ANEXO III

de

"ON THE PROBLEM OF THE INTERNAL CONSTITUTION OF THE EARTH"

monografía nº 4, año 1991, de la Academia de Ciencias de Zaragoza
(Yoël Lana-Renault y Rafael Cid Palacios)

RESULTADOS GRAFICOS DE LA PROPAGACION DE LAS FASES "P" EN EL INTERIOR DE LA TIERRA

Trabajo presentado en la XXIV Bienal de la R.S. Española de Física, JACA (España), Septiembre 1993, mediante el poster M-40 (Comunicación), con el título:

"P-Phases in the Earth's Interior"

Autor: Yoël Lana-Renault
Redactor programa informática: Fco. Javier Sabadell Melado
Colaboradores: J. Ignacio Badal Nicolás y Rafael Cid Palacios

Láminas del Poster M-40
XXIV Bienal de la Real Sociedad Española de Física
JACA, España, Septiembre 1993

título:

"Modelos de propagación de fases P en el interior de la Tierra: distancias epicentrales, tiempos de propagación y velocidades"

autores:

Yoël Lana-Renault
Fco. Javier Sabadell Melado
Rafael Cid Palacios
J. Ignacio Badal

Departamento de Física Teórica-Geofísica
Universidad de Zaragoza

XXIV Bienal de la R.S. Española de Física
Jaca, España, Septiembre 1993

Area: Física de la Tierra.

Modelos de propagación de fases P en el interior de la Tierra: distancias epicentrales, tiempos de propagación y velocidades

Y. Lana-Renault, R. Cid, J. Badal

Departamento de Física Teórica-Geofísica, Universidad de Zaragoza,
Plaza de San Francisco, 50009 Zaragoza

RESUMEN

El problema de la propagación de fases sísmicas por el interior de la Tierra, supuesta de forma esférica, ha sido resuelto considerando las siguientes hipótesis fundamentales: a) en cualquier caso la Tierra presenta simetría esférica; b) el interior del planeta está estratificado en capas esféricas, siendo cinco los estratos que representan el manto superior, el manto inferior, el núcleo externo, la zona de transicición y el núcleo interno, cuyos límites son incógnitas a determinar; c) la propagación de ondas sísmicas a través de la Tierra está sujeta a la ley de Snell. La resolución analítica del problema requiere la elección de una ley de velocidad para la transmisión de las ondas P y S. Entre las posibles leyes de velocidad que se pueden adoptar, nosotros proponemos una muy simple de la forma

$$v(r) = r\,(B - A \log r)$$

donde A y B son constantes a determinar para cada estrato y donde r, que representa la distancia al centro del planeta, se supone variable en el intervalo $[R_c, R_o]$, siendo R_o el radio medio terrestre y R_c el radio del núcleo interno. La singularidad que surge cuando $r = 0$ queda eliminada suponiendo que $v = v_c = \text{const.}$ $\forall\, r \leqslant R_c$. Las ecuaciones que definen la curva tiempo-distancia en un punto cualquiera de la trayectoria seguida por un rayo sísmico a través de un estrato E_i son

$$\Delta(r) = (1/A_i\, p_i)(\cos I_{oi} - \cos I)$$
$$T(r) = (1/A_i) \log [k_i\,(1+ \cos I_{oi}) / k_{oi}\,(1 + \cos I)]$$

donde la constante p y la variable k vienen dadas por

$$k_i = v(r)/r = B_i - A_i \log r\,, \quad p_i = k_{oi}^{-1} \operatorname{sen} I_{oi} = k_i^{-1} \operatorname{sen} I$$

siendo I el ángulo de inclinación del rayo (Lana-Ranault and Cid, 1991). El subíndice i hace referencia al estrato, mientras que el subíndice 0 hace referencia al techo del estrato. Estas ecuaciones

resumen la formulación básica y nos permiten calcular las coordenadas (Δ, T) con relación a un punto de la trayectoria seguida por un rayo sísmico en el interior de la Tierra, una vez fijados los valores de todos los parámetros involucrados: radios que definen los límites de los distintos estratos y constantes anteriores. Como consecuencia, además de las distancias epicentrales para diferentes fases sísmicas (PKP, PKiKP, etc), según el ángulo de inclinación de partida, es posible calcular los respectivos tiempos de propagación y determinar la distribución de la velocidad. Los resultados obtenidos se pueden comparar con los ya tabulados, por ejemplo con los publicados por Herrin et al. (1968) u otros.

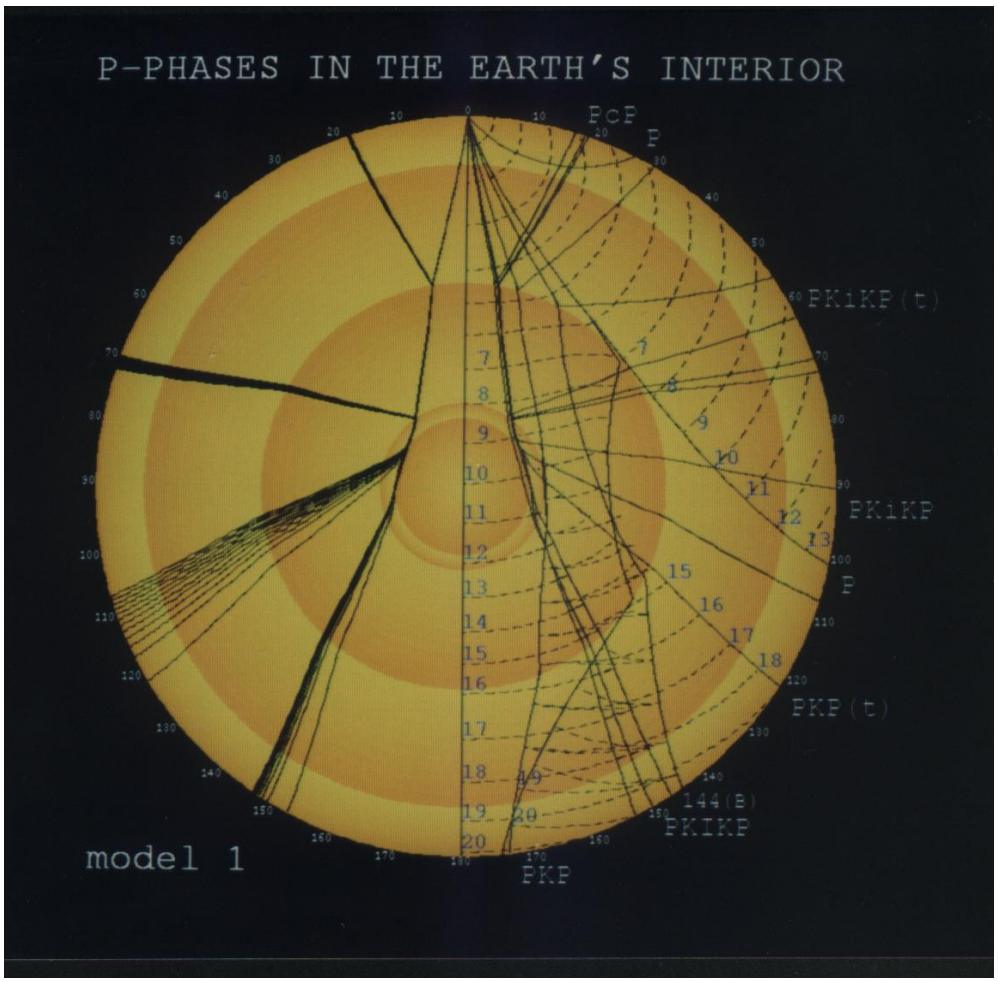
Desde un punto de vista estrictamente sismológico, cada estrato viene definido por dos constantes (A y B), las cuales se estiman del siguiente modo: para el manto, por mínimos cuadrados a partir de los datos de propagación de las fases P y S tabulados; para el núcleo externo por la condición de tiempo mínimo para la distancia epicentral 144° (Qamar, 1973); para la zona de transición considerando el punto cáustico para la distancia 122° (Choy and Cormier, 1983). Las constantes así determinadas hacen que la ley de velocidad antes propuesta quede completamente definida para *todo* el interior de la Tierra. Las discontinuidades principales en el interior de la Tierra se fijan también de acuerdo con datos puntuales de propagación de algunas fases P. Nosotros hemos estudiado distintas soluciones del problema dejando como incógnita el radio del núcleo interno, de las cuales, por su interés, se presentan aquí sólo tres en relación con estas fases. La primera solución se caracteriza por un incremento negativo de velocidad, de 11.7 a 11.3 km s^{-1}, al pasar de la zona de transición al núcleo interno. El radio de éste resulta ser 1174.9 km y, por ejemplo, la onda PKIKP sólo puede detectarse a partir de una distancia epicentral de 146°. Otra solución corresponde al caso de una discontinuidad de primer orden al comienzo del núcleo interno. En este caso el radio es 1229.7 km y los tiempos de propagación de las fases PKiKP y PKIKP presentan una desviación máxima de 1 s respecto de los tiempos tabulados. Finalmente, una tercera solución revela un incremento positivo de velocidad, de 11.0 a 11.3 km s^{-1}. Esta solución implica que el radio del núcleo interno sea 1266.5 km y también que la onda PKIKP aparezca a partir de la distancia epicentral 110°. Ejemplos de los resultados obtenidos para fases P se muestran de mánera gráfica.

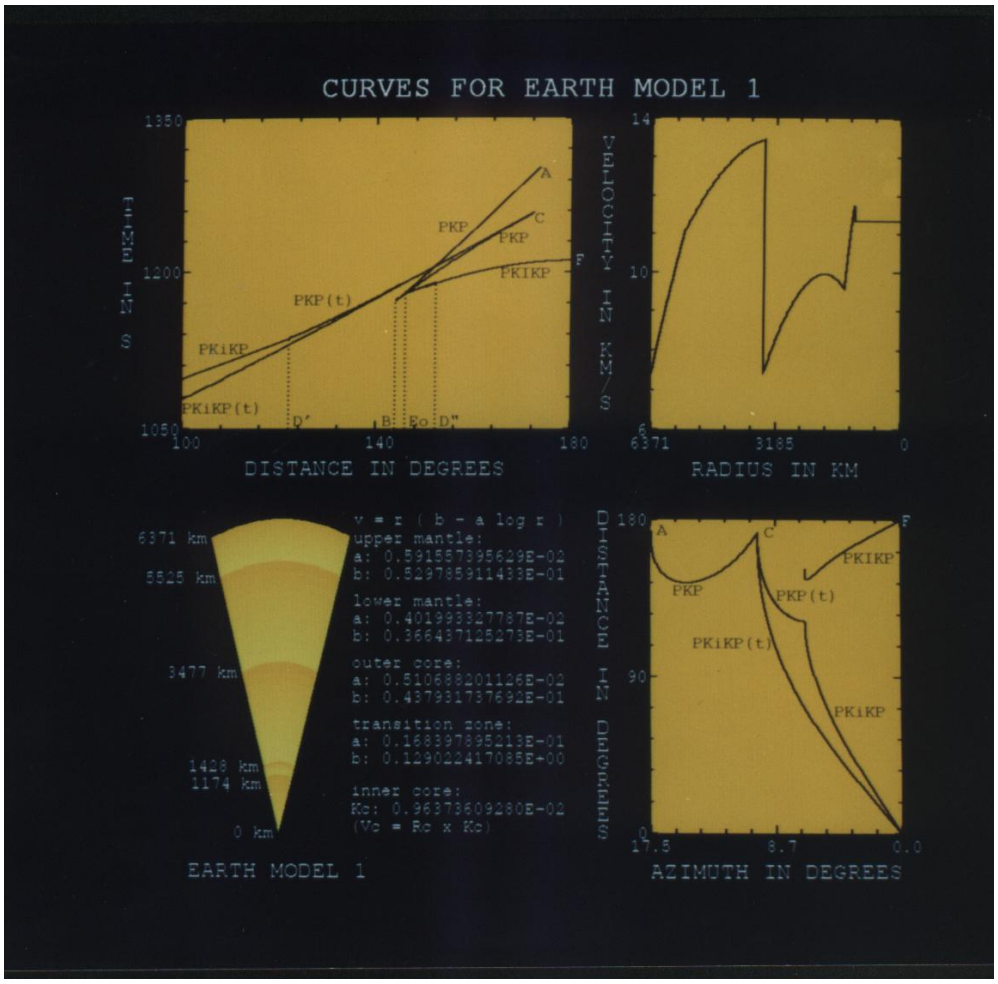
References

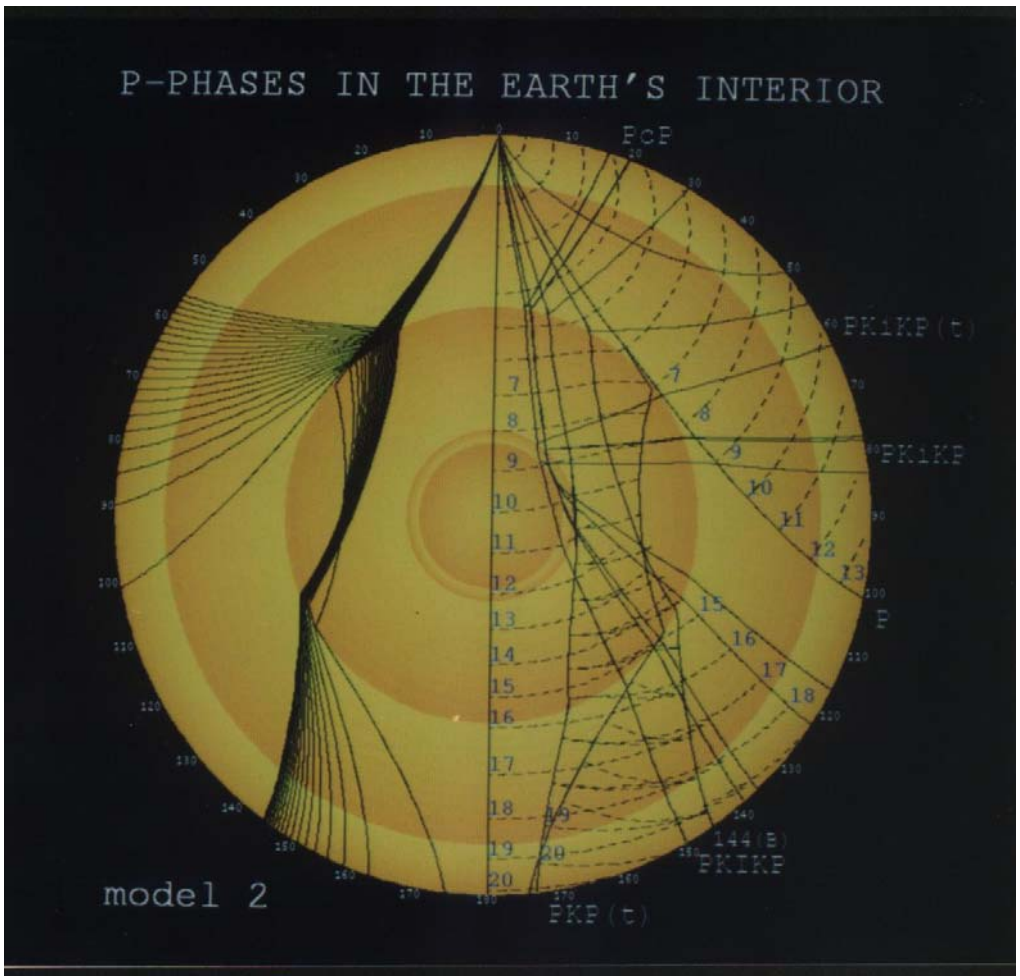
Choy, G. L. and Cormier, V. F., 1983. The structure of the inner core inferred from short-period and broadband GDSN data. Geophys. J.R. astron. Soc., **72**, 1-21.

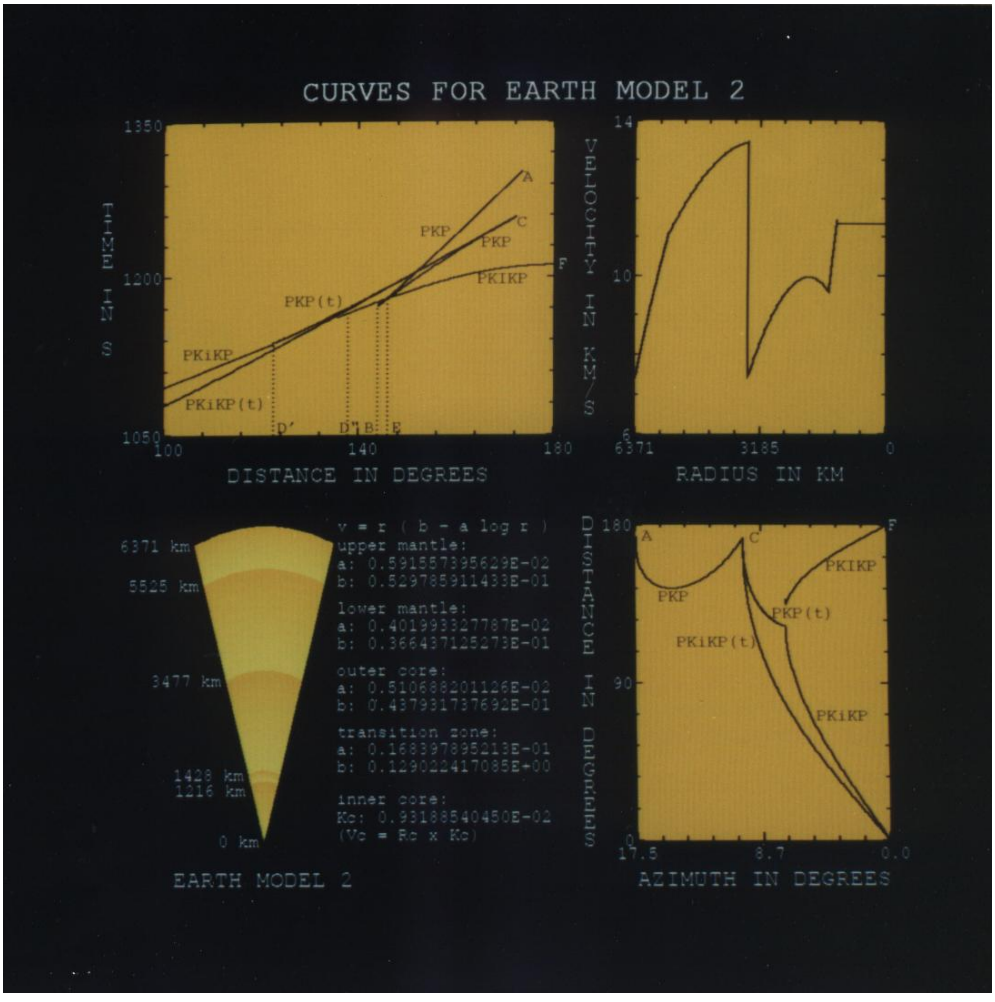
Herrin, E. (Chairman) et al., 1968. 1968 Seismological Tables for P Phases. Bull. Seism. Soc. Am., **58**, 1193-1241.

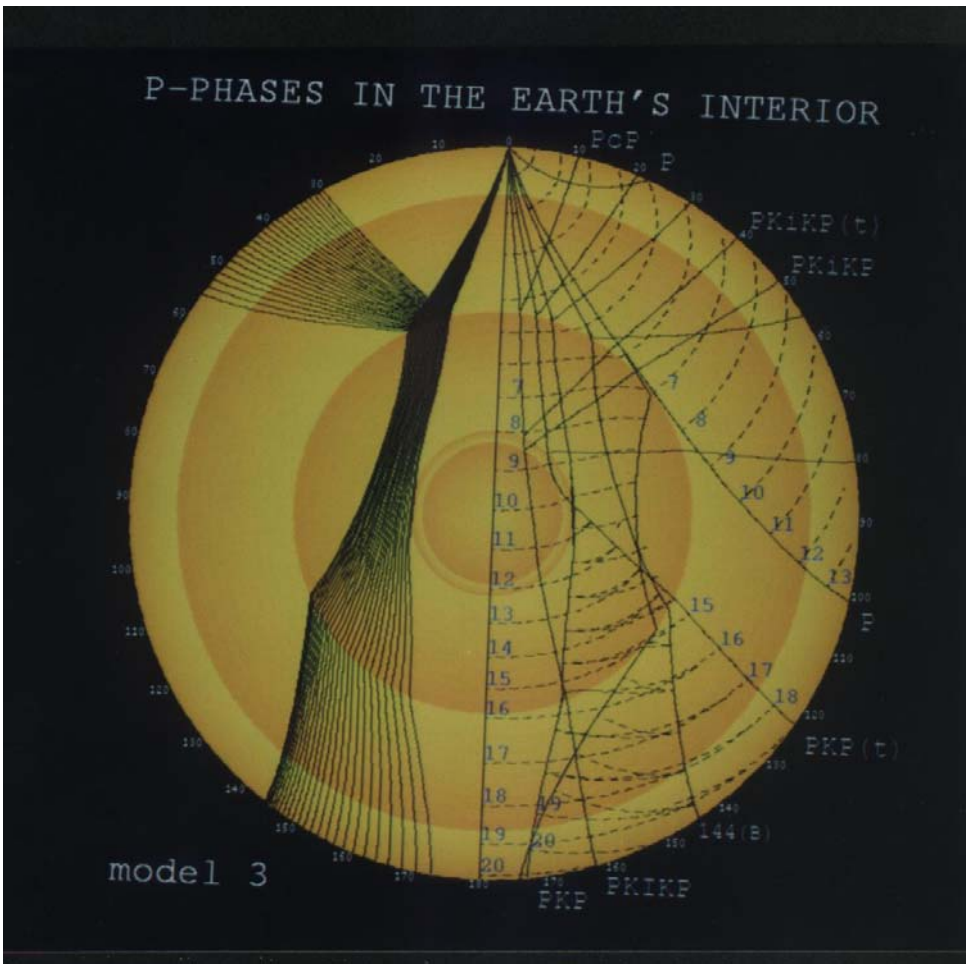
Lana-Renault, Y. and Cid, R., 1991. On the Problem of the Internal Constitution of the Earth. Academia de Ciencias de Zaragoza, Monografía N° 4, pp. 158.

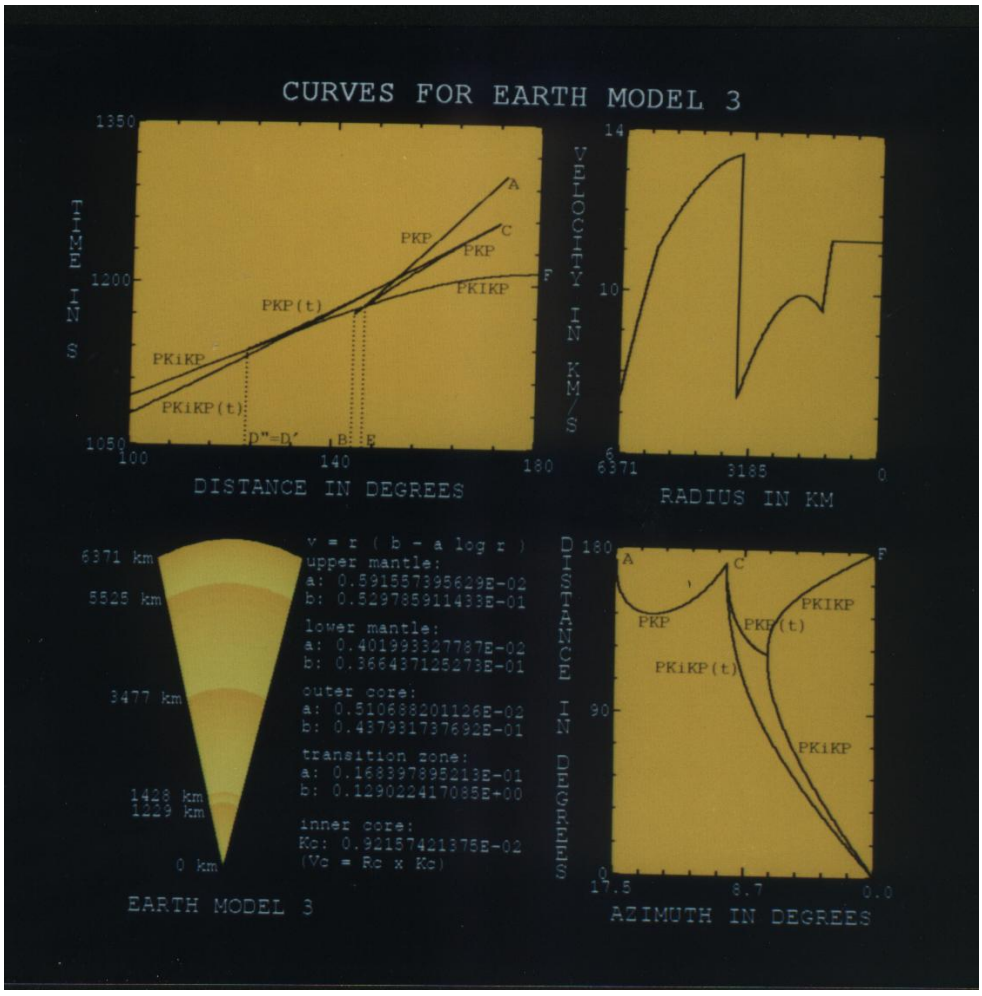

P-PHASES IN THE EARTH'S INTERIOR
PcP
P
PKiKP(t)
PKiKP
P
PKP(t)
144(B)
PKIKP
PKP
model 1

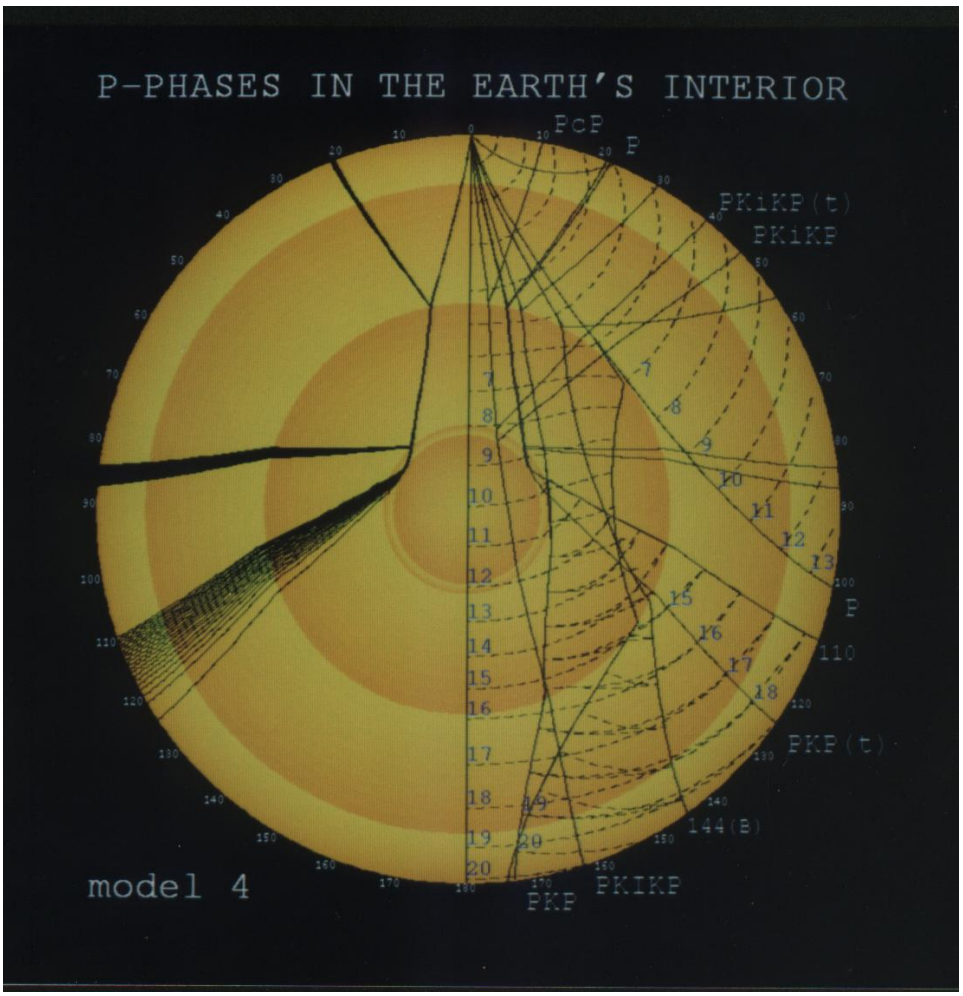

CURVES FOR EARTH MODEL 1
PKP
PKP
PKIKP
PKP(t)
PKiKP
PKiKP(t)
DISTANCE IN DEGREES
RADIUS IN KM
v = r (b - a log r)
upper mantle:
a: 0.5915573955629E-02
b: 0.5297859114838E-01
lower mantle:
a: 0.4019993827787E-02
b: 0.3664371252738E-01
outer core:
a: 0.5106882011126E-02
b: 0.4379317376922E-01
transition zone:
a: 0.1683978952138E-01
b: 0.1290224170858E+00
inner core:
Ko: 0.963736092808E-02
(Vc = Rc x Ko)
6371 km
5525 km
3477 km
1428 km
1174 km
0 km
EARTH MODEL 1
AZIMUTH IN DEGREES

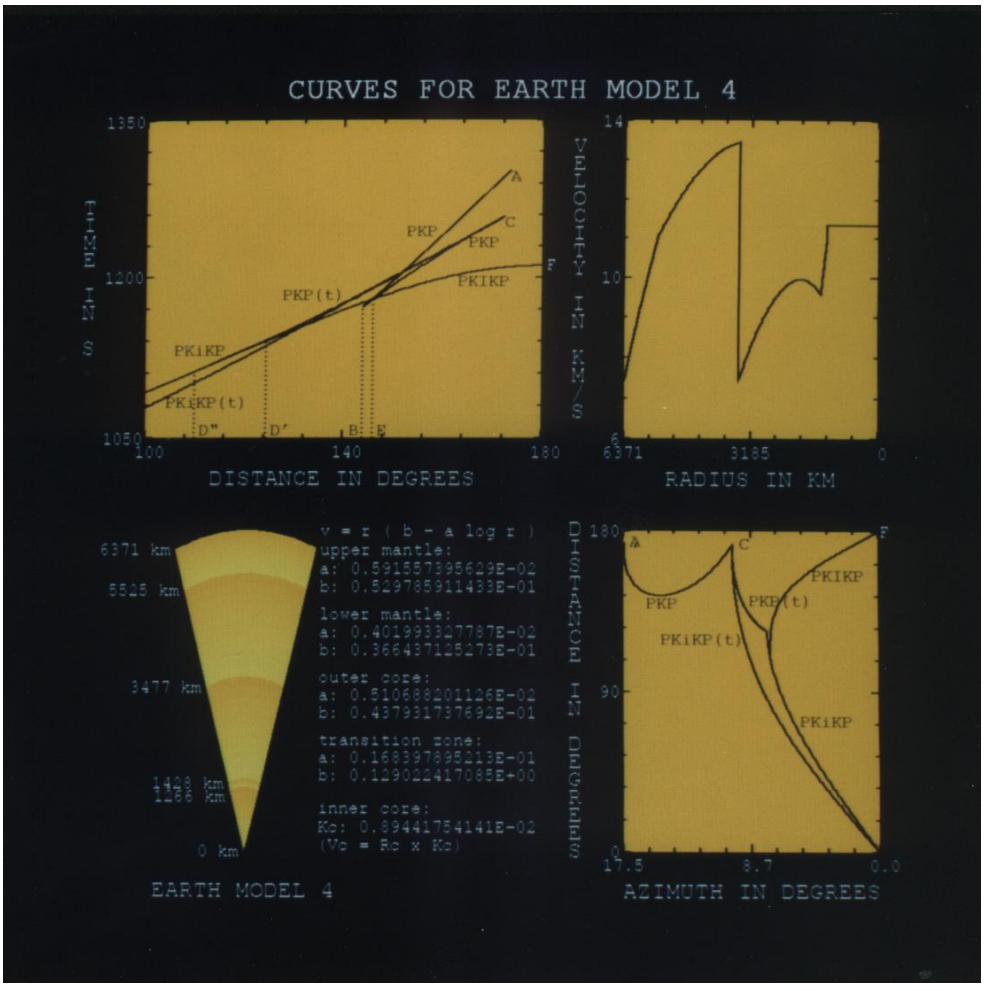

P-PHASES IN THE EARTH'S INTERIOR
PcP
PK1KP(t)
PK1KP
P
144(B)
PKIKP
model 2
PKP(t)

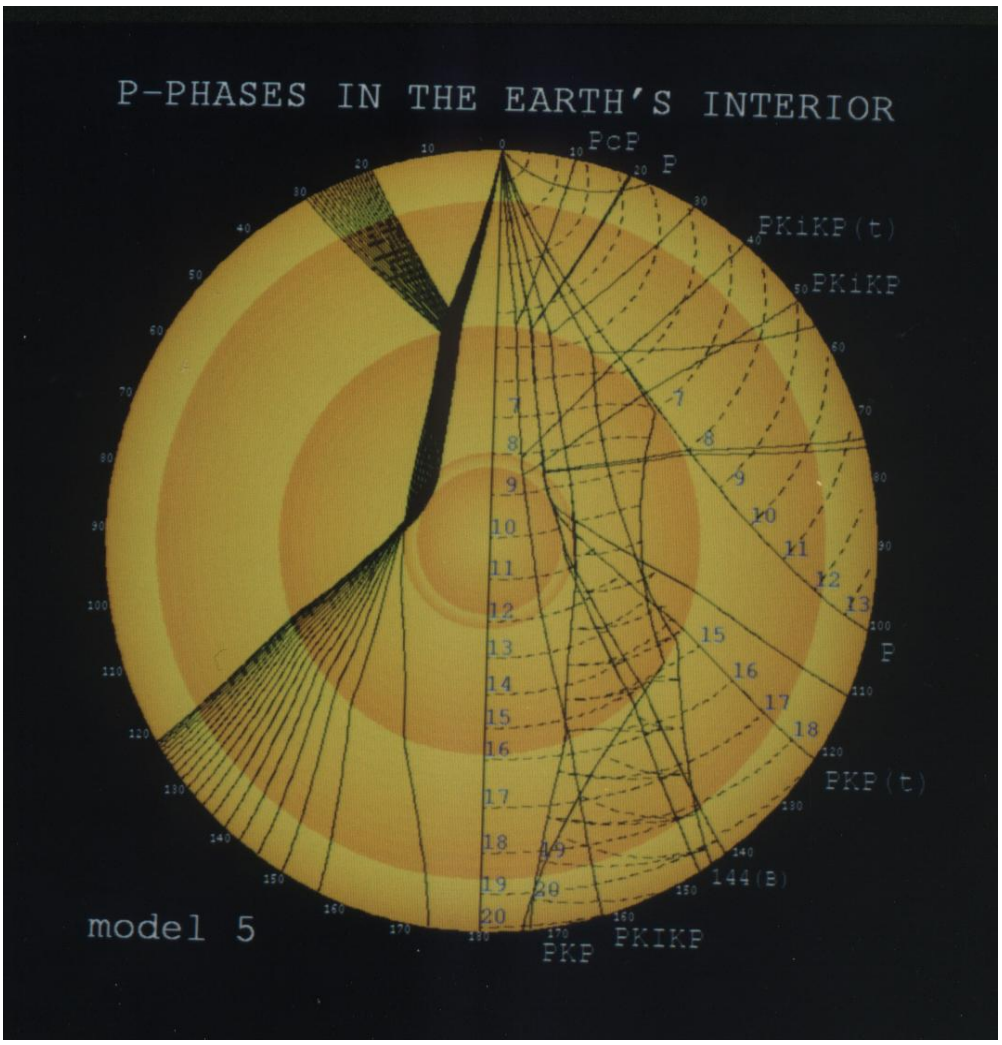

CURVES FOR EARTH MODEL 2
PKP
PKP
PKIKP
PKP(t)
PK1KP
PK1KP(t)
DISTANCE IN DEGREES
RADIUS IN KM
v = r (b - a log r)
upper mantle:
a: 0.591557395629E-02
b: 0.529785911433E-01
lower mantle:
a: 0.401993327787E-02
b: 0.366437125273E-01
outer core:
a: 0.5106882011126E-02
b: 0.437931737692E-01
transition zone:
a: 0.168397895213E-01
b: 0.1290224170B5E+00
inner core:
Kc: 0.93188540450E-02
(Vc = Rc x Kc)
6371 km
5525 km
3477 km
1428 km
1216 km
0 km
EARTH MODEL 2
AZIMUTH IN DEGREES

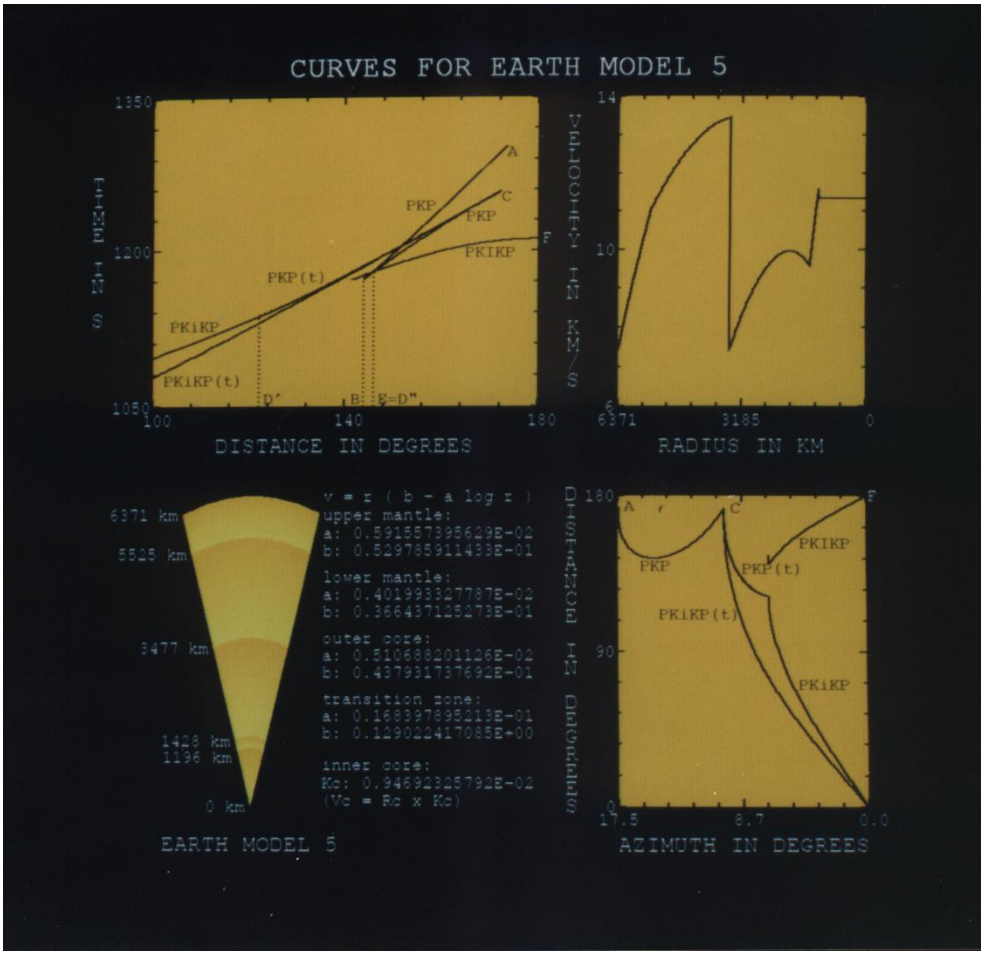

P-PHASES IN THE EARTH'S INTERIOR
PcP
P
PK1KP(t)
PK1KP
PKP(t)
144(B)
PKP
PKIKP
model 3


CURVES FOR EARTH MODEL 3
TIME IN S
DISTANCE IN DEGREES
PKP
PKP(t)
PKIKP
PK1KP
PK1KP(t)
VELOCITY IN KM/S
RADIUS IN KM
6371 km
5525 km
3477 km
1428 km
1229 km
0 km
v = r (b - a log r)
upper mantle:
a: 0.5915573956629E-02
b: 0.5297859114338E-01
lower mantle:
a: 0.4019933277787E-02
b: 0.3664371252738E-01
outer core:
a: 0.5106882011268E-02
b: 0.4379311737692E-01
transition zone:
a: 0.1683978952138E-01
b: 0.1290224170858E+00
inner core:
Kc: 0.9215742137582E-02
(Vc = Rc x Kc)
EARTH MODEL 3
DISTANCE IN DEGREES
AZIMUTH IN DEGREES


P-PHASES IN THE EARTH'S INTERIOR
PcP
P
PKiKP(t)
PKiKP
PKP(t)
144(B)
PKIKP
PKP
model 4


CURVES FOR EARTH MODEL 4
TIME IN S
DISTANCE IN DEGREES
VELOCITY IN KM/S
RADIUS IN KM
PKP
PKP(t)
PKIKP
PKiKP
PKiKP(t)
6371 km
5525 km
3477 km
1228 km
1206 km
0 km
v = r (b - a log r)
upper mantle:
a: 0.5915573955629E-02
b: 0.5297859114338-01
lower mantle:
a: 0.4019933277878-02
b: 0.3664371252738-01
outer core:
a: 0.5106882011268-02
b: 0.4379317376928-01
transition zone:
a: 0.1683978952138-01
b: 0.1290224170858+00
inner core:
Kc: 0.8944175414168-02
(Vc = Rc x Kc)
EARTH MODEL 4
DISTANCE IN DEGREES
AZIMUTH IN DEGREES


P-PHASES IN THE EARTH'S INTERIOR
PcP
P
PKiKP(t)
PKiKP
PKP(t)
PKP
PKiKP
144(B)
model 5


CURVES FOR EARTH MODEL 5
DISTANCE IN DEGREES
RADIUS IN KM
EARTH MODEL 5
AZIMUTH IN DEGREES
v = r (b - a log r)
upper mantle:
a: 0.5915573956290E-02
b: 0.5297859114330E-01
lower mantle:
a: 0.4019933277878E-02
b: 0.3664371252730E-01
outer core:
a: 0.5106882011260E-02
b: 0.4379317376920E-01
transition zone:
a: 0.1683978952130E-01
b: 0.1290224170850E+00
inner core:
Kc: 0.9469232579200E-02
(Vc = Rc x Kc)
6371 km
5525 km
3477 km
1428 km
1196 km
0 km