

A. Němejcová-Kochanovská

Inversní kombinované účinky X-paprsků a katodových paprsků

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 61 (1932), No. 4, 161--170

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121309>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1932

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

## Inversní kombinované účinky X-paprsků a katodových paprsků.\*)

Dr. Adéla Němejcová.)

(Došlo 17. listopadu 1931.)

Úkolem práce bylo studovati kombinované účinky různých druhů záření. Účinky jednotlivých záření na různé látky jsou nestejně a při studiu kombinovaných účinků je nutno, aby účinky jednotlivých záření byly řádově stejné (t. j., aby jedno záření nemělo účinek veliký a druhé nepatrný): Takový reagens, na který by tyto účinky byly stejné, jest fotografická deska. Proto jsem zanechala studium chemických účinků na různé látky a při studiu kombinovaných účinků užívala jsem pouze cesty fotografické. Výsledek působení všech druhů záření, s nimiž jsem pracovala, a to: X-paprsků, katodových paprsků, bílého světla a tepla jest totiž v tomto případě jednotný, je to černání fotografické desky, které lze snadno změřiti.

Při tom však musím podotknouti hned, že černání desky, způsobené různými druhy záření, není po stránce kvalitativní stejné. Tak na př. se ukázalo, že lze velmi snadno rozeznati černání, způsobené X-paprsky, od černání, způsobeného katodovými paprsky a teplem; deska černá účinkem X-paprsků stejnoměrně a má tón šedý, kdežto černání způsobené teplem nebo katodovými paprsky je nestejnoměrné, objevují se šmouhy a tón barvy je do hněda. Tato obdoba mezi účinkem tepelným a účinkem katodových paprsků, jež se při mé práci ukázala, má patrně hlubší podstatu.<sup>1)</sup>

Ačkoli tedy výsledek s různými druhy záření je vždy černání fotografické desky, mohla jsem tohoto černání pro míru i různost

\*) Z části předneseno na: III. Congrès international de Radiologie, Paris 1931.

<sup>1)</sup> Podle některých röntgenologů se spáleniny katodovými paprsky chovají podobně jako spáleniny teplem, kdežto spáleniny X-paprsky se chovají podstatně jinak.

účinků jednotlivých druhů záření použití, neboť tyto účinky se vždy nesčítaly, nýbrž, jak bude později ukázáno, se částečně navzájem rušily.

Než přistoupím k vlastním výsledkům, zmíním se stručně o postupu práce a o zdrojích, jež jsem používala pro jednotlivé druhy záření.

Během celé práce jsem používala desky Ultra-Rapid „Eisenberger“. Tento druh desek totiž, jak se ukázalo, snadno jeví inverzní zjevy<sup>2)</sup> a snáší velmi dobře vyšší teploty. Při ozařování X-paprsky, katodovými paprsky, a při vystavení tepelným účinkům byly desky zabaleny v černém papíře. Vytváření dělo se v naprosté tmě, ve vývojce methol-adurolové, při teplotě 18° C a po 3 minuty. Hustoty černání byly proměřovány Martensovým fotometrem<sup>3)</sup> a výsledky byly ještě kontrolovány Mollovým mikrofotometrem.

Zdrojem X-paprsků byla röntgenová lampa „Media“,<sup>4)</sup> kterou jsem používala s hliníkovým filtrem 2 mm silným, při napětí 50 kV. Touto volbou napětí a aluminiovým filtrem jsem obdržela záření značně homogenní. Zdrojem katodových paprsků byla katodová trubice<sup>5)</sup> při napětí 70 kV. Tepelným účinkům byly desky vystaveny v termostatu při teplotě 110° C, která, jak se ukázalo, byla pro práci nejvýhodnější. Zdrojem bílého světla byla elektrická žárovka, udržovaná na stálém napětí.

Prvá kombinace účinků, kterou jsem zkoušela, byla *X-paprsky a teplo*. Souběžně s výsledky, jež jsem obdržela pro tuto kombinaci, proberu hned výsledky, jež jsem obdržela pro kombinaci *katodových paprsků a tepla*.

Obr. č. 1 jest typický příklad pro takový inverzní úkaz kombinace účinků X-paprsků a tepla. Horní polovina obrázku představuje účinek pouhých X-paprsků a dolní polovina účinek kombinovaný X-paprsků a tepla. Na desku jsem napřed naexponovala pruhy X-paprsky (A), různých hustot a pak vystavila desku působení tepla v termostatu. Jak jest viděti na tomto obrázku, pruhy, jež byly původně dotčeny účinkem X-paprsků a pak tepla (B), jsou světlejší, mají menší absolutní hustotu než místa desky, dotčená pouze teplem. Při tom však, srovnáme-li v tomto případě hustotu černání, způsobenou pouze účinkem X-paprsků, a hustotu, způsobenou kombinovaným účinkem, jest hustota kombinovaného účinku větší než hustota způsobená pouze X-paprsky. To jest jeden typ inverzního zjevu. Budu mu v dalším prostě říkat „obrácení“. Označíme-li hustotu černání, způsobeného prvním

<sup>2)</sup> Villard efekt, Cleydenův zjev atd.

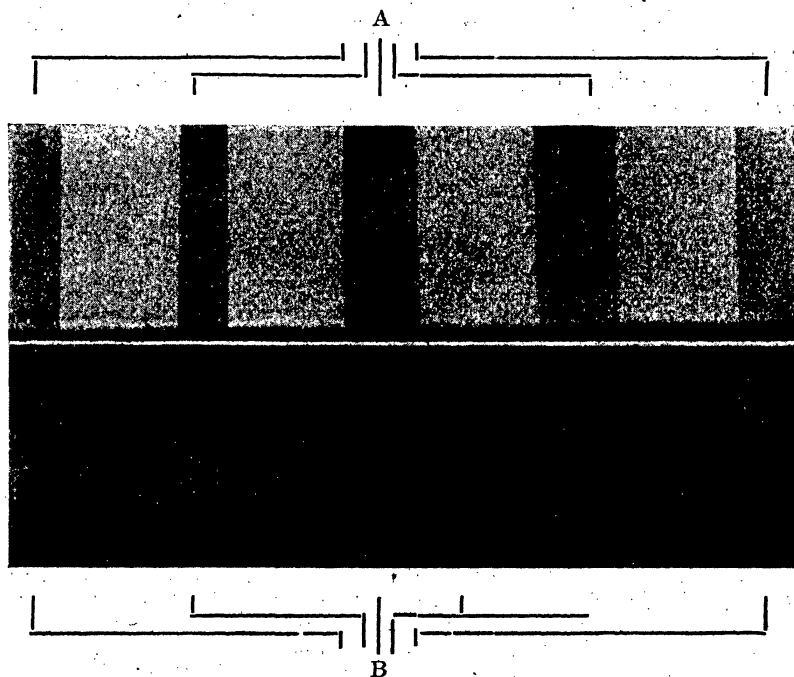
<sup>3)</sup> Laskavě zapůjčeným prof. Dr. V. Vojtěchem.

<sup>4)</sup> Dar firmy Müller Spektroskopickému ústavu.

<sup>5)</sup> Rovněž dar firmy Müller Spektroskopickému ústavu.

zářením  $D_1$ , hustotu způsobenou druhým zářením  $D_2$  a hustotu způsobenou účinkem kombinovaným obou záření v pořadí daném sledem indexů  $D_{1+2}$ , pak bude „obrácení“ vyjádřeno následujícími vztahy:

$$D_{1+2} < D_1 + D_2, \quad D_{1+2} > D_1, \quad D_{1+2} < D_2.$$



Obr. 1.

Jestliže se původní hustoty černání způsobeného prvním zářením zeslabí účinkem druhého záření, vznikne inverze, daná vztahy:

$$D_{1+2} < D_1 + D_2, \quad D_{1+2} < D_1, \quad D_{1+2} > D_2.$$

Tento typ budu označovati jako „zeslabení“.

Konečně může nastati ještě případ, že kombinovaným účinkem vznikne „obrácení“ i „zeslabení“ původního účinku, tedy:

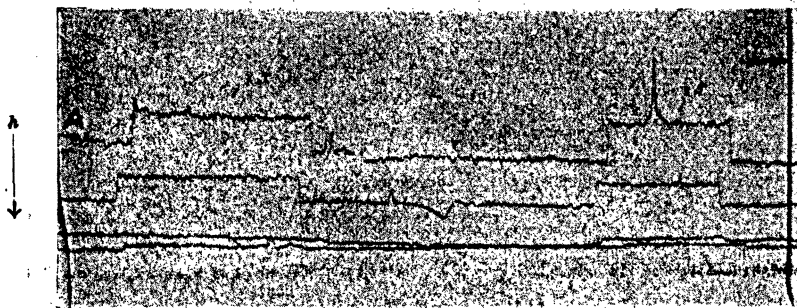
$$D_{1+2} < D_1 + D_2, \quad D_{1+2} < D_1, \quad D_{1+2} < D_2.$$

Inversní zjev vznikající kombinacním účinkem X-paprsků, resp. katodových paprsků a tepla jsem zkoumala pro obor hustot černání X-paprsky od 0·2—1·6 a pro obor hustot černání katodo-

vými paprsky od 1·3—1·6 (menší černání katodovými paprsky nebylo možno z důvodů technických zatím dostat). Dostala jsem tyto výsledky:

Kombinací X-paprsků resp. katodových paprsků a tepla vznikají inverzní účinky v uvedených oborech absolutních hustot:

1. Vždy jen při určitém pořadí, totiž expozice X-paprsky, resp. katodovými paprsky musí předcházeti expozici tepelné. Při opačném pořadí inverse nikdy nenastane, nýbrž kombinovaný účinek je vždycky silnější než černání způsobené účinkem jednotlivých záření o sobě.



Obr. 2.

2. Pro hustoty černání způsobené X-paprsky resp. katodovými paprsky asi do 1·4 nastává pro obojí paprsky stejný inverzní zjev totiž „obrácení“, jehož příklad znázorňuje obr. 1 a část příslušné mikrofotometrické křivky *A* v obr. 2. Na tomto obrázku jest několik mikrofotometrických křivek pro kombinovaný účinek X-paprsků a tepla, jež jsou v tomto oboru hustot zcela podobné mikrofotometrickým křivkám pro kombinací účinek katodových paprsků a tepla. Směr rostoucích absolutních hustot jest vyznačen šipkou. Kombinační účinek X-paprsků a tepla označen  $X + T$ , účinek pouhého tepla  $T$ .

Sledujeme-li v tomto oboru hustot vliv rostoucí tepelné expozice, původní hustoty expozice X-paprsky, resp. katodovými paprsky se nejdříve zesílí, ale volí-li se dostatečně dlouhá tepelná expozice, nastane i „zeslabení“ původní hustoty. Jako příklad jest uvedeno několik číselných hodnot v následujících dvou tabulkách. Prvá tabulka platí pro kombinovaný účinek X-paprsků a tepla, druhá katodových paprsků a tepla. Voleny byly úmyslně počáteční hustoty černání X-paprsky a katodovými paprsky přibližně stejné. V prvním sloupci jest uvedena délka tepelné expozice v minutách. Ve druhém je černání způsobené tepelnou expozicí

samotnou (jak jest viděti z obou tabulek, jest nesnadno zaručiti stejné černání při stejné délce tepelné expozice). Ve třetím sloupci je hustota černání způsobená kombinovaným účinkem a konečně v posledním sloupci rozdíl hustoty způsobené kombinovaným účinkem a hustoty způsobené účinkem tepla, který jest v těchto případech vesměs záporný („obrácení“).

Tab. 1.

Expozice X-paprsky 20 min., černání způsobené absolutní hustoty 1·34.

Délka tep. expos. v min.	Hustota tep. expozice	Hustota $X + T$	$\Delta h =$ $= (X + T) - T$
60	1·56	1·54	— 0·02
90	1·66	1·63	— 0·03
120	1·02	1·01	— 0·01
150	1·08	1·05	— 0·03

Tab. 2.

Expozice katodovými paprsky 5 vteř., způsobené černání absolutní hustoty 1·34.

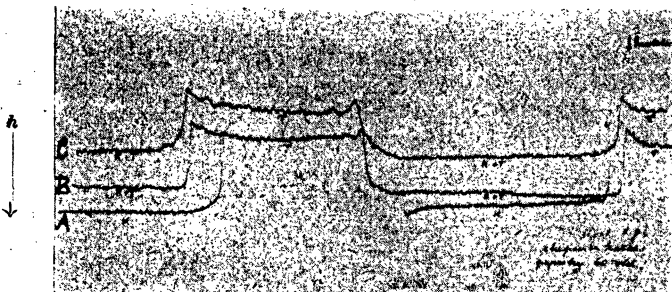
Délka tep. expos. v min.	Hustota tep. expozice	Hustota $K + T$	$\Delta h =$ $= (K + T) - T$
60	1·53	1·40	— 0·50
90	1·70	1·67	— 0·03
120	1·49	1·48	— 0·01
180	1·29	1·22	— 0·07

3. Při hustotách větších než 1·4 nastává mezi X-paprsky a katodovými paprsky jeden zásadní rozdíl. Inverzní úkazy sice trvají pro obě záření dále, ale nejsou již stejné. Kdežto pro X-paprsky trvá „obrácení“ a „zeslabení“, volí-li se jen dosti dlouhá tepelná expozice, nelze obdržeti pro expozice katodových paprsků stejné absolutní hustoty „obrácení“ při sebe delší tepelné expozici (až 6 hodin). Původní expozice katodovými paprsky se sice působením tepla zeslabí, tedy inverze nastane, ale „obrácení“ nenastane, t. j. původní expozice katodovými paprsky vystupují tmavě na černání způsobeném teplem.

Obr. č. 3 ukazuje mikrofotometrické křivky inverze účinků katodových paprsků teplem pro hustoty větší než 1·4. Šipka v obrázku značí opět směr rostoucích hustot. Křivka  $A - A$  představuje účinek pouhých katodových paprsků, křivka  $B$  účinek kombinovaný po hodinové tepelné expozici a křivka  $C$  kombinovaný účinek po dvouhodinové tepelné expozici. Jak je viděti,

největší hustoty má křivka  $A - A$ , pak křivka  $B$  a nejmenší křivka  $C$ .

V následující tabulce je uvedeno několik numerických hodnot jako příklad pro inverzní zjev, vzniklý kombinovaným účinkem katodových paprsků a tepla. Význam čísel v jednotlivých sloupcích jest jasný. Jak jest z tabulky viděti, je  $\Delta h = (K + T) - T$  všude kladné, tedy „obrácení“ nenastane, ale původní hustoty jsou účinkem tepla zeslabeny až k dvouhodinové tepelné expozici, pak opět začínají vzrůstat. Hodnoty se vztahují k 60vteřinové expozici katodovými paprsky, které odpovídá absolutní hustota 1·47.



Obr. 3.

Tab. 3.

Délka tep. expos. v min.	Hustota tep. expos.	Hustota $K + T$	$\Delta h =$ $= (K + T) - T$
30	1·23	1·40	+ 0·17
60	1·17	1·29	+ 0·12
120	1·16	1·21	+ 0·05
240	1·21	1·23	+ 0·02
360	1·60	1·75	+ 0·15

Neobvyklý numerický průběh účinků tepla je v tomto případě způsoben značným závojem (0·46 — 0·57), který vzniká na deskách při těchto expozicích katodovými paprsky.

Zjistila jsem obecně, že má-li se pro stejné hustoty černání způsobené X-paprsky a katodovými paprsky obdržeti stejné zeslabení, jest průměrně třeba u katodových paprsků delší tepelné expozice než u X-paprsků. Otázka je, zdali je to způsobeno větší vzdorností účinků katodových paprsků vůči teplu nebo větší příbuzností účinků katodových paprsků s účinky způsobenými teplem.

Další kombinace, kterou jsem zkoumala, byla kombinace účinků *X-paprsků a bílého světla* a *katodových paprsků a bílého světla*. Kombinovaným účinkem bílého světla a *X-paprsků* vzniká t. zv. Villardův efekt,<sup>6)</sup> již známý. Musila jsem jej však znovu v tomto případě studovati pro daný druh desek, abych zjistila jednak, zdali tyto desky vůbec Villardův efekt jeví, a za druhé, aby bylo možno zjistiti, zdali podobný zjev existuje také pro katodové paprsky. Podařilo se mi naléztí pro katodové paprsky zcela obdobný zjev se zjevem Villardovým. Zajímavé jest, že zde nebylo možno zjistiti žádný rozdíl v chování *X-paprsků* a katodových paprsků.

Inverse pro kombinaci *X-paprsků* resp. katodových paprsků s bílým světlem nastává jen pro pořadí *X-paprsky* — bílé světlo, resp. katodové paprsky — bílé světlo. „Obrácení“ a „zeslabení“ nastávají jen pro určitý, u obou záření (t. j. *X* a *K*) stejný obor hustot a pro určitý opět u obou záření stejný obor hustot černání bílého světla.

Konečně jsem zkoumala přímo kombinaci účinků *X-paprsků a katodových paprsků*. Š počátku jsem opět pracovala s röntgenovou lampou jako v předchozích případech při napětí 50 kV a intenzitě 1.5 mA. Exponiční doby pro *X-paprsky* jsem stupňovala od několika vteřin do 2 hodin a zkoušela jsem obojí pořadí *X-paprsky* — katodové paprsky i katodové paprsky — *X-paprsky*. Nemohla jsem však s určitostí konstatovati žádnou inverzi. Avšak při napětí 60 kV a intenzitě 50 mA se již kombinací s katodovými paprsky ukázal inverzní zjev. Exponice *X-paprsky* se při tom pohybovaly v dobách od 1/2—1 hodin a exponice katodovými paprsky od 5—60 vteřin.

Pracovala jsem opět tak, že jsem na desku naexponovala pruhy stoupajících hustot *X-paprsky* napříč desky a pak zakryla v podélném směru polovinu desky olověným plechem 3 mm silným a vystavila účinku katodových paprsků. Podařilo se mi pak v tomto druhém případě kombinací účinků *X-paprsků* a katodových paprsků dostati „obrácení“ i „zeslabení“.

Ukázalo se, že:

1. Inverzní účinky mezi katodovými paprsky a *X-paprsky* nezávisí podstatně na pořadí obou záření, což je velmi důležité. Všechny předešlé inverzní účinky závisely na pořadí. Lze pouze říci, že lze snáze dosíci „obrácení“ a „zeslabení“ pro pořadí katodové paprsky — *X-paprsky* než při pořadí opačném.

2. Pro každou absolutní hustotu katodovými paprsky z oboru 1.3—1.6 existuje určitý, velmi úzký

<sup>6)</sup> Viz C. R. 1899, 128 pg. 237, dále C. R. 1927, 184 pg. 309 a j.



obor hustot  $X$ -paprsky, jenž dává kombinaci inverzní zjev. Tento velmi úzký obor hustot  $X$ -paprsky prostírá se kolem té absolutní hustoty, jež se rovná hustotě černání způsobené katodovými paprsky. Je tedy zhruba možno říci, že inverzní zjevy pro kombinaci  $X$ -paprsků a katodových paprsků nastávají v oboru hustot 1·3 — 1·6, a to pro stejné hustoty černání způsobených  $X$ -paprsky i katodovými paprsky.

Pro nižší a vyšší hustoty než zmíněný obor jsem inverzní zjev nedostala. Není však vyloučeno, že existuje, protože bylo obtížno dostati u katodových paprsků nižší hustoty než 1·3 pro krátkost expozičních dob a naopak zase pro  $X$ -paprsky větší hustoty než 1·6.

Připomínám, že se nemohlo v žádném případě jednat o přexpoziční desky, ježto jsem dostala ostré ohraničení inverzního úkazu směrem k delším expozičním.

Inverzní zjev mezi katodovými paprsky a  $X$ -paprsky svědčí pro to, že mezi vlastnostmi  $X$ -paprsků a katodových paprsků musí existovati pokud se týče jejich účinků podstatný rozdíl, který nelze jen vysvětlit absorbováním různých energetických kvant v časové jednotce.<sup>7)</sup> Nemůže se tu také jednat o t. zv. zjev Cleydenův, totiž inverzi, která se dostane při kombinovaném účinku dvou záření kvalitativně stejných, ale velmi různých intenzit, neboť zjev Cleydenův nastane jen pro určité pořadí obou záření, kdežto inverse pro kombinovaný účinek  $X$ -paprsků a katodových paprsků nezávisí podstatně na pořadí.

V práci uvedené inverzní zjevy mezi  $X$ -paprsky a katodovými paprsky nelze tedy zatím vyložiti jinak než různým charakterem  $X$ -paprsků a katodových paprsků.

Myslím, že podávati výklad těchto značně komplikovaných zjevů z dosud získaného materiálu bylo by předčasné. Byly sice podány různé výklady různosti účinků  $X$ -paprsků a  $\gamma$ -paprsků,<sup>8)</sup> ale otázka tato není též dosud zcela uspokojivě fyzikálně rozřešena, ač získaného materiálu je mnohem více.

*Spektroskopický ústav university Karlovy v Praze.*

\*

<sup>7)</sup> Naturwissenschaften, 1931, 19, pg. 251 R. Glocker und M. Lagendorfer: Zur Frage der spezifischen Wirkung der Kathodenstrahlen auf die Zelle.

<sup>8)</sup> III. Congrès international de Radiologie: Glaser, O. et Portmann U. V.: Additional experiences in the Measurement of Röntgen and Radium Radiation by physical and biological Methode. Failla, G et Henshaw, P. S.: The relativ biological Effectiveness of X-Rays and Gamma-Rays. Holthusen H.: Vergleichende Messungen über die Wirkung von Röntgen und Radiumstrahlen.

## Les effets inverses combinés des rayons X et des rayons cathodiques.

(Extrait de l'article précédent.)

On a étudié l'effet combiné de diverses radiations: électrons, rayons X, la lumière visible, la chaleur sur la plaque photographique.

Il est déjà connu qu'en appliquant à la plaque photographique d'abord les rayons X et puis la lumière visible, le noircissement qui en résulte est dans certains cas plus petit que celui causé par l'une des deux radiations. C'est l'effet de Villard. Cet effet apparaît seulement 1) quand on fait agir les deux radiations dans un certain ordre: d'abord les rayons X et puis la lumière visible, 2) seulement à certaines densités de noircissement causé par la lumière visible.

Or, en appliquant les rayons cathodiques et puis la lumière visible, nous avons trouvé un effet inverse tout à fait semblable à l'effet de Villard. En examinant, d'une part, l'effet inverse des rayons X et de la lumière visible et, d'autre part, l'effet inverse des rayons cathodiques et de la lumière visible, on trouve que ces deux effets inverses ne se manifestent que pour un certain ordre des radiations appliquées (que ce soient les rayons X ou les rayons cathodiques), et pour de certains noircissements, absolument égaux, causés par les rayons X et les rayons cathodiques.

En faisant agir sur la plaque photographique les rayons X ou les rayons cathodiques et puis la chaleur, on peut remarquer aussi un effet inverse; celui-ci se produit seulement quand les rayons X ou les rayons cathodiques agissent comme le premier et la chaleur comme le second agent.

Cet effet a la même apparence pour les deux radiations, X et rayons cathodiques, seulement pour des noircissements des rayons X et des rayons cathodiques jusqu'à la densité 1,4; pour ces valeurs le noircissement résultant de l'effet combiné est moins intense que celui causé par la chaleur seule. Le noircissement causé par l'effet combiné est aussi plus petit que le noircissement causé par les rayons X ou les rayons cathodiques seuls, pourvu que les temps d'exposition soient assez longs pour la chaleur.

Mais en augmentant le noircissement causé par les rayons X ou les rayons cathodiques, on trouve que l'apparence d'effet combiné des rayons X et de la chaleur reste la même, tandis que pour les rayons cathodiques on ne peut obtenir par la chaleur un noircissement moindre que celui de la chaleur, quelque grands que soient les temps d'expositions de la chaleur appliquée.

Par l'effet de la chaleur le noircissement primitivement causé par les rayons cathodiques diminue, mais il reste toujours plus grand que le noircissement causé par la chaleur elle-même.

Enfin, on a examiné directement l'effet combiné des rayons  $X$  et des rayons cathodiques. On a trouvé que l'inversion se produit aussi pour ces deux radiations, mais cet effet inverse ne dépend essentiellement de l'ordre des radiations appliquées (c'est à dire on peut obtenir l'inversion en appliquant d'abord les rayons  $X$  et puis les rayons cathodiques ou d'abord les rayons cathodiques et puis les rayons  $X$ ). Cet effet inverse fut observé dans la région 1,3—1,6 de densité de noircissement pour les radiations envisagées.