

ЭКОНОМИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Д. Зернов, Москва

Проблема получения источника света с большой экономичностью поставила в последние годы вопрос об использовании для этой цели явления свечения разреженных газов и паров металлов при прохождении через них электрического тока. Известно, что максимальная светоотдача так называемых температурных излучателей, т. е. ламп, в которых для получения света используется накалившееся тело, при наиболее благоприятных условиях может достигнуть только 14% затрачиваемой на накал мощности.* Эта светоотдача может быть получена при температуре накалившегося тела около 6000°, при которой положение максимума интенсивности излучаемого накалившимся телом спектра совпадает с максимумом кривой чувствительности человеческого глаза. Светоотдача практических образцов ламп накаливания с вольфрамовой нитью оказывается еще более низкой и составляет всего лишь 2—3% затрачиваемой мощности. Объясняется это, как известно, тем, что спектр, излучаемый накалившимся телом, помимо видимой области, всегда содержит интенсивную инфракрасную и ультрафиолетовую часть, не воспринимаемую глазом.

Поскольку спектры светящихся газов состоят из отдельных линий, можно ожидать, что при соответствующем подборе газа, т. е. в случае если наиболее интенсивные линии его спектра придутся на видимую область, превращение электрической энергии в световую будет происходить с значительно более высоким коэффициентом полезного действия. Если бы вся затрачиваемая на излучение энергия излучалась в виде линии с длиной волны, соответствующей максимуму кривой чувствительности глаза ($\lambda = 0,55 \mu$), то получаемый при этом световой поток составил бы 620 люменов на каждый ватт затрачиваемой мощности (механический эквивалент света для $\lambda = 0,55 \mu$).

Это значение светоотдачи является, таким образом, предельным

* Подсчет процента энергии, излучаемой в виде света, производится следующим образом: строится кривая распределения энергии по спектру (для данного источника), и ординаты ее умножаются на соответствующие ординаты кривой чувствительности глаза. На основании полученных таким образом данных строится новая кривая, площадь которой, отнесенная к величине, затрачиваемой на излучение мощности, и даст искомый процент излучаемой в виде света энергии.

для всех источников света, в том числе и газосветных трубок. Интересным является вопрос о том, насколько светоотдача источников света, основанных на явлении газового разряда, может приблизиться к этому предельному значению, и какие причины влияют на величину практически получаемой с их помощью светоотдачи. Прежде всего необходимо заметить, что получаемые на практике значения светоотдачи газосветных трубок будут, разумеется, всегда ниже указанного предельного значения, так как, во-первых, в спектрах всех газов имеются линии, относящиеся к областям, не воспринимаемым или слабо воспринимаемым глазом, и, во-вторых, с явлением электрического разряда в газах всегда связаны потери энергии вследствие выделения тепла. Указанное максимальное значение светоотдачи может быть рассматриваемо лишь как предел, к которому можно приближаться либо путем подбора газа, наиболее интенсивные линии которого приходятся на область, близкую к максимуму кривой чувствительности глаза, либо путем подбора режима, при котором линии, приходящиеся на видимую область, делаются наиболее интенсивными, а также путем выбора условий, при которых потери на выделение тепла составляют по возможности меньшую часть от затрачиваемой мощности.

Первые конструкции источников света, использующих электрический разряд в газах, так называемые Гейслеровы трубки с холодными электродами, не могли найти применения для осветительных целей по следующим причинам:

а) Трубки эти требовали высокого рабочего напряжения, так как большая часть подводимого напряжения вследствие возникновения положительного пространственного заряда падала в сравнительно тонком слое у поверхности катода (так называемое катодное падение), причем падение это обычно составляло несколько сот вольт.

б) Увеличению яркости лампы путем увеличения силы разрядного тока был поставлен предел разрушением электродов под действием ионной бомбардировки (положительные ионы в слое катодного падения приобретают весьма значительные скорости).

с) Экономичность вследствие больших потерь мощности на электродах незначительна (например для неоновых ламп тлеющего свечения светоотдача составляет всего 0,8 люм/ватт).

Лишь после того, как в газосветных трубках стали применяться накаливаемые окисные электроды, обладающие значительной электронной эмиссией и позволившие за счет уничтожения положительного пространственного заряда снизить катодное падение, а вместе с тем и общее рабочее напряжение настолько, что трубки получили возможность гореть от обычного сетевого напряжения, выдерживая значительные разрядные токи, проблема использования электрического разряда в газах для освещения стала на реальную почву.

К настоящему времени наибольшее распространение получили газосветные трубки, содержащие неон, пары ртути и пары натрия. Что касается первых, то вследствие недостаточного благоприятного распределения энергии в спектре неона экономичность современ-

ных неоновых ламп не превышает экономичность обычных ламп накаливания. Причина этого заключается в том, что большая часть линий неона, приходящихся на видимую область, лежит в красном конце спектра, так что даже без учета потерь на нагревание и излучение в инфракрасной и ультрафиолетовой части теоретический предел светоотдачи составляет всего лишь около 25⁰/₀ от затрачиваемой мощности. Благодаря сравнительно невысокой экономичности область применения неоновых ламп ограничивается рекламным и архитектурным освещением и сигнализационными целями.

Значительно более выгодными оказались трубки с парами ртути, светоотдача которых достигает 35—40 люм/ватт. Эта высокая экономичность может быть получена, однако, лишь при больших плотностях тока и значительных давлениях паров ртути. С уменьшением плотности тока и давления паров экономичность ртутных

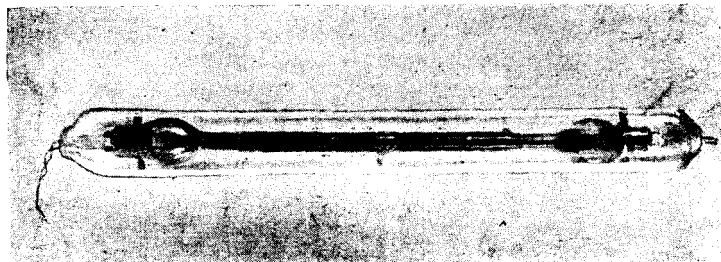


Рис. 1. Натровая лампа фирмы Осрам.

ламп быстро падает. Это объясняется тем, что при малых давлениях паров ртути и незначительной плотности тока положительным столбом ртутного разряда эмитируются, главным образом, резонансные линии ртути, лежащие в ультрафиолетовой части спектра. Лишь при значительных плотностях тока и давлениях паров вследствие действия реабсорбции и ступенчатого возбуждения* преобладающую роль начинают играть линии, лежащие в видимой области, что и влечет за собой повышение светоотдачи лампы. Таким образом наиболее выгодными являются трубки, рассчитанные на большую мощность и, следовательно, на большую силу света. Менее мощные трубки, могущие быть использованными для бытового освещения, получаются недостаточно экономичными. Это обстоятельство делает ртутные газосветные трубки пригодными, главным образом, для освещения высоких помещений и площадей, ограничивая, таким образом, до некоторой степени область их применения.

Одним из наиболее экономичных источников света в настоящее время являются газосветные трубки с парами натрия. Трубки эти (как и все газосветные лампы с металлическими парами), помимо

* Подробнее см. при разборе разряда в парах натрия.

металлического натрия, содержат какой-либо инертный газ (так называемый основной газ), в большинстве современных ламп неон, который в момент зажигания служит проводником тока. После нескольких минут горения под действием тепла, развиваемого в разряде, начинает испаряться натрий, спектр которого постепенно вытесняет спектр основного газа. Максимальная достигнутая к настоящему времени светоотдача таких ламп составляет 40—50 люм/ватт.

Изготавливаемые в настоящее время натровые лампы, предназначенные для осветительных целей, делятся на два основных типа: лампы в виде трубки и лампы в форме широкой цилиндрической колбы.

Лампа первого типа, разработанная фирмой Осрам в Германии, изображена на рис. 1. Разрядная трубка запаяна в вакуумный чехол, служащий в качестве тепловой изоляции. Сила света такой лампы составляет около 300 свечей при

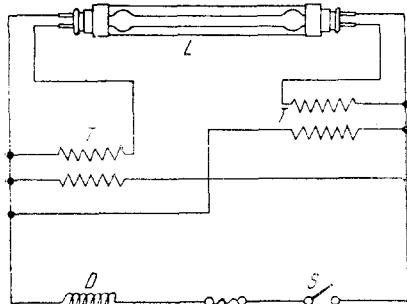


Рис. 2. Схема включения натровой лампы с двумя накаливаемыми электродами. *T*—трансформаторы накала; *D*—дроссель.

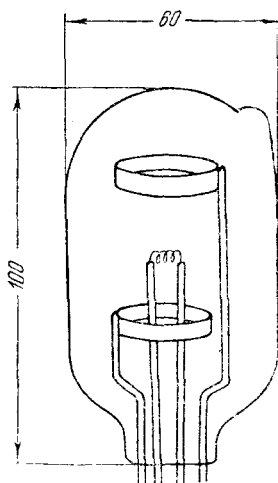


Рис. 3. Устройство натровой лампы с одним накаливаемым электродом (фирмы Филипс).

общей затрате мощности 70 W. Светоотдача всей установки составляет около 40 люм/ватт. На рис. 2 изображена схема включения, содержащая трансформаторы, служащие для питания накала электродов, и дроссель, включаемый в цепь переменного тока (220 V) последовательно с лампой, поглощающий часть подводимого к лампе напряжения.

На рис. 3 изображен второй тип лампы, разработанный ламповым заводом Филипс в Голландии. Лампа содержит оксидный катод, помещенный в центре баллона, и два анода, расположенные по обе стороны катода. Падение напряжения на трубке при разрядном токе 6 A составляет всего 12—15 V; поэтому в цепь обычно включают несколько ламп последовательно (рис. 4). Питание осуществляется постоянным током. При работе на переменном токе лампа включается по выпрямительной схеме так, что каждый анод работает в течение одного полупериода. Тепловая изоляция

достигается путем помещения лампы внутрь стеклянного дюаровского сосуда. Лампы изготавливаются из стойкого против действия паров натрия стекла (обычные сорта стекол в присутствии горячих паров натрия быстро темнеют).

Оба типа натровых ламп с успехом применялись для освещения опытных участков шоссеиных дорог, фасадов зданий и т. п. При этом по сравнению с ртутными лампами натровые лампы отличаются тем преимуществом, что с их помощью может быть получе-

на большая экономичность при сравнительно малых мощностях и небольших силах света. Монохроматичность даваемого натровыми лампами излучения, делающая их непригодными там, где нужно различать окраску предметов, является, с другой стороны, их преимуществом там, где этого не требуется, так как при монохроматическом свете вследствие отсутствия хроматической aberrации глаза значительно повышается острота зрения. Это свойство расширяет область применения натровых ламп на освещение мастерских, в которых производятся мелкие детали и точные механические работы, а также наблюдаемых объектов

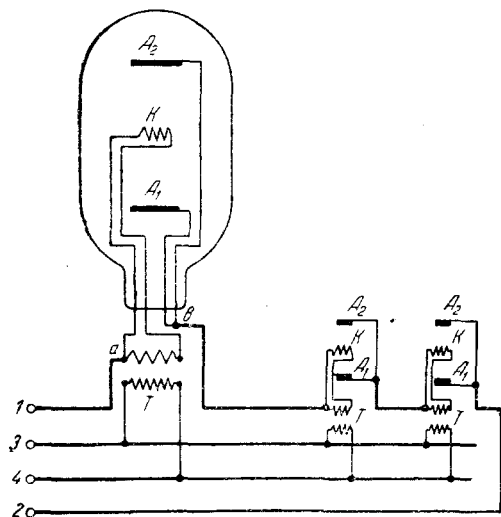


Рис. 4. Схема включения натровой лампы с одним накаливаемым электродом. K — катод; A_1A_2 — анод; T — накальный трансформатор; a — отрицательный полюс источника анодного напряжения; b — положительный полюс; 1,2 — провода, подводящие анодное напряжение; 3,4 — сеть, питающая трансформаторы накала.

же позволяет применять их для освещения при работе с микроскопом.

Кроме того, натровые лампы находят применение при работе с поляризационными приборами (в сахарной промышленности), для градуировки оптических приборов, для освещения фотолaborаторий при работе с особыми сортами фотопластинок, не чувствительных к желтому свету, и в целом ряде других случаев лабораторной практики.

Одним из важных применений натровой лампы является использование ее в качестве модулируемого источника света в телевизионных установках. Лампа, предназначенная для этой цели, разработанная фирмой Осрам, представлена на рис. 5. При работе лампа помещается в электрическую печь, поддерживающую необходимую

для испарения натрия температуру.* В передней части печи находится закрытое матовым стеклом окно, служащее поверхностью кадра. Благодаря значительной яркости (126 свечей при поверхности кадра 3×4 см, силе тока 0,1 А и напряжении около 100 В) эта лампа позволяла осуществлять прием изображений на телевизоре с диском Нипкова, рассчитанным на большое число элементов (10 800).

Исследование электрического разряда в парах натрия представляет большой интерес, поскольку наиболее интенсивные резонансные линии натрия ($\lambda = 0,589 \mu$) расположены весьма близко к максимуму кривой чувствительности глаза (для $\lambda = 0,589 \mu$ чувствительность глаза составляет 76,5% максимальной), и, следовательно, натровая лампа представляет большие возможности в от-

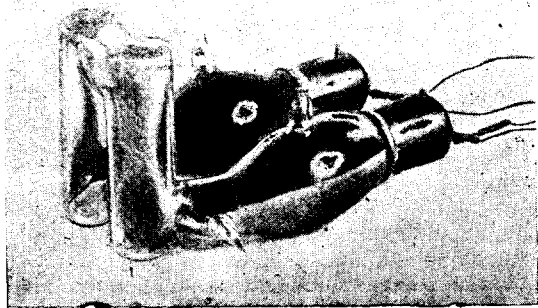


Рис. 5. Натровая лампа для телевидения (фирмы Осрам)

ношении получения экономичного источника света. Так как теоретическое значение светоотдачи натрового разряда составляет 520 люм/ватт (считая, что вся энергия излучается в виде резонансных линий), интересным является вопрос о выяснении возможности дальнейшего повышения достигнутой к настоящему времени экономичности практических образцов натровых ламп и установлении пути, которому нужно следовать для достижения этой цели. Решение этого вопроса требует прежде всего детального рассмотрения и изучения элементарных процессов, имеющих место в разряде. Ниже приводится обзор литературного материала, касающегося зависимости светоотдачи натрового разряда от различных, характеризующих разряд, параметров.

ХАРАКТЕРИСТИКИ НАТРОВЫХ ЛАМП

Основным вопросом, с которым приходится иметь дело при выяснении условий получения оптимальной светоотдачи натровых ламп,

* Так как в данном случае плотность тока недостаточна для самостоятельного нагрева лампы.

является исследование зависимости светотдачи от плотности разрядного тока, температуры трубки, давления и рода основного газа.

Характерной особенностью световых характеристик всех типов натровых ламп, дающих связь между светотдачей и плотностью разрядного тока, является оптимум светотдачи, имеющий место на некотором участке плотности тока, сопровождаемый аналогичным оптимумом силы света. На рис. 6 приводится кривая, взятая из работы Фонда и Юнга,¹ показывающая зависимость светового потока и светотдачи от силы разрядного тока. Эта кривая получена для натровой лампы, работающей на переменном токе, состоящей из цилиндрического баллона диаметром 6,3 см, снабженного по концам электродами, отстоящими на 15 см друг от друга, и содер-

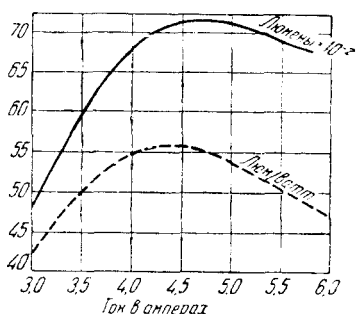


Рис. 6. Сила света и светотдача натровой лампы в зависимости от силы тока.

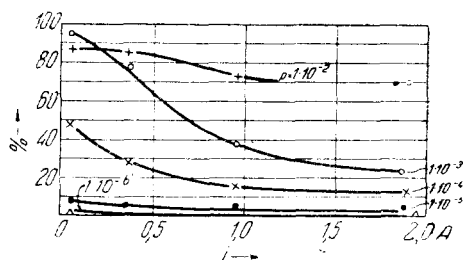


Рис. 7. Зависимость отдачи резонансного излучения натрия от силы разрядного тока для различных давлений паров натрия.

жащей в качестве основного газа неон при давлении 1,5 мм. Аналогичный ход этой зависимости был в свое время получен автором.² При малых плотностях тока температура трубки недостаточна, в свечении участвует спектр основного газа и светотдача незначительна. С повышением плотности тока светотдача растет до некоторого предела, после чего начинает падать. Так как в практических образцах при повышении плотности тока имеет место одновременное повышение температуры трубки и, следовательно, плотности паров натрия, интересным является исследование зависимости светотдачи от каждого из этих двух параметров в отдельности. Для этой цели исследуемая трубка обычно помещалась внутрь электропечи, с помощью которой регулировалась температура. На рис. 7 изображены приведенные в статье Креффта, Регера и Ромпе³ кривые зависимости отдачи резонансных линий натрия от плотности разрядного тока при различных значениях давления паров натрия. Как видно из кривых, отдача резонансных линий во всех случаях падает с увеличением плотности тока.

Что касается зависимости светотдачи от температуры трубки, то согласно имеющимся в литературе указаниям, а также непосредственным измерениям, производившимся автором совместно с И. М. Та-

расковым в Свето-вакуум-техническом отделе ВЭИ,* с повышением температуры светотдача натрового разряда растет до некоторого предельного значения, после чего при дальнейшем увеличении температуры начинает падать. В отношении вопроса о влиянии рода и давления основного газа на максимальную величину светотдачи практических образцов натровых ламп к настоящему времени мы еще не располагаем достаточным количеством экспериментального материала.

Данные о зависимости светотдачи от давления и рода основного газа относятся лишь к условиям постоянства силы тока и температуры (для трубки, подогреваемой электропечью), причем можно считать установленным, что при этих условиях светотдача растет с уменьшением давления и с переходом от более легких к более тяжелым газам. Однако на основании этих данных об оптимальном наполнении практических образцов натровых ламп судить нельзя.

БАЛАНС ЭНЕРГИИ В ПОЛОЖИТЕЛЬНОМ СТОЛБЕ

Характер описанных выше зависимостей объясняется отчасти перераспределением энергии по спектру с изменением условий разряда, отчасти изменением удельного веса полного излучения в общем балансе энергии.

Излучение натрия состоит в основном из резонансного дублета, ($\lambda = 0,589 - 6 \mu$) и трех инфракрасных линий с длинами волн $0,820 \mu$ ($2p - 3d$), $1,14 \mu$ ($2p - 2s$) и $2,20 \mu$ ($2s - 3p$). Линии, соответствующие более высоким членам серий, слабы и составляют вместе при обычных условиях возбуждения всего несколько процентов от резонансного излучения. Как уже было отме-

ТАБЛИЦА 1

<i>i</i>	<i>V</i>	Полное излучение = 100%	
		D - линии	инфракрасное излучение
0,2	7,15	87,4 ^{0/0}	12,3 ^{0/0}
1,5	4,45	79,6	23,5
3,0	3,13	69,0	32,5

чено, условиям получения оптимальной светотдачи натрового разряда соответствуют условия, при которых большая часть подводимой мощности излучается в виде резонансных D-линий. Однако относительная интенсивность D-линий в спектре натрия в значительной степени зависит от условий разряда, а именно — относительная интенсивность их падает как с увеличением плотности разрядного тока, так и с увеличением плотности паров натрия. Ниже приведена таблица, взятая из работы Дрюивестейна,⁴ дающая отно-

* Не опубликовано.

сительную интенсивность резонансных линий и трех инфракрасных линий натрия, выраженную в процентах по отношению к полному излучению, для разных значений силы разрядного тока (давление паров в трубке поддерживалось постоянным).

При еще больших плотностях тока относительная интенсивность инфракрасных линий возрастает до 50 % от полного излучения. С повышением температуры относительная интенсивность инфракрасных линий также возрастает (в исследованном Дрюивестейном интервале температур от 273 до 287°С относительная интенсивность инфракрасных линий возрастала на 3%). Изменение относительной интенсивности резонансных линий в спектрах щелочных металлов при изменении плотности разрядного тока и температуры трубки (плотности паров) было подробно исследовано Крефтом.⁵ Им было установлено, что как с увеличением температуры, так и

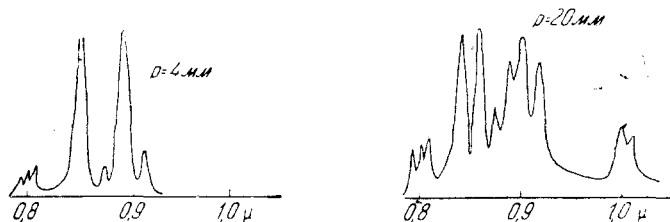


Рис. 8. Кривые распределения энергии в спектре разряда в парах цезия при давлении паров: а) $p = 4$ мм и б) $p = 20$ мм.

с увеличением плотности разрядного тока для всех щелочных металлов наблюдается падение относительной интенсивности резонансных линий за счет увеличения относительной интенсивности линий I и II побочных и бергмановской серий, перераспределения энергии внутри самих серий (рост относительной интенсивности более высоких членов серий), появления линий, соответствующих так называемым „запрещенным“ переходам $1s - md$, и рекомбинационных спектров у границ серий. В качестве иллюстрации могут быть приведены кривые распределения интенсивности, полученные Крефтом для спектра цезия при давлении паров $p = 4$ и $p = 20$ мм Hg (рис. 8). При переходе от меньшего давления к большему кривые показывают рост относительной интенсивности линий I и II побочных и бергмановской серии, находящихся вблизи резонансного дублета ($\lambda = 0,8521$ и $0,8943$ μ), который при давлении 20 мм оказывается сильно самообращенным.

Количественных данных для спектра натрия в работе Креффта не приводится, однако можно ожидать, что и здесь дело обстоит точно таким же образом.

Объяснение описанных явлений заключается в следующем. С ростом температуры растет число атомов натрия, находящихся в нормальном (не возбужденном состоянии). Наличие этих атомов обуславливает сильное поглощение квантов резонансного излучения, так что каждый квант, прежде чем выйти за пределы трубки, стран-

ствуется от одного атома к другому, и продолжительность его пребывания внутри трубки возрастает. Это равносильно увеличению продолжительности жизни атома в возбужденном состоянии и, следовательно, ведет к росту вероятности ступенчатого возбуждения более высоких уровней и к росту вероятности гашения возбужденных атомов через столкновения второго рода, в результате чего относительная интенсивность резонансных линий падает, а сами линии оказываются самообращенными. Увеличение плотности тока,

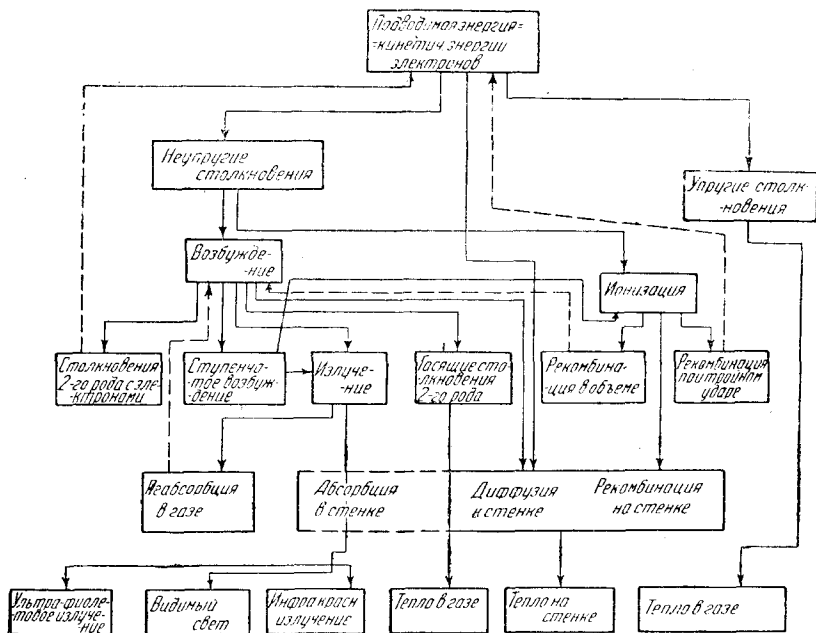


Рис. 9. Схема баланса энергии в положительном столбе разряда.

связанное с увеличением плотности электронов в разряде, также ведет к росту вероятности ступенчатого возбуждения. Кроме того, значительная концентрация ионизованных атомов натрия, имеющая место при большой плотности тока, способствует рекомбинации их с электронами в объеме газа, что связано с появлением непрерывных спектров у границ серий, а наличие сильных ионных полей ведет к появлению запрещенных серий.

Описанные явления частично объясняют ход характеристик натровых ламп, дающих зависимость светоотдачи от плотности разрядного тока и температуры трубки. Однако наряду с этими явлениями необходимо также учитывать изменение общего баланса энергии с изменением условий разряда.

Общий баланс энергии в положительном столбе разряда может быть представлен схемой, изображенной на рис. 9. Наиболее зна-

чительными составными частями в общем балансе энергии, помимо излучения, являются:

а) Потери на стенках за счет кинетической энергии, теряемой ионами и электронами, попадающими на стенку, и энергии их рекомбинации.

б) Потери в объеме газа при упругих столкновениях электронов с атомами газа. К числу второстепенных процессов, ведущих к потерям в объеме газа, относятся: столкновения положительных ионов с атомами газа, рекомбинация в объеме и удары второго рода. Однако потери, обусловленные этими процессами, оказываются значительно ниже потерь на стенках и потерь, обусловленных упру-

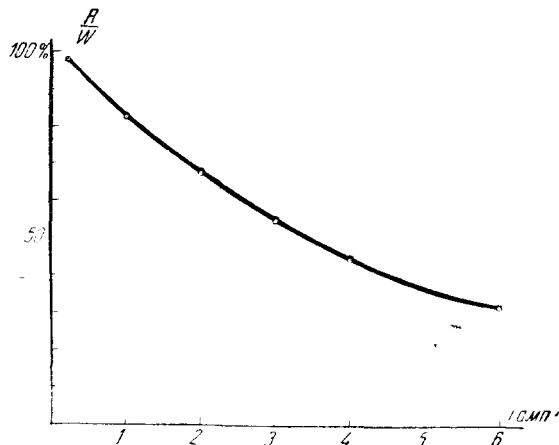


Рис. 10. Зависимость отдачи полного излучения натрового разряда от силы разрядного тока для натровых паров без примеси инертного газа.

гими столкновениями электронов, и в первом приближении могут не учитываться в общем балансе энергии. Измерения баланса энергии в положительном столбе разряда в чистых парах натрия и в смеси натрия с инертными газами (Ne, He, Ar) были произведены Дрюивестейном. Им были произведены измерения полного излучения (резонансные линии + инфракрасная часть), потерь на стенках и потерь в объеме газа в зависимости от плотности разрядного тока, а также давления и рода основного газа в условиях постоянства плотности паров натрия. Измерения баланса энергии в чистых парах натрия (без примеси инертного газа) показали, что мощность, расходуемая на некотором участке положительного столба, всегда оказывалась в пределах нескольких процентов равной сумме: излучение плюс потери на стенках. Отступления получались лишь в том случае, если трубка содержала примеси благородных газов, незначительное количество которых весьма резко сказывается в сторону увеличения объемных потерь. В некоторых случаях сумма — излучение плюс потери на стенках — оказывалась даже больше затрачиваемой на данном участке мощности, что может быть припи-

сано действию быстрых электронов, проникающих от катода в исследуемый участок трубки. На основании приводимых Дрюивестейном данных была построена кривая, дающая зависимость удельного веса полного излучения (в процентах по отношению к затрачиваемой мощности) от силы разрядного тока (рис. 10). Кривая показывает, что с увеличением силы тока удельный вес полного излучения падает, причем в данном случае (т. е. в отсутствие инертного газа) падение это происходит целиком за счет роста удельного веса потерь на стенках, достигающих при токе в 6 А 70% затрачиваемой мощности. Измерения баланса энергии, производившиеся Дрюивестейном для смеси паров натрия с инертными газами, показали, что при малых давлениях инертного газа (порядка нескольких миллиметров Hg) затрачиваемая мощность попрежнему целиком идет на излучение и потери на стенках, однако, при более значительных давлениях начи-

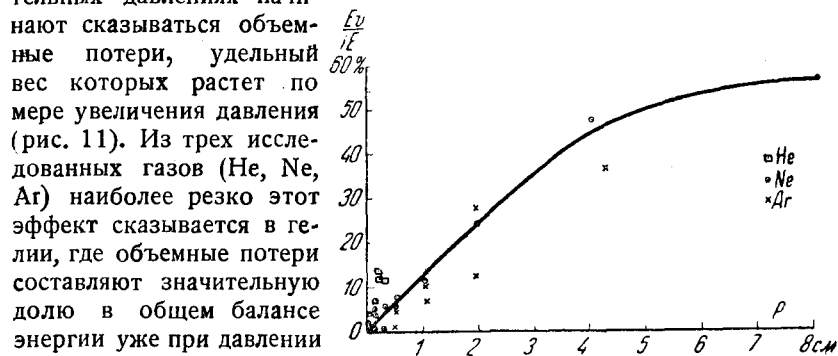


Рис. 11. Зависимость удельного веса объемных потерь от давления инертного газа.

ного веса потерь в объеме происходит несколько медленнее, однако, при больших давлениях также достигает значительных размеров (при давлении неона около 80 мм и токе 0,2 А потери в объеме достигают 60% затрачиваемой мощности). Как показывает произведенный Дрюивестейном теоретический подсчет, эти потери могут быть отнесены почти целиком за счет энергии, отдаваемой электронами при упругих столкновениях с атомами инертного газа. Одновременно с ростом удельного веса потерь в объеме газа идет уменьшение удельного веса полного излучения, падающего как с увеличением давления, так и с переходом от более тяжелых к более легким газам (рис. 12). Следует отметить, что по абсолютной величине потери в гелии при одинаковой плотности тока и одинаковом давлении значительно превышают потери в неоне и аргоне. Сравнительно высокая отдача излучения для гелия объясняется тем, что абсолютная величина излучения в гелии также значительно превышает абсолютную величину излучения в неоне и аргоне, что является следствием более высокой электронной температуры и, следовательно, большей вероятности возбуждения резонансных линий натрия (функция возбуждения D-линий натрия,

как известно, имеет максимум при скоростях электронов около 7 V).

Увеличение плотности разрядного тока при наличии примеси инертного газа, как и в случае чистых паров натрия, ведет к падению удельного веса полного излучения, причем при малых давлениях это падение происходит, главным образом, за счет роста удельного веса потерь на стенках, при более значительных — за счет роста удельного веса потерь в объеме газа.⁵

Выводы

Приведенные выше результаты исследований спектрального состава светящихся паров натрия и баланса энергии в положительном

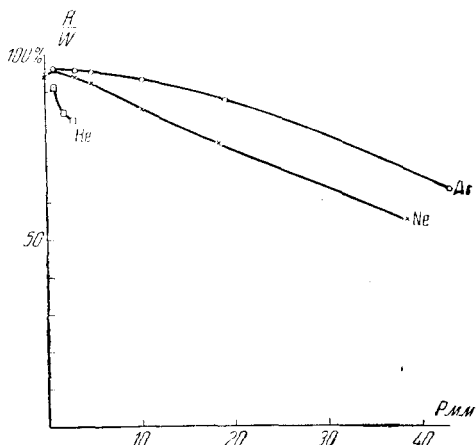


Рис. 12. Зависимость отдачи полного излучения от давления инертного газа.

столбе разряда позволяют сделать некоторые заключения применительно к вопросу об оптимальных условиях для работы практических образцов натровых ламп.

Как следует из предыдущего, повышение плотности тока ведет к понижению удельного веса резонансных линий натрия в общем балансе энергии. Так как, с другой стороны, в практических лампах поддержание необходимой плотности паров осуществляется через тепловые потери в самом разряде, то в целях получения высокой светоотдачи необходимо иметь возможность получать требуемую температуру трубки при возможно меньшей плотности разрядного тока. Отсюда прежде всего вытекает требование по возможности лучшей тепловой изоляции трубок, что в новейших конструкциях натровых ламп достигается, помимо помещения трубки в вакуумный чехол, устройством промежуточных стеклянных перегородок, поглощающих излучаемую трубкой тепловую энергию и излучающих часть ее обратно по направлению к трубке.⁶

Что касается выбора давления и рода основного газа, то здесь необходимо считаться с тем, что в практических образцах при боль-

ших давлениях инертного газа либо при использовании газа с малым атомным весом необходимые для поддержания достаточной плотности паров натрия потери могут быть получены при меньшей плотности тока, и, следовательно, полученное в условиях постоянства плотности тока и плотности паров натрия падение светотдачи будет скомпенсировано ее ростом за счет уменьшения плотности тока. Во всяком случае вопрос этот нуждается в дальнейшей экспериментальной разработке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fonda a. Yong, Journ. Optic. Soc. Am. **24**, № 2, 1934.
 2. Д. В. Зернов, Журнал техн. физики **III**, вып. 8, 1266, 1933.
 3. Krefft, Reger u. Rompe, Z. techn. Phys. **14**, 242, 1933.
 4. Druyvestein, Phil. Mag. **17**, I, № 110, 1934.
 5. Krefft, Z. Physik. **77**, 752, 1932.
 6. R. Rompe, Techn. Wiss. Abhandl. aus d. Osram-Konzern, B. III, S. 44.
-