N и P



Черт. 66.— Къ опредѣленію величины полезнаго отверстия.



Черт. 67.— Къ опредѣленію зависимости между угломъ γ и угломъ ϵ .

черт. 67) проходящими черезъ точку A , тѣмъ меньше будетъ уголъ γ , для плоскости P , (плоскость N принимаемъ нормальной къ плоскости окна).

Опредѣляя каждый разъ уголъ γ и точку пересѣченія радіуса проведеннаго изъ точки A подъ угломъ γ съ дугою круга сѣченія P съ поверхностью шара, получимъ на послѣдней рядъ точекъ, соединяя ихъ опредѣлимъ на поверхности шара кривую среднихъ лучей. При бесконечно большей ширинѣ окна, кривая эта въ предѣлѣ коснется экватора шара въ точкахъ 1 и 2 (черт. 68).

Максимумъ угла γ будетъ при

$$\alpha = 90^\circ, \beta = 0^\circ.$$

Тогда

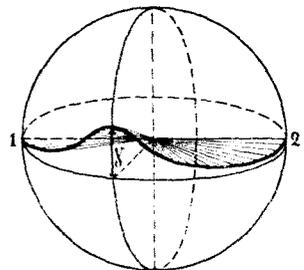
$$\cos \gamma = \frac{\cos 0^\circ + \cos 90^\circ}{2}; \cos \gamma = \frac{1}{2}; r = 0.5.$$

Пусть для окна $BCDE$ кривая среднихъ лучей (γ) для точки A будетъ lmk (черт. 69).

Выпрямимъ cd и примемъ ее за ось абсциссъ (черт. 70), а соответствующія значенія

$$J_r = \int_{\beta}^{\alpha} \sin x \, dx$$

отложимъ въ видѣ ординатъ. Тогда полная степень освѣщенія точки A



Черт. 68.— Кривая среднихъ лучей.

будеть пропорциональна площади $klmcd$, т. е. величинѣ:

$$J_{\Sigma p} = \frac{(J_q + J_{q-1}) + J_{q-1} + J_{q-2} + \dots + (J_2 + J_1)}{2} \times 2$$

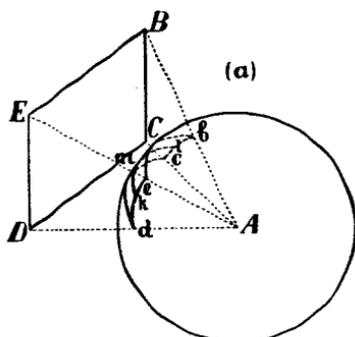
$$= \frac{J_1 + 2(J_2 + J_3 + \dots + J_{q-1}) + J_q}{2} \cdot 2.$$

Примѣрн.

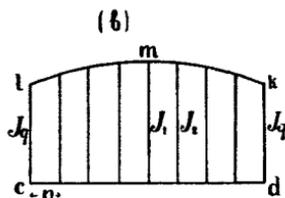
Для точки A , находящейся на подоконникѣ у плоскости окна лучи заключены въ пространствѣ $\frac{1}{4}$ шара (черт. 71).

Величина освѣщенія для каждой вертикальной плоскости P , проходящей через точку A пропорциональна величинѣ

$$J_p = \cos 0 - \cos 90^\circ = 1.$$



Черт. 69. — Кривая средних лучей.



Черт. 70. — Определение полной освѣщенности.

Для всѣхъ плоскостей P средний угол γ будетъ одинаковымъ и косинусъ его будетъ равнымъ

$$\cos \gamma = \frac{\cos \beta + \cos \alpha}{2} = \frac{\cos 0 + \cos 90^\circ}{2} = \frac{1}{2}.$$

Отсюда $\gamma = 60^\circ$. Слѣдовательно, кривая точекъ сѣченія средних лучей съ поверхностью шара ($r = 1$) будетъ плоской круговой радиуса $r' = 1 \cdot \cos \gamma = 0.5$.

Длина дуги полуокруга $0,5 \pi$, и степень освѣщенія будетъ пропорциональна величинѣ $0,5 \cdot 1 \cdot \pi$.

Для полушара, т. е. для точки, лежащей, напримѣръ, на поверхности стола подъ открытымъ небомъ, эта величина будетъ равна:

$$2 \cdot 0,5 \pi \cdot 1 = \pi$$

(что соотвѣтствуетъ выводу Морманна, стр. 53).

Въ дальнѣйшемъ показанъ еще болѣе приближенный способъ вычисления величины $J_{\Sigma p}$ по Mentz'у. На черт. 72 (a и b) изображены въ планѣ два окна. Пусть углы, составляемые крайними плоскостями P (верти-

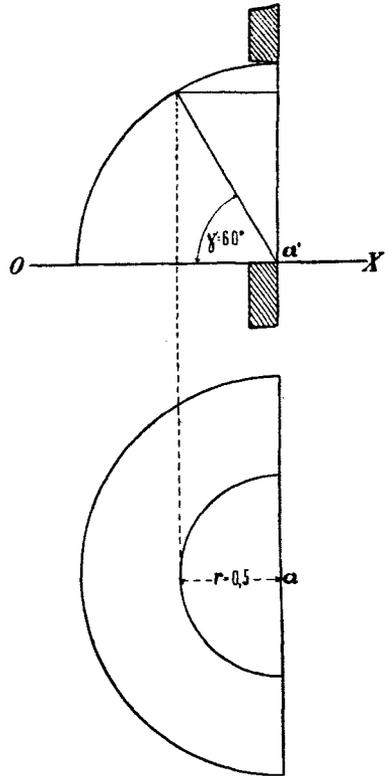
кальными и проходящими через рассматриваемую точку A) с плоскостью N , нормальной къ плоскости окна, будутъ δ_1 и δ_2 . Съ нѣкоторою степенью приближенія (для шара) можно принять

$$J_{p_1} = N \cos \delta_1, \quad J_{p_2} = N \cos \delta_2$$

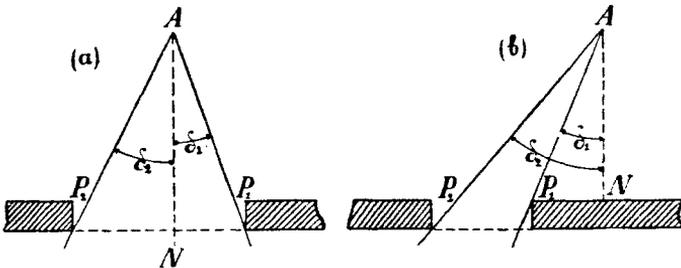
(въ дѣйствительности линіи, соотвѣтствующія разнымъ угламъ γ , не лежатъ въ одной плоскости).

Для графическихъ построеній и вычисленій величинъ J_p достаточно брать вмѣсто длины кривой S , соотвѣтствующей элементу между двумя смежными плоскостями P_1 и P_2 , длину дуги круга, соотвѣтствующей ширинѣ окна для этого элемента при радиусѣ ея, численно равномъ косинусу соотвѣтствующаго угла γ . Чтобы получить длину этой дуги, слѣдуетъ умножить $\cos \gamma$ на $\delta_1 + \delta_2$.

Для небольшихъ угловъ ($\alpha < 45^\circ$) можно дугу эту проводить на высотѣ конца радиуса, наклоненнаго къ горизонтальной плоскости подъ угломъ $\frac{\alpha - \beta}{2} + \beta$. Раздѣлимъ дугу на n частей, приблизительно по 5° каждая и для каждой части опредѣлимъ величину $J = \cos \beta - \cos \alpha$ и строимъ кривую измѣненія этихъ величинъ, откла-



Черт. 71. — Опредѣленіе освѣщенности точки, лежащей у нижняго края окна.



Черт. 72. — Приближенный способъ опредѣленія степени освѣщенія.

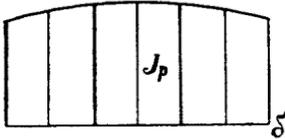
дывая по оси абсциссъ длины дуги S и по ординатамъ — значенія J_p (черт. 73). Длина дуги въ 5° будетъ (черт. 74)

$$x = 0.087 \cos \gamma.$$

Однако она принимается равной $0,11 \cos \gamma$, такъ какъ по графику получаются значенія J_p , меньшія дѣйствительныхъ (при вычисленіи площади фигуры черт. 73 принимаются въ расчетъ трапеціи, а не криволинейныя фигуры); кромѣ того мы беремъ за дугу кривой— дугу круга, въ дѣйствительности же слѣдовало бы брать кривую двойкой кривизны.

2) Опредѣленіе ширины окна для полученія заданнаго освѣщенія въ точкѣ A при данныхъ: высота окна h и коэффициентъ освѣщенія M (черт. 75).

Опредѣляемъ наибольшую величину J_p :



Черт. 73. — Кривая измененія величины J_p .

$$J = \int_{\beta}^{\alpha} \sin x \, dx = \cos \beta - \cos \alpha$$

и умножаемъ ее на $0,11 \cos \gamma$, гдѣ

$$\cos \gamma = \frac{\cos \beta + \cos \alpha}{2}.$$

Тогда получимъ значеніе J_p для дуги въ 5° .

Если вся дуга— δ , то тогда степень освѣщенія должна выражаться такъ:

$$M = \frac{\delta}{5} \cdot J_p \cdot x$$

или

$$M = \frac{\delta}{5} \cdot 0,11 \cos \gamma \cdot J_p,$$

откуда

$$\delta = \frac{5M}{0,11 \cos \gamma \cdot J_p}.$$

Если l — разстояніе точки A до плоскости окна, то (черт. 75)

$$x = l \operatorname{tg} (\varepsilon + \delta) - g.$$

Черт. 74. — Опредѣленіе длины дуги кривой вѣтцонъ средняхъ лучей.

Если для величины J_p средній лучъ наклоненъ подъ угломъ γ къ горизонту и длину линіи, соответствующей этому лучу, проходящей черезъ точку A и между этой точкой и плоскостью окна, назовемъ черезъ l_1 , то приблизительно

$$l = l_1 \cos \gamma$$

и для x , получимъ:

$$x = \frac{e}{\cos \gamma} \operatorname{tg} (\delta + \varepsilon) - g.$$

Если ε и g равны нулю, то

$$x = \frac{l}{\cos \gamma} \operatorname{tg} \delta.$$

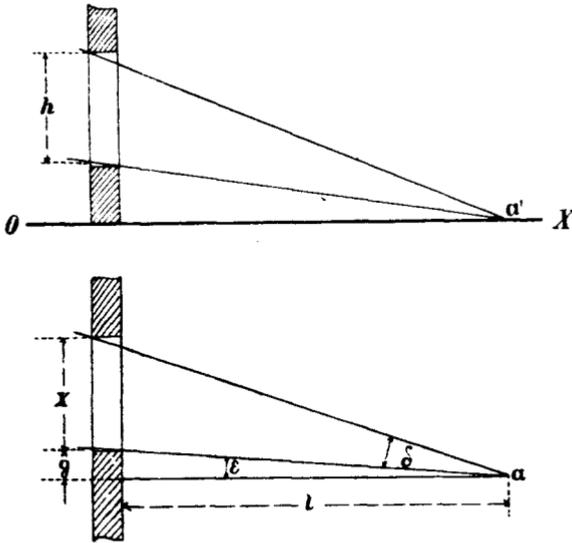
Коэффициентъ освѣщенія M , достаточный для чтенія и письма, Ментцъ принимаетъ равнымъ 0,2.

Для углов $\delta_1, \pm \delta_2$ не $> 60^\circ$ и для α не $> 60^\circ$ можно пользоваться слѣдующей формулой для опредѣленія величины, пропорціональной степени освѣщенія:

$$J_p = N \int_{\delta_1}^{\delta_2} \frac{\cos \delta \pm \cos^2 \delta}{2} d\delta =$$

$$= \frac{N}{2} \left(\sin \delta_2 \pm \sin \delta_1 + \frac{\cos \delta_2 \sin \delta_2 \pm \cos \delta_1 \sin \delta_1}{2} + \frac{\delta_2 \mp \delta_1}{2} \right), \dots (a)$$

гдѣ N — есть значеніе J для вертикальной плоскости P , перпендикулярной къ плоскости окна и проходящей через точку A .



Черт. 75.—Опредѣленіе ширины окна.

Для $\delta_1 = \delta_2 = 90^\circ$; $\beta = 0$; $\alpha = 90^\circ$, имѣемъ:

$$N = \int_0^{90} \sin x dx = \cos 0^\circ - \cos 90^\circ = 1,$$

$$J_p = \frac{1}{2} \left(1 \pm 1 + \frac{\frac{\pi}{2} \mp \frac{\pi}{2}}{2} \right) = \frac{1}{2} (1 + 1 + 1,57) = 1,785.$$

Между тѣмъ эта величина должна равняться $\frac{\pi}{2}$ (см. стр. 80), т. е. ошибка равна $\frac{1}{7}$. Однако формула (a) достаточна для опредѣленія освѣщенности точекъ, лежащихъ вдали отъ окна.

Наилучшее отношеніе ширины къ высотѣ окна $\frac{b}{h} = \frac{1}{2,086}$.

Ментцъ даетъ слѣдующіе коэффициенты (M или J) для оконъ разной ширины (черт. 76) или разной высоты. При этомъ принято:

Черт. 76. l — расстояние рассматриваемой точки до плоскости окна; b — ширина окна = 0,6 метр.; $\beta = 0$ (точка лежит в плоскости нижнего края окна и на прямой, проходящей через середину нижнего края окна и перпендикулярной к нему).

Для переменной ширины окна b — от 0,3 до 1 метра

и при $h = 1$ мет.

$l = 1$ мет.

$\beta = 0$

и при том же расположении точки A , как и раньше, получим следующие коэффициенты:

ТАБЛИЦА 24.

Зависимость между коэффициентами освещения и шириною окна.

Ширина окна.	Коэффициент M .	Ширина окна.	Коэффициент M .
0,3	0,066	0,7	0,1912
0,4	0,114	0,8	0,2140
0,5	0,141	0,9	0,2361
0,6	0,1667	1,0	0,2563

Например, для $h = 0,8$ и $b = 0,6$ (на основании черт. 76):

$$J_{\beta=0} = \begin{Bmatrix} 0,0114 \\ 0,0308 \\ 0,0393 \\ 0,0433 \end{Bmatrix} = 0,1248.$$

Если точка лежит в том же расстоянии от окна ($l = 1$ мет.), но ниже его нижнего края на 0,4 метра, то для $h = 1$ мет.:

$$J = \begin{Bmatrix} 0,0393 \\ 0,0433 \\ 0,0416 \\ 0,0383 \end{Bmatrix} = 0,163.$$

Черт. 76. — Значения коэффициентов освещенности для окон разной высоты и постоянной ширины (по Mentz'yu).

Для ширины окна $b = 0,6$ метр. и $h = 1$ метр. из таблицы 24 получим $M = 0,1667$. Почти ту же цифру получаем

изъ чертежа 76:

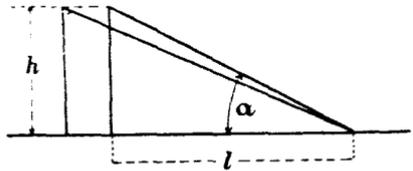
$$M = \begin{Bmatrix} 0,0114 \\ 0,0308 \\ 0,0393 \\ 0,0433 \\ 0,0415 \end{Bmatrix} = 0,1664.$$

При расчетах степени освѣщенія Ментцъ совѣтуетъ брать коэффициентъ запаса на поглощеніе свѣта рамами, стеклами и т. п., равнымъ 0,2 — 0,5.

Вышеизложенный способъ Ментца имѣеть слѣдующія недостатки:

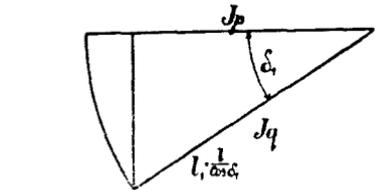
1) Въ немъ не указано, какая степень освѣщенія достаточна для разныхъ помѣщеній, и нѣтъ сравненія коэффициентовъ его (M и J) съ эталонами освѣщенія.

2) Формула, показывающая зависимость величины коэффициента освѣщенія J_p при всякомъ углѣ δ_1 отъ величины его N при $\delta = 0$ даетъ значительные ошибки ($J_p = N \cos \delta_{11}$, стр. 81). Въ дѣйствительности же (черт. 77):



$$J_p = \cos \beta - \cos \alpha = 1 - \frac{1}{\sec \alpha} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h^2}{l^2}}}$$

$$J_p = 1 - \frac{l}{\sqrt{l^2 + h^2}}$$



Черт. 77. — Къ опредѣленію поправки въ формулѣ Ментца.

$$J_q = 1 - \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + h^2}} = 1 - \frac{l}{\sqrt{l^2 + h^2 \cos^2 \delta_1}}$$

По Ментцу же:

$$J_q = J_p \cos \delta_1,$$

т. е. должно быть

$$1 - \frac{l}{\sqrt{l^2 + h^2 \cos^2 \delta_1}} = \cos \delta_1 \left(1 - \frac{l}{\sqrt{l^2 + h^2}} \right).$$

При

$$l = 5 \text{ метр.}$$

$$h = 3 \text{ метр.}$$

и при разныхъ значеніяхъ δ_1 , получаемъ слѣдующія ошибки въ опредѣленіяхъ величинъ J_p , вычисленныхъ по Ментцу (табл. 25):

Т А Б Л И Ц А 25.

Величины ошибокъ, происходящихъ въ случаѣ примененіи формулы Ментца.

δ_1	Дѣйстви- тельное значеніе J_p .	$J_p \cos \delta_1$ (по Ментцу).	Ошибка въ %.	δ_1	Дѣйстви- тельное значеніе J_p .	$J_p \cos \delta_1$ (по Ментцу).	Ошибка въ %.
0°	0,143	0,143	0%	50°	0,067	0,0919	37%
10	0,139	0,1408	1,1	60	0,042	0,0715	70,2
20	0,129	0,1344	4,2	75	0,001	0,0125	1150
30	0,112	0,1238	10,5	90	0,000	0,000	0
40	0,092	0,1095	19				

ГЛАВА V.

Опредѣленіе степени освѣщенія.

Закончивъ описаніе разныхъ способовъ опредѣленія степени освѣщенія и указавъ на нѣкоторыя неточности, допускаемыя авторами этихъ способовъ, перейдемъ къ изложенію способовъ, устраняющихъ по возможности замѣченные недостатки.

При этомъ будемъ разсматривать послѣдовательно слѣдующія задачи:

1) Опредѣленіе *средней* степени освѣщенія въ помѣщеніи, куда дневной свѣтъ попадаетъ черезъ отверстіе, закрытое стекломъ, *не разстывающимъ* свѣта.

2) Опредѣленіе *средней* степени освѣщенія въ помѣщеніи, куда дневной свѣтъ попадаетъ черезъ отверстіе, закрытое стекломъ, *разстывающимъ* свѣтъ.

3) Опредѣленіе степени освѣщенія *въ данномъ мѣстѣ* помѣщенія, куда дневной свѣтъ попадаетъ черезъ отверстія, закрытое стекломъ, *не разстывающимъ* свѣта.

4) Опредѣленіе степени освѣщенія *въ данномъ мѣстѣ* помѣщенія, куда дневной свѣтъ попадаетъ черезъ отверстіе, закрытое стекломъ, *разстывающимъ* свѣтъ.

1. *Опредѣленіе средней степени освѣщенія въ помѣщеніи, куда дневной свѣтъ попадаетъ черезъ отверстіе, закрытое стекломъ не разстывающимъ свѣта.*

Пусть коэффициентъ ослабленія силы свѣта, при прохожденіи его черезъ окно будетъ k^1 .

Сила свѣта на разстояніи 1 метра отъ отверстія въ 1 кв. метр.:

$$J_1 = \frac{k \cdot 2650^2}{(1)^2} \cdot (1).$$

Для полезнаго же отверстія площади F сила свѣта, напримѣръ въ точкѣ M , будетъ

$$J_f = 2650 \cdot k \cdot F.$$

¹⁾ Значенія k опредѣляются по таблицѣ 17, стр. 31, гдѣ показаны коэффициенты потери силы свѣта при прохожденіи его чрезъ разныя средины. Коэффициенты ослабленія равны $\frac{100 - \text{коэф. потери}}{100}$.

²⁾ 2650 децимальныхъ свѣче-метровъ = 2500 вѣмецкихъ свѣче-метровъ.

Но по закону Ламберта (стр. 9):

$$F = 1 \cdot \sin \alpha.$$

Тогда

$$J_f = 2650 \cdot k \cdot 1 \cdot \sin \alpha.$$

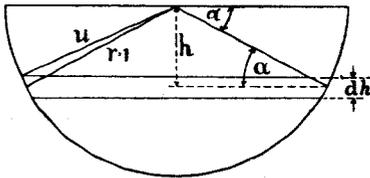
Для всей площади Ω :

$$J = 2650 \cdot k \cdot \sin \alpha \cdot \Omega.$$

Элементарный световой поток на расстоянии одного метра от источника света, будеть

$$\Phi_1 = \int J \cdot d\omega',$$

гдѣ J — есть сила свѣта, падающаго на поверхность шарового пояса (черт. 78), площадью



но

$$d\omega' = dh \cdot 2\pi r,$$

$$h = r \sin \alpha,$$

$$dh = r \cos \alpha \, d\alpha.$$

$$r = 1.$$

Черт. 78.—Къ определению средней освѣщенности.

Такимъ образомъ

$$d\omega' = 2\pi \cdot \cos \alpha \, d\alpha.$$

Подставляя это значеніе въ выраженіе для Φ_1 ¹⁾, получимъ:

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= 2\pi \int_0^{\frac{\pi}{2}} J \cos \alpha \, d\alpha = 2\pi \int_0^{\frac{\pi}{2}} 2650 \cdot k \cdot \sin \alpha \cdot \Omega \cdot \cos \alpha \, d\alpha = \\ &= 2\pi \cdot k \cdot \Omega \cdot 2650 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \alpha \cos \alpha \, d\alpha \text{ } ^1) = 2\pi \cdot k \cdot \Omega \cdot 2650 \left[\frac{\sin^2 \alpha}{2} \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \\ &= \pi \cdot k \cdot 2650 \cdot \Omega \dots \dots \dots \text{ (a)} \end{aligned}$$

Средняя освѣщенность всего помѣщенія:

$$e = \frac{\Phi}{S} = \frac{1}{1 - k_{cp.}} \cdot \frac{\Phi_1}{S} = \frac{\pi \cdot k \cdot 2650 \cdot \Omega}{(1 - k_{cp.}) S} \text{ десятичныхъ свѣч-метровъ. } \text{ (1)}$$

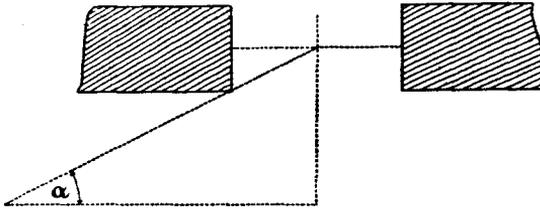
гдѣ S — сумма освѣщенныхъ площадей, а $\frac{1}{1 - k_{cp.}}$ — интегральный коэффициентъ разсѣянн, опредѣляемый изъ таблицы 18 (стр. 39).

2. *Опредѣленіе средней степени освѣщенія въ помѣщеніи, куда дневной свѣтъ попадаетъ черезъ отверстіе, закрытое стекломъ, разсылающимъ свѣтъ.*

¹⁾ При толстыхъ рамахъ для нижняго предѣла интеграла слѣдуетъ брать не 0, а уголъ α по черт. 79.

Принимаемъ слѣдующія данныя для расчета:

Отверстіе въ 1 кв. метръ даетъ освѣщеніе въ 2650 свѣче-метровъ (свѣчи децимальныя),



Черт. 79. — Пределы освѣщенности при толстыхъ рамахъ.

коэффициентъ ослабленія силы дневного свѣта при прохожденіи его черезъ отверстіе пусть равняется k ¹⁾.

Коэффициенты разсвѣянiя:

окна	k' ²⁾ ,
потолка	k_1 ,
стѣнъ	k_2 ,
пола	k_3 .

Назовемъ площади:

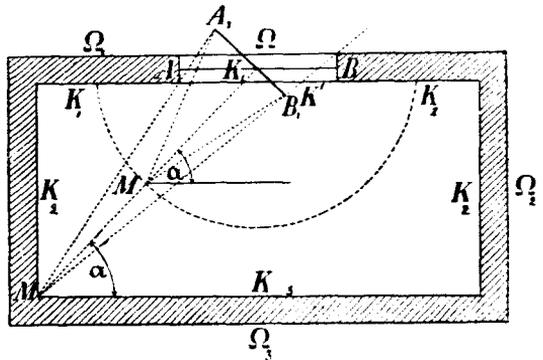
- отверстія . . Ω (въ кв. метр.),
- потолка . . . Ω_1
- стѣнъ Ω_2
- пола Ω_3 .

Полная площадь внутренней поверхности всего помѣщенія:

$$S = \Omega + \Omega_1 + \Omega_2 + \Omega_3.$$

Средній коэффициентъ разсвѣянiя будетъ приблизительно

$$k_{cp.} = \frac{k'\Omega + k_1\Omega_1 + k_2\Omega_2 + k_3\Omega_3}{S}.$$



Черт. 80. — Къ примѣру 2-му.

Сила свѣта на разстояніи 1 метра отъ отверстія по любому направленію по закону Lambert'a, стр. 9 (черт. 78):

$$J_1 = 2650 \cdot k' \cdot \Omega \cdot \sin \alpha,$$

гдѣ α — есть уголъ между взятымъ направленіемъ и плоскостью окна.

¹⁾ Значенія k опредѣляются по таблицѣ 17, стр. 31, гдѣ показаны коэффициенты потери силы свѣта при прохожденіи его чрезъ разныя средины. Коэффициенты ослабленія равны $\frac{100 - \text{коэф. потери}}{100}$.

²⁾ Коэффициенты разсвѣянiя опредѣляются изъ таблицы 12, стр. 25.

На основаніи тѣхъ же соображеній, что и для случая 1-го получимъ, что свѣтовой потокъ на разстояніи 1-го метра отъ отверстія, соотвѣтствующій поверхности полушара

$$\Phi_1 = \pi (1)^2 \cdot J_1 = 2650 \cdot \pi \cdot k' \cdot \Omega \dots (b)$$

Интегральный свѣтовой потокъ, получаемый, если принять во вниманіе вліяніе отраженнаго свѣта, будетъ

$$\Phi = \frac{1}{1 - k_{\text{ср.}}} \Phi_1 \quad ^1).$$

Средняя степень освѣщенія, которую для каждой точки внутренней поверхности принимаютъ такимъ образомъ одинаковой и равной по всѣмъ направленіямъ, будетъ:

$$e = \frac{\Phi}{S} = \frac{2650 \cdot \pi \cdot k' \cdot \Omega}{(1 - k_{\text{ср.}}) \cdot S} \text{ децимальныхъ свѣче-метровъ} \dots (2)$$

Примѣчаніе. Хотя, на первый взглядъ, кажется страннымъ, почему сила свѣта J_1 не уменьшена соотвѣтственно квадратамъ разстояній освѣщаемыхъ поверхностей отъ источника свѣта Ω , но не слѣдуетъ забывать, что это уменьшеніе неявнымъ образомъ входитъ въ выраженіе площади S освѣщаемой поверхности, которая въ замкнутомъ помѣщеніи будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше объемъ помѣщенія и слѣдовательно, чѣмъ дальше отдѣльные элементы помѣщенія отъ источника свѣта.

Сравнивая выраженіе (а) съ тѣмъ (b), которое выведено для разсѣянаго свѣта, видимъ, что отношеніе между величинами свѣтовыхъ потоковъ будетъ

$$\frac{\Phi_{\text{разсѣян.}}}{\Phi_{\text{не разсѣян.}}} = \frac{\pi \cdot k' \cdot 2650 \cdot \Omega}{\pi \cdot k \cdot 2650 \cdot \Omega} = \frac{k'}{k}$$

Если принять для обыкновеннаго (не разсѣивающаго) стекла коэффициентъ ослабленія силы свѣта 0,95, а для рамы (желѣзныхъ) 0,90, то

$$k = 0,95 \cdot 0,90 = \approx 0,86$$

Для разсѣивающаго же свѣтъ стекла и тѣхъ же рамы:

$$k' = 0,70 \cdot 0,90 = 0,63$$

Такимъ образомъ

$$\frac{\Phi_{\text{разс.}}}{\Phi_{\text{не разс.}}} = \frac{0,63}{0,86} = = 0,73,$$

¹⁾ Значенія $\frac{1}{1 - k_{\text{ср.}}}$ опредѣляются по таблицѣ 18, стр. 34.

т. е. свѣтовой потокъ при разсѣивающемъ стеклѣ будетъ слабѣе въ $\frac{1}{0,73} = 1,37$ раза.

Въ разсмотрѣнныхъ нами случаяхъ 1-мъ и 2-мъ для насъ было безразлично, какое положеніе относительно горизонта занимало отверстие Ω . Это не вліяетъ на опредѣленіе *средней* степени освѣщенія, считая величину 2650 постоянной. Теперь перейдемъ къ опредѣленію степени освѣщенія *въ данномъ мѣстѣ* помѣщенія при освѣщеніи его: а) прямымъ свѣтомъ и б) разсѣяннымъ при одной и той же площади отверстия.

3. *Опредѣленіе степени освѣщенія въ данномъ мѣстѣ помѣщенія, куда дневной свѣтъ попадаетъ черезъ отверстие закрытое стекломъ не разсѣивающимъ свѣта.*

Введемъ слѣдующія обозначенія и основныя данныя:

коэффициентъ пропусканія свѣта стекломъ и рамами k_{\perp} 1)

1 кв. метръ отверстия даетъ освѣщеніе на разстояніи 1 метра отъ него децимальныхъ свѣче-метровъ 2650

Полезная площадь отверстия F

Разстояніе разсматриваемой точки A до плоскости полезнаго отверстия (F) a

Уголъ наклона къ разсматриваемой площади средняго луча соединяющаго разсматриваемую точку A съ центромъ тяжести полезнаго отверстия α

При такихъ обозначеніяхъ и данныхъ степень освѣщенія въ данной точкѣ A опредѣляется по формулѣ:

$$B = 2650 \cdot k \cdot \frac{F}{a^2} \cdot \sin \alpha.$$

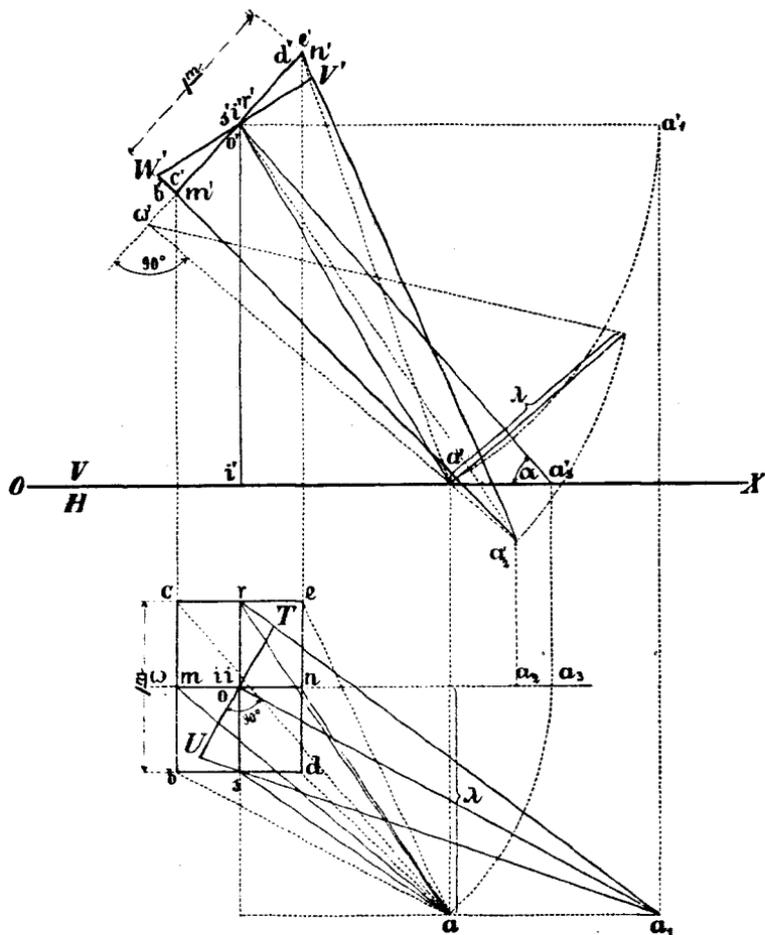
Полезная площадь F можетъ быть опредѣлена слѣдующимъ образомъ.

Пусть отверстие имѣетъ квадратную форму со стороною въ 1 метръ и изображено на черт. 81 въ ортогональныхъ проекціяхъ. Требуется опредѣлить его полезную площадь для точки A , находящейся на полу. Искомую площадь съ достаточной точностью можно опредѣлить слѣдующимъ образомъ. Соединимъ точки B, C, D, E — углы квадрата съ точкою A . Этими пятью точками опредѣляется въ пространствѣ нѣкоторая пирамида $ABCDE$.

Для точнаго рѣшенія вопроса слѣдовало бы засѣчь грани пирамиды

1) $k = \frac{100 - k_n}{100}$, гдѣ k_n опредѣляется изъ табл. 17 стр. 31.

ABCDE шаровой поверхностью произвольнаго радиуса съ центромъ въ точкѣ *A*, далѣе опредѣлить линіи сѣченія этой поверхности съ гранями пирамиды, опредѣлить центръ *F* тяжести полученной неправильной сферической фигуры (четыреугольника), провести въ этой точкѣ плоскость,



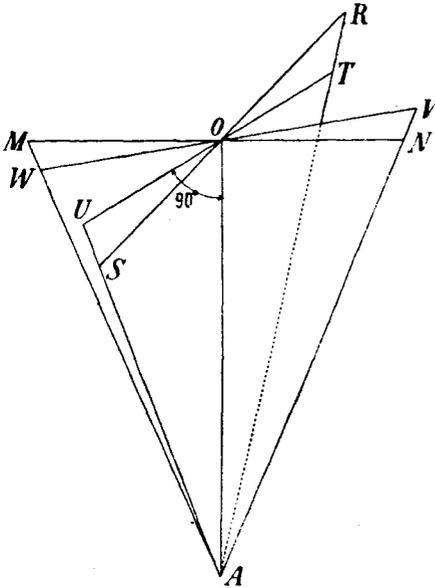
Черт. 81. — Опредѣленіе освѣщенности въ давномъ мѣстѣ пола; свѣтъ не разсѣянный.

касательную къ шаровой поверхности до пересѣченія съ гранями пирамиды. Отрѣзокъ этой плоскости внутри пирамиды и будетъ соответствовать площади полезнаго отверстія при разстояніи его отъ точки *A* въ *AT*. Однако этотъ приемъ весьма затруднителенъ на практикѣ вслѣдствіе трудности опредѣленія центра *F* тяжести сферическаго четырехугольника а также и вслѣдствіе сложности и многочисленности построеній. Въ даль-

найдемъ мы сначала укажемъ болѣе простые и достаточно точные способы опредѣленія площади полезнаго отверстия.

1-й способъ. Соединимъ, середины M, N, R, S сторонъ квадрата и центръ его O съ точкою A и рассмотримъ плоскости ASR и AMN (черт. 82). Эти плоскости пересѣкаются по линіи AO .

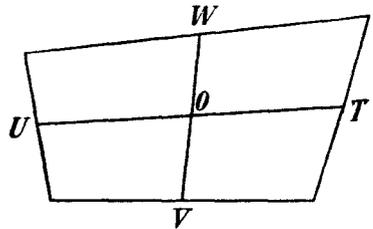
Проведемъ въ плоскости ASR прямую $UOT \perp$ къ AO до пересѣченія съ AS и AR въ точкахъ U и T . Затѣмъ въ плоскости AMN проведемъ черезъ точку O прямую $VOW \perp$ къ AO до пересѣченія съ AM и AN въ точкахъ W и V .



Черт. 82. — Къ опредѣленію площади полезнаго отверстия окна.

Линіями UT и VW опредѣляется плоскость перпендикулярная къ лучу OA . Площадь этой плоскости между гранями пирамиды можно съ достаточною точностью принять равной произведенію $UT \times VW$ (черт. 83).

Посмотримъ, какъ опредѣлить



Черт. 83. — Къ опредѣленію площади полезнаго отверстия окна.

истинныя величины UT и VW въ проекціяхъ (черт. 81).

Опредѣлимъ сначала длину линіи UT . Для этого поворачиваемъ плоскость SRA около горизонтали SR до тѣхъ поръ, пока она не займетъ горизонтальное положеніе SRA_1 . Линія OA займетъ положеніе OA_1 (oa_1', oa_1). Проводимъ черезъ O линію $UT \perp$ къ OA_1 , и опредѣляемъ ея длину UT между линіями A_1S и A_1R .

Для опредѣленія величины линіи VW поворачиваемъ плоскость AMN около какойнибудь ея фронтали, напр. MN до положенія MNA_2 параллельнаго V . Линія OA займетъ положеніе OA_2 ($o'a_2', oa_2$). Проводимъ черезъ O линію \perp къ OA_2 до пересѣченія съ AM и AN въ точкахъ W и V . Отрѣзокъ и будетъ искомымъ. Произведеніе $VW \times UT$ и будетъ выражать достаточно точно полезную площадь отверстия для точки A при разстояніи ея отъ A равнымъ OA .

Уголь α въ формулѣ (1) выражаетъ уголь наклона луча OA къ горизонтальной плоскости H .

Его можно опредѣлить, повернувъ прямую OA около оси JJ проходящей черезъ точку O и \perp къ H до положенія параллельнаго V .

Зная всѣ величины въ формулѣ (1) можно вычислить и степень освѣщенія B въ десятичныхъ свѣчахъ. Это будетъ горизонтальная освѣщенность или освѣщенность горизонтальной плоскости.

Полная степень освѣщенія въ точкѣ A отъ свѣта прямого и разсѣянаго стѣнами, потолкомъ и поломъ выразится формулой,

$$B_1 = \frac{1}{1 - k_{\text{ср.}}} 2650 \cdot k \frac{F}{a^2} \sin \alpha,$$

гдѣ $k_{\text{ср.}}$ опредѣляется также какъ и на стр. 89.

2-й способъ.

а) Построеніе кривой, показывающей измѣненіе степени горизонтальной освѣщенности пола при слѣдующихъ данныхъ и условіяхъ.

Площадь окна = 1 кв. метру. Форма окна—квадратная, причеиъ двѣ стороны его перпендикулярны къ вертикальной плоскости проекцій а двѣ параллельны ей (черт. 84).

Опредѣлимъ измѣненія степени освѣщенія пола по прямой линіи $\omega \cdot \omega$ параллельной OX и проходящую подъ серединою окна. Пусть окно закрыто одиночною желѣзною рамою съ прозрачными стеклами. Степень освѣщенія горизонтальной плоскости для любой точки линіи $\omega\omega$ равна (не принимая во вниманіе разсѣянаго свѣта).

$$B = 2650 \cdot k \frac{F}{a^2} \sin \alpha.$$

По таблицѣ 17 (стр. 31) коэффициентъ пропусканія для двойного оконнаго стекла равно около $(100\% - 12\%) = 88\%$, для желѣзной рамы — $k = 100\% - 10\% = 90\%$, слѣд. полный коэффициентъ

$$k = 0,88 \cdot 0,90 = 0,792 = 0,80.$$

Слѣдовательно

$$B = 2650 \cdot 0,80 \cdot \frac{F}{a^2} \sin \alpha = 2120 \frac{F}{a^2} \sin \alpha,$$

гдѣ F —есть площадь полезнаго отверстія для данной точки пола на прямой $\omega\omega$, a разстояніе этой точки до этой площади и α —уголь наклона къ прямой $\omega\omega$ луча, вдоль котораго измѣряется (a).

Преобразуемъ выраженіе

$$B = 2120 \frac{F}{a^2} \sin \alpha,$$

слѣдующимъ образомъ.

Пусть $F = f \cdot n^2$ гдѣ n — произвольно выбранная единица длины, напр. $n = 1$ метр. а f — отвлеченное число численно равное F .

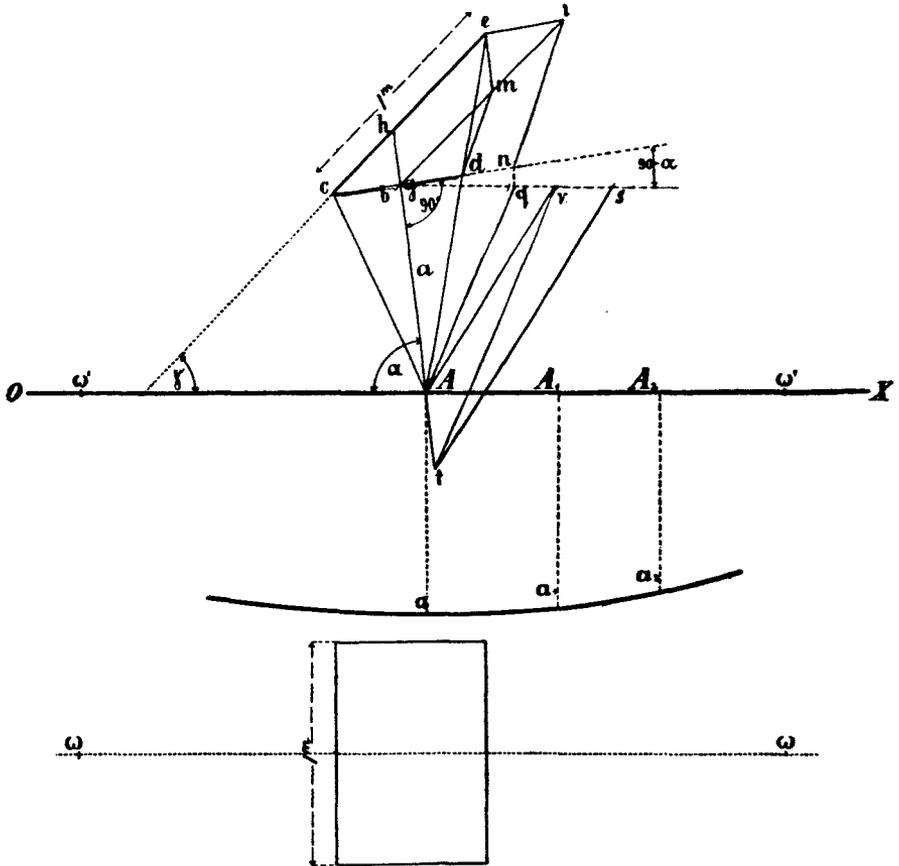
Подставляя значенія F въ выраженіе для B , получимъ

$$B = 21,20 \cdot f \frac{100n^2}{a^2} \sin \alpha = N \cdot f \cdot \sin \alpha \left(\frac{10n}{a} \right)^2$$

гдѣ

$$N = 21,2, \text{ а } n = 1.$$

Число 10 въ скобкахъ введено для того, чтобы при послѣдующихъ графическихъ построеніяхъ величина $10n$ не была слишкомъ мала по



Черт. 84.—Построеніе кривой измѣненія горизонтальной освѣщенности пола.

сравненію съ a которое можетъ достигать величины въ 50 и болѣе метровъ.

Площадь f была опредѣлена уже ранѣе (см. стр. 63, формула 6).

$$f = \frac{b}{2 - \frac{b}{\sin(\alpha + \gamma)}} = \frac{b/2}{1 - \frac{b}{2\sin(\alpha + \gamma)}}$$

Величину f удобнѣе опредѣлять построениемъ.

Откладываемъ (черт. 84) $Ac = Ad$ и проводимъ $cd = b$. Изъ A опускаемъ перпендикуляръ $gA = a$ къ cd . Проводимъ gi параллельно ce и откладываемъ $gi = ce = 1$ метр. Продолжаемъ Ag до пересѣченія съ ce въ точкѣ h . Проводимъ $em \parallel hg$. Тогда gm будетъ равно he . Соединяемъ m съ a и проводимъ $in \parallel md$ и $nq \perp$ къ OX до пересѣченія съ $gs \parallel OX$. При такихъ условіяхъ

$$ch = \frac{b}{2 \sin(\alpha + \gamma)}; he = 1 - ch = 1 - \frac{b}{2 \sin(\alpha + \gamma)}.$$

Изъ подобія треугольниковъ gin и gmd получимъ

$$\frac{gn}{gi} = \frac{gd}{gm}; \text{ но } gi = 1, gd = \frac{b}{2}; gm = he;$$

слѣдовательно

$$gn = \frac{1 \cdot b/2}{1 - \frac{b}{2 \sin(\alpha + \gamma)}} \text{ т. е. } gn = f.$$

Для построенія графическимъ путемъ B поступаемъ слѣдующимъ образомъ.

Соединяемъ g съ A . Отъ точки g откладываемъ вдоль линіи gA отрѣзокъ $gt = 10n$ и проводимъ $tr \parallel gA$. Соединяемъ r съ A и проводимъ $ts \parallel Ar$. Тогда отрѣзокъ gs *выразитъ величину*

$$f \sin \alpha \left(\frac{10n}{a} \right)^2.$$

Дѣйствительно

$$gq = gn \cdot \sin \alpha = f \sin \alpha,$$

$$\frac{gr}{gt} = \frac{gr}{10n} = \frac{gq}{a}; gr = f \sin \alpha \frac{10n}{a}; \frac{gs}{gt} = \frac{gs}{10n} = \frac{gr}{a},$$

т. е.

$$gs = f \sin \alpha \left(\frac{10n}{a} \right)^2,$$

что и требовалось доказать.

Умножая величину gs на 21,2 получимъ и степень освѣщенія горизонтальной плоскости въ свѣче-метрахъ.

Чтобы получить кривую горизонтальной освѣщенности, отложимъ величину gs отъ точки A внизъ по линіи перпендикулярной къ OX ; тогда получимъ точку a .

Построивъ для разныхъ точекъ A_1, A_2, \dots линій $\omega\omega$ пола точки a_1, a_2, \dots и соединивъ ихъ плавною линіею, получимъ искомую кривую.

Принимая же во вниманіе еще освѣщенность свѣтомъ отраженнымъ отъ стѣнъ. получимъ (см. стр. 89) для любой точки A добавочную освѣ-

ценность

$$B_1 = \frac{1}{1 - k_{cp.}} B.$$

гдѣ $k_{cp.}$ опредѣляется изъ таблицъ 12 (стр. 25) и 18 (стр. 34), именно, полагая, что поверхность пола, стѣнъ и потолка имѣть средній коэф-фициентъ разсѣянiя 0,20 получимъ

$$\frac{1}{1 - k_{cp.}} = \frac{1}{1 - 0,20} = 1,25$$

Слѣдовательно полная степень освѣщенiя для любой точки выразится черезъ

$$B_1 = \frac{1}{1 - k_{cp.}} B = 1,25 \cdot 21,2 \cdot f \sin \alpha \left(\frac{10n}{a} \right)^2 = 26,5 \cdot g_s.$$

Разсматривая способы I и II совмѣстно, мы можемъ для опредѣленiя степени освѣщенiя горизонтальной плоскости въ какой-нибудь данной ея точкѣ A_1 (черт. 85), примѣнять слѣдующій приемъ:

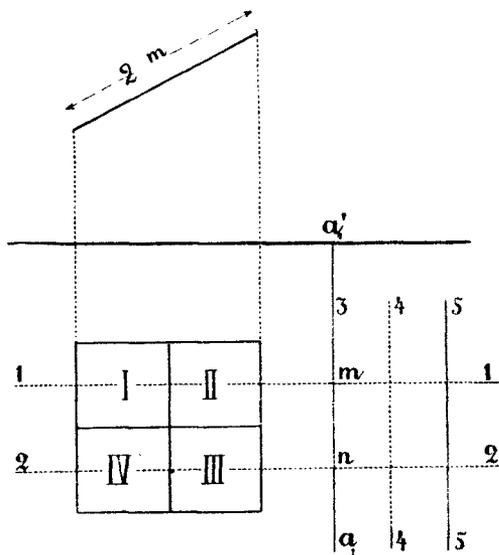
Пусть площадь U окна = 4 кв. метр. и плоскость окна перпендикулярна къ вертикальной плоскости проекци V .

Раздѣляемъ U на 4 площадки I, II, III, IV каждая по 1 кв. метру по возможности ближе приближающiеся къ формѣ квадрата.

Проводимъ вертикальныя плоскости 1,1 и 2,2 параллельныя V черезъ центры площадки I, II, III и IV. На черт. 85 плоскости соотвѣтствующiя площадкамъ I и II равно какъ и III и IV — соотвѣтственно совпадаютъ. За-

мѣчаемъ ливни сѣченiя 1,1 и 2,2 этихъ плоскостей съ плоскостью пола.

Далѣе, черезъ заданную точку A_1 проводимъ линiю 3,3 перпендикулярную къ ливнямъ 1,1 и 2,2 и замѣчаемъ точки M и N пересѣченiя ея съ линiями 1,1 и 2,2. Опредѣляемъ для точекъ M и N линiй 1,1 и 2,2 соотвѣтственныя степени освѣщенiя отъ площадокъ I, II, III и IV, какъ это показано въ случаѣ 2-мъ (а) стр. 94. Затѣмъ опредѣляемъ степени освѣщенiя для точки A_1 соотвѣтственно отъ площадокъ I, II, III и IV.



Черт. 85. — Общiй приемъ опредѣленiя степени освѣщенiя.

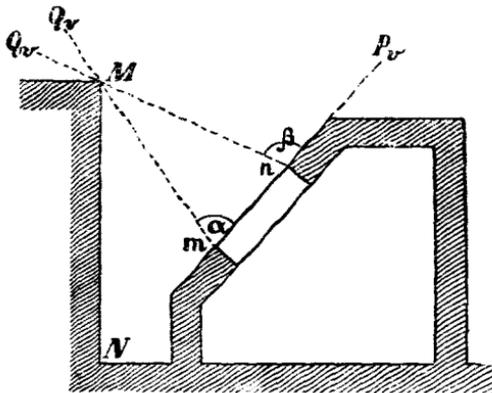
какъ это показано въ случаѣ 1-мъ стр. 93. Складывая полученныя степени освѣщенія, получимъ полную степень освѣщенія точки A_1 .

Если бы требовалось опредѣлить степень освѣщенія вертикальной плоскости въ точкѣ A_1 , т. е. вертикальную освѣщенность, то сначала слѣдовало бы задаться положеніемъ вертикальной плоскости, проходящей через точку A_1 , а затѣмъ произвести всѣ аналогичныя опредѣленія, считая эти плоскости за новую горизонтальную.

Такъ какъ въ большинствѣ случаевъ приходится опредѣлять горизонтальную освѣщенность, то для облегченія этого опредѣленія можно было

бы построить кривыя двухъ категорій, соответствующія случаямъ I и II стр. 93 и 94, для разныхъ высотъ и разныхъ угловъ наклона къ плоскости пола площади оконнаго отверстія равной 1 кв. метру.

При этомъ высота надъ поломъ нижняго края окна, параллельнаго плоскости пола слѣдовало бы принять равной $H = 0,1,2, \dots 25$ метр. (всего 26) и углы наклона $\alpha = 0,5,10 \dots 90^\circ$ (всего 19). Такимъ образомъ получилось бы $26 \times 19 = 494$ кривыхъ.



Черт. 86. — Къ опредѣленію освѣщенности при разсѣивающихъ стеклахъ.

Если для каждой изъ полученныхъ кривыхъ построить кривыя (случай 1-й, стр. 93) — 3,3; 4,4; 5,5, т. д. располагая ихъ черезъ 1 метръ другъ отъ друга, то получимъ новыя кривыя. Имѣя всѣ эти кривыя нетрудно опредѣлить и освѣщенность горизонтальной плоскости для любого оконнаго отверстія произвольной площади, произвольной формы и произвольнымъ образомъ расположеннаго. Для этого его надо разбить на площадки квадратной формы, площадью въ 1 кв. метръ каждая, и опредѣлить отъ каждой площадки степень освѣщенія въ заданной точкѣ. Сумма степеней освѣщенія отъ всѣхъ площадокъ и будетъ искомою степенью освѣщенія въ данной точкѣ.

4. *Опредѣленіе степени освѣщенія въ данномъ мѣстѣ помѣщенія, куда дневной свѣтъ попадаетъ черезъ отверстіе, закрытое стекломъ, разсѣивающимъ свѣтъ.*

Будемъ разсматривать два случая:

а) Передъ окномъ находится стѣна, отчасти заграждающая доступъ свѣта (черт. 86).

в) Передъ окномъ стѣны не находится.

Случай а. Если передъ окномъ находится стѣна, отчасти заграждающая доступъ свѣта въ окно, то тогда слѣдуетъ опредѣлять среднюю освѣщенность окна mn (черт. 86) и затѣмъ принять, что само окно mn будетъ служить источникомъ свѣта для освѣщенія внутренней части помѣщенія.

Для опредѣленія же средней освѣщенности окна mn поступаемъ слѣдующимъ образомъ:

Опредѣлимъ освѣщенность B_m и B_n точек m и n окна. Тогда, предполагая окно прямоугольнымъ, среднюю освѣщенность его можно принять равной

$$B_{\text{ср.}} = \frac{B_m + B_n}{2}.$$

Вопросъ сводится, слѣдовательно, къ опредѣленію освѣщенности точки плоскости mn , когда на нее падаютъ лучи отъ части небеснаго свода, заключеннаго между двумя плоскостями: P —плоскостью окна и Q —проходящею черезъ рассматриваемую точку m , и линію M преграждающую доступъ свѣта. Пусть уголъ между плоскостями P и Q будетъ α .

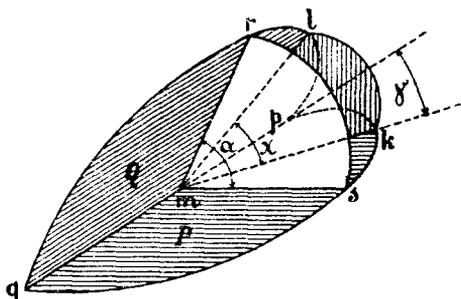
Опишемъ изъ точки m , какъ изъ центра, шаръ радиусомъ, равнымъ единицѣ длины,—тогда часть поверхности его между плоскостями P и Q будетъ представлять двусторонникъ pqr (черт. 87).

Разсмотримъ какой нибудь бесконечно узкій элементъ lk поверхности двусторонника. При этомъ предположимъ, что плоскость mlk (черт. 88) перпендикулярна къ плоскости P . Освѣщенность точки m отъ свѣта, пропускаемаго этимъ элементомъ, будетъ зависѣть отъ угла x , подъ которымъ виденъ этотъ элементъ изъ точки m , а уголъ x зависить отъ угла γ наклона плоскости mlk къ линіи pq . Съ возрастаніемъ угловъ γ и x возрастаетъ и освѣщенность точки m . Слѣдовательно намъ пужно опредѣлить освѣщенность точки m въ функціи отъ двухъ переменныхъ γ и x .

Обозначимъ элементы сферическаго прямоугольнаго треугольника pkl (черт. 88) слѣдующимъ образомъ:

Стороны pk черезъ γ	Углы klp черезъ η
» pl » d	» kpl » α
» kl » x	» pkl » $\delta = 90^\circ$.

Освѣщенность B_m точки M черезъ отверстіе plk (черт. 87 и 88)



Черт. 87. — Къ опредѣленію освѣщенности точки подъ открытымъ небомъ.

можно выразить слѣдующимъ образомъ:

$$B_m = 2650 \cdot \frac{F}{v^2} \sin y \text{ децим. свѣче-метр.} \quad (1)$$

гдѣ F — площадь сферическаго треугольника plk ,

v — радиусъ шара, на которомъ расположенъ этотъ треугольникъ,

y — уголъ между плоскостью trk и лучемъ, проходящимъ въ точку m и черезъ центръ тяжести сферическаго треугольника.

На основаніи формулъ сферической тригонометріи имѣемъ:

$$F = \frac{\pi v^2}{180} \cdot \varepsilon, \quad (2)$$

гдѣ ε — сферическій избытокъ = $\alpha + \delta + \eta - 180^\circ$,

$$\sin y = \frac{t}{v},$$

гдѣ t — разстояніе центра тяжести сферическаго треугольника до плоскости trk .

$$t = \frac{\gamma - x \cos \delta - d \cos \alpha}{\varepsilon} \cdot \frac{180}{\pi} \cdot \frac{v}{2}$$

(см. Hütte, ч. I, стр. 171).

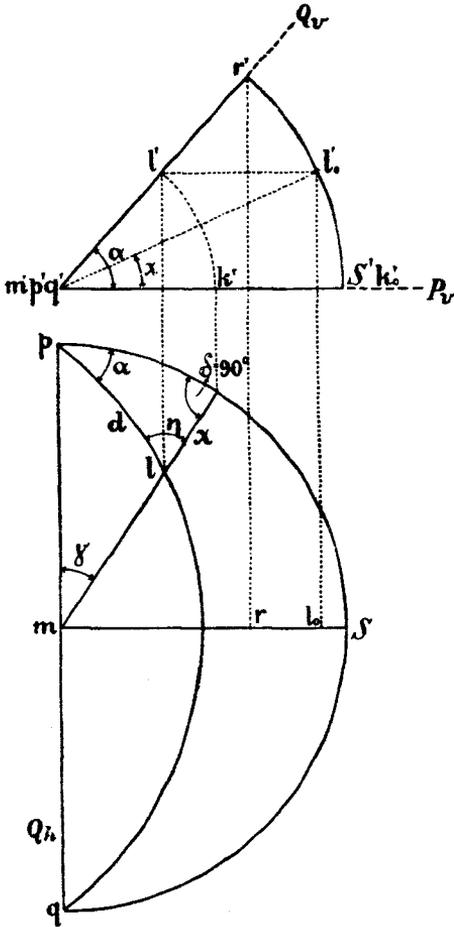
Слѣдовательно

$$\sin y = \frac{\gamma - x \cos \delta - d \cos \alpha}{\varepsilon} \cdot \frac{180}{2\pi};$$

но изъ прямоугольнаго сферическаго треугольника plk имѣемъ:

$$tg d = \frac{tg \gamma}{\cos \alpha}, \text{ откуда } d = \text{arc tg } \frac{tg \gamma}{\cos \alpha} \quad (3)$$

¹⁾ На черт. 88 дуга plq должна проходить черезъ точку r . Кроме того пропущена буква k у вершины угла $\delta = 90^\circ$.



Черт. 88. — Къ опредѣленію освѣщенности точки подъ открытымъ небомъ.

Далѣ, такъ какъ $\delta = 90^\circ$, то $\cos \delta = 0$. Слѣдовательно

$$\sin y = \frac{\gamma - \left(\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\cos \alpha} \right) \cos \alpha}{\varepsilon} \cdot \frac{180}{2\pi} \dots \dots \dots (4)$$

Подставляя выраженія (2) и (4) въ выраженіе (1), получимъ величину освѣщенности точки m черезъ отверстіе $pk'l$

$$B_m = 2650 \cdot \frac{\gamma - \left(\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\cos \alpha} \right) \cos \alpha}{2} \dots \dots \dots (5)$$

Здѣсь γ и $\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\cos \alpha}$ выражаютъ длины дугъ при радиусѣ, равномъ единицѣ. По чертежу же мы можемъ удобно измѣрять транспортиромъ лишь углы, соотвѣтствующіе этимъ дугамъ. Для перехода отъ полученныхъ угловъ къ дугамъ мы должны въ формулу (5) ввести въ видѣ множителя коэффициентъ, опредѣляемый изъ уравненія

$$\frac{x}{2\pi} = \frac{\gamma}{360}; \quad x = 0,0175 \gamma,$$

откуда этотъ коэффициентъ равенъ 0,0175.

Поэтому окончательно освѣщенность точки m опредѣлится формулою

$$B_m = 2650 \cdot \frac{\gamma - \left(\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\cos \alpha} \right) \cos \alpha}{2} \cdot 0,0175$$

или

$$B_m = 23,19 \left[\gamma - \left(\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\cos \alpha} \right) \cos \alpha \right] \dots \dots \dots (6)$$

При $\gamma = \frac{\pi}{2}$ изъ формулы (5) получаемъ

$$B_{m\gamma=\frac{\pi}{2}} = 2650 \cdot \frac{\pi}{4} (1 - \cos \alpha) \dots \dots \dots (7)$$

При $\gamma = \frac{\pi}{2}$ и $\alpha = \frac{\pi}{2}$

$$B_{m\gamma=\alpha=\frac{\pi}{2}} = 2650 \cdot \frac{\pi}{4}, \dots \dots \dots (8)$$

что соотвѣтствуетъ освѣщенности точки m при отверстіи, равномъ $\frac{1}{8}$ поверхности шара.

Освѣщенность точки m при отверстіи, равномъ $\frac{1}{4}$ поверхности шара, будетъ

$$B_{m\gamma=\pi; \alpha=\frac{\pi}{2}} = 2650 \cdot \frac{\pi}{2} \dots \dots \dots (9)$$

Освѣщенность точки m при отверстіи, равномъ $\frac{1}{2}$ поверхности шара

напримѣръ, когда точка находится на землѣ подь открытымъ небомъ, будетъ

$$B_{m\gamma=\alpha=\pi} = 2650 \cdot \pi, \dots \dots \dots (10)$$

что соотвѣтствуетъ выводамъ Моринна (стр. 53) и Ментца (стр. 80). Освѣщенность точки *n* (черт. 86) на основаніи формулы (6) будетъ

$$B_n = 23,19 \cdot \left[\gamma' - \left(\text{arc tg } \frac{\text{tg } \gamma'}{\cos \beta} \right) \cos \beta \right].$$

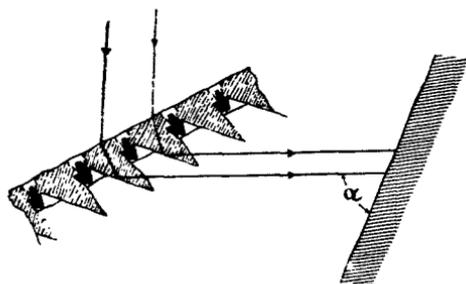
Среднюю освѣщенность окна *mn* можно принять

$$B_{mn} = \frac{B_n + B_m}{2}.$$

Далѣе, для опредѣленія освѣщенности точекъ внутри помѣщенія поступаемъ такъ же, какъ и для случая 3, стр. 94, но вмѣсто коэффициента 2650 принимаемъ лишь B_{mn} , т. е. опредѣляемъ освѣщенность по формулѣ

$$B = B_{mn} \cdot k \cdot \frac{F}{a^2} \sin \alpha,$$

гдѣ всѣ буквы имѣютъ то же значеніе, что и ранѣе за исключеніемъ B_{mn} . При этомъ будемъ уже предполагать, что передъ окномъ стѣны нѣтъ.



Черт. 89. — Освѣщенность отклоненнымъ свѣтомъ.

Случай в. Если передъ окномъ стѣны не находится, то освѣщенность опредѣляется такъ же, какъ если бы стекло было разсѣивающимъ, т. е. по способу 3-му взявъ лишь для *k* величину соотвѣтствующаго коэффициента разсѣянія, изъ табл. 12, стр. 25, а не пропусканія.

Примѣчаніе. Стекла могутъ быть устроены не разсѣивающими, а лишь отклоняющими свѣтъ по извѣстному направленію. Тогда, если передъ окномъ есть стѣна, то сначала слѣдуетъ опредѣлить среднюю освѣщенность (B_{mn}) такого стекла, какъ это указано въ примѣрѣ 4, а затѣмъ имѣть въ виду, что свѣтъ изъ окна распространится лишь по извѣстному направленію, т. е. освѣщенность какой иибудь точки будетъ зависѣть лишь отъ величины разстоянія (*a*) точки отъ стекла, т. е. опредѣлится по формулѣ

$$B = k \cdot B_{mn} \frac{1}{a^2} \sin \alpha,$$

гдѣ α (черт. 89), уголъ наклона луча къ освѣщаемой поверхности.

Если же стекла часть (*p*) свѣта преломляютъ и выпускаютъ по из-

вѣстному направленію, а часть (q)—разсѣиваютъ, то тогда освѣщенность точекъ, лежащихъ на пути отклоненныхъ лучей, составляется изъ суммы освѣщенностей а) отклоненныхъ лучей и б) разсѣянныхъ лучей.

Освѣщенность же точки, лежащей внѣ пути отклоненныхъ лучей, опредѣлится лишь частью (q) разсѣяннаго свѣта.

Не слѣдуетъ забывать, что въ формулы слѣдуетъ вводить еще интегральный коэффициентъ разсѣянія $\frac{1}{1-k_{cp}}$ по табл. 18, стр. 34.

Примѣчаніе къ примѣру 3-му (2-й способъ, стр. 94). Можно опредѣлить освѣщенность точки A и сразу для окна T метр. шириною и S метр. высотой. Для этого слѣдуетъ лишь формулу 2 (стр. 66) измѣнить такъ: $f = (T + N_1 N_2) \frac{b}{2}$, а формулу 4 (стр. 67) такъ: $MP + PQ = S$, и произвести тѣ же вычисленія, что и на стр. 66—68. Тогда получимъ:

$$f = \frac{\frac{b}{2} S}{S - \frac{b}{2 \sin(\alpha + \gamma)}} \cdot T.$$

При этихъ условіяхъ построенія чертежа 84 останутся тѣми же, лишь се будетъ равняться S метр., и окончательный результатъ (gs) надо увеличить въ T разъ.

ГЛАВА VI.

Сорта и нѣкоторыя свойства стеколъ.

1) *Составъ стеколъ и общее описаніе ихъ приготовленія.*

Стекло представляет собою сплавленную смѣсь различныхъ силикатовъ (соединеній кремнезема), которая при высокой температурѣ жидка, при охлажденіи дѣлается сначала тягучею, а затѣмъ застываетъ въ аморфную, обыкновенно прозрачную твердую массу. Для того, чтобы силикаты лучше противостояли атмосфернымъ и химическимъ вліяніямъ необходимо, чтобы, кромѣ соединеній кремнезема (который можно отчасти замѣнить борной кислотой) съ калиемъ или натріемъ, онъ содержалъ силикаты элементовъ группъ кальція, магнія и желѣза. Такъ какъ обыкновенно для этого берутся силикаты кальція и свинца, къ которымъ въ производствѣ цвѣтныхъ стеколъ прибавляются соединенія нѣкоторыхъ другихъ металловъ, то можно *по составу* различать слѣдующіе главные сорта стеколъ:

- 1) Натріевокальціевые силикаты или натріевое стекло.
- 2) Калиевокальціевые силикаты или калиево стекло.
- 3) Щелочносвинцовые силикаты или свинцовое стекло.
- 4) Цвѣтная стекла.
- 5) Силикаты щелочей или растворимое стекло (сплавъ щелочей съ кремнеземомъ).

Въ таблицѣ 26 показанъ составъ стеколъ разныхъ сортовъ *).

Изъ числа другихъ составныхъ частей иногда въ стеклѣ встрѣчается алюминій (кальціевоалюминіево стекло) и фосфоръ (фосфорное стекло для сосудовъ съ хлористымъ водородомъ).

Вообще для различныхъ цѣлей при приготовленіи стекла берутся слѣдующіе главнѣйшіе матеріалы:

- 1) Кремнеземъ SiO_2 (кварцъ, песокъ или кремень).
- 2) Борная кислота (въ видѣ буры) замѣняетъ въ нѣкоторыхъ сортахъ стекла часть кремнекислоты, облегчаетъ сплавленіе массы, сообщаетъ стеклу блескъ.

*) См. Р. Вагнеръ «Химическая технология» С.-Петербургъ 1892 г.

ТАБЛИЦА 26.

Составъ различныхъ стеколъ.

	SiO_2 кремнезв.	Na_2O окись натрия.	K_2O окись калия	CaO окись кальция (известь).	MgO магнезия.	Fe_2O_3 окись желвза.	Al_2O_3 глиноземъ.	MnO зввкъ марганца.	SrO свръшнй ангидридъ.	PbO свинцов. глетъ.
Натриево стекло:										
Саарбрюкенское оконное стекло . . .	71,27	12,50	—	14,13	—	1,44	—	—	0,21	—
Виттеское оконное стекло	72,25	13,02	—	13,40	—	1,23	—	—	0,12	—
Штольбергское оконное стекло . . .	72,42	12,71	—	13,81	—	0,93	—	—	0,14	—
Стекланныя колбы зав. Штендера, Гр. Рюдень въ Ганноверъ	73,79	13,94	0,60	8,61	0,12	0,68	0,58	0,32	—	—
Зеркальное стекло изъ Мюнстербуша .	72,31	11,42	—	14,96	—	—	0,81	—	—	—
Оконное стекло изъ Мюнстербуша . .	72,80	12,30	—	14,10	—	0,73	—	—	—	—
Трубка для сожгана изъ Варм- брунна, Квиланда и К°	74,06	11,46	3,92	9,71	—	0,98	—	—	—	—
Блвое аптечное стекло рейнскаго зав.	72,07	18,45	—	8,96	—	0,54	—	—	—	—
Цвизельское блвое полосе стекло . .	78,39	13,91	—	7,10	—	0,21	0,24	0,15	—	—
Литое зерк. стекло Анедуга (Деритъ)	74,05	10,95	—	12,96	—	1,87	—	—	—	—
Посудное стекло (С.-Нетербургск.).	74,66	10,36	4,32	9,13	—	0,78	—	—	—	—
Русское полублвое полосе стекло . .	74,00	17,44	—	7,35	—	0,21	0,20	0,80	—	—
Тоже	69,99	17,96	—	9,90	—	0,39	1,11	0,65	—	—
Венецанское оконное стекло	68,60	8,10	6,90	11,90	2,10	1,20	0,30	—	—	—
Блвое стекло изъ Бавью, ок. Немура .	72,0	17,0	—	6,4	—	1,1	2,6	—	—	—
Французское аптечное стекло	62,0	16,4	—	15,6	2,2	0,7	2,4	—	—	—
Французскй прогласъ для маяковъ . .	72,1	12,0	—	15,7	—	слвды	слвды	—	—	—
Англйское зеркальное стекло зав. въ С.-Эленъ	77,36	13,06	3,02	5,31	—	0,92	слвды	—	—	—
Тоже—Лондонско-Темзскаго О-ва . .	78,69	11,63	1,34	6,10	—	слвды	2,68	—	—	—
Тоже—Лондонско-Манчестерск. О-ва .	77,91	12,36	1,73	4,85	—	—	3,60	слвды	—	—
Окон. стекло изъ Шарлеруа въ Бельгiн	74,82	13,01	—	11,21	—	1,03	—	—	слвды	—
Американское прессованное стекло .	75,00	18,62	—	5,18	0,52	0,19	0,11	0,38	—	—
Налвено стекло.										
Блвое венецанское стекло	68,6	8,1	6,9	11,0	2,1	0,2	1,2	0,1	—	—
Блв. стекло изъ Нейвельтавъ Богемiн	71,7	2,5	12,7	10,3	—	0,3	0,4	0,2	—	—
Богемскiя стекланныя трубки	74,4	—	18,5	7,2	—	—	0,1	—	—	—
Тоже	73,13	3,07	11,49	10,43	0,26	0,13	0,3	0,46	—	—
Тоже	71,6	—	11,0	10,0	2,3	3,9	2,2	0,2	—	—
Богемское зеркальное стекло 1) . . .	67,7	—	21,0	9,9	—	—	1,4	—	—	—

1) Богемскiя (бемениа) шлифованныя стекла (стекло по стеклу) называются легерными.

	SiO_2 кремнезем.	Na_2O окиси натрия.	K_2O окиси калия	CaO окиси кальция (известь).	MgO магнезия.	Fe_2O_3 окиси желѣз.	Al_2O_3 глинозем.	MnO зависъ мар- ганца.	SO_3 сѣрный анг- дриль.	PbO свинцов. глетт.
Богемское стекло средняго качества . . .	76,0	—	15,0	8,0	—	—	1,0	—	—	—
Рюмки изъ Норты въ Финляндіи . . .	74,37	3,42	12,71	9,02	—	0,71	—	—	—	—
Дертское зеркальное стекло	62,29	6,78	21,12	6,50	—	3,25	—	—	—	—
Русскіе стаканы	73,90	6,90	12,55	5,65	—	0,90	—	—	—	—
Свиное стекло.										
Хрусталь изъ Бовеша	56,0	—	6,6	—	—	—	1,0	—	—	34,4
Хрусталь лондонск. для книж. прибор.	59,2	—	9,0	—	—	0,4	—	1,0	—	28,2
Тоже въ вѣстельскій	51,4	—	9,4	—	—	2,0	—	—	—	37,4
Тоже изъ Баккара	51,1	1,7	7,6	—	—	1,3	—	—	—	38,3
Французское ламповое стекло	48,1	—	12,5	0,6	—	0,5	—	—	—	38,0
Флинтгласъ изъ Гиво	42,5	—	11,7	0,5	—	—	1,8	As_2O_5 слѣды	—	43,5
Тоже изъ Вальдштейна около Вавы . . .	75,24	—	12,51	1,48	—	слѣды	слѣды	—	—	10,48
Французское прессованное стекло	50,18	—	11,62	—	—	слѣды	0,14	слѣды	—	38,11
Англійское прессованное стекло	61,27	7,55	7,07	1,05	—	—	0,86	—	—	22,36
Низкіе сорта. (Бутылочное стекло).										
Хорошая винная бутылка изъ Савиньи . .	60,0	3,1	—	22,3	—	4,0	8,0	1,2	—	—
Тоже изъ С.-Этьена	60,4	3,2	BaO 0,9	20,7	0,6	3,8	10,4	—	—	—
Тоже изъ Эннака	59,6	3,2	—	18,0	7,0	4,4	6,8	0,4	P_2O_5 0,4	—
Хорошая бутылка для шампанскаго . . .	58,4	9,9	1,8	18,6	—	8,9	2,1	—	—	—
Бутылочное стекло изъ Толлебра	61,35	2,80	2,01	24,66	—	5,51	3,67	—	—	—
Тоже изъ монпельера	66,04	2,83	2,82	22,88	—	2,78	2,65	—	—	—
Француз. бутылка развѣден. виномъ . .	52,4	—	4,4	32,1	—	6,0	5,1	—	—	—
Тоже англійская	49,00	7,25	2,0	24,75	2,00	10,0	4,1	слѣды	—	—
Хорошая англійская бутылка	59,00	10,00	1,7	19,90	0,50	7,0	1,2	—	—	—
Тоже съ парижской выставка	53,25	4,25	—	25,5	2,0	15,0	—	—	—	—
Швед. бутылка (съ свѣик. шпатоу) . . .	55,20	6,99	2,85	15,40	1,08	3,6	11,0	2,79	F 1,75	—
Бутылка завода Сименса въ Дрезденѣ . .	63,91	7,05	—	14,52	—	13,97	—	—	0,55	—
Водоѣмная трубка плоская	69,55	13,61	0,41	15,09	0,42	0,33	0,42	—	—	—
Таже трубка, развѣдывающая водою . .	70,12	13,01	0,42	14,94	0,38	0,39	0,37	—	—	—
Водоѣмная трубка развѣдывающая . . .	72,63	14,86	—	9,92	—	2,07	—	—	слѣды	—
Тусклое оконное стекло	69,37	21,11	—	7,54	—	1,55	—	—	0,40	—
Непрозрачное стекло	73,64	16,54	—	7,85	—	1,59	—	—	0,38	—
Анализирующее зеркальное стекло . . .	73,70	17,18	—	6,53	—	1,89	—	—	0,70	—
Пятнистое оконное стекло	66,97	5,61	18,49	5,60	—	3,10	—	—	—	—

3) Щелочные плавни (кали и натръ): кали въ видѣ поташа или древесной золы и т. п., натръ въ видѣ соды и т. п.

4) Известь (въ видѣ мрамора или мѣла).

5) Окись свинца (въ видѣ сурика) прибавляется для полученія большей свѣтопреломляющей способности стекла, бѣльшаго его удѣльнаго вѣса, мягкости и способности стекла шлифоваться; придаетъ стеклу слабожелтоватый оттѣнокъ.

6) Окись цинка (въ видѣ цинковыхъ бѣлилъ) отнимаетъ отъ стекла зеленое окрашиваніе и сообщаетъ ему сильный глянецъ.

7) Окись висмута.

8) Перекись марганца прибавляется для обезцвѣчиванія стеклянной массы. Въ большомъ количествѣ она придаетъ фиолетовый цвѣтъ.

9) Мышьяковистая кислота прибавляется для очищенія стеклянной массы.

10) Селитра прибавляется для той же цѣли, что и мышьяковистая кислота.

11) Сурикъ прибавляется также для обезцвѣчиванія.

12) Сурьма прибавляется для обезцвѣчиванія и для сообщенія стеклу большаго блеска.

13) Стеклянный бой въ количествѣ около $\frac{1}{3}$ готоваго стекла, какъ элементъ, заключающій много полезныхъ примѣсей.

Приготовленіе стекла въ общихъ чертахъ заключается въ слѣдующемъ *). Въ печи, доставляющія сильный жаръ, ставятся большіе, приготовленные изъ глины горшки или чашки. Въ эти послѣдніе вводится предварительно накалившаяся масса, назначенная для приготовленія стекла, и температура постоянно повышается. При этомъ замѣчается три главныхъ момента: сперва масса прокаливается и начинаетъ реагировать, потомъ она плавится и выдѣляетъ угольную кислоту (**), образуетъ сплавъ, а наконецъ въ самомъ сильномъ жару образовавшійся сплавъ пріобрѣтаетъ равномерность, перемѣшивается и становится жидкимъ, что необходимо какъ для CO_2 , такъ и твердыхъ веществъ, скопляющихся въ осадкѣ. Когда стекло получилось такимъ образомъ въ горшкахъ, температура нѣсколько понижается, стекло набирается въ желѣзные трубки и, при посредствѣ подходящихъ формъ, выдувается въ предметы различнаго вида (мелкое стекло).

Для изготовленія листового стекла выдувають большіе полые цилиндры, которые потомъ обрѣзываютъ по концамъ и вдоль цилиндра, а потомъ въ жару разгибаютъ для приданія обыкновеннаго вида, который

*) Д. Менделѣевъ «Основы химіи» С.-Петербургъ 1895 г. и Р. Вагнеръ «Химическая технология» С.-Петербургъ 1892 г.

***) Въ массу обыкновенно прибавляется уголь.

свойственъ такому стеклу. Стекланный предметъ послѣ обработки подвергается медленному охлажденію въ особыхъ печахъ, иначе стекло получается очень хрупкимъ. Затѣмъ очень часто стекланные предметы подвергаютъ шлифованію и обдѣлкѣ. Для приготовленія зеркалъ и многихъ массивныхъ предметовъ стекла отливаютъ, а затѣмъ шлифуютъ и полируютъ. Для окрашиванія стекла или вводить непосредственно въ стекло различныя окислы, способные предавать ему характерныя цвѣта, или же только на поверхность накладываютъ тонкій слой окрашеннаго стекла, получая дублированное стекло. При этомъ обыкновенно для зеленыхъ стеколъ употребляется окиси хрома и мѣди, для синяго стекла—окись кобальта, для фіолетоваго—окись марганца, для краснаго стекла примѣняютъ закись мѣди и кассіевъ нурпуръ, желтый цвѣтъ получаютъ при посредствѣ окисей желѣза, серебра и сурьмы, а также при посредствѣ угля, въ особенности для приданія коричневаго цвѣта.

2) Нѣкоторыя физическія свойства стеколъ.

Удѣльный вѣсъ щелочнокальціева стекла колеблется въ среднемъ въ предѣлахъ между 2,4 и 2,6, щелочносвинцоваго стекла—между 3,0 и 3,8 и только удѣльный вѣсъ талліеваго стекла доходить до 5,625. При расчетахъ свѣтовыхъ фонарей принимаютъ удѣльный вѣсъ 2,6; *отсюда вѣсъ 1 кв. метра листа толщиной въ 1 мм. равняется 2,6 кгр.* При медленномъ охлажденіи удѣльный вѣсъ стекла увеличивается. Линейное расширеніе стекла при нагрѣваніи отъ 0° до 100° составляетъ отъ 0,0007 до 0,0009. Коэффициентъ кубическаго расширенія 0,000027 ¹⁾). Свѣтопреломляющая способность стекла съ увеличеніемъ содержанія кремнезема и глинозема уменьшается, съ возрастаніемъ же содержанія свинца сильно увеличивается.

Стекло обладаетъ свойствомъ пропускать тепловые лучи естественнаго источника свѣта солнца и не пропускаетъ тепловыхъ лучей искусственнаго—огня. На этомъ, между прочимъ, основано примѣненіе стекланныхъ экрановъ передъ каминами.

3) Сорты стеколъ.

Смотря по составу, способамъ производства, назначеніе и способамъ формирванія, различаютъ слѣдующіе сорта стеколъ:

I. Стекло не содержащее свинца:

А. Растворимое стекло.

В. Плоское стекло.

а) листовое, оконное, лунное;

б) зеркальное;

¹⁾ Д. Менделѣевъ. Основы химіи, стр. 518.

Менделѣевъ даетъ для удѣльнаго вѣса обыкновеннаго натроваго стекла 0,5, бургскаго 2,4, бутылочнаго 2,7. Для хрустала 2,9—3,2.

С. Полое стекло.

- а) обыкновенное бутылочное;
- б) аптечное и парфюмерное;
- в) бѣлое посудное (стаканы, рюмки, графины);
- г) водопроводныя и газопроводныя трубы;
- д) химическая посуда, колбы, реторты;
- е) закаленное стекло;

Д. Пресованное стекло (выдудое въ формы).

II. Стекло содержащее свинецъ:

- А. Хрусталь (клингласъ).
- В. Оптическое стекло (флинтгласъ).
- С. Эмаль.
- Д. Стразъ.

III. Цвѣтное стекло.

IV. Стекланныя украшенія (миллефюры, ретикулированное стекло, петинетное стекло, инкрустаціи, ледяное стекло, стекланныя пряжа, бусы).

По способамъ первой формовки стекло можно раздѣлить на слѣдующіе виды:

I. Стекло быстро охлаждаемое и не подвергаемое дальнѣйшей обработкѣ (растворимое стекло и шмальта).

II. Стекло, механическая обработка котораго начинается только послѣ окончательнаго охлажденія (оптическія стекла, поддѣльные драгоценныя камни).

III. Стекло, обрабатываемое послѣ провара и студки (на трубкѣ и щипцами).

IV. Стекло формуемое въ жидкомъ состояніи, раньше студки (литое и пресованное стекло).

V. Закаленное стекло, которому твердость сообщается закалкой послѣ окончательной формовки.

Изъ числа упомянутыхъ сортовъ въ строительной техникѣ наибольшее примѣненіе имѣютъ: растворимое стекло, листовое стекло и нѣкоторыя сорта литыхъ стеколъ.

Растворимое стекло, приготовляемое изъ кварца, поташа и древеснаго угля, примѣняется какъ средство, предохраняющее отъ огня, такъ какъ покрытые имъ древесные предметы, холстъ, бумага и т. п. не загораются. Далѣе имъ пользуются иногда въ качествѣ цемента, для склеиванія камня, стекла и фарфора. Однимъ изъ наиболѣе важныхъ примѣненій растворимаго стекла оказывается новый видъ стѣнной живописи (стереохроміи), отличающейся значительной прочностью.

Листовое стекло. Сплавленная въ плавильныхъ горшкахъ стеклянная масса перерабатывается на листовое стекло (оконное зеркальное) или на полое стекло. Листовое стекло по составу представляет собою или обыкновенное бутылочное стекло, или безцвѣтное стекло высшаго качества. Последнее идетъ только на стекло толстое или большого формата, первое же на обыкновенное тонкое оконное стекло, въ которомъ на безцвѣтность обращается меньше вниманія. При простомъ оконномъ стеклѣ важную роль играетъ дешевизна состава, вслѣдствіе чего матеріалами для его приготовленія служатъ, смотря по мѣстнымъ условіямъ, сырой поташъ и сырая сода, древесная зола, накипь съ солеварень, глауберова соль, обыкновенный поташъ и стеклянный ломъ въ составѣ, напримѣръ, такомъ:

Сульфата (96 ^o / _o -наго)	775	грам.
Кокса	38	»
Соды (80 ^o / _o Na_2CO_3 и 20 ^o / _o Na_2SO_4)	100	»
Известкового шпата	715	»
Песка.	2000	»

Превращеніе очищенной стеклянной массы въ оконное стекло производится двоякимъ способомъ: способомъ приготовленія *луннаго* стекла и способомъ приготовленія *листового* стекла.

Лунное стекло называется въ Англии *кромласомъ*, получило названіе отъ дискообразной формы кусковъ, въ каковыхъ оно имѣется въ продажѣ. Такая форма является результатомъ его выдѣлки и отличается тѣмъ неудобствомъ, что при ней нельзя получить прямоугольныхъ кусковъ стекла большихъ размѣровъ (не болѣе 60 см. въ сторонѣ).

Листовое стекло получается вскрывашемъ выдутаго цилиндра и развертываніемъ его на плоскій листъ.

Зеркальное стекло выдувается или отливается. Производство *дутаго зеркальнаго стекла* во многомъ сходно съ производствомъ листового стекла. Сырые матеріалы большею частью тѣ же самые, которые берутся для хорошаго бѣлаго стекла; они должны быть только чище и требуютъ поэтому болѣе тщательнаго приготовленія и очистки. Для *литого зеркальнаго стекла* берется несодержащее свинца стекло, сплавленное изъ самыхъ чистыхъ матеріаловъ. Калиевокальціево стекло значительно превосходить натріевое, сплавленное при помощи соды, какъ въ отношеніи безцвѣтности, такъ и относительно блеска.

Полое стекло изготовляется изъ бутылочнаго стекла разныхъ зеленыхъ оттѣнковъ. Матеріалами для изготовленія служатъ: песокъ, поташъ или сода, выщелоченная зола съ мыловаренныхъ заводовъ, древесная зола, глауберова соль, поваренная соль, газовая известь, шлаки,

глина, известь, базальтъ и другія содержащія полевоы шпаты горныя породы.

Прессованное стекло готовится главнымъ образомъ изъ песка, сурика, мѣла, соды и поташа и получается прессованіемъ густой стекляной массы въ разныхъ формахъ.

Закаленное стекло получается благодаря быстрому охлажденію еще мягкихъ стеклянныхъ массъ.

Свинцовый хрусталь (клингласъ) есть всякое содержащее свинець калиево стекло. Различаютъ иногда легкій хрусталь (не содержащій свинца) отъ тяжелаго, (содержащаго свинець). Хрусталь всегда подвергается прессованію или шлифуется.

Оптическое стекло (флинтгласъ) состоитъ почти на $\frac{1}{3}$ изъ окиси свинца и долженъ обладать весьма однороднымъ составомъ. Въ виду затруднительности достиженія ея часто калий и свинець въ немъ замѣняютъ талліемъ, получая такимъ образомъ *талліево* стекло, употребляемое для призмъ и чечевиць.

Стразъ есть масса, служащая для приготовления искусственныхъ драгоценныхъ камней. Основною массою всѣхъ ихъ являются: кремнеземъ, глиноземъ, окись свинца, кали, бура и мышьяковистая кислота. Имитация сводится къ окрашиванію полученной массы.

Цветное стекло было въ общихъ чертахъ описано ранѣе. Здѣсь же только упомянемъ, что иногда разрисовываютъ стекла прозрачными красками, для каковой цѣли примѣняютъ разнообразные окислы металловъ, изъ которыхъ готовятъ мягкія и твердыя стеклянные краски.

Эмаль получается различнымъ образомъ: напримѣръ дѣлаютъ ее по слѣдующему рецепту: 15—18 ч. олова и 100 ч. свинца окисляются нагрѣваніемъ при доступѣ воздуха, окиси превращаются въ порошокъ, который затѣмъ отмучивается и полученная смѣсь окиси олова и окиси свинца наплавляется на стеклянную массу.

Молочное стекло всегда содержитъ фосфорнокальцеву соль и получается прибавленіемъ къ бѣлому стеклу 10—20% обожженныхъ до бѣла костей. Молочное стекло пропускаетъ искусственный свѣтъ съ краснымъ цвѣтомъ. Упомянемъ далѣе еще о стеклахъ: *алебастровомъ*, *опаловомъ* или *рисовомъ*, отличающимися отъ молочнаго главнымъ образомъ моментомъ остановки процесса остыванія.

Перечислимъ въ краткихъ словахъ еще слѣд. сорта стеколъ:

Мусселиновое стекло есть листовое стекло съ бѣлыми матовыми рисунками на непрозрачномъ тонѣ.

Агатное стекло есть переплавленная смѣсь окрашенныхъ въ различныя цвѣта кусковъ стекла.

Ледяное стекло отличается шероховатою поверхностью, образованною при помощи поверхностныхъ трещинъ.

Гематионъ (астромень)—стекло съ красноватыми блестками на темномъ фонѣ.

Авантуринъ—буроватая стеклянная масса, содержащая кристаллическія блестки мѣди въ мелко раздробленномъ состояніи.

Призирующее стекло съ переливомъ радужныхъ цвѣтовъ на поверхности.

Инкрустации представляютъ собою рельефныя фигуры изъ слабо-обожженной неглазурованной глины, включенныя между двумя наложенными одинъ на другой въ раскаленномъ состояніи, слоями свинцоваго стекла, причемъ поверхность вложенной фигуры получаетъ видъ матоваго серебра.

Филигранное стекло (нитчатое или петинетное) представляетъ изъ себя стеклянную массу изъ параллельныхъ или кажущихся переплетеннымъ на подобіе ткани непрозрачныхъ бѣлыхъ или цвѣтныхъ нитей. Разновидность его называется *ретикულიрованнымъ* стекломъ.

Миллефиори составляютъ стеклянные издѣлія (преспапье, черенки ножей, набалдашники палокъ и т. п.) въ родѣ мозаики, въ которыхъ различные цвѣтные рисунки покрыты оболочкой хрустальнаго стекла.

Стеклянные бусы (бисеръ) раздѣляются на массивныя или плавленныя, полныя или дутыя и, наконецъ, витыя.

Матовыя стекла получаютъ при дѣйстви на обыкновенныя стекла разными кислотами напримѣръ, плавиковою. Болѣе грубый матъ получается при помощи дутыя струею песка или отливанія стеколь на песокъ. Узоры по мату получаютъ, защищая мѣста, которыя должны быть не тронутыми. По качеству наведеннаго мата различаютъ до 11 сортовъ матовыхъ стеколь.

4) *Размѣры стеколь.*

Размѣры листовыхъ стеколь, примѣняемыхъ для металлическихъ покрытій, оконъ, фрамугъ и вообще для пропусканія дневнаго свѣта бываютъ весьма различны. Разныя формы стекольныхъ матеріаловъ имѣютъ свои сорта. Вообще же можно сказать, что тѣмъ толще стекло, тѣмъ большіе размѣры его площади можно придать. Въ таблицѣ 27 приведены даипыя разныхъ заводовъ относительно наиболѣе ходовыхъ и наибольшихъ размѣровъ изготовляемыхъ ими стеколь:

Для оконъ идутъ главнымъ образомъ дутыя бемскія стекла, которыя продаются ящиками. Въ ящикѣ всегда находится 20 *бунтовъ* при чемъ число листовъ въ бунтѣ тѣмъ больше, тѣмъ меньше ихъ размѣры, самыя большія стекла содержатся по одному въ бунтѣ, самыя малыя—по 24 штуки ¹⁾.

Въ общежитіи стекламъ разныхъ размѣровъ даютъ названія: длинныя

¹⁾ Графъ де-Рошефоръ „Уточное Положеніе“ С.-Петербургъ, 1906 г.

ТАБЛИЦА 27.

Наибольте употребительные и наибольше разитры листовыхъ стеколь.

Название стеколь.	Толщина въ мм.	Длина.	Шарава.	Площадь въ кв. м.	Въсь 1 кв. астра въ килогр.	Примѣчанія.
Иъаецкое или рейнское стекло: дутое . . .	2	наибольшій суммированный ⁶⁾ размѣръ до 300 са.			5	Для навѣса вокзала городской дороги въ Берлинѣ стекла по- ставлены толщиной 5 мм. въ лъствъхъ 50×85 см.
Гладкое	3				7,5	
	4				10	
	4,5—5	набол. суммир. раза. 164 см (наор. 100×64 и. 96×68 а.)			—	
Литое	6—13	максимум 130×300 ⁵⁾			—	
Литое стекло ¹⁾	3—90	—	—	—	—	Часто употребляет- ся для кровель толщ. 5 мм.
Зеркальное ¹⁾	4 и болѣе.	—	—	—	—	
Прессованное ¹⁾	2—4	—	—	0,2—0,5	—	Не рѣжется аниз.
Ординарное оконное ²⁾ стекло	1,6	—	—	—	—	Для свѣтов. фонар. въ вокртыяхъ употре- бляется толщ. 6,5 до 12,7 мм. (американск. данныя)
Двойное ²⁾	3,2	до 1,1 × 1,4 метр.	—	—	—	
максимум	25	до 1,27 метр. 2,75 метр.	—	—	—	
Рафлен. стек. ³⁾ (лит.):						
Типъ № 1 (черт. 90)	4—8	1,5—3 {0,36—0,60}	—	—	—	Для вертикальныхъ плоскостей.
		максимум 4,5 × 1 метр.	—	—	—	
Типъ № 2 (черт. 91)	—	1,5—3 {0,36—0,60}	—	—	—	
	5	максимум 3 × 1 метр.	—	—	—	
Грубый стекла ³⁾	10—13	—	—	до 6 кв. м.	12,5	
	10	—	—	—	28	
Ординарное ³⁾	1	отъ 0,30 × 1,32 до 0,66 × 0,72			2,8	Различаются 1, 2, 3 разбора смотря по частотѣ.
Полудвойное ³⁾	1,5				4,2	
Двойное ³⁾	2				5,6	
Зеркальные ⁴⁾	до 8	отъ 0,09×0,13 до 7,1×7,1 м.			—	(Стекла разибраны 7,1×7,1 стоятъ до 2.320 р. за 1 штуку).
Легерныя:						
Одннарныя ⁴⁾	до 1,5	отъ 0,44 × 1,43 астр. до 0,89 × 1,07 метр.			—	Наибольте ходовые размѣры (для оконъ).
Двойныя ⁴⁾	до 3 ¹ / ₂				—	
Тройныя	до 4 ¹ / ₂				—	
Сырыя (съ грубо об- дѣланной поверх- ностью)	разная.	—	—	—	—	

¹⁾ Hütte „Справочная книга“ изд. 1905 года, Т. 1. стр. 591.

²⁾ J. Trautwine „The civil engineer's pocket book“ New-York 1904 стр. 973 (американскія данныя).

³⁾ Raymond Gros „Les Grands Barèmes de la construction métallique“ Т. I, Montpellier 1905 (французскія данныя).

⁴⁾ Прейскуранты магазина „Франкъ и К^о“ въ СПБ. 1906 г.

⁵⁾ A. Orderbecke „Der Dachdecker und Bauklempner“ Leipzig, 1901, стр. 165.

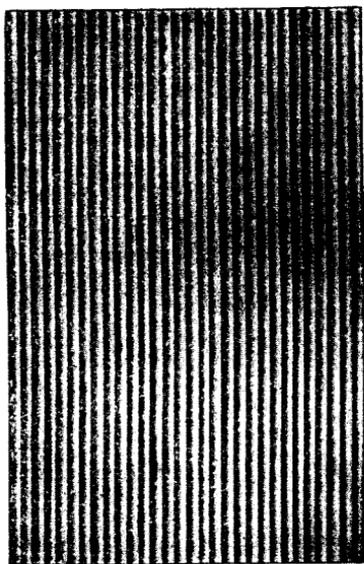
⁶⁾ Суммированнымъ размѣромъ называется сумма размѣровъ въ длину и въ ширину.

(отъ $23\frac{1}{2} \times 16$ до $12\frac{3}{4} \times 7\frac{1}{2}$ верш.), круглыя (квадратныя) (отъ $21 \times 18\frac{3}{4}$ до $7\frac{1}{4} \times 6\frac{1}{4}$ верш.), одинарныя (отъ $22\frac{1}{2} \times 17$ до $10\frac{1}{2} \times 7$) и межуточные (отъ 28×11 до 19×8 верш.). Полубѣлыя стекла (содовыя), которыя тоньше и жестче бемскихъ, выдѣлываются размѣрамъ $15\frac{3}{4} \times 15$, $12\frac{1}{2} \times 11\frac{1}{2}$, $11\frac{1}{2} \times 11\frac{1}{2}$ верш. и примѣняются для простыхъ строеній и оранжерей.

Всѣ дутыя стекла въ одномъ концѣ тоньше, чѣмъ въ другомъ.

5) *Механическія свойства стеколъ и средства увеличенія ихъ сопротивляемости. Испытаніе стеколъ.*

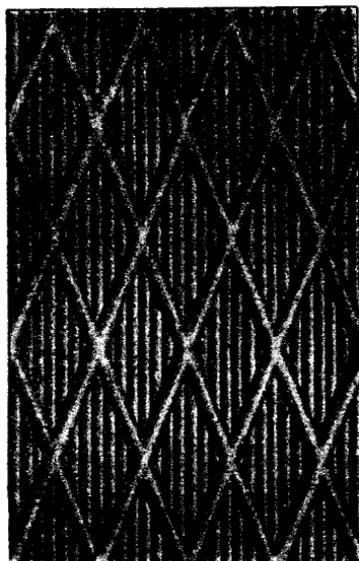
Временныя и допускаемыя напряженія въ стеклѣ указаны въ таблицѣ 28.



на 10 см 50 реберъ



Черт. 90. — Простое рифленое стекло.



Черт. 91. — Двойное рифленое стекло.

Модуль упругости стекла при растяженіи $E = 700000$ клг./см.². Твердость стекла увеличивается съ увеличеніемъ содержанія извести и уменьшается съ увеличеніемъ содержанія окиси свинца.

Въ стеклѣ шлифованномъ съ одной стороны, нешлифованная сторона прочнѣе. Наибольшую прочностью отличается прессованное стекло Сименса ¹⁾.

¹⁾ Baukunde des Architekten I т. 2 часть Berlin 1891 u. Landsberg „Glas und Wellblendeckung“ Darmstadt 1887.

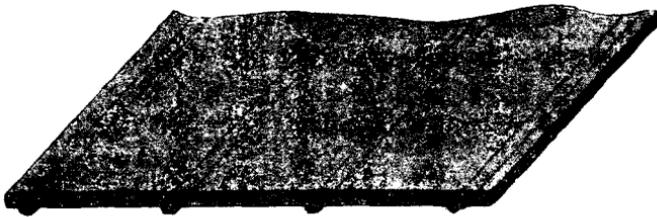
ТАБЛИЦА 28.

Временныя и допускаемыя напряженія въ стеклѣ.

Материалъ.	Временныя напряженія.			Допускаемыя напряженія въ килограм. на кв. сантим.		
	Изгибъ.	Сжатіе.	Растяженіе.	Изгибъ.	Сжатіе.	Растяженіе.
Листовое стекло для фонарей гражданскихъ сооружений въ Россіи	—	—	—	125	—	—
Дутое стекло	375 ²⁾	380—635 ³⁾	158—570 ⁴⁾	125 ²⁾	—	—
Для сырого стеклотолщиною 3 мм. (по Hütte)	200 + + (1,5—s) ² .160 [*]	—	—	$\frac{1}{3} (200 +$ $+ (1,5—s)^2 \cdot 160^*)$	—	—
Стекло (Hütte)	—	—	250 ²⁾	125 ²⁾	25 ²⁾	—
Фаянтова	—	1700 ³⁾	180 ²⁾	—	—	—
Проволочное	—	—	—	255 ⁴⁾	—	—

Для усиленія сопротивляемости стеколь большихъ размѣровъ въ длину и въ ширину ихъ иногда отливаютъ съ ребордами (черт. 92) или запаиваютъ внутрь ихъ желѣзную проволоку (черт. 93—95) разныхъ рисунковъ. Стекла съ ребордами безъ проволокъ (отливаются компаніей St. Gobin во Франціи) имѣютъ выступы 4—6 мм. толщины и до 12 сантим. ширины.

Проволочныя стекла отливаются въ Германіи (Akt. Gosel. f. Glasin-



Черт. 92.—Стекло съ ребордами.

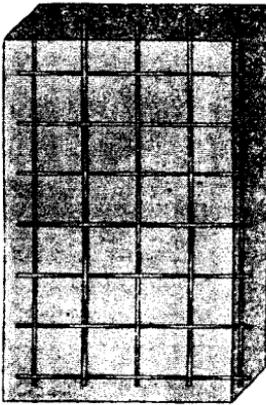
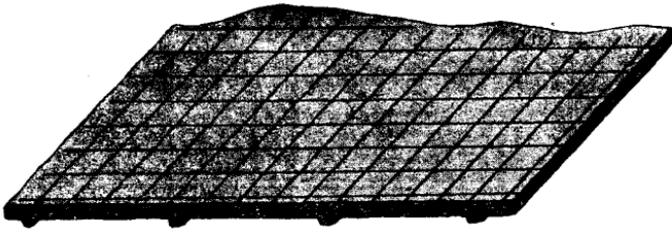
dustrie vorm. Fried. Siemens. Dresden и Glas und Spiegel Manufabtur in Schalke) во Франціи (St. Gobain, Chasny, Cyrey), въ Австріи (Neusattl у Elbogen'a). Толщина проволочнаго стекла бываетъ отъ 6—60 мм. Наибольшая площадь листовъ—1,75 кв. метр., наибольшая ширина—2,5 метр. Вообще это стекло не рѣжется за исключеніемъ нѣкоторыхъ сортовъ. и

¹⁾ Trautwine „Pocket book“.

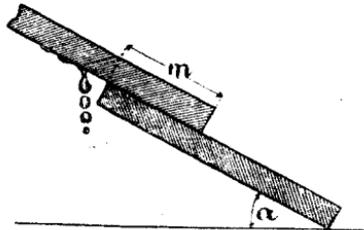
^{*} Hütte (s—толщина стекла въ см.).

²⁾ Вагнеръ „Химическая технология“. С.-Петербургъ. 1892.

⁴⁾ В. Cros „Les grands barèmes“.



Черт. 93—95.—Проволочное стекло съ ребордами и безъ ребордъ.



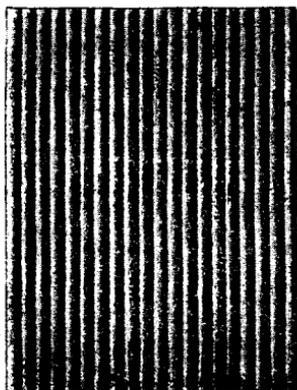
Черт. 96.—Явленіе потвнія и капли стеколь.



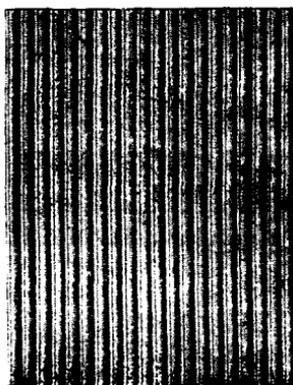
на 10 см 20 реберъ



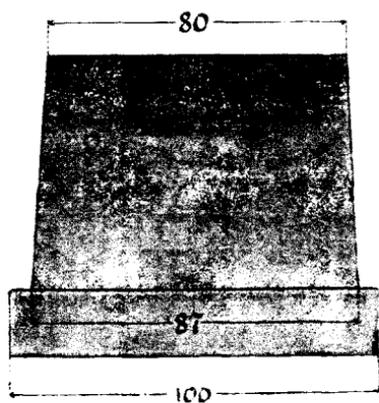
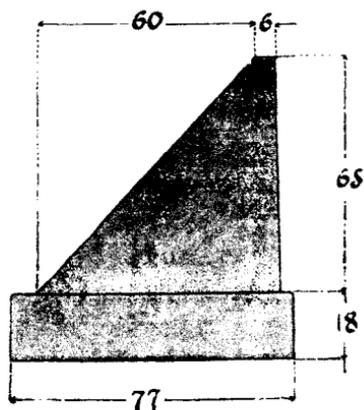
на 10 см 20 реберъ



Черт. 97. — Призматическое проводочное стекло (толщиною 25 мм.).



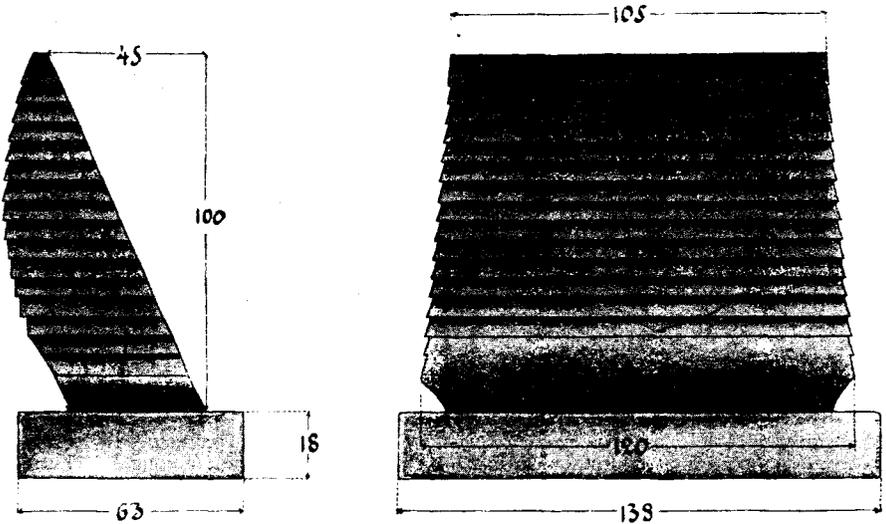
Черт. 98. — Призматическое проводочное стекло (толщиною 17 мм.).



Черт. 99. — Образец штучного простого призматического стекла.

поэтому его нужно отливать по заказу. Благодаря сътъкъ прозрачность стекла уменьшается на 27% при толщинѣ проволоки въ 1 мм., размѣромъ клѣтокъ въ 7,5 мм.

Проволочное стекло гораздо лучше сопротивляется дѣйствию огня нежели обыкновенное, такъ какъ при жарѣ оно не ломается и не разсыпается на куски. Кромѣ того оно лучше сопротивляется ударамъ. Завадомъ въ Neusattl'ъ въ Австріи и завадомъ Сименса въ Дрезденѣ были произведены опыты надъ сопротивляемостью такого стекла, и было найдено, что въ среднемъ сопротивляемость проволочнаго стекла на изгибъ по срав-



Черт. 100.—Образецъ штучнаго призматическаго стекла отклоняющаго и разсѣивающаго свѣтъ.

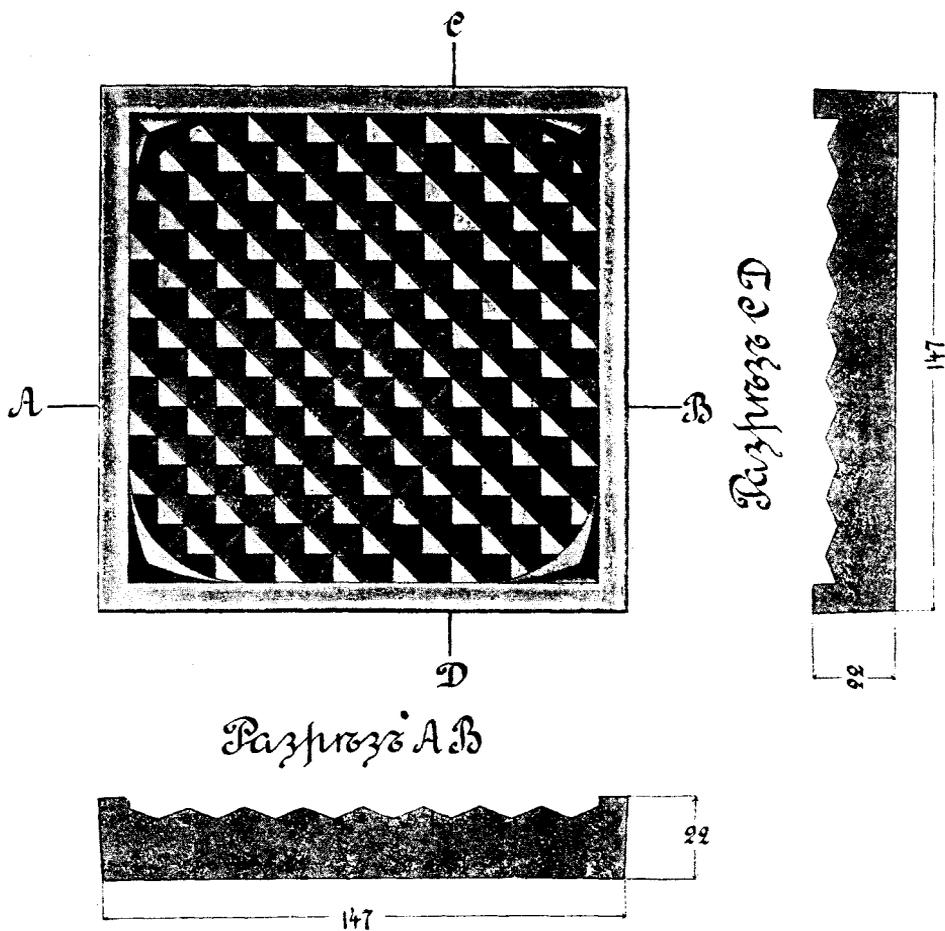
ненію съ обыкновеннымъ стекломъ при одинаковой толщинѣ возрастаетъ въ $1\frac{1}{2}$ раза, и даже иногда можно допускать напряженіе на изгибъ до $255 \frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$.

Въ отношеніи правилъ укладки стеколъ въ крышахъ замѣтимъ, что обыкновенно при подсчетѣ вѣса стеколъ слѣдуетъ на перекрытіе ихъ въ нахлестку прибавлять около 10% полнаго ихъ вѣса (считая и клямеры). Вообще же перекрытіе дѣлають отъ 1—3 сант. въ оранжереяхъ, до 10—15 сант. въ большихъ сооружешияхъ. Для того, чтобы при потѣши стеколь въ фонаряхъ вода не капала внутрь (черт. 96), а стекала книзу, слѣдуетъ придавать углу α наклона крыши величину не менѣ какъ въ 30° .

Главнѣйшими недостатками стекла являются слѣдующіе: полосы въ стеклѣ, нити, слезки или капли, камешки, пузырьки и узелки. Всѣ эти пороки являются слѣдствіемъ несовершенства изготовленія стекла и вообще уменьшаютъ какъ прозрачность стекла, такъ и сопротивляемость его механическимъ усиліямъ.

При приемкѣ стеколъ слѣдуетъ производить ихъ испытанія въ слѣдующемъ отношеніи ¹⁾:

- 1) На безцвѣтность: одинъ или нѣсколько листовъ стекла кладутся на листъ бѣлой бумаги и опредѣляется оттѣнокъ.
- 2) На пузырчатость и волнообразную форму листовъ: проба произ-

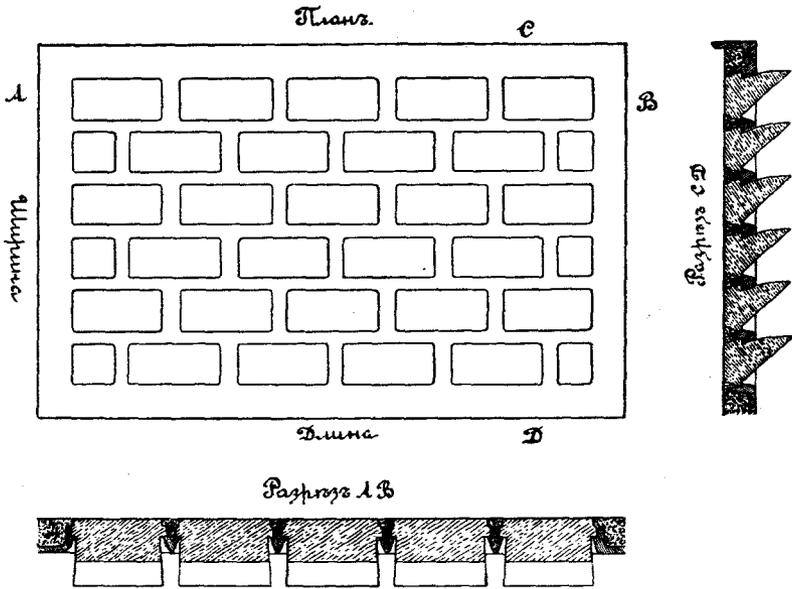


Черт. 101.—Пирамидальное стекло.

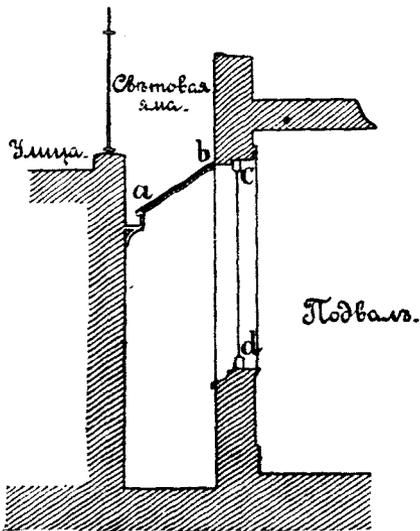
водится путемъ сравненія съ образцовымъ листомъ, который прилагается всегда къ техническимъ условіямъ заказа.

- 3) Продолжительность службы опредѣляется слѣдующимъ образомъ: пробный листъ покрывается стекляннмъ колпакомъ и въ теченіи 24 часовъ подвергается дѣйствию паровъ сильно дымящей соляной кислоты,

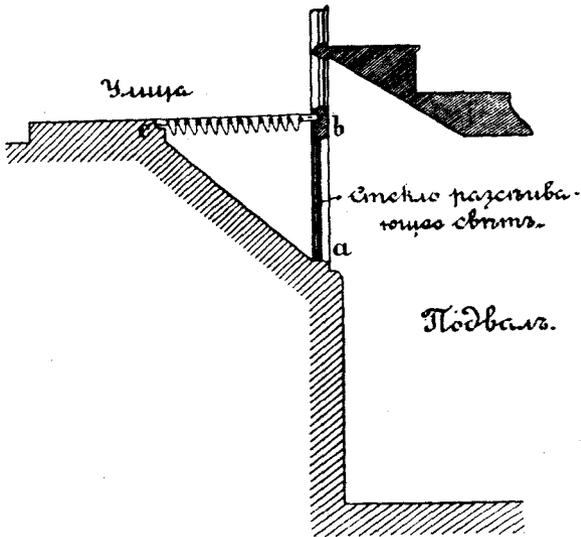
¹⁾ Hütte „Справочная книга“ Т. I стр. 593.



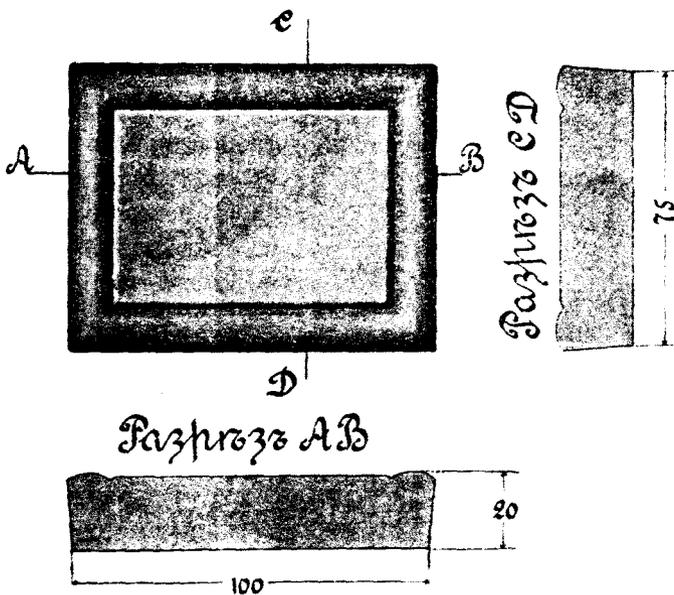
Черт. 102.—Рама съ призматическими стеклами.



Черт. 103.—Примѣръ расположенія рамы съ призматическими стеклами въ световой ямѣ.



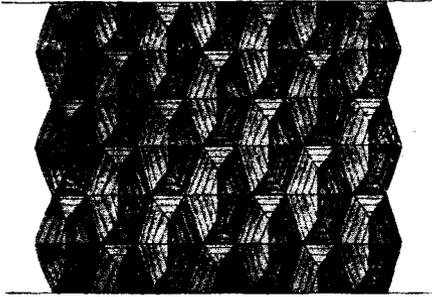
Черт. 104. — Примѣръ расположенія рамы съ призматическими стеклами въ уровнѣ тротуара.



Черт. 105. — Штучное стекло для электро-стеклянной рамы.

затѣмъ въ теченіе 24 часовъ просушивается на чистомъ воздухѣ. При этомъ не должно образоваться никакого бѣловатаго стирающагося налета.

4) Стекло для картинныхъ галлерей, фотографическихъ кабинетовъ испытывается на содержаніе въ немъ марганца, присутствіе котораго (въ количествѣ уже 0,1%) благодаря дѣйствию солнца, можетъ современемъ вызвать въ стеклѣ фіолетовое окрашиваніе.



5) Стекла, подверженныя механическому дѣйствию, испытываются на изгибъ, сжатіе или растяженіе въ зависимости отъ того, какому усилю они будутъ подвергаться въ сооруженіи.

6) Наконецъ стекло должно имѣть проектную толщину и остальные размѣры.

6) *Приспособленія для разсѣиванія свѣта.*

Въ качествѣ приспособленій, разсѣивающихъ свѣтъ, примѣняютъ слѣдующіе сорта стеколъ:

- а) матовое стекло;
- б) рифленое;
- в) каодральное;
- г) призматическое;
- д) пирамидальное.

Однако не слѣдуетъ думать, что такыя приспособленія усиливаютъ свѣтъ въ разныхъ помѣщеніяхъ, какъ утверждаютъ разные заводы въ своихъ каталогахъ *).

Приспособленія эти лишь доставляютъ болѣе равномерный свѣтъ въ разные мѣста помѣщенія, взамѣнъ концентрированнаго потока свѣта въ одномъ мѣстѣ, какъ это бываетъ часто при примѣненіи обыкновенныхъ оконныхъ стеколъ.

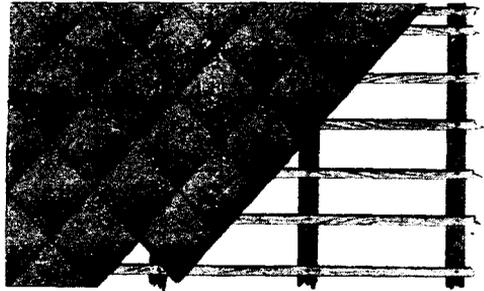
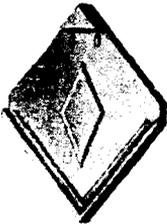
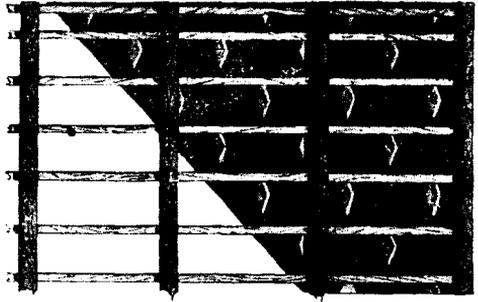
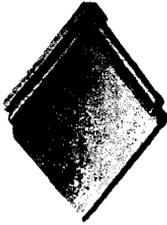
Свѣтоты свойства матовыхъ стеколъ были указаны въ таблицѣ 17 стр. 31. Типы рифленыхъ стеколъ изображены на черт. 90 и 91.

Каодральными (кованными или соборными) стеклами называются лите стеклянные листы, поверхность которыхъ съ одной стороны хорошо

*) „Дуксферъ“ составлено С. Линдеромъ. С.-Петербургъ 1901 г. стр. 2.

полирована, а съ другой, которая всегда обращается внутрь помещенія, шероховатая, образовавшая какъ бы отъ удара молотомъ.

Свойство призматическихъ (черт. 97 — 100) и пирамидальныхъ (черт. 101) стеколъ заключается въ отклоненіи падающихъ на нихъ лучей по извѣстному направленію: въ призматическихъ по одному направленію, а въ пирамидальныхъ по нѣсколькимъ. На черт. 102 показано устройство металлической рамы съ рядомъ стеклянныхъ призмъ, причеъ поверхность призмъ, черезъ которую свѣтъ выхо-



Черт. 107. — Стеклянная черепица.

Черт. 108. — Крыша изъ стеклянной черепицы.

дять, нѣсколько выпукла: благодаря чему происходитъ разсѣяніе свѣта (система Луксферъ). На черт. 103 и черт. 104 показано примѣненіе этого устройства для провода свѣта въ подвалъ дома около улицы. На заводахъ изготовляютъ рамы съ такими призмами (длиною около 1,1 метра) размѣрами до 1,24 кв. метр. (16 призмъ). Всѣхъ ихъ около 175 килогр. на 1 кв. метръ. Наиболье равномерно разсѣиваютъ свѣтъ матовыя стекла, наибольшій же блескъ и игру свѣтовыхъ лучей даютъ стекла, одна поверхность которыхъ обдѣлана и отшлифована въ видѣ мелкихъ пирамидальныхъ зубчиковъ (черт. 101).

Упомянемъ еще объ такъ называемомъ «электро-стеклѣ». Подъ этимъ названіемъ нѣкоторые заводы понимаютъ стеклянные шашки изъ туго-

плавкаго матеріала, задѣланныя въ металлическія (преимущественно мѣдныя) рамы электролитическимъ путемъ и потому прочно сидящія въ этихъ рамахъ. Размѣры рамъ около $0,7 \times 1,6$ метра. Стекла обрѣзаются въ квадраты со стороною около 0,1 метра (черт. 105). Электро-стекло отличается большей огнеупорностью, нежели обыкновенное. Иногда въ отверстія въ стѣнахъ вставляютъ стеклянные кирпичи разной формы (черт. 106). Такіе кирпичи отличаются благодаря слою воздуха, заключенному внутри ихъ, малою тепло и звукопроводностью и въ тоже время пропускаютъ свѣтъ, хотя и со значительной потерей его силы; черезъ отверстіе стѣны, заполненное такими кирпичами, ничего нельзя видѣть. На 1 кв. саж. идетъ 225 штукъ.

Для пропуска свѣта на чердаки при черепичныхъ кровляхъ вставляютъ среди обыкновенныхъ черепицъ стеклянныя; образецъ такихъ черепицъ указанъ на черт. 107 и 108.

Иногда въ двери и окна вставляютъ тонкія стекла съ изрытою поверхностью или въ видѣ продольныхъ волнъ или въ видѣ сферическихъ волнъ. Такія стекла, обладая немного меньшею свѣтопропускаемостью по сравненію съ обыкновенными оконными стеклами, въ то же время не позволяютъ сквозь нихъ видѣть. Работа со стекломъ въ строительномъ дѣлѣ ограничивается прирѣзкою его по требуемымъ размѣрамъ алмазомъ и просверливаніемъ при помощи трехграннаго напилка съ отбитымъ кончикомъ; при этомъ слѣдуетъ стекло и напильникъ увлажнять скипидаромъ.

Другое стекло обыкновенно примѣняется для кровель тогда, когда не предвидится хожденія по кровлѣ рабочихъ и когда оно подвержено сравнительно незначительной нагрузкѣ. Напримѣръ, въ мѣстностяхъ, гдѣ мало снѣгу, оно примѣнимо въ пологихъ кровляхъ. Литое стекло для покрытій примѣняется толщиною 6 мм. и болѣе, такъ какъ литыя стекла меньшей толщины отливаются въ стоячемъ положеніи и благодаря этому неравномерно охлаждаются, результатомъ чего появляются волосныя трещины; такое стекло опасно подвергать дѣйствию, напримѣръ, ударной нагрузкѣ града. Стекла же толще 6 мм. отливаются въ лежачемъ положеніи и отличаются болѣею прочностью.

ПРИЛОЖЕНІЕ.

Примѣры и задачи на опредѣленіе
степени освѣщенія.

*

Примѣръ № 1.

Определе́ние средней степени освѣщенія комнаты, съ однимъ боковымъ окномъ.

Стекла обимовенныя. Передъ нимомъ нѣтъ стѣны.

Размѣры комнаты, расположеніе и размѣры окна указаны на черт. 109 (abc) (размѣры окна показаны безъ устройства рамъ).

Площадь окна	Ω = 2 × 1,5 = 3 кв. метр.
» стѣны, противоположной окну	ω ₁ = 4,5 × 4 = 18 » »
» стѣны боковой	ω ₂ = 6 × 4 = 24 » »
» стѣны, въ которой помѣщается окно ω ₃ = 18 — 3 = 15 » »	
» пола	ω ₄ = 6 × 4,5 = 27 » »
» потолка	ω ₅ = 6 × 4,5 = 27 » »

Пусть окно закрыто двойными деревянными рамами. Дневной свѣтъ, проходя черезъ первую раму, теряетъ часть своей силы. Коэффициентъ этого ослабленія получаемъ изъ таблицы 17 (стр. 31), гдѣ указаны коэффициенты потери силы свѣта, при прохожденіи его черезъ окна разныхъ устройствъ:

	Коэффициентъ потери.	Коэффициентъ ослабленія ¹⁾ .
Для простаго оконнаго стекла	5%	0,95
Для деревянныхъ рамъ (пропорціонально площади, отнимаемой ими отъ овна)	25%	0,75

Такимъ образомъ свѣтъ, пройдя первую раму, будетъ имѣть

$$1 \cdot 0,95 \cdot 0,75 = 0,71 \text{ своей силы,}$$

а пройдя вторую раму (такую же, какъ и первую)

$$1 \cdot 0,95 \cdot 0,75 \cdot 0,95 \cdot 0,75 = 0,51 \text{ своей силы.}$$

Иными словами, коэффициентъ ослабленія силы свѣта, при прохожденіи его черезъ окно, будетъ

$$k = 0,51.$$

Пусть стѣны комнаты оклеены свѣтлорозовыми обоями, полъ выкрашенъ въ темно-желтый цвѣтъ, а потолокъ бѣлый, оштукатуренный.

Тогда изъ таблицы 12 (стр. 25) получаемъ коэффициенты разсѣянія:

для стѣнъ	k ₁ = 0,36
» пола	k ₄ = 0,20
» потолока	k ₅ = 0,85
» окна (изъ черт. 10, стр. 23, кривая II), въ среднемъ	k ₂ = 0,20

Средній коэффициентъ разсѣянія для комнаты (см. стр. 34):

$$k_{\text{ср.}} = \frac{\omega_1 \cdot k_1 + 2\omega_2 \cdot k_1 + \omega_3 \cdot k_1 + \omega_4 \cdot k_4 + \omega_5 \cdot k_5 + \Omega \cdot k_2}{\omega_1 + 2\omega_2 + \omega_3 + \omega_4 + \omega_5 + \Omega} = \frac{18 \cdot 0,36 + 2 \cdot 24 \cdot 0,36 + 15 \cdot 0,36 + 27 \cdot 0,20 + 27 \cdot 0,85 + 3 \cdot 0,20}{18 + 2 \cdot 24 + 15 + 27 + 27 + 3} = \approx 0,43.$$

¹⁾ Коэфф. ослабленія = $\frac{100 - \text{коэф. потери}}{100}$.

Интегральный коэффициент разсыянія (по табл. 18, стр. 34) равняется

$$\frac{1}{1 - k_{\text{ср.}}} = \frac{1}{1 - 0,43} = 1,75.$$

Сумма освѣщенныхъ площадей

$$S = 138 \text{ кв. метр.}$$

Средняя горизонтальная освѣщенность (стр. 35) комнаты выражается формулой (стр. 88, формула 1):

$$e = \frac{\pi \cdot k \cdot 2650 \cdot \Omega}{(1 - k_{\text{ср.}}) \cdot S} \text{ децимальныхъ свѣче-метровъ.}$$

Подставляя въ эту формулу полученныя величины, находимъ:

$$e = \frac{3,14 \cdot 0,51 \cdot 2650 \cdot 3 \cdot 1,75}{138} = 160 \text{ децималн. свѣче-метр.}$$

На основаніи даныхъ таблицы 21 (стр. 49) мы можемъ заключить, что въ разсматриваемой нами комнатѣ можно читать и писать безъ утомленія.

Примѣръ № 2.

Опредѣленіе средней степени освѣщенія комнаты съ однимъ боковымъ окномъ.

Стенла матовыя. Передъ окномъ нѣтъ стѣны.

На основаніи формулы 2, стр. 90, средняя горизонтальная степень освѣщенія комнаты, освѣщенной раасыанвнымъ свѣтомъ, равна

$$e = \frac{2650 \cdot \pi \cdot k' \cdot \Omega}{(1 - k_{\text{ср.}}) \cdot S} \dots \dots \dots (1)$$

Въ этой формулѣ буквы имѣютъ тѣ же значенія, что и въ примѣрѣ № 1.

k' — коэффициентъ ослабленія силы свѣта при прохожденіи его черезъ окно. Предполагаемъ, что 1-ая снаружи рама съ матовыми стеклами, а вторая—съ обыкновенными. Для матоваго стекла, на основаніи таблицы 17 (стр. 31), коэффициентъ ослабленія равенъ $\frac{100 - 27}{100} = 0,73$.

Всѣ остальные коэффициенты потери силы свѣта при прохожденіи его черезъ окно имѣютъ тѣ же значенія, что и въ примѣрѣ 1:

$$k' = 1 \cdot 0,73 \cdot 0,75 \cdot 0,95 \cdot 0,75 = 0,39.$$

Изъ примѣра 1 имѣемъ:

$$\Omega = 3,$$

$$\frac{1}{1 - k_{\text{ср.}}} = 1,75.$$

$$S = 138 \text{ кв. метр.}$$

Подставляя эти значенія въ формулу (1), получаемъ:

$$e = \frac{2650 \cdot 3,14 \cdot 0,39 \cdot 3 \cdot 1,75}{138} = 122 \text{ децималн. свѣче-метр.}$$

Примѣръ № 3.

Опредѣленіе освѣщенности въ данномъ мѣстѣ комнаты съ однимъ боковымъ окномъ.

Стенла обыкновенныя. Передъ окномъ нѣтъ стѣны.

Способъ графическій.

Размѣры и форма комнаты и окна тѣ же, что и въ предыдущемъ примѣрѣ. Горизонтальная освѣщенность любой точки A опредѣляется по формулѣ:

$$B_A = 2650 \cdot k \cdot \frac{F'}{a^2} \sin \alpha \frac{1}{1 - k_{\text{ср.}}} \text{ децималн. свѣче-метр. (стр. 94 и 103).}$$

Здѣсь k (изъ примѣра 1-го) — 0,51,

$$\frac{1}{1 - k_{\text{ср.}}} = (\text{изъ примѣра 1-го}) - 1,75,$$

α — расстояние въ метрахъ полезной площади овна отъ разсматриваемой точки, α — уголъ между лучемъ свѣта (перпендикулярнаго къ полезной площади окна и проходящаго черезъ точку A) и освѣщаемой поверхностью,

F — площадь въ кв. метрахъ полезнаго отверстія окна для разсматриваемой точки A .

Задачу будемъ рѣшать слѣдующимъ образомъ:

а) Сначала построимъ кривую замѣненія горизонтальной освѣщенности по пи-пипмъ сѣченія стѣнъ, пола и потолка комнаты съ вертикальной плоскостью P , проходящей черезъ центръ овна и перпендикулярной къ плоскостямъ стѣнъ, пола и потолка (стр. 94, черт. 84 и примѣчаніе стр. 103). Затѣмъ построимъ кривыя освѣщенности и для другихъ, произвольно выбранныхъ линий пола, потолка и стѣнъ, првчемъ будемъ пользоваться для построения ординатъ тавихъ кривыхъ способомъ, указаннымъ на стр. 93 (1-й способъ, черт. 81—83), и будемъ опредѣлять освѣщенность точекъ сразу для цѣлаго овна, не разбивая его на площадки по 1 кв. метру (на основаніи примѣчанія стр. 103).

а) *Определение освѣщенности точекъ пола, стѣнъ и потолка по линиямъ сѣченія ихъ съ плоскостью перпендикулярной къ нимъ и къ окну и проходящей черезъ центръ послѣдняго.*

Освѣщенность любой точки опредѣляется по формулѣ:

$$B_A = 2650 \cdot 0,51 \cdot 1,75 \cdot \frac{F}{a^2} \sin \alpha = 65,7 \cdot F \cdot \sin \alpha \cdot \left(\frac{6n}{a}\right)^2$$

гдѣ n — единица длины = 1 метру.

Принимаемъ линейный масштабъ 1 метр. = 5 сантим. (черт. 109). Тогда масштабъ площадей будетъ 1 кв. метръ = 5 сантим. Масштабъ для кривыхъ освѣщенности — 5 сантим. = 65,7 децимальныхъ свѣче-метровъ (или 100 децим. свѣче-метровъ = 7,61 сантим.). Благодаря послѣднему масштабу, можно прямо изъ чертежа, на основаніи построеній, подобныхъ указаннымъ на черт. 84, измѣрять величину освѣщенности циркулемъ.

Для точки A пола горизонтальная освѣщенность построена слѣдующимъ образомъ:

На основаніи правилъ стр. 94 (черт. 84) и примѣчанія стр. 103, получаемъ величину (черт. 109 а):

$$g_a s_a = \frac{\frac{b}{2} \cdot S}{S - \frac{b}{2 \sin(\alpha + \gamma)}}, \text{ гдѣ } S - \text{высота овна.}$$

Но, на основаніи примѣчанія стр. 103,

$$B_A = g_a s_a \cdot T_a, \text{ гдѣ } T_a - \text{ширина окна.}$$

Величина T_a опредѣляется изъ чертежа 109 с. Величину B_A можно опредѣлить графически (черт. 109 а). Откладываемъ $g_a M = 1$ метру, $g_a R = T_a$. Соединяемъ M съ S_a , а изъ R проводимъ $RX \parallel MS_a$. Тогда

$$g_a x = B_A - (\text{въ масштабѣ 100 дец. свѣч.} = 7,61 \text{ сантим.}).$$

Откладываемъ но перпендикуляру къ линіи пола въ точкѣ A' , величину $A'a = g_a x = B_A = 348$ дец. свѣче-метр. и получаемъ точку a кривой освѣщенности. На черт. 109 а показаны еще точки $a_1, A'_1, a_2, A'_2, a_3, A'_3$ для разныхъ точекъ пола. Всѣ эти точки получены такъ же, какъ и точка a , за исключеніемъ точекъ A_2 и A_3 , въ которыя лучи свѣта изъ овна не попадаютъ, и слѣдовательно освѣщенность ихъ равнялась бы нулю, если бы онѣ не освѣщались свѣтомъ, отраженнымъ отъ стѣнъ и потолка комнаты. Освѣщенность точки A_2 мы могли бы опредѣлить слѣдующимъ образомъ: она

освѣщается свѣтомъ, отраженнымъ: 1) отъ потолка, 2) отъ стѣны, противоположной окну и 3) отъ двухъ боковыхъ стѣнъ.

Освѣщенность ея отъ потолка опредѣлится такъ:

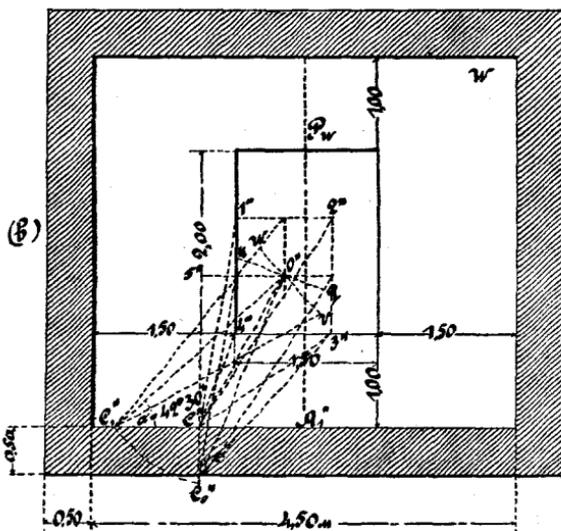
$$B_{A_1} = B_{\text{потолка}} \cdot k_3 \cdot \frac{F}{a^2} \sin \alpha \cdot \frac{1}{1 - k_{\text{ср}}},$$

гдѣ $B_{\text{потолка}}$ есть средняя освѣщенность потолка.

k_3 — коэффициентъ разсѣянія потолка = 0,85 (изъ примѣра 1-го), а остальные буквы имѣютъ тотъ же смыслъ, что и раньше.

Однако опредѣленіе освѣщенности, графическимъ способомъ точекъ A_2 и A_3 , является кропотливымъ и мы пока ограничимся лишь вышеуказанными данными,

Поперечный разрезъ.



Черт. 109 (къ примѣрамъ №№ 1—5).

какъ ее опредѣлять, а позднѣе приведемъ аналитическій способъ, который позволить скорѣе опредѣлять освѣщенность этихъ точекъ.

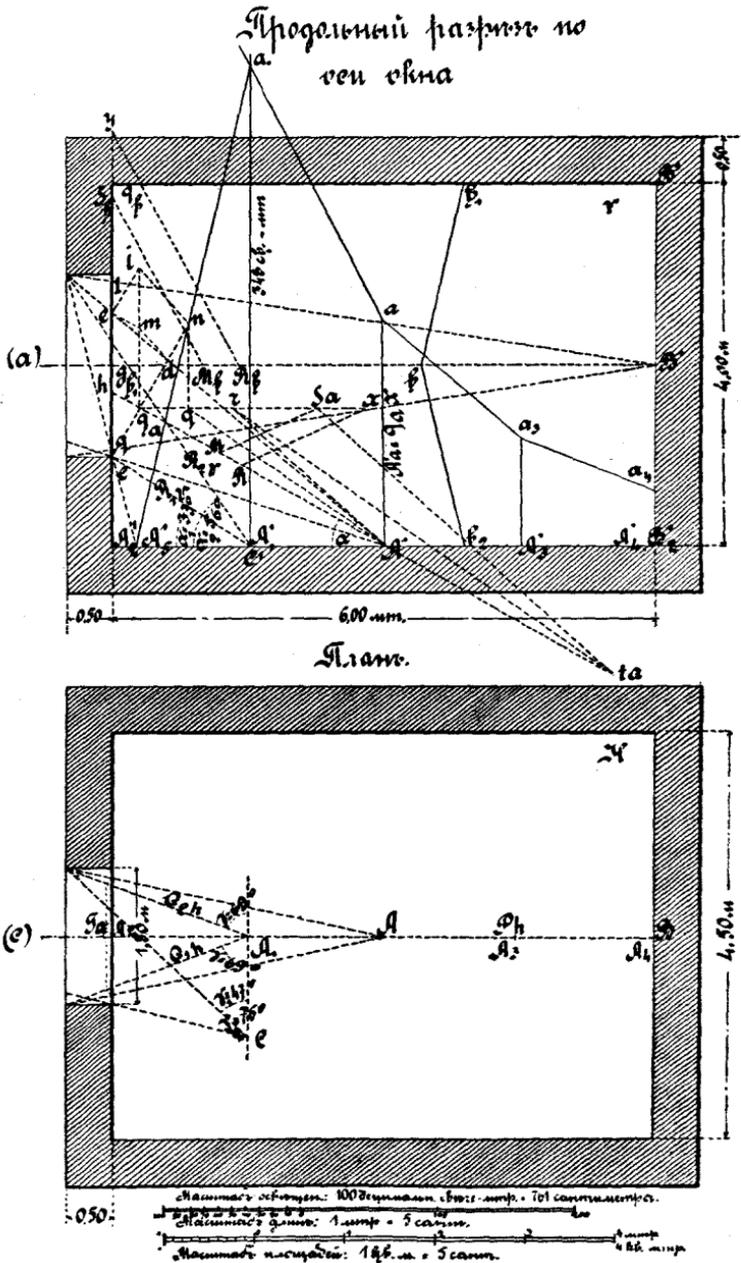
Соединя между собою точки a_1, a_2, a_3, a_4 , получаемъ ломаную линію, которая при достаточно большомъ числѣ найденныхъ точекъ будетъ приближаться въ кривой освѣщенности. Соединивъ точку a_1 съ A_1 , получимъ приближительное распределеніе освѣщенности между этими точками.

Для точекъ стѣны противоположной окну построения будутъ аналогичными. Для точки B , лежащей прямо противъ окна, величина g_b, q_b будетъ равна $1 - q$ и освѣщенность выразится отрезкомъ g_b, Y .

Если бы донъ стоялъ на горѣ и передъ окномъ не было бы мостовой или двора, а былъ бы обрывъ, то освѣщенность потолка приблизительно была бы одинаковой съ освѣщенностью пола. Если же передъ окномъ находится, напримѣръ, мостовая, то тогда для какой нибудь точки потолка освѣщенность выразилась бы формулой

$$B_{\text{потолка}} = 2650 \cdot K \cdot k \cdot \frac{F}{a^2} \sin \alpha \cdot \frac{1}{1 - k_{\text{ср}}}.$$

гдѣ всѣ буквы имѣютъ то же значеніе, что и раньше, за исключеніемъ K , которое равно коэффициенту разсѣянiя отъ мостовой. На основанiи табл. 12 (стр. 25) K можно



Черт. 109 (къ примѣрамъ №№ 1—3).

привести приблизительно равнымъ для каменной мостовой—0,20, тогда

$$V_{\text{вотолка}} = 2650 \cdot 0,20 \cdot 0,51 \cdot 1,75 \cdot \frac{F}{a^2} \sin \alpha = 65,7 \cdot 0,20 \cdot \frac{F}{a^2} \sin \alpha,$$

т. е. для кривой освѣщенности потолка можно воспользоваться соответственными ординатами кривой освѣщенности пола, уменьшивъ каждую изъ нихъ въ 5 разъ (т. е. умноживъ на 0,20).

Внутренняя поверхность стѣны, въ которой расположено окно, совершенно не освѣщается прямымъ свѣтомъ. Для опредѣленія же освѣщенности ея точекъ мы должны опредѣлить сначала среднюю освѣщенность остальныхъ трехъ стѣнъ, пола и потолка и опредѣлять освѣщенность точекъ нашей стѣны отъ каждой изъ трехъ другихъ стѣнъ, пола и потолка, считая послѣдшя вавъ бы за овна и принимая уже за норму освѣщенности не 2650 свѣче-метровъ, а среднюю освѣщенность этихъ воображаемыхъ овонъ, умноженную на соответствующий имъ коэффициентъ разсѣяния.

б) Опредѣленіе освѣщенности въ случайной точкѣ С пола по способу, изложенному на страницѣ 93.

Лучи свѣта, свободно проходящіе черезъ овно въ точкѣ С, будутъ заключены внутри пирамиды $C^*1^*2^*3^*4^*$, которая пересѣкаетъ внутреннюю поверхность стѣны по прямоугольнику $1^*2^*3^*4^*$ (черт. 109b). Обозначимъ центръ его буквой O^* . Опредѣлимъ, какъ это было указано на стр. 93, площадь полезнаго отверстія овна для точки С. Эта площадь равна произведенію величинъ $UT \times WV = F = 0,90$ кв. м; разстоянія O до C равно $OC_0^* = 2,43$. Уголь α опредѣленъ такъ же, вавъ и на стр. 93 (черт. 81): $\alpha = 42^\circ 30'$. Подставляя полученныя величины въ формулу

$$Bc = \frac{1}{1 - k_{\text{ср.}}} \cdot 2650 \cdot k \cdot \frac{F}{a^2} \sin \alpha,$$

получаемъ

$$Bc = 1,75 \cdot 2650 \cdot 0,51 \cdot \frac{0,90}{2,43^2} \sin 42^\circ 30' = 244 \text{ дедимальн. свѣче-метр.}$$

Примѣръ № 4.

Опредѣленіе освѣщенности въ данномъ кѣстѣ комнаты съ однимъ боковымъ окномъ.

Стенла обыкновенныя. Передъ ономъ нѣтъ стѣны.

Способъ аналитическій.

Разсмотримъ сначала освѣщенность точки A (черт. 109). Для опредѣленія освѣщенности въ этой точкѣ пользуемся способомъ, изложеннымъ на стр. 98—102. Проводимъ черезъ точку A_1 (черт. 109с и 110) двѣ плоскости Q_1 и Q_2 , перпендикулярныя къ H и проходящія черезъ наружныя вертикальныя края овна. Пусть слѣды этихъ плоскостей на плоскости пола (B) будутъ Q_1h и Q_2h . Измѣряемъ по транспортиру углы между слѣдами Q_1h и Q_2h и линіей A_1C . Эти углы равны 69° каждый.

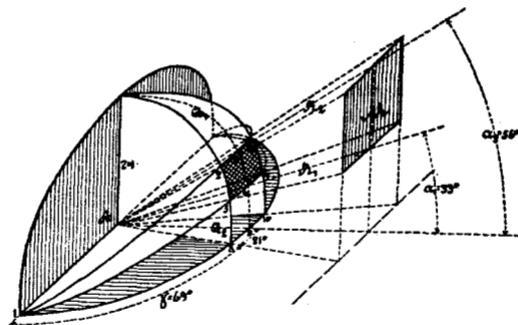
Проводимъ далѣе черезъ точку A_1 (черт. 109а) двѣ плоскости R_1 и R_2 , перпендикулярныя къ V и проходящія черезъ горизонтальныя края овна: R_2 — черезъ наружный верхній, R_1 — черезъ внутренний анжвій. Пусть слѣды этихъ плоскостей на плоскости стѣны (V) будутъ R_1v и R_2v . Измѣряемъ на черт. 109а транспортиромъ углы наклона плоскостей R_1 къ R_2 въ плоскости H . Эти углы равны для R_1 — 33° , а для R_2 — 56° .

Четыре плоскости Q_1 , Q_2 , R_1 и R_2 ограничиваютъ тотъ пучекъ лучей свѣта, которые попадаютъ въ точку A_1 черезъ окно. На черт. 110 эти плоскости представлены отдѣльно. Опишемъ вокругъ точки A (черт. 110) какъ около центра шаровую поверхность радиуса равнаго единицѣ. Эта шаровая поверхность пересѣчется плоскостями R_1 , R_2 , Q_1 , Q_2 по линіямъ 2—4, 4—7, 7—5, 5—2, которыя образуютъ сферическій четырехугольникъ 2475. Въмѣсто того, чтобы разсматривать освѣщенность точки A черезъ отверстіе M , мы можемъ разсматривать освѣщенность той же точки черезъ отверстіе 2475, равное удвоенному отверстию 2365. Освѣщенность же че-

резь отверстие 2365 эквивалентна освещенности через отверстие 139 без отверстия 169 минус отверстие 128 плюс отверстие 158, или

$$\text{освещенность } A = 2 (\text{освещенности через } 139 - \text{освещ. } 169 - \text{освещ. } 128 + \text{освещ. } 158).$$

На основании формулы 6, стр. 101, определяем освещенность точки A , введя лишь в эту формулу коэффициенты поглощения света через оконные стекла и рамы



Черт. 110 (къ примѣру № 4).

(равный 0,51, стр. 127) и интегральный коэффициентъ разсѣянія (равный 1,75, стр. 128).

При этомъ будемъ имѣть въ виду, что

для отверстия 139	$\gamma = 90^\circ$	$\alpha = 56^\circ$
» » 169	$\gamma = 90^\circ$	$\alpha = 33^\circ$
» » 128	$\gamma = 69^\circ$	$\alpha = 56^\circ$
» » 158	$\gamma = 69^\circ$	$\alpha = 33^\circ$

Подставляя значенія γ и α каждый разъ въ формулу 6, стр. 101, получаемъ слѣдующее выраженіе освещенности точки A :

$$\begin{aligned} B_A &= 2 \cdot 0,51 \cdot 1,75 \left\{ 23,19 [90 - 90 \cos 56^\circ] - 23,19 [90 - 90 \cos 33^\circ] - \right. \\ &- 23,19 \left[69 - \left(\arctg \frac{\text{tg } 69^\circ}{\cos 56^\circ} \right) \cos 56^\circ \right] + 23,19 \left[69 - \left(\arctg \frac{\text{tg } 69^\circ}{\cos 33^\circ} \right) \cos 33^\circ \right] \left. \right\} = \\ &= 339,4 = \infty 340 \text{ десятичныхъ свѣче-метровъ.} \end{aligned}$$

Ранѣе же (черт. 109а) нами была опредѣлена графически освещенность той же точки въ 348 свѣче-метровъ. Совершенно подобнымъ же образомъ опредѣляемъ освещенность точки C (черт. 109с).

Для точки C :

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 47^\circ, & \gamma_2 &= 76^\circ 30', \\ \alpha_1 &= 33^\circ, & \alpha_2 &= 56^\circ. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_C &= 0,51 \cdot 1,75 \cdot 23,19 \left\{ \left[76,5 - \left(\arctg \frac{\text{tg } 76^\circ 30'}{\cos 56^\circ} \right) \cos 56^\circ \right] - \left[76,5 - \left(\arctg \frac{\text{tg } 76^\circ 30'}{\cos 33^\circ} \right) \cos 33^\circ \right] - \right. \\ &- \left[47 - \left(\arctg \frac{\text{tg } 47^\circ}{\cos 56^\circ} \right) \cos 56^\circ \right] + \left[47 - \left(\arctg \frac{\text{tg } 47^\circ}{\cos 33^\circ} \right) \cos 33^\circ \right] = \\ &= 0,51 \cdot 1,75 \cdot 23,19 \left\{ \left(\arctg \frac{\text{tg } 76^\circ 30'}{\cos 33^\circ} - \arctg \frac{\text{tg } 47^\circ}{\cos 33^\circ} \right) \cos 33^\circ - \right. \\ &- \left. \left(\arctg \frac{\text{tg } 76^\circ 30'}{\cos 56^\circ} - \arctg \frac{\text{tg } 47^\circ}{\cos 56^\circ} \right) \cos 56^\circ \right\} = \\ &= 0,51 \cdot 1,75 \cdot 23,19 \cdot 11,21 = 232 \text{ десятичныхъ свѣче-метра.} \end{aligned}$$

Ранѣе же, графическимъ способомъ, мы опредѣлили освѣщенность той же точки въ 244 свѣче-метр., что показываетъ достаточную точность и графическаго способа.

Примѣръ № 5.

Опредѣленіе освѣщенности въ данной мѣстѣ комнаты съ однимъ боковымъ окномъ.

Стекла матовыя. Передъ окномъ нѣтъ стѣны.

Предполагаемъ оконныя рамы двойными, причемъ наружная рама пусть будетъ съ матовыми стеклами, а внутренняя—съ обыкновенными. Тогда на основаніи примѣра 2 (стр. 128) имѣемъ, что коэффициентъ пропусканія свѣта черезъ окно будетъ уже не 0,51, какъ въ примѣрѣ 4, а лишь 0,39. Остальныя величины, служащія для опредѣленія освѣщенности любой точки внутри комнаты, будутъ имѣть тѣ же значенія, что и въ примѣрѣ 4. Напримѣръ, освѣщенность точки *A* будетъ:

$$340 \cdot \frac{0,39}{0,51} = 340 \cdot 0,76 = \infty 258 \text{ децимальн. свѣче-метр.}$$

Освѣщенность точки *C* будетъ:

$$232 \cdot \frac{0,39}{0,51} = 176 \text{ децимальн. свѣче-метр.}$$

Примѣръ № 6.

Опредѣленіе средней степени освѣщенія комнаты съ однимъ боковымъ окномъ.

Стекла обыкновенныя. Передъ окномъ находится стѣна.

Пусть коэффициентъ пропусканія свѣта окномъ и интегральный коэффициентъ разсѣянія свѣта стѣнами будутъ тѣми же, что и раньше (примѣръ 1-й), т. е.

$$k = 0,51$$

$$\frac{1}{1-k_{\text{ср.}}} = 1,75.$$

Опредѣляемъ освѣщенность точки (*m*) овна по способу указанному на стр. 98. Для точки *m* — $\gamma = 90^\circ$; $\alpha = 54^\circ$; применяя формулу 7 (стр. 101) получаемъ освѣщенность точки *m* (черт. 111):

$$B_m = 2 \cdot 2650 \cdot \frac{\pi}{4} (1 - \cos 54^\circ) = 1716 \text{ дец. свѣче-метр.}$$

Для точки *n* ($\gamma = 90^\circ$; $\alpha = 73^\circ$):

$$B_n = 2 \cdot 2650 \cdot \frac{\pi}{4} (1 - \cos 73^\circ) = 2945 \text{ дец. свѣче-метр.}$$

Средняя освѣщенность окна *mn* прямымъ свѣтомъ:

$$B_{mn} = \frac{2945 + 1716}{2} = 2331 \text{ дец. свѣче-метр.}$$

Предполагая, что стѣна, преграждающая доступъ свѣта въ окно,—каменная, а между нею и домомъ — каменная мостовая, и что коэффициенты разсѣянія стѣны и мостовой—одинаковые и равные—0,20 (см. таблицу 12, стр. 25 — для уличныхъ домовъ при не широкихъ уллицахъ), найдемъ, что окно *mn* будетъ освѣщаться еще и не прямымъ свѣтомъ отъ стѣны и мостовой.

Для точки (*m*) освѣщенность этимъ разсѣяннымъ свѣтомъ будетъ (см. формулы 7 и 10 стр. 101—102).

$$B_m' = \left[0,20 \cdot 2650 \pi - 0,20 \cdot 2650 \cdot \frac{\pi}{4} (1 - \cos 54^\circ) \right] 1,25 = 1865 \text{ дец. свѣче-метр.}$$

(1,25—интегральный коэффициентъ разсѣянія для коэффициента 0,20).

Для точки (*n*) подобнымъ же образомъ получаемъ освѣщенность

$$B_n' = \left[0,20 \cdot 2650 \cdot \pi - 0,20 \cdot 2650 \cdot \frac{\pi}{4} (1 - \cos 73^\circ) \right] 1,25 = 1587 \text{ дец. свѣче-метр.}$$

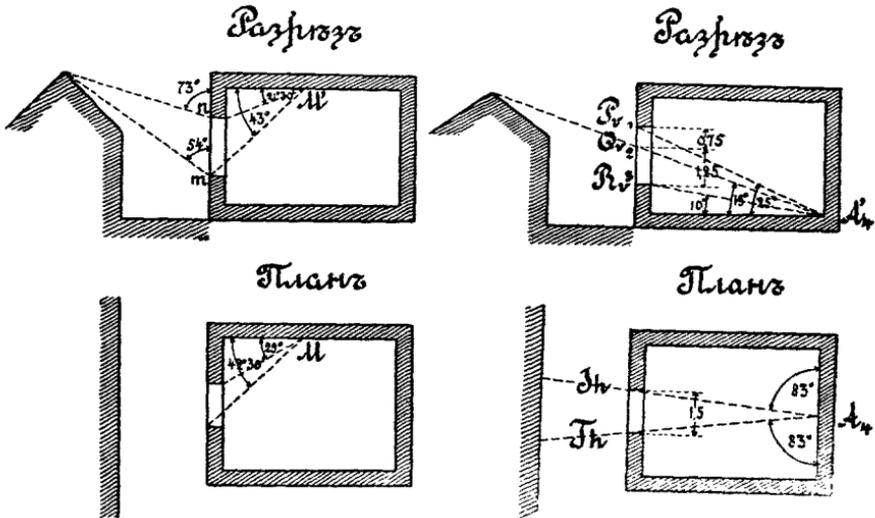
Средняя освѣщенность овна *m* отраженнымъ свѣтомъ

$$B_{mn}'' = \frac{1865 + 1587}{2} = 1726 \text{ дец. свѣче-метр.}$$

Средняя освѣщенность овна *m* будетъ

$$B_{mn}''' = B_{mn} + B_{mn}'' = 2331 + 1726 = 4057 \text{ дец. свѣче-метр.}$$

Если бы стѣны передъ овномъ не было, то на основаніи формулы (10) стр.102, средняя освѣщенность овна (предполагая, что домъ стоитъ на горѣ) была бы 2650 . π .



Черт. 111 къ примѣрамъ №№ 6—7).

Черт. 112 (къ примѣрамъ №№ 8—9).

Въ примѣрѣ 1-мъ вами была опредѣлена средняя освѣщенность внутри комнаты въ 160 дец. свѣче-метровъ при освѣщенности овна въ 2650 . π дец. свѣче-метр. Для нашего же случая средняя освѣщенность внутри комнаты будетъ

$$B_{ср.} = \frac{4057}{2650 \cdot \pi} \cdot 160 = 0,50 \cdot 160 = 80 \text{ дец. свѣче-метр.} \dots \dots \dots (A)$$

Примѣръ № 7.

Опрѣдленіе средней степени освѣщенія комнаты съ однимъ боковымъ окномъ.

Стѣнна матовая. Передъ окномъ находится стѣна.

Расчетъ ведется такъ же, какъ и для примѣра 6-го только въ формулу 4 вмѣсто числа 160 — слѣдуетъ подставить значеніе средней освѣщенности комнаты

(122 дец. свѣче-метр.), когда передъ овномъ стѣны нѣтъ (см. примѣръ 2-й, стр. 128). Средняя освѣщенность комнаты для нашего случая будетъ

$$B_{cp.}' = \frac{4057}{2650\pi} \cdot 122 = 61 \text{ дец. свѣче-метровъ.}$$

Примѣръ № 8.

Определе́нiе освѣщенности въ данномъ нѣтъ комнаты.

Стекла обыкновенныя. Передъ овномъ находится стѣна.

Разсмотримъ освѣщенность какой-нибудь точки пола, на примѣръ A_4 (черт. 112). Можно считать, что эта точка освѣщается какъ бы черезъ два овна: 1—2—прямымъ свѣтомъ и 2—3—свѣтомъ разсыаннымъ отъ стѣны дома противоположащаго окну.

Для определѣния освѣщенности точки A_4 можно поступить двоякимъ образомъ.

Во первыхъ можно опредѣлить освѣщенность точки A_4 отдѣльно отъ части окна 1—2 и отдѣльно отъ части 2—3 и сложить полученныя величины.

Во вторыхъ можно сначала опредѣлить среднюю освѣщенность овна 1—3, а затѣмъ, зная освѣщенность точки A_4 для случая, когда передъ овномъ нѣтъ стѣны (примѣръ 3, стр. 128 $B_{A_4} = 42$ дец. свѣче-метр.), уменьшить ее соответственно меньшей освѣщенности окна. Первый способъ соответствуетъ болѣе тому случаю, когда рамы окна съ обыкновенными стеклами, а второй — когда онъ съ матовыми стеклами.

Опредѣлимъ освѣщенность точки A_4 въ цифрахъ указанными двумя способами.

1-й способъ.

Отъ части овна 1—2 освѣщенности точки A_4 прямымъ свѣтомъ будетъ (см. стр. 101 и примѣръ 4)

$$\begin{aligned} B_{A_4}' &= 2 \cdot 0,51 \cdot 1,75 \left\{ 23,19 [90 - 90 \cos 25^\circ] - 23,19 [90 - 90 \cos 19^\circ] - \right. \\ &- 23,19 \left[83 - \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 83^\circ}{\cos 25^\circ} \right) \cos 25^\circ \right] + 23,19 \left[83 - \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 83^\circ}{\cos 19^\circ} \right) \cos 19^\circ \right] \right\} = \\ &= 22 \text{ дец. свѣче-метр.} \end{aligned}$$

Отъ части овна 2—3 освѣщенность точки A_4 отраженнымъ свѣтомъ будетъ:

$$\begin{aligned} B_{A_4}'' &= 2^1) \cdot 0,51^2) \cdot 1,75^3) \cdot 0,2^4) \cdot 1,25^5) \left\{ 23,19 [90 - 90 \cos 19^\circ] - 23,19 [90 - 90 \cos 10^\circ] - \right. \\ &- 23,19 \left[83 - \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 83^\circ}{\cos 19^\circ} \right) \cos 19^\circ \right] + 23,19 \left[83 - \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 83^\circ}{\cos 10^\circ} \right) \cos 10^\circ \right] \right\} = 5,4. \end{aligned}$$

Окончательно освѣщенность точки A_4

$$B_{A_4} = 22 + 5,4 = 27,4 \text{ дец. свѣче-метра.}$$

2-й способъ.

Площадь части овна 1—2 равна $1,50 \times 0,8 = 1,2$ кв. метр.

Площадь всего окна равна $2 \cdot 1,5 = 3$ кв. метр.

1) Коэффициентъ 2 — введенъ потому, что формула 6 стр. 101 даетъ значенiе освѣщенности только для угловъ $\gamma \leq 90^\circ$, у насъ же $\gamma = 180^\circ$.

2) 0,51 — коэффициентъ пропусканiя свѣта черезъ окно.

3) 1,75 — интегральный коэффициентъ разсыанiя для комнаты.

4) 0,2 — коэффициентъ разсыанiя для домовъ на улицѣ и мостовой.

5) 1,25 — интегральный коэффициентъ для мостовой и стѣнъ домовъ на улицѣ.

Если мы выразимъ черезъ *единицу*, тотъ свѣтъ, который проходитъ къ точкѣ A_4 черезъ окно, когда передъ нимъ нѣтъ стѣны, то для вашего случая пройдетъ черезъ окно только часть этого свѣта, а именно:

$$\frac{1 \cdot 1,2 + 0,2 \cdot 1,25 \cdot 3}{3} = 0,65. \dots \dots \dots (\Delta)$$

гдѣ 0,2 — коэффициентъ разсѣянія свѣта для мостовой в стѣнъ домовъ на улицѣ;
1,25 — интегральный коэффициентъ разсѣянія для 0,2.

Зная, что освѣщенность точки A_4 , когда передъ окномъ нѣтъ стѣны, выражается въ 42 свѣче-метра (см. примѣръ 3-й, черт. 109а), мы получимъ освѣщенность точки A_4 :

$$B_{A_4} = 0,65 \cdot 42 = 27,3 \text{ дец. свѣче-метр.}$$

т. е. почти тотъ же результатъ, что и при способѣ 1-мъ.

Примѣръ № 9.

Опредѣленіе освѣщенности въ данномъ мѣстѣ комнаты.

Стекла матовыя. Передъ окномъ находится стѣна.

Опредѣлимъ сначала среднюю освѣщенность окна, а затѣмъ, принимая его какъ бы за источникъ свѣта, опредѣлимъ освѣщенность любой точки помѣщенія по способу изложенному въ примѣрѣ 4-мъ.

Средняя освѣщенность окна, на основаніи примѣра 6-го (стр. 135) равна 4057 дец. свѣче-метр.

Отношеніе освѣщенностей окна въ случаяхъ, когда передъ нимъ находится стѣна, и когда стѣны нѣтъ, равно

$$\frac{4057}{2650 \cdot \pi} = \infty 0,50$$

Теперь мы можемъ опредѣлить освѣщенность любой точки комнаты (M —черт. 111) по способу, указанному въ примѣрѣ 4-мъ, принимая, что источникомъ свѣта служитъ все окно. Для расчета будутъ служить формулы 6—8 (стр. 101), только слѣдуетъ вводить въ каждую формулу множителемъ коэффициентъ 0,25.

Напримѣръ освѣщенность точки M потолка (черт. 111) будетъ (опредѣляется такъ же какъ и для точкѣ C примѣра 4-го):

при значеніяхъ:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 29^\circ; & \gamma_2 &= 42^\circ 30' = 42,5^\circ \\ \alpha_1 &= 21^\circ 30' = 21,5^\circ; & \alpha_2 &= 43^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_m &= 0,50 \cdot 0,39^1) \cdot 1,75^2) \cdot 23,19 \left[\left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 42^\circ 30'}{\cos 21^\circ 30'} - \arctg \frac{\operatorname{tg} 29^\circ}{\cos 21^\circ 30'} \right) \cos 21^\circ 30' - \right. \\ &\quad \left. - \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 42^\circ 30'}{\cos 43^\circ} \arctg \frac{\operatorname{tg} 29^\circ}{\cos 43^\circ} \right) \cos 43^\circ \right] = \end{aligned}$$

$$= 7,92 \cdot [(44,57 - 30,78) 0,930 - (51,40 - 37,17) \cdot 0,731] = 7,92 \cdot 2,42 = 19,2 \text{ дец. свѣче-метр.}$$

¹⁾ 0,39 — коэффициентъ пропусканія черезъ окно съ матовыми стеклами (см. примѣръ 2-й).

²⁾ 1,75 — интегральный коэффициентъ разсѣянія для комнаты.

Примѣръ № 10.

Окно выходитъ въ свѣтовой дворикъ.

Определеніе средней степени освѣщенія въ комнатѣ. Окно съ обыкновенными стенами.

Среднюю степень освѣщенности комнаты можно опредѣлить слѣдующимъ образомъ (черт. 113) (а — f).

Если бы въ окно *mn* (черт. 113а) падалъ свѣтъ со всѣхъ сторонъ съ неба, то средняя освѣщенность комнаты опредѣлялась бы по формулѣ (1) стр. 88, и, согласно примѣра 1-го была бы равна 160 свѣче-метровъ. Но окно освѣщается лишь частью небеснаго свода, которая ограничена пирамидою лучей, ребра которой проходятъ черезъ углы овна и углы верхняго отверстія *abcd* свѣтового дворика—это освѣщеніе прямымъ свѣтомъ. Кроме того, окно освѣщается и свѣтомъ отраженнымъ отъ стѣнокъ свѣтового дворика. Задача, слѣдовательно, заключается главнымъ образомъ въ опредѣленіи освѣщенности окна. Освѣщенность его можно опредѣлить, рассматривая его какъ часть стѣны нѣкотораго помѣщенія (свѣтового дворика), освѣщеннаго окномъ *abcd* (отверстіемъ дворика), или, опредѣляя отдѣльно освѣщенность окна прямымъ свѣтомъ—черезъ отверстіе свѣтового дворика и отраженнымъ—отъ стѣнъ его.

1-й способъ.

Рассматривая окно *mn* какъ часть стѣны въ нѣкоторомъ помѣщеніи (свѣтовой дворикъ), освѣщенномъ черезъ отверстіе *abcd*, опредѣляемъ освѣщенность двухъ точекъ—*m* и *n* овна, а затѣмъ беремъ среднюю арифметическую этихъ величинъ—какую и можно съ достаточной точностью считать за освѣщенность овна, при введеніи поправки на добавочную освѣщенность разсыяннымъ свѣтомъ.

Освѣщенность точки *n* прямымъ свѣтомъ равна (см. примѣръ 4, стр. 132) при

$$\gamma = 67^\circ; \quad \alpha = 25^\circ;$$

$$B_n = 2 \cdot 23,19 \cdot \left[90 - 90 \cos 25^\circ - 67 + \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 67^\circ}{\cos 25^\circ} \right) \cos 25^\circ \right] = \infty 182 \text{ свѣче-метр.}$$

Освѣщенность точки *m* прямымъ свѣтомъ (при $\gamma = 72^\circ; \alpha = 19^\circ$) равна

$$B_m = 2 \cdot 23,19 \left[90 - 90 \cos 19^\circ - 72 + \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 72^\circ}{\cos 19^\circ} \right) \cos 19^\circ \right] = 84 \text{ свѣче-метр.}$$

Предполагая, что свѣтовой дворикъ окруженъ гладкими бѣлыми стѣнами съ коэффициентомъ разсыянія 0,85 (см. табл. 12, стр. 25), получимъ средний и интегральный коэффициенты разсыянія слѣдующимъ образомъ:

Площадь стѣнъ и пола свѣтового дворика 182,5 кв. метр. съ коэффициентомъ разсыянія 0,85; площадь отверстія *abcd*—16,5 кв. метр. съ коэффициентомъ разсыянія 0. Средній коэффициентъ разсыянія будетъ (см. стр. 34):

$$k = \frac{182,5 \cdot 0,85 + 16,5 \cdot 0}{182,5 + 16,5} = 0,78.$$

Для этого коэффициента изъ табл. 18 (стр. 34) получаемъ интегральный коэффициентъ разсыянія 4,6.

Средняя освѣщенность овна будетъ

$$B_{mn} = 4,6 \frac{182 + 84}{2} = 612 \text{ дец. свѣче-метр.}$$

Средняя освѣщенность комнаты будетъ (см. стр. 35):

$$e = \frac{612}{2650 \cdot \pi} \frac{2650 \cdot \pi \cdot 0,51 \cdot Q}{(1 - k_{\text{ср.}}) \cdot S},$$

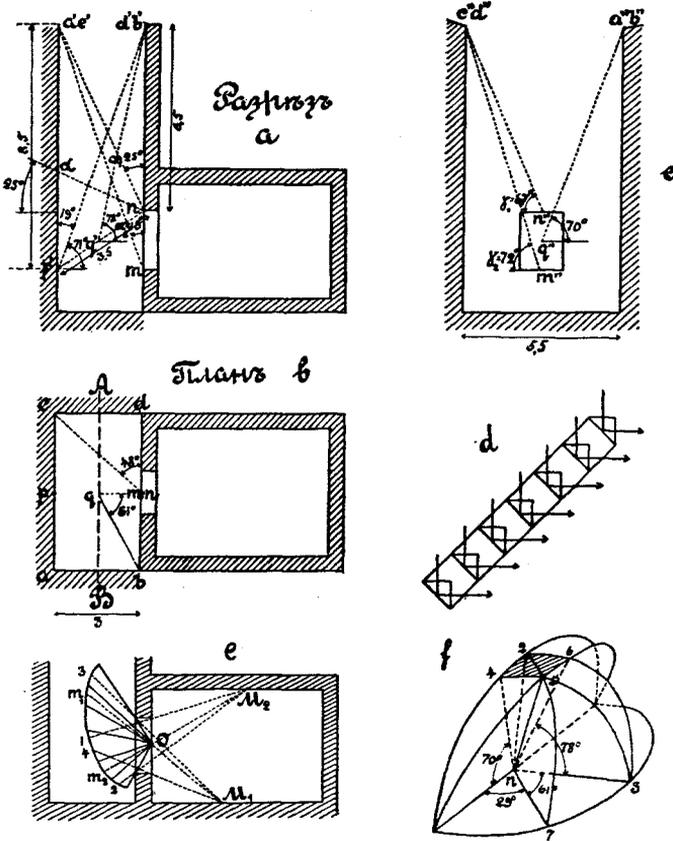
гдѣ Ω — площадь окна = 3 кв. м.,

S — площадь поверхности стѣнъ, пола и потолка комнаты = 128 кв. м.,

$$e = \frac{612 \cdot 2650 \cdot \pi \cdot 0,51 \cdot 3 \cdot 1,75}{2650 \cdot \pi \cdot 128} = \infty 13 \text{ децимальн. свѣче-метр.}$$

2-й способъ.

Разныя точки свѣтового дворика освѣщены различнымъ образомъ. Опредѣливъ въ освѣщенность, можно было бы опредѣлить освѣщенность точекъ m и n овна



Черт. 113 (къ примѣрамъ 10—15).

слѣдующимъ образомъ. Напримѣръ, пусть освѣщенность середины k верхняго края свѣтового дворика, будетъ M .

На основаніи закона Lambert'a (стр. 9) сила свѣта испускаемаго точкою k по направленію въ точкѣ m будетъ $M \sin 19^\circ$.

Взявъ цѣлый рядъ точекъ свѣтового дворика, опредѣлимъ тотъ свѣтъ, который будетъ испускаться ими по направленію къ точкѣ m . Наконецъ взявъ среднюю арифметическую этихъ значеній, получимъ среднее значеніе M_0 силы свѣта, падающаго въ точку m съ разныхъ сторонъ дворика.

Освѣщенность точки m будетъ равна

$$E_m' = \frac{M_0}{2650} 0,78 \cdot 4,6 [2650 \cdot \pi - 84].$$

подобнымъ же образомъ опредѣлимъ освѣщенность и точки n . Далѣе же поступаемъ такъ же, какъ и въ 1-мъ способѣ.

Примѣръ № 11.

Окно выходитъ въ свѣтовой дворикъ.

Опредѣленіе средней освѣщенности въ комнатѣ. Окно съ матовыми стенками.

Задача рѣшается такъ же, какъ и въ примѣрѣ 10, только вмѣсто коэффициента 0,51, пропускания свѣта черезъ окно съ обыкновенными стеклами слѣдуетъ взять 0,39 — коэффициентъ пропускания черезъ окно съ матовыми стеклами (черт. 113).

Средняя освѣщенность въ комнатѣ будетъ

$$e = \frac{612 \cdot 2650 \cdot \pi \cdot 0,39 \cdot 3 \cdot 1,75}{2650 \cdot \pi \cdot 128} = \approx 10 \text{ свѣче-метр.}$$

Примѣръ № 12.

Окно выходитъ въ свѣтовой дворикъ.

Опредѣленіе средней освѣщенности въ комнатѣ при устройствѣ отражателей.

Пусть передъ окномъ устроена наклонная рама pn (черт. 113a) со стеклянными прирами (черт. 113d), расположенными такъ, что одна грань ихъ горизонтальна, другая — вертикальна, а третья — наклонена къ окну подъ угломъ въ 45° . Тогда свѣтъ, пройдя черезъ раку, будетъ наклоненъ подъ угломъ 90° къ окну. Опредѣлимъ среднюю освѣщенность стенокъ рамы. Напримѣръ, опредѣлимъ освѣщенность трехъ точекъ ея n , p и q (черт. 113a).

Точка n будетъ освѣщена прямымъ свѣтомъ черезъ удвоенное отверстіе 2 4 5 6 (черт. 113f) равное

$$1 \ 2 \ 3 - 1 \ 3 \ 6 - 1 \ 4 \ 3 + 1 \ 5 \ 7 + 3 \ 5 \ 7^1).$$

$$B_n' = \left\{ 2650 \cdot \frac{\pi}{4} - 2650 \cdot \frac{\pi}{4} (1 - \cos 65^\circ) - 2650 \cdot \frac{\pi}{4} (1 - \cos 67^\circ) + \right. \\ \left. + 23,19 \left[48 - \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 48^\circ}{\cos 65^\circ} \right) \cos 65^\circ \right] + 23,19 \left[42 - \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 42^\circ}{\cos 67^\circ} \right) \cos 67^\circ \right] \right\} \times 2 \dots (1)$$

или

$$B_n' = (2080 - 1200 - 1267 + 458 + 371) 2 = 884 \text{ свѣче-метр.}$$

Освѣщенность точки p прямымъ свѣтомъ будетъ

$$B_p' = \left\{ 2080 - 2650 \cdot \frac{\pi}{4} (1 - \cos 71^\circ) - 2650 \cdot \frac{\pi}{4} (1 - \cos 72^\circ) + \right. \\ \left. + 23,19 \left[48 - \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 48^\circ}{\cos 71^\circ} \right) \cos 71^\circ \right] + 23,19 \left[42 - \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 42^\circ}{\cos 72^\circ} \right) \cos 72^\circ \right] \right\} 2 = \\ = (2080 - 1402 - 1437 + 557 + 465) 2 = 524.$$

Освѣщенность точки q прямымъ свѣтомъ

$$B_q' = 4 \cdot \left\{ 2650 \cdot \frac{\pi}{4} - 2650 \cdot \frac{\pi}{4} (1 - \cos 78^\circ) - 2650 \cdot \frac{\pi}{4} (1 - \cos 70^\circ) + \right. \\ \left. + 23,19 \left[29^\circ - \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 29^\circ}{\cos 78^\circ} \right) \cos 78^\circ \right] + 23,19 \left[61^\circ - \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} 61^\circ}{\cos 70^\circ} \right) \cos 70^\circ \right] \right\} = \\ = 4 [2080 - 3028 + 1125] = 708 \text{ свѣче-метр.}$$

¹⁾ На черт. 113f въ лѣвомъ концѣ дуги 37 пропущена цифра 1. Величины угловъ на этомъ чертежѣ даны для точки q , для точекъ же n и t эти величины берутся изъ черт. 113 a, b и c.

Коэффициент разсѣянія для стѣнъ дворяка былъ ранѣе выбранъ равнымъ 0,85. Для стеклянной рамы ρ коэффициентъ отраженія можно опредѣлить слѣдующимъ образомъ: наибольшій уголъ паденія лучей прямого свѣта на горизонтальную грань призмы у точки λ равенъ 25° , наименьшій уголъ паденія у той же точки — 0° . На основаніи черт. 10 (стр. 23) коэффициентъ отраженія для этихъ угловъ въ среднемъ равенъ 0,05.

Площадь стѣнъ свѣтового дворяка . . . $(8,5 + 6,5) 5,5 + \frac{8,5+6,5}{2} \cdot 2,3 = 127,5$ кв. м.
 » стеклянной рамы $3,5 \cdot 5,5 = 19,25$ » »
 » верхняго отверстія $3 \cdot 5,5 = 16,5$ » »

Средній коэффициентъ разсѣянія

$$k_{\text{ср.}} = \frac{127,5 \cdot 0,85 + 19,25 \cdot 0,05 + 16,5 \cdot 0}{127,5 + 19,25 + 16,5} = 0,67.$$

Интегральный коэффициентъ разсѣянія для 0,67 изъ табл. 18 (стр. 34) равенъ 3,08.

Приблизительно средняя освѣщенность рамы ρ будетъ

$$\frac{524 + 708 + 884}{3} \cdot 3,08 = 705 \cdot 3,08 = 2172 \text{ децимальн. свѣче-метр.}$$

Свѣтъ, падающій на раму, частью проходитъ черезъ нее и освѣщаетъ полъ свѣтового дворяка, частью отражается вверхъ свѣтового дворяка, частью, отражаясь отъ наклонныхъ граней призмы, попадаетъ въ комнату и, наконецъ, частью поглощается матеріаломъ стеколъ и рамъ.

Свѣтъ, отраженный отъ рамы вверхъ свѣтового дворяка, равенъ (на основаніи данныхъ черт. 10, стр. 23)

$$B_1 = 2172 \cdot 0,05 = 109 \text{ свѣче-метр.}$$

Свѣтъ, поглощенный зеркальными стеклами рамы, на основаніи табл. 17 (стр. 31) равенъ

$$B_2 = (2172 - 109) \cdot 0,05 = 103 \text{ свѣче-метр.}$$

Свѣтъ, поглощенный желѣзными переплетами рамы (на основаніи табл. 17)

$$B_3 = (2172 - 109 - 103) \cdot 0,10 = 196 \text{ свѣче-метр.}$$

Свѣтъ, пропущенный сквозь раму на дно свѣтового дворяка, теоретически равенъ нулю, но, принимая во вниманіе несовершенство шлифовки граней призмы и не полную перпендикулярность свѣта, падающаго на раму, къ поверхностямъ призмы, можно предположить, что часть свѣта проходитъ черезъ призмы. Изъ черт. 10 (стр. 23) при углѣ паденія въ 45° , отраженный свѣтъ теряетъ въ своей силѣ около 10% , каковыя мы можемъ съ нѣкоторымъ вѣроятіемъ считать для свѣта, проходящаго сквозь раму. Такимъ образомъ свѣтъ, проходящій сквозь раму, будетъ

$$B_4 = (2172 - 109 - 103 - 196) \cdot 0,1 = 177 \text{ свѣче-метр.}$$

Такимъ образомъ комната будетъ освѣщена пучкомъ свѣта лучей, нормальныхъ къ плоскости окна, силою

$$B_5 = 2172 - 109 - 103 - 196 - 177 = 1587 \text{ свѣче-метр.}$$

Такъ какъ рама находится почти у окна, то можно принять, что эта величина силы свѣта, падающаго на окно, т. е. не уменьшая его согласно закона разстояній:

Если окно комнаты не закрыто остекленными рамами, то средняя освѣщенность комнаты будетъ, на основаніи формулы 1 (стр. 88):

$$e = \frac{1587}{2650 \cdot \pi} \cdot \frac{2650 \cdot \pi \cdot \Omega}{(1 - k_{\text{ср.}}) \cdot S}, \dots \dots \dots (a)$$

гдѣ, изъ примѣра 10,

$$\Omega = 3 \text{ кв. метр.},$$

$$S = 128 \text{ кв. метр.}$$

$$\frac{1}{1 - k_{\text{ср}}} = 1,75.$$

Подставляя эти величины въ формулу (а), получимъ:

$$e = \frac{1587 \cdot 2650 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 1,75}{2650 \cdot \pi \cdot 128} = 65 \text{ дедималн. свѣче-метр.}$$

Если, для полученія равномернаго освѣщенія въ комнатѣ, закрыть окно цѣльнымъ матовымъ стекломъ, съ коэффициентомъ поглощенія въ 30%, то средняя освѣщенность комнаты будетъ

$$e' = 65 \cdot 0,70 = 45,5 \text{ свѣче-метр.}$$

При устройствѣ же въ окнѣ рамы съ призматическими стеклами, разсѣивающими свѣтъ (по черт. 100 или 101), средняя освѣщенность комнаты будетъ около

$$e'' = 65 \cdot 0,81^*) = \text{ср } 52 \text{ свѣче-метр.}$$

Примѣръ № 13.

Окно выходитъ въ свѣтовой дворикъ.

Опредѣленіе освѣщенности въ данномъ мѣстѣ помѣщенія Окно съ обыкновенными стенами.

Опредѣленіе освѣщенности какой нибудь точки комнаты дѣлается такъ же, какъ и въ примѣрѣ 8 (2-й способъ), т. е., зная среднюю освѣщенность окна (612 свѣче-метр., примѣръ 10) и зная освѣщенность данной точки комнаты, когда окно комнаты ничѣмъ не заграждено, можно опредѣлить и освѣщенность точки при данныхъ условіяхъ.

Напримѣръ, если освѣщенность точки А (черт. 109, примѣръ 4), когда передъ ономъ нѣтъ стѣнъ, равна 340 свѣче-метр., то для нашего случая

$$B_A = \frac{612}{2650 \cdot \pi} \cdot 340 = \frac{612}{8038} \cdot 340 = 26 \text{ свѣче-метр.}$$

Болѣе точный способъ заключается въ слѣдующемъ. Построимъ для центра O внутренней поверхности окна (черт. 113е) поверхность, радіусы которой были бы пропорциональны нормальной освѣщенности этой точки отъ различныхъ частей свѣтового дворика и неба. Тогда освѣщенность какой нибудь точки M_1 пола комнаты будетъ въ среднемъ зависѣть отъ величины освѣщенности точки O по направленію радіусовъ въ предѣлахъ между $O_3 - O_4$ и въ среднемъ будетъ пропорциональна радіусу om_1 ; для точки M_2 освѣщенность будетъ пропорциональна величинѣ om_2 .

Окончательно, освѣщенность точки M_1 будетъ

$$B_{M_1} = \frac{om_1}{2560 \cdot \pi} \cdot B'_M,$$

гдѣ B'_M — есть освѣщенность точки M_2 , когда передъ ономъ комнаты нѣтъ стѣнъ. B'_M опредѣляется способомъ, указаннымъ въ примѣрѣ 4-мъ.

*) $0,81 = 100 - 0,19$, гдѣ 19% есть количество свѣта, пропадающее бесполезно при прохожденія черезъ раму со стеклянными призмами и равное, на основаніи предыдущаго, $\frac{109 + 103 + 196}{2172} = 0,19$.

Примѣръ № 14.

Окно выходитъ въ свѣтовой дворикъ.

Опредѣленіе освѣщенности въ данномъ мѣстѣ помѣщенія. Окно съ матовыми стенлами.

Средняя освѣщенность овна на основаніи примѣра 10 равна 612 свѣче-метр.

Въ дальѣйшемъ задача рѣшается такъ же, какъ и въ примѣрѣ 5-мъ, только величины освѣщенности разныхъ точекъ слѣдуетъ умножить на коэффициентъ

$$\frac{612}{2650 \cdot \pi} = 0,076.$$

Примѣръ № 15.

Окно выходитъ въ свѣтовой дворикъ.

Опредѣленіе освѣщенности въ данномъ мѣстѣ помѣщеніе. Передъ окномъ устроенъ отражатель.

Если передъ окномъ устроенъ только отражатель пр (черт. 113 а), то комната будетъ освѣщаться пучкомъ параллельныхъ лучей, силою у окна въ 1587 свѣче-метр. (см. примѣръ 12). Часть стѣны, находящейся прямо противъ овна въ разстояніи отъ окна 6 метр., будетъ освѣщена свѣтомъ силою въ $\frac{1587}{6^2} = \infty 44$ децим. свѣче-метр. (точнѣе $\frac{1587}{6} +$ разстояніе середины отражателя q до окна)². Остальныя же части комнаты будутъ освѣщены свѣтомъ, разсѣяннымъ отъ этой части стѣны и расчетъ ихъ освѣщенности производится такъ же, какъ и въ примѣрѣ 4-мъ.

Если же въ окно вставлена рама съ разсѣивающими стеклами, то свѣтъ будетъ болѣе равномерно освѣщать комнату. При коэффициентахъ рамы: поглощенія въ 0,13 и отраженія въ = 0,05, сила свѣта, разсѣиваемаго ею, будетъ

$$1587 - 1587 \cdot 0,05 - 1587 (1 - 0,05) \cdot 0,13 = 1404.$$

Уподобляя теперь окно въ свою очередь источнику свѣта, силою въ 1404 свѣче-метр., опредѣляемъ освѣщенность разныхъ точекъ комнаты, какъ это было указано въ примѣрѣ 4-мъ.

Примѣръ № 16.

Помѣщеніе съ верхнимъ яркимъ свѣтомъ.

Опредѣленіе средней степени освѣщенія. Стенла обывновенныя.

Предположимъ, что требуется опредѣлить среднюю степень освѣщенія въ мастерской (черт. 114) съ верхнимъ свѣтомъ. Теплая кровля мастерской, служащая одновременно и потолкомъ ея, уложена на металлическихъ стропилахъ; въ кровлѣ устроенъ продольный остекленный фонарь $b'f'e'$ (черт. 114 с), примыкающій къ глухимъ торцевымъ стѣнамъ зданія. Размѣры зданія тѣ же, что и въ предыдущихъ примѣрахъ ¹⁾. Рамы въ фонарѣ двойныя металлическія.

Примемъ слѣдующія данныя:

коэффициентъ пропускающаго для двойныхъ остекленныхъ металлическихъ фонарныхъ рамъ (табл. 17, стр. 31)	$k = 0,77$
коэффициентъ разсѣяннаго для стѣнъ зданія	0,36
» » » пола »	0,20
» » » потолка »	0,85
» » » стенокъ фонаря	0,20

¹⁾ На черт. 114а размѣръ 6 метр. долженъ выражать длину зданія въ свѣту.

площадь пола	= 27 кв. метр.
» стѣна	= 84 » »
» потолка	= 12 » »
» отверстия, пропускающаго свѣтъ . $\Omega = 2,5 \cdot 6 = 15$	» »

Средній коэффициентъ разсвѣтания

$$k_{\text{ср.}} = \frac{27 \cdot 0,20 + 84 \cdot 0,36 + 12 \cdot 0,85 + 15 \cdot 0,20}{S = 27 + 84 + 12 + 15} = 0,35.$$

Интегральный коэффициентъ разсвѣтания (по табл. 18, стр. 34):

$$\frac{1}{1 - k_{\text{ср.}}} = 1,53.$$

Сумма освѣщенныхъ площадей:

$$S = 138 \text{ кв. метр.}$$

Средняя горизонтальная освѣщенность комнаты (стр. 88) будетъ равна

$$e = \frac{\pi \cdot k \cdot 2650 \cdot \Omega}{(1 - k_{\text{ср.}}) \cdot S} = \frac{3,14 \cdot 0,77 \cdot 2650 \cdot 15 \cdot 1,53}{138} = \infty 1065 \text{ децим. свѣче-метр.}$$

Такъ какъ конструкция фермъ отчасти заграждаетъ доступъ свѣта въ помещеніе, то полученную величину слѣдуетъ немного уменьшить. Приблизительно коэффициентъ уменьшения можно опредѣлять слѣдующимъ образомъ:

Пусть площадь горизонтальной проекціи конструкции фермъ и связей подъ фонаремъ равна около 2 кв. метр., а площадь вертикальной проекціи конструкцій фермъ подъ фонаремъ — 0,5 кв. метр.

Опредѣлимъ отношеніе этихъ площадей къ соответственнымъ площадямъ горизонтальной и вертикальной проекцій фонаря:

$$\frac{2}{2,5 \cdot 6} = 0,133; \quad \frac{0,5}{\pi \cdot 2,5^2} = 0,204.$$

Приблизительно можно принять, что средній коэффициентъ затемнѣнія отъ конструкции фермъ равенъ

$$\frac{0,133 + 0,204}{2} = \infty 0,19;$$

окончательно получаемъ среднюю освѣщенность помещенія

$$e' = 1065 (1 - 0,19) = 863 \text{ децимальн. свѣче-метр.}$$

Примѣръ № 17.

Помѣщеніе съ верхнимъ прямымъ свѣтомъ.

Опредѣленіе средней степени освѣщенія. Стенла матовыя.

Пусть кровля и фонарь остаются тѣми же, что и въ примѣрѣ 16, только наружныя рамы фонаря остеклены матовыми стеклами съ коэффициентомъ ослабленія 0,73. Принимая коэффициенты пропусканія (табл. 17):

$$\begin{aligned} \text{для простыхъ стеколъ} & \dots 1 - 0,05 = 0,95 \\ \text{» желѣзныхъ рамъ} & \dots 1 - 0,10 = 0,90, \end{aligned}$$

получаемъ коэффициентъ пропусканія для фонаря:

$$k = 0,95 \cdot 0,90 \cdot 0,73 = 0,62.$$

На основаніи формулы 2-й, стр. 90, средняя горизонтальная освѣщенность помещенія будетъ:

$$e = \frac{\pi \cdot k \cdot 2650 \cdot \Omega}{(1 - k_{\text{ср.}}) \cdot S},$$

гдѣ Ω , $k_{\text{ср.}}$ и S имѣютъ тѣ же значенія, что и въ примѣрѣ 16.

$$e = \frac{3,14 \cdot 0,62 \cdot 2650 \cdot 15 \cdot 1,53}{138} = 858.$$

Принимая же во вниманіе затемнѣніе конструкціей фермъ, получимъ окончательно:

$$e' = (1 - 0,19) \cdot 858 = \text{св } 780 \text{ децималън. свѣче-метр.}$$

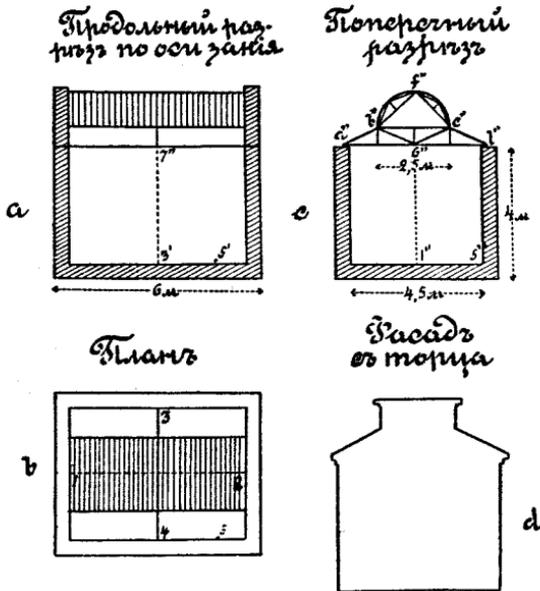
Примѣръ № 18.

Помѣщеніе съ верхнимъ прямымъ свѣтомъ ¹⁾.

Опредѣленіе освѣщенности въ данномъ мѣстѣ помѣщенія. Остекла обыкновенныя.

Опредѣленіе освѣщенности по линиямъ 1—2, 3—4 пола можно опредѣлить двумя способами:

1-й способъ (приближенный). По правилу, изложенному на стр. 94 (черт. 84),



Черт. 114 (къ примѣрамъ №№ 16—19).

принимая во вниманіе примѣчаніе на стр. 103. По тому же способу можно опредѣлить освѣщенность по линиямъ 1"—6" и 3'—7' стѣнъ.

Освѣщенность любой точки этихъ линий тогда опредѣляется по формулѣ

$$B = 2650 \cdot k \cdot \frac{F}{a^2} \sin \alpha \cdot \frac{1}{1 - k_{\text{ср.}}} \cdot k',$$

гдѣ k — коэффициенту пропусканія свѣта черезъ фонарь = 0,77.

$\frac{1}{1 - k_{\text{ср.}}}$ — интегральный коэффициентъ разсѣянія — 1,53,

k' — коэффициентъ затемнѣнія отъ конструкціи фермъ (см. примѣръ 16) = 0,81.

¹⁾ См. также брошюру нашу „Построеніе диаграммъ освѣщенности дневнымъ свѣтомъ дебаркадера и пассажирскаго тоннеля новаго вокзала Николаевской ж. дороги на станціи С.-Петербургъ“. Въ брошюрѣ этой (изд. литограф.) приведены подробные расчеты освѣщенности разныхъ мѣстъ помѣщенія въ зависимости отъ мѣстныхъ условий.

Освѣщенность случайной точки b пола опредѣляется согласно правилу, изложенному на стр. 93 (1-й способъ) по формулѣ

$$B = 2650 \cdot 0,77 \cdot 1,53 \cdot \frac{F}{a^2} \sin \alpha \cdot 0,81.$$

2-й способъ (болѣе точный). Освѣщенность любой точки пола и стѣнъ опредѣляется на основаніи данныхъ случая 4-го (стр. 98) и такъ же, какъ опредѣляется освѣщенность точекъ въ примѣрѣ 4-мъ.

Освѣщенность случайной точки потолка, куда прямой свѣтъ отъ фонаря не попадаетъ, опредѣляется слѣдующимъ образомъ:

Сначала опредѣляется средняя освѣщенность пола и стѣнъ, а затѣмъ, по способу, изложенному на стр. 98 (случай 4-й), опредѣляется и освѣщенность точки потолка свѣтомъ разсѣяннымъ. Такимъ же образомъ опредѣляется освѣщенность вообще всѣхъ точекъ, куда прямой свѣтъ не попадаетъ.

Примѣръ № 19.

Помѣщеніе съ верхнимъ прямымъ свѣтомъ.

Опредѣленіе освѣщенности въ данномъ мѣстѣ помѣщенія. Стенла матовыя.

Способъ рѣшенія задачи тотъ же, что и въ примѣрѣ 18, только вмѣсто коэффициента пропусканія свѣта черезъ рамы фонаря 0,77, слѣдуетъ взять коэффициентъ 0,62 (см. примѣръ 17).

Примѣръ № 20.

Помѣщеніе съ верхнимъ непрямымъ свѣтомъ.

Опредѣленіе средней степени освѣщенія.

Если черезъ верхнее окно падаетъ въ помѣщеніе свѣтъ не прямой, то слѣдуетъ сначала опредѣлить среднюю освѣщенность ($B_{\text{ср.}}$) самого окна прямымъ свѣтомъ, а затѣмъ разсматривать это окно какъ источникъ свѣта и опредѣлять освѣщенность помѣщенія, какъ указано въ примѣрахъ 16 и 17, т. е. по формуламъ

$$e = K \cdot \frac{\pi k \cdot 2650 \cdot \Omega}{(1 - k_{\text{ср.}}) \cdot S},$$

гдѣ всѣ буквы имѣютъ тѣ же значенія, что и въ примѣрахъ 16 и 17, а $K = \frac{B_{\text{ср.}}}{2650 \cdot \pi}$.

Примѣръ № 21.

Помѣщеніе съ верхнимъ непрямымъ свѣтомъ.

Опредѣленіе освѣщенности въ данномъ мѣстѣ помѣщенія.

Слѣдуетъ опредѣлить сначала среднюю освѣщенность ($B_{\text{ср.}}$) прямымъ свѣтомъ окна, пропускающаго свѣтъ въ данное помѣщеніе, а затѣмъ уже опредѣлять освѣщенность разныхъ точекъ помѣщенія, какъ указано въ примѣрахъ 18 и 19, по формулѣ

$$B = 2650 \cdot k \cdot \frac{F}{a^2} \sin \alpha \cdot \frac{1}{1 - k_{\text{ср.}}} \cdot k \cdot K,$$

гдѣ всѣ буквы имѣютъ тѣ же значенія, что и въ примѣрахъ 18 и 19, а $K = \frac{B_{\text{ср.}}}{2650 \cdot \pi}$, или же по способу 4-му (стр. 98). (См. также примѣръ № 4) (стр. 132).

Примѣръ № 22.

Опредѣленіе освѣщенности стѣнъ домовъ и мостовой улицы.

Освѣщенность любой точки или средняя освѣщенность мостовой или стѣнъ домовъ опредѣляется такъ же, какъ для помѣщенія съ верхнимъ прямымъ свѣтомъ (примѣры 16—19) (черт. 115).

Можно определять также освещенность любой точки a по способу изложенному в примѣрѣ 12 (черт. 113), зная углы α и β наклопенія къ плоскости, гдѣ лежитъ точка a , плоскостей, ограничивающихъ свѣтовой пучекъ лучей, попадающихъ въ a . Коэффициенты рассвѣта определяются такъ же, какъ въ примѣрѣ 12 для стеклянной рамы.

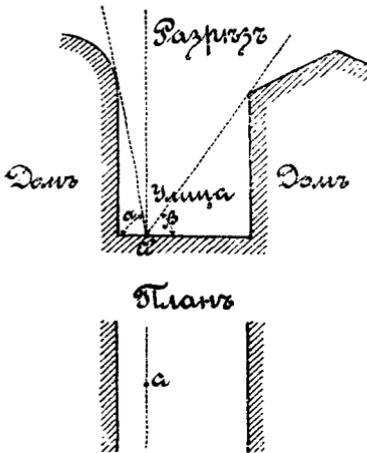
Примѣръ № 23.

Определеіе силы собственныхъ и падающихъ тѣней геометрическихъ тѣлъ.

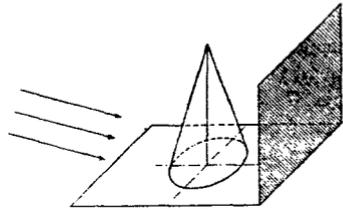
Для того, чтобы опредѣлить силу собственной тѣни пли, вѣрнѣе, опредѣлить освещенность различныхъ точекъ какого нибудь тѣла, напримѣръ конуса (черт. 116) при заданномъ направленіи лучей свѣта и заданныхъ окружающихъ предметахъ, слѣдуетъ поступить слѣдующимъ образомъ.

Разсмотримъ сначала вліяніе прямого свѣта. Освѣщенность любой точки тѣла будетъ пропорціональна синусу угла между направлениемъ луча и поверхностью тѣла.

Если не принимать во вниманіе свѣта, рассѣиваемаго атмосферою и окружающими предметами, то линіей отдѣла неосвѣщенной поверхности тѣла отъ освѣщенной будетъ линія касанія поверхности данного тѣла съ пѣкоторою поверхностью, производящяя которой параллельна лучамъ свѣта. Эта поверхность будетъ цилиндрической, если лучи свѣта параллельны другъ другу (ва-



Черт. 115 (къ примѣру № 22).



Черт. 116 (къ примѣру № 23).

примѣръ, солнечные лучи) или конической, если свѣтъ исходить изъ какой нибудь точки (для конуса (черт. 116) эта поверхность обращается въ совокупность двухъ плоскостей). Въ послѣднемъ случаѣ эта вспомогательная копическая поверхность будетъ имѣть вершину въ свѣтящейся точкѣ.

Если не принимать во вниманіе дѣйствія разсѣянного свѣта, то всѣ точки поверхности тѣла, куда не попадетъ прямой свѣтъ, будутъ одинаково темными. Однако, въ дѣйствительности этого не наблюдается благодаря вліянію разсѣянного свѣта. Послѣдній можетъ падать на поверхность тѣла, во первыхъ, отъ атмосферы, во вторыхъ, отъ окружающихъ предметовъ. Опредѣлимъ освѣщенность поверхности тѣла свѣтомъ рассѣиваемымъ атмосферою.

Предположимъ, что освѣщенность поверхности тѣла нормальной къ солнечнымъ лучамъ выражается цифрою — въ среднемъ 73600 дец. свѣче-метровъ (см. табл. 9, стр. 17). Хотя различныя части атмосферы при этомъ будутъ рассѣивать свѣтъ различной силы, по мы допустимъ, что свѣтъ будетъ рассѣиваться различными частями атмосферы одинаково, и примемъ силу его въ среднемъ 0,17 солнечнаго освѣщенія (см. стр. 26), т. е. въ $73600 \cdot 0,17 = \approx 11775$ дец. свѣче-метр.

Предположимъ дальѣ, что тѣло стоитъ на столѣ покрытомъ бѣлой чертежной бумагой, а сбоку стоитъ картонный четырехугольный экранъ. При такихъ условіяхъ не трудно на основаніи способа 4 (стр. 98) опредѣлить освѣщенность любой точки поверхности тѣла свѣтомъ разсѣиваемымъ атмосферою, взявъ лишь вмѣстѣ числа 2650 число 11775.

Освѣщенность тѣла свѣтомъ разсѣиваемымъ экраномъ и столомъ опредѣляется также на основаніи способа 4 (стр. 98), принимая во вниманіе лишь коэффициенты разсѣянія данного тѣла экрана и стола (табл. 12, стр. 25) и интегральный коэффициентъ разсѣянія. Суммируя освѣщенности поверхности отъ прямого свѣта и отъ свѣта разсѣиваемого атмосферою экраномъ и столомъ, получимъ полныя освѣщенности точекъ тѣла.

Если мы имѣемъ изображеніе тѣла въ какихъ нибудь проекціяхъ (напр. перспективу его) и если мы зададимся шкалою тоновъ для изображенія свѣта разной интенсивности, то мы можемъ на основаніи предыдущихъ расчетовъ нанести тѣни на поверхность тѣла и получить картину, которая будетъ довольно близко подходить въ натурѣ при заданныхъ условіяхъ.

Полученная освѣщенность тѣла будетъ дѣйствительной освѣщенностью его а не кажущейся для наблюдателя, находящагося въ данномъ мѣстѣ. Для опредѣленія же кажущейся освѣщенности слѣдуетъ уменьшить освѣщенности всѣхъ точекъ тѣла, видимыхъ наблюдателемъ пропорціонально: а) коэффициенту разсѣянія поверхности тѣла, б) квадратамъ расстоянія точекъ отъ наблюдателя, в) синусамъ угловъ наклона нормали къ поверхности тѣла въ данной точкѣ и лучемъ, соединяющимъ эту точку съ точкою зрѣнія и д) коэффициенту поглощенія свѣта атмосферою.

Если предположить, что различныя части атмосферы испускаютъ свѣтъ неодинаковый, то картина освѣщенности частей тѣла будетъ другая. Вѣроятнѣ всего задаться слѣдующимъ закономъ измѣненія силы свѣта испускаемаго различными точками небснаго свода. Если, на примѣръ, предположить, что солнце (S) находится на горизонтѣ къ востоку отъ наблюдателя, то наиболѣе сильный свѣтъ будетъ отражать часть (S') небснаго свода, противоположная солнцу, т. е. небо на западѣ у горизонта. Свѣтъ отражаемый небомъ будетъ ослабѣвать при удаленіи отъ точки S', и это ослабленіе силы свѣта можно считать пропорціональнымъ синусу угла наклона части небснаго свода къ направленію солнечныхъ лучей, падающихъ на эту часть. Зная же силу свѣта, испускаемаго разными точками небснаго свода, не трудно опредѣлить освѣщенность и разныхъ точекъ тѣла.

Проще однако, опредѣлить освѣщенность частей тѣла, атмосферою слѣдующимъ образомъ. Предположимъ, что въ S' помѣщается фиктивное солнце съ силою свѣта въ $B' = a \cdot B$ деп. свѣче-метровъ (на примѣръ, если сила свѣта лучей солнца, когда послѣднее у горизонта $B = 2650$ п $a = 0,17$ то $B' = 0,17 \cdot 2650 = 450$ деп. св. метр.). Предполагая теперь, что тѣло освѣщено со стороны противоположной реальному солнцу, параллельными лучами ($B' = a' \cdot B$), опредѣлимъ освѣщенность различныхъ частей его поверхности по закону синусовъ.

Упомянемъ еще о такъ называемыхъ блестящихъ точкахъ и о блестящихъ линіяхъ, которыя наблюдаются главнымъ образомъ на хорошо полированныхъ поверхностяхъ. Блестящей точкой на такой поверхности называется такая точка, въ которой падающій лучъ свѣта и лучъ отраженный къ глазу наблюдателя, составляютъ одинаковые углы съ нормалью къ поверхности въ данной точкѣ. Блестящею линіею на поверхности называется геометрическое мѣсто блестящихъ точекъ ея.

Очевидно, положеніе блестящихъ точекъ и блестящихъ линій данной поверхности зависитъ отъ направленія лучей свѣта и отъ положенія точки зрѣнія.

При построеніи тѣней можно руководствоваться нижеслѣдующими правилами, которыя вытекаютъ изъ предыдущей теоріи:

1. Видимая освѣщенность равномерно освѣщенной матовой поверхности при разныхъ углахъ наклона къ ней луча зрѣнія остается постоянной.

2. Сила свѣта отраженнаго отъ элемента матовой поверхности пропорціональна косинусу угла отраженія свѣта (т. е. угла между отраженнымъ лучемъ и нормалью къ поверхности въ точкѣ отраженія).

3. Видимая освѣщенность матовой поверхности не зависитъ отъ положенія наблюдателя а зависитъ отъ силы и направленія лучей свѣта освѣщающихъ эту поверхность.

4. Для матовой поверхности мѣста, которыя кажутся одинаково освѣщенными, являются и въ дѣйствительности одинаково освѣщенными.

5. Горизонтальная освѣщенность поверхности пропорціональна синусу угла между лучемъ свѣта и плоскостью касательной къ поверхности въ данной точкѣ.

6. Чѣмъ меньше будетъ падать на поверхность непрямыхъ лучей свѣта, тѣмъ сильнѣе будетъ тѣнь на этой поверхности и наоборотъ.

7. Изъ двухъ элементовъ поверхности, находящейся въ собственной тѣни, тотъ будетъ казаться свѣтлѣе, который будетъ круче наклоненъ къ направленію лучей свѣта. (Предполагаемая освѣщенность фиктивнымъ солнцемъ S' — см. стр. 148).

8. Линія отдѣла собственной тѣни будетъ темнѣе всѣхъ мѣстъ собственной тѣни; не будучи въ то же время совершенно темной она въ то же время будетъ свѣтлѣе тѣни падающей.

9. Тѣнь падающая отъ одного тѣла на другое уменьшается въ своей силѣ при удаленіи тѣлъ другъ отъ друга.

10. Тѣнь падающая отъ одного предмета на другой будетъ сильнѣе въ своемъ началѣ и слабѣе въ концѣ.

11. Элементъ поверхности тѣла, находящейся въ падающей тѣни, будетъ настолько темнѣе, насколько онъ былъ бы свѣтлѣе, если бы падающей тѣни не было.

12. Сила свѣта обратно пропорціональна квадрату разстоянія освѣщенной поверхности отъ источника свѣта.

13. Видимая освѣщенность предмета не зависитъ отъ его разгонія до наблюдателя (если не принимать во вниманіе ослабленія силы свѣта атмосферой).

14. Часть атмосферы, заключенной между наблюдателемъ и предметомъ уменьшаетъ видимую освѣщенность предметовъ и окрашиваетъ предметъ въ свой цвѣтъ (голубоватый). Поэтому тѣла находящіяся вблизи наблюдателя кажутся послѣднему окрашенными въ свой настоящій цвѣтъ. Чѣмъ дальше предметъ отъ наблюдателя, тѣмъ болѣе въ его окраскѣ примѣшивается голубого цвѣта и на горизонтѣ всѣ тѣла покрыты голубой дымкой и тогда желтый цвѣтъ переходитъ въ зеленоватый, красный—въ фіолетовый, голубой—приближается къ цвѣту неба, на горизонтѣ.

15. Если двѣ поверхности, изъ которыхъ одна темная, а другая свѣтлая, помѣщены рядомъ, то темная кажется еще темнѣе, а свѣтлая—еще свѣтлѣе.

16. Поверхность свѣтло-сѣраго цвѣта, помѣщенная вблизи ярко-бѣлой, кажется довольно темной, а помѣщенная вблизи темной—кажется весьма свѣтлой.

17. Бѣлый кругъ на фонѣ болѣе темнымъ, чѣмъ кругъ, кажется окруженнымъ сѣроватымъ ореоломъ. Наоборотъ черный кругъ на свѣтломъ фонѣ кажется окруженнымъ свѣтлымъ ореоломъ.

18. Поверхности извѣстнаго цвѣта, напримѣръ зеленаго, на зеленомъ же фонѣ, отличномъ отъ даннаго, кажется болѣе свѣтлой, нежели въ томъ случаѣ, если бы ее помѣстить на фонѣ окрашенный въ дополнительный цвѣтъ (напримѣръ красный)¹⁾.

¹⁾ Дополнительными до бѣлаго цвѣтами являются: красный—зеленому, желтый—фіолетовому, голубой—оранжевому. На черт. 117 показана роза цвѣтовъ, составленная М. Шервейлемъ. Цвѣта, расположенные по концамъ одного и того же диаметра, являются дополнительными другъ другу до бѣлаго. Цвѣта—желтый, красный и голубой являются основными, остальные три получаютъ соединеніемъ трехъ первыхъ. Напримѣръ, зеленый = голубому + желтому.

19. Два тона аналогичнаго ¹⁾ цвѣта ослабляютъ другъ друга, а дополнительнаго цвѣта—усмиваютъ другъ друга.

20. Изъ двухъ помѣщенныхъ рядомъ поверхностей равныхъ по площади, но обратенныхъ—одна въ черныѣ цвѣтъ, а другая въ бѣлый, вторая кажется больше первой. Эткъ объясняется, почему въ оконныхъ рамахъ переплеты кажутся меньше тѣмъ они являются въ дѣйствительности (по Витрувію свѣтъ пожираетъ мракъ).

21. Если одна изъ граней куба освѣщена, а другая не освѣщена, то у линіи ихъ сѣченія, темная грань кажется еще темнѣе, а свѣтлая еще свѣтлѣе.

22. При вычерчиваніи архитектурныхъ фасадовъ части ихъ, находящіяся въ тѣни слѣдуетъ дѣлать темнѣе въ мѣстѣ примыканія ихъ къ свѣтлымъ частямъ, дающимъ тѣнь (напримѣръ окна слѣдуетъ дѣлать болѣе темными сверху и слѣва при обычномъ направленіи лучей свѣта).

23. Верхъ зданія (особенно желтаго или краснаго цвѣта), кажется на голубомъ фонѣ неба оранжеваго оттѣнка (дополнительнаго къ голубому).

24. На свѣтломъ фонѣ неба всѣ тона, на основаніи контраста, кажутся болѣе сильными къ вершинамъ зданій, нежели у лица зданій.

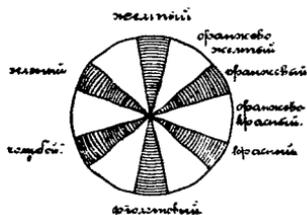
25. Въ архитектурныхъ чертежахъ фасадовъ и разрѣзовъ зданія, всѣ тѣни у земли должны быть слабѣе, тѣмъ у верха зданій, такъ какъ у низа зданія сильнѣе свѣтъ, отражаемый землею.

26. Окраска предметовъ происходитъ отъ того, что предметы поглощаютъ часть свѣта падающаго на нихъ а другую часть отражаютъ—цвѣтъ отраженнаго свѣта и есть цвѣтъ тѣла. Принимаютъ, что существуетъ граница поглощенія свѣта тѣломъ. За этой границей часть благаго свѣта отражается тѣломъ безъ поглощенія, и къ окраскѣ предмета иногда примѣшивается бѣлый цвѣтъ, т. е. получаютъ свѣтлые тона даннаго цвѣта. Наоборотъ, если бѣлый свѣтъ достигаемъ упомянутаго предѣла, то получаютъ темные тона. При построеніи тѣней на чертежѣ принимаютъ, что плоскость является нормально окрашенной, если она нормальна къ лучу арѣнія; тогда при поворотѣ ея въ сторону источника свѣта—она будетъ свѣтлѣе окрашена, а при поворотѣ въ обратную сторону—будетъ окрашена темнѣе.

27. Если двѣ различно окрашенныхъ поверхности помѣщены рядомъ, то благодаря явленію контраста, кажется, что основной цвѣтъ каждой поверхности мѣняется, именно въ нему примѣшивается цвѣтъ дополнительнаго до цвѣта другой поверхности. Напримѣръ, если одна изъ поверхностей краснаго цвѣта, а другая голубого, то первая будетъ казаться врасвооранжевой (оранжевый цвѣтъ—дополнительный голубому, а вторая—зеленоватою (зеленый цвѣтъ—дополнительный красному). По этой же причинѣ цвѣта, напримѣръ, оранжевый и голубой будучи помѣщены рядомъ, усиливаютъ яркость другъ друга. Къ явленіямъ цвѣтового контраста, происходящимъ въ природѣ, относятся цвѣтныя тѣни. Напримѣръ, пусть низвостоящее солнце освѣщаетъ предметъ, находящійся на открытомъ воздухѣ. Тѣнь отъ этого предмета должна получить голубоватый оттѣнокъ, такъ какъ вокругъ этой тѣни поверхности отъ солнца получаютъ оранжевый оттѣнокъ, которому дополнительнымъ является голубой цвѣтъ.



¹⁾ Аналогичными цвѣтами называются такіе, въ которые входитъ одинъ и тотъ же тонъ въ качествѣ основнаго, напримѣръ: оранжевый, оранжево-желтый, оранжево-красный и т. д.



Черт. 117. — Роза цвѣтовъ.

З А Ц А Ч И.

№ 1. Определить горизонтальную освещенность точки, находящейся под открытым небом. Время—зима около 12 ч. дня. Небо покрыто серыми облаками. $B = 2650$).

№ 2. Определить горизонтальную освещенность точки, находящейся под открытым небом. Время—лѣто. Солнце—въ зенитѣ. Небо чистое. $B = 10000$.

№ 3. Определить горизонтальную освещенность точки, освѣщаемой небомъ соответствующимъ $\frac{1}{8}$ поверхности сферы, которая заключена между двумя большими кругами, перпендикулярными другъ другу и къ плоскости горизонта. Время—лѣто за часъ до захода солнца. Небо чистое. $B = 2650$.

№ 4. Рѣшить предыдущую задачу при освѣщенности небомъ, соответствующимъ: а) $\frac{1}{4}$, б) $\frac{1}{5}$, в) $\frac{1}{6}$, д) $\frac{1}{7}$ поверхности сферы, заключенной между двумя большими кругами, перпендикулярными къ плоскости горизонта и плоскостью горизонта.

№ 5. Определить горизонтальную освѣщенность точки, находящейся под открытым небомъ. Время—зима. Солнце въ зенитѣ. Небо покрыто бѣлыми облаками. На землѣ—свѣже-выпавшій снѣгъ. $B = 2650$. (Принявъ во вниманіе коэффициенты разсѣянія свѣта снѣгомъ и облаками).

№ 6. Рѣшить предыдущую задачу при слѣдующихъ условіяхъ. Время—лѣто. Небо покрыто бѣлыми облаками. Земля—коричневая—свѣже-вспаханная. Солнце въ зенитѣ. $B = 5000$.

№ 7. Какова будетъ видимая освѣщенность воздушнаго шара въ ясный солнечный день лѣтомъ часовъ въ 6 вечера. Земля покрыта зеленою травой. Расстояние шара отъ земли 1 километръ. Отъ наблюдателя—5 километровъ. Шаръ—свѣтлоричичево матоваго цвѣта. Наблюдатель расположенъ на поверхности земли между шаромъ и солнцемъ. Диаметръ шара—5 сажень. $B = 4000$.

№ 8. Определить горизонтальную освѣщенность точки посреди большой городской площади, замѣщенной серымъ булыжникомъ. Вліаніемъ домовъ окружающихъ площадь можно пренебречь. Время—зима 12 ч. дня. Небо облачное. Снѣгу на площади нѣтъ. $B = 2650$.

№ 9. Бѣлый картонный дискъ брошенъ вверхъ надъ извѣстной точкой земли въ воздухъ вертикально такъ, что плоскость его остается все время вертикальной и неизмѣняющей своего вачальнаго положенія (подъ угломъ 45° къ вертикальной плоскости, проходящей черезъ центръ диска и солнце). Въ данный моментъ высота диска надъ землею—10 метровъ. Солнце на закатѣ. Лѣто. Небо ясное. $B = 2650$. Кругомъ диска стоятъ нѣсколько человѣкъ. Задавшись расстояніемъ брошеннаго

¹⁾ Во всѣхъ задачахъ черезъ букву B — обозначена въ десятичныхъ свѣчѣметрахъ сила свѣта атмосферы, соответствующая единицѣ тѣлеснаго угла, т. е. сила свѣта пучка лучей, проходящихъ въ центръ шара радіуса равнаго единицѣ черезъ площадь поверхности шара равную 1 кв. метру (нормальная освѣщенность центра шара) (см. стр. 35). Далѣе во всѣхъ задачахъ, за исключеніемъ тѣхъ, гдѣ это особо указано, предполагается, что различными части небснаго свода испускаютъ свѣтъ одинаковой силы B .

диска отъ наблюдателей въ 20 метровъ, опредѣлить, кому изъ нихъ дискъ будетъ казаться наиболѣе освѣщеннымъ. Диаметръ диска 0,5 метра.

№ 10. На шесть высоту 5 метровъ на открытомъ мѣстѣ укрѣпленъ посеребренный полированный шаръ диаметромъ 0,30 метр. Пренебрегая вліяніемъ атмосферы и земли, опредѣлить положеніе и освѣщенность блестящей точки на поверхности, задавшись направлеиіемъ солнечныхъ лучей и положеніемъ наблюдателя. $B = 10000$.

№ 11. Опредѣлить кажущуюся освѣщенность сигнальнаго деревяннаго матоваго диска диаметромъ 0,5 метра, помѣщеннаго у полотна желѣзной дороги на шесть высоту 2 метра. Время—лѣто 7 ч. вечера. Мѣстность—желѣзнодорожная выемка для двухъ прямыхъ путей нормальной колеи въ глинистомъ грунтѣ. (Уклонъ откосовъ полуторный). Глубина выемки—8 метровъ. Откосы выемки покрыты дерномъ. Полотно дороги покрыто сѣрымъ каменнымъ щебнемъ. Наблюдатель—машинистъ на паровозѣ. Высота точки зрѣнія надъ полотномъ—2 метра. Разстояніе ея отъ диска—1 километръ. Принять во вниманіе вліяніе атмосферы. Рѣшить задачу для случаевъ окраски диска масляною краскою цвѣтовъ: а) бѣлаго, б) краснаго, с) зеленого, d) желтаго, e) синаго. $B = 2650$.

№ 12. Опредѣлить среднюю освѣщенность мостовой прямой улицы при слѣдующихъ данныхъ. Мостовая изъ сѣраго булыжника. Ширина улицы—20 метровъ. Высота домовъ—10 метровъ. Стѣны домовъ оштукатурены и окрашены въ бѣлый цвѣтъ. Длина улицы—1 километръ. Время—лѣто 12 ч. дня. Небо покрыта сѣрыми облаками. $B = 30000$.

№ 13. Рѣшить предыдущую задачу для улицы расположенной въ планѣ по кругу, причемъ радиусъ оси улицы—100 саж. Высота домовъ съ одной стороны—5 метровъ, а съ другой—10 метр.

№ 14. Рѣшить задачу № 13 при условіи, что дома деревянные, окрашенные въ темный цвѣтъ (съ коэффициентомъ разсѣянія $k = 0,20$).

№ 15. Даны: Ширина улицы 10 метровъ. Высота домовъ—40 метровъ. Длина улицы—1 километръ. Стѣны домовъ облицованы сѣрымъ гранитомъ. Мостовая—сѣрая гранитная (одна изъ улицъ города Нью-Йорка). Задавшись въ первомъ этажѣ дома какою нибудь комнатою, выходящей на улицу тремя окнами заданныхъ размѣровъ и формы, и предполагая, что условіи окраски стѣнъ и пола комнаты извѣстны, опредѣлить, можно ли въ этой комнатѣ устроить контору съ занятіями отъ 9 до 4 часовъ дня лѣтомъ. $B = 4000$. Освѣщенность исключительно дневнымъ свѣтомъ; нужны ли отражатели?

№ 16. Даны для Петербурга: ширина улицы (Невскій проспектъ)—40 метр., длина 2 километра. Высота домовъ—20 метровъ. Мостовая улицы торцовая—грязно-коричневаго цвѣта. Стѣны домовъ оштукатуренныя и окрашенныя въ разные цвѣта со среднимъ коэффициентомъ разстоянія $k = 0,35$. Построить диаграмму горизонтальной освѣщенности поперекъ улицы для мостовой и для стѣнъ домовъ. Время—7 часовъ вечера лѣтомъ. Небо ясное. $B = 2650$.

№ 17. Рѣшить предыдущую задачу въ предположеніи, что мостовая сѣрая асфальтовая, дома окрашены въ бѣлый матовый цвѣтъ.

№ 18. На берегу рѣки шириною 300 метровъ, находится домъ. Задавшись какою нибудь комнатою въ этомъ домѣ съ двумя окнами, выходящими на рѣку, опредѣлить среднюю освѣщенность этой комнаты. Стѣны комнаты оклеены темно-коричневыми обоями, полъ—паркетный. Время—лѣто 12 ч. дня, небо—облачное сѣрое. $B = 6000$.

№ 19. Построить диаграммы горизонтальной освѣщенности для стѣны дома и для комнаты, при условіяхъ предыдущей задачи. Плоскость диаграммы должна быть вертикальна и проходить черезъ центръ средняго окна. Можетъ ли быть устроенъ въ такой комнатѣ чертежная при условіи времени занятій отъ 9 ч. утра до 5 ч. дня. $B = 2650$.

№ 20. Данъ свѣтовой дворикъ размѣрами въ планѣ 2×2 метра, высоту—20 метровъ. Стѣны его оштукатурены и окрашены въ грязно-бѣлый цвѣтъ. Полъ дворика покрытъ асфальтомъ. Построить диаграммы горизонтальной освѣщенности для разныхъ линій на стѣнахъ и на полу дворика, при условіяхъ: а) верхъ дворика открытъ, б) верхъ дворика закрытъ одиночною остекленною металлическою рамою съ зеркальными стеклами, в) устройства приспособленій, при которыхъ будетъ возможна большая освѣщенность пола и низа стѣнокъ дворика. Время—лѣто 6 ч. вечера. Небо ясное. $B = 3000$.

№ 21. Задаться въ 1-омъ этажѣ дома какою нибудь комнатою, выходящею однинъ окномъ въ свѣтовой дворикъ, размѣрами и окраскою такими же, что и въ задачѣ № 20. Определить среднюю освѣщенность комнаты. Время—зима 12 час. дня, небо сѣрое, облачное. $B = 2650$.

№ 22. Построить диаграммы освѣщенности для комнаты по условіямъ задачи № 21.

№ 23. Определить среднюю освѣщенность каютъ компаніи на пароходѣ. Размѣры ея—ширина 10 метровъ, длина 20 метровъ, высота 5 метровъ. Въ потолокъ надъ серединою залы сдѣланъ выходящій на палубу свѣтовой фонарь съ двойными металлическими остекленными рамами. Размѣры фонаря въ планѣ 4×8 метр. Помѣщеніе обито деревянною панелью, окрашенною бѣлою масляною краскою. Потолокъ также бѣлый. Полъ—коричневый. Время—зима 2 часа дня. Небо ясное. $B_{\text{ср.}} = 8000$. Мѣсто—открытое море.

№ 24. Построить диаграммы освѣщенности для помѣщенія, по условіямъ задачи № 23.

№ 25. Определить среднюю освѣщенность пароходной каюты, освѣщаемой однимъ круглымъ окномъ діаметромъ 0,3 метра. Размѣры каюты—въ планѣ $3 \times 1\frac{1}{2}$ мет. Высота— $2\frac{1}{2}$ метра. Окраска стѣнъ и потолока—бѣлая масляная. Полъ—коричневый. Окно устроено въ стѣнѣ размѣрами $1\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$ метра. Центръ окна находится отъ потолка на разстояніи 0,5 метра и отъ длинной стѣны на разстояніи 0,75 метра. Мѣсто парохода—открытое море. Время—лѣто 6 ч. вечера. Небо ясное. $B = 3000$.

№ 26. Построить диаграммы освѣщенности для каюты по условіямъ задачи № 25.

№ 27. Определить среднюю освѣщенность картинной залы, размѣрами въ планѣ 20×10 метровъ. Высота—4 метра. Въ потолокъ вдоль продольной оси его устроенъ свѣтовой фонарь шириною 4 метра длиною 20 метровъ. Рамы фонаря—двойныя, металлическія остекленныя. Определить освѣщенность стѣнъ залы. Стѣны залы оклеены темно сѣрыми обоями. Полъ—паркетный, потолокъ—бѣлый. Время—лѣто 5 час. вечера, небо ясное: $B = 4000$.

№ 28. Задавшись расположеніемъ и размѣрами нѣсколькихъ невысокихъ стѣнокъ поперекъ залы, на которыхъ можно было бы развѣсить картины, определить среднюю освѣщенность этихъ стѣнокъ. Условія задачи № 27.

№ 29. Построить диаграммы освѣщенности стѣнокъ залы при условіяхъ задачи №№ 27 и 28.

№ 30. Определить среднюю освѣщенность залы размѣрами въ планѣ 30×15 м. и высотой 6 метровъ. Въ двухъ продольныхъ стѣнахъ ея устроено по 10 прямоугольныхъ оконъ: шириною по 2 мет., высотой по 3 метра. Овна на равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга и отъ поперечныхъ стѣнъ. Низъ оконъ возвышается надъ поломъ на 1 метр. Стѣны толщиной 1 метр. Рамы двойныя деревянные. Стекла обыкновенныя. Потолокъ и стѣны окрашены бѣлою клевою краскою по штукатуркѣ. Полъ—паркетный. Передъ окнами открытъ горизонтъ. Время—осень 4 ч. дня. Небо сѣрое, облачное. $B = 2650$.

№ 31. Построить диаграммы освѣщенности для залы по условіямъ задачи № 30. Можетъ ли такая зала служить чертежной отъ 9 до 4 час. дня зпмою. ($B = 2650$).

№ 32. Задаться какойнибудь комнатой въ 1-омъ этажѣ дома. Ширина улицы 20 метровъ. Высота домовъ 10 метровъ. Комната выходитъ на улицу двумя овнами и остекленною дверью. Задавшись условиями окраски домовъ и стѣнъ комнаты, опредѣлить среднюю освѣщенность комнаты и построить диаграммы освѣщенности ея. Время—осень, 3 час. дня. Небо облачное, сѣрое. $B=2650$.

№ 33. Дана комната, въ полу которой устроено квадратное окно размѣрами 1×1 метръ для освѣщенія подвала. Средняя освѣщенность этого окна — 400 дец свѣче-метровъ. Окно расположено посрединѣ четырехугольнаго потолка подвала размѣрами 5×5 метровъ. Высота подвала 2 метра. Толщина потолка—0,5 метра. Стѣны и потолокъ подвала окрашены бѣлой масляной краской. Полъ асфальтовый. Опредѣлить среднюю освѣщенность подвала и построить кривыя освѣщенности. Можно ли будетъ въ подвалѣ читать?

№ 34. Дана каменная мастерская размѣрами въ планѣ 100×40 метр. и высотой 6 метровъ. Въ продольныхъ и въ поперечныхъ стѣнахъ устроены прямоугольныя сверху закругленныя окна и 2 остевленныхъ воротъ. Въ крышѣ устроены свѣтовой фонарь. Рамы въ фонарѣ и въ окнахъ металлическія двойныя остекленныя. Задавшись расположеніемъ и размѣрами фонаря и оконъ, опредѣлить среднюю освѣщенность: а) пола, б) стѣнъ, в) всего помещенія и построить кривыя освѣщенности по нѣсколькимъ направленіямъ. Стѣны и потолокъ окрашены въ бѣлую клеювую краску по штукатуркѣ, полъ деревянный изъ торцовъ. Стропила желѣзныя, крыша служить потолокомъ. Вокругъ зданія расположенъ заборъ высотой 2 метра въ разстояніи отъ стѣнъ 10 метровъ. Заборъ окрашенъ въ желтую краску. Наружныя стѣны зданія красныя кирпичныя. Земля вокругъ зданія посыпана обыкновеннымъ пескомъ. Время—зима, 12 час. дня. Небо—сѣрое, облачное. $B=2650$.

№ 35. Опредѣлить освѣщенность прямымъ свѣтомъ данной точки пола разными окнами при слѣдующихъ одинаковыхъ условіяхъ: подоконникъ окна возвышается надъ поломъ на 1 метръ, площадь окна остается постоянной и равной 3 кв. метрамъ. Плоскость окна вертикальна, форма окна мѣняется и можетъ быть слѣдующей: а) квадратной; б) прямоугольной съ отношеніемъ высоты къ ширинѣ отъ $\frac{5}{1}$ до $\frac{1}{5}$; в) прямоугольной съ закругленнымъ верхомъ; д) круглой; е) съ прямолинейными боками и съ закругленными верхомъ и низомъ; ф) съ прямолинейными верхомъ и низомъ и съ закругленными боками; г) въ видѣ щели горизонтальной длиной 10 метровъ, г) въ видѣ щели вертикальной длиной 10 метровъ.

Опредѣлить освѣщенность точки въ предположеніяхъ, что толщина стѣны 0,75 метра и что

- 1) окно не закрыто рамами,
- 2) рамы одиночныя деревянныя,
- 3) » » желѣзныя,
- 4) » двойныя деревянныя,
- 5) » » желѣзныя,
- 6) стекла обыкновенныя (комбинируя со случаями 2—5),
- 7) стекла матовыя (комбинируя со случаями 2—5),
- 8) стекла прозрачныя, цвѣтovy:
 - а) краснаго, б) синяго, в) зеленого,
 - д) желтаго (безъ рамъ),
- 9) Стекло проволочное (безъ рамъ),
- 10) рамы съ хрустальными призмами,
 - а) только отклоняющими свѣтъ,
 - б) только разсѣивающими свѣтъ,
 - в) отклоняющими часть (n) свѣта и разсѣивающими часть $(1-n)$ свѣта.

№ 36. На открытомъ воздухѣ въ солнечный день стоитъ на землѣ бѣлый полированный цилиндръ (копунсъ, пирамида, призма), освѣщенный лучами солнца, на-

ходящагося подъ угломъ 30° къ горизонту. Построить собственныя и падающія тѣни тѣла, его блестящую линію для даннаго положенія наблюдателя. Диаметръ цилиндра 1 метръ. $B=4000$, для солнца и $B=8000$ для атмосферы. Земля покрыта пескомъ. (Принять во вниманіе освѣщенность фиктивнымъ солнцемъ S' силою 8000 св. м. см. стр. 148).

№ 37. Построить собственныя и падающія тѣни куба, стоящаго на столѣ въ комнатѣ противъ окна (задаться расположеніемъ и размѣрами куба, комнаты и окна). Сзади куба находится на данномъ разстояніи отъ него бѣлый экранъ. Коэффициенты равнѣніи стѣнъ, потолка и пола комнаты, экрана и куба. B для окна $= 2650$. Определить кажущуюся освѣщенность нѣсколькихъ точекъ куба для наблюдателя расположеннаго въ данномъ мѣстѣ комнаты.

№ 38. Какой ширины должна быть улица, если вдоль нея должны расположиться 2-хъ-этажные дома высотой въ 8 метровъ при условіи, что въ нижнихъ этажахъ этихъ домовъ должны быть чертежныя со средней освѣщенностью въ 200 дец. свѣче-метровъ. Стѣны и потолокъ чертежныхъ предполагается окрасить бѣлою масляною краскою. Полы будутъ паркетные. Стѣны домовъ на улицѣ будутъ бѣлыя. Мостовая — торцовая. Размѣрами и расположеніемъ оконъ и чертежныхъ задаться заранее. $B=2650$.

№ 39. Определить при помощи фотометра коэффициенты пропусканія свѣта для стеколъ разныхъ толщинъ, цвѣтовъ, формъ и качества (обыкновеннаго, матоваго, молочнаго, рубчатаго, призматическаго, проволочнаго и т. д.).

№ 40. Составить проектъ устройства остекленія оконъ и дверей магазина въ 1-мъ этажѣ, выходящаго въ галлерей, освѣщаемую сверху остекленной крышею. Подъ магазиномъ устроенъ подвалъ, съ окнами, выходящими въ свѣтотѣни ямы устроенныя въ тротуарахъ (см. черт. 103). Расположеніе и размѣры галлерей даны. Всѣ необходимыя величины для расчета предполагать данными. Необходимая средняя степень освѣщенія магазина—100 дец. свѣче-метровъ. Подвала—39 дец. свѣче-метровъ.

Кромѣ того въ данномъ мѣстѣ магазина должна помѣщаться конторка, гдѣ будутъ вестись счета. Необходимая освѣщенность въ этомъ мѣстѣ—200 дец. св.-метровъ.

(Рѣшеніе задачи заключается въ опредѣленіи: а) площади остекленныхъ стѣнъ; б) расположенія рамъ съ обыкновенными стеклами; в) устройства и расположенія рамъ съ отражателями и разсѣивателями; д) въ выборѣ окраски стѣнъ, пола и потолка; е) въ расчетѣ степени освѣщенія.

№ 41. Построить кривую поверхность, выражающую законъ измѣненія по разнымъ направленіямъ силы свѣта испускаемаго элементомъ свѣтящейся поверхности, освѣщенной небеснымъ сводомъ. $B = 2650$. (Примѣнить законъ Lambert'a).

№ 42. Построить тѣни отъ шара радиуса 3 саят. на шаръ радиуса 6 саят. при разстояніи между центрами шаровъ: а) 6 саят., б) 12 саят. Шары освѣщены солнечными лучами, направленіе которыхъ параллельно линіи центровъ шаровъ, и атмосферою. Поверхность шаровъ бѣлая—матовая. B для солнца 20000. Для фиктивнаго солнца $B = 2650$ см. стр. 148.

№ 43. Построить собственныя тѣни шаровъ по условіямъ задачи № 42.

№ 44. Построить собственныя тѣни на матовомъ бѣломъ шарѣ при условіи, что онъ освѣщенъ солнечными лучами даннаго направленія ($B = 30000$) и свѣтомъ атмосферы. Принять во вниманіе, что часть неба, противолѣжающая солнцу, испускаетъ наиболѣе сильный свѣтъ; ($B = 2650$), для другихъ же частей сила разсѣиваемаго ими свѣта пропорціональна синусу угла наклона ихъ къ направленію лучей солнца даннаго направленія.

№ 45. Построить тѣнь отъ цилиндра на плоскость. Освѣщеніе солнцемъ и атмосферою.

№ 46. Предполагая законъ измѣненія силы свѣта, испускаемаго разными точками яснаго неба заданнымъ (напр. по черт. 8) построить кривую, ординаты

которой выражали бы величины горизонтальной освещенности заданной точки A горизонтальной плоскости (абсциссы кривой—произвольны) от различных точек небосвода.

№ 47. Зная, что освещенность точки A горизонтальной плоскости через узкую щель пропускающую дневной свет равна $— 2650 (\cos. \beta — \cos. \alpha)$ (см. стр. 78), определить освещенность ее, когда свет проходит через какойнибудь сферический треугольник на поверхности шара; радиус $r = 1$, центр шара в точке A .

№ 48. Предполагая шар полированным, а лучи света—параллельными данному направлению, найти блестящую точку шара для данного положения наблюдателя.

№ 49. Предполагая условия освещения те же, что и в задаче № 44, построить блестящие точки и линии на поверхности полированного шара, при данном положении наблюдателя. (Для решения этой задачи следует соединить в группы атмосферные лучи одинаковой силы; эти лучи расположатся по поверхностям конусов имеющих вершины в центре шара, а оси—параллельными заданному направлению лучам солнца. Построить для каждой группы лучей блестящую линию).

№ 50. Построить блестящие точки и линии равной освещенности на полуполированном шаре при данном направлении луча зрения и при условиях освещения таких же, как и в задаче № 44.

№ 51. При данных: направлении лучей света и точки зрения, построить блестящие линии или линии равной освещенности для: цилиндра, конуса, призмы, пирамиды, внутренней половины конуса или цилиндра предполагая, что поверхность данного тела а) полирована и б) неполирована.

№ 52. Построить собственный тень на горизонтальном кольце, образованном вращением круга ($d = 4$ сант.) вокруг вертикальной оси. Радиус вращения центра круга = 8 сант. Поверхность кольца матовая, условия освещения такие же, как и в задаче № 44.

№ 53. Даны: положение точки зрения наблюдателя и положение и размеры зеркала. Определить геометрическое место точек, отражения которых будут видны наблюдателю.

О П Е Ч А Т К И.

Стран.	Строга:	Напечатано:	Слѣдует:
102	11 сверху	$B_{\text{мл}}$	$\frac{B_{\text{мл}}}{\pi}$ (см. стр. 135, примѣръ 6).
—	14 »	$B_{\text{мл}}$	$\frac{B_{\text{мл}}}{\pi}$
—	3 снизу	$B_{\text{мл}}$	$\frac{B_{\text{мл}}}{\pi}$